

Analyse, inform and activate

LAKA

Analyseren, informeren, en activeren

Stichting Laka: Documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie

De Laka-bibliotheek

Dit is een pdf van één van de publicaties in de bibliotheek van Stichting Laka, het in Amsterdam gevestigde documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie.

Laka heeft een bibliotheek met ongeveer 8000 boeken (waarvan een gedeelte dus ook als pdf), duizenden kranten- en tijdschriften-artikelen, honderden tijdschriftentitels, posters, video's en ander beeldmateriaal. Laka digitaliseert (oude) tijdschriften en boeken uit de internationale antikernenergie-beweging.

De [catalogus](#) van de Laka-bibliotheek staat op onze site. De collectie bevat een grote verzameling gedigitaliseerde [tijdschriften](#) uit de Nederlandse antikernenergie-beweging en een verzameling [video's](#).

Laka speelt met oa. haar informatie-voorziening een belangrijke rol in de Nederlandse anti-kernenergiebeweging.

The Laka-library

This is a PDF from one of the publications from the library of the Laka Foundation; the Amsterdam-based documentation and research centre on nuclear energy.

The Laka library consists of about 8,000 books (of which a part is available as PDF), thousands of newspaper clippings, hundreds of magazines, posters, video's and other material. Laka digitizes books and magazines from the international movement against nuclear power.

The [catalogue](#) of the Laka-library can be found at our website. The collection also contains a large number of digitized [magazines](#) from the Dutch anti-nuclear power movement and a [video-section](#).

Laka plays with, amongst others things, its information services, an important role in the Dutch anti-nuclear movement.

Appreciate our work? Feel free to make a small [donation](#). Thank you.



www.laka.org | info@laka.org | Ketelhuisplein 43, 1054 RD Amsterdam | 020-6168294

Veiligheidsrapport

Kernenergie-eenheid centrale Borssele

1993

BAND 1

Oorspronkelijk opgesteld door: N.V. KEMA

Siemens / KWU

Revisie verzorgd door: NRG / EPZ

In opdracht van: N.V. EPZ

VR-KCB93, Rev. 6

Gecontroleerd:	Datum:	Goedgekeurd:	Datum:
----------------	--------	--------------	--------

K O P I E

Revisie overzichten:

Band 1

Revisie-overzicht revisie 6 (juni 2010)

De wijzigingen zijn door middel van arceringen gemarkeerd.

Paragraaf	blz.
	Titelblad
1.2	1.2-2
1.6.1	1.6-2 t/m 1.6-3
1.6.2	1.6-3 t/m 1.6-6
4.1	4.1-1 t/m 4.1-3
4.2	4.2-1 t/m 4.2-2
4.3.2	4.3-2
4.4.7	4.4-5
5.1.2	5.1-5

K O P I E

Band 1

Revisie-overzicht revisie 5 (juli 2005)

De wijzigingen zijn door middel van arceringen gemarkeerd.

Paragraaf	Blz.
-	Titelblad
Inhoudsopgave	xiv
3.6.1.2	3.6-8
6.4.1	6.4-1
6.4.3	6.4-2
6.5	6.5-1
	6.5-3
	6.5-4
6.7	6.7-1
	6.7-2
	6.7-4
8.1	8.1-2
8.3.1	8.3-1

K O P I E

Band 1

Revisie-overzicht revisie 4 (februari 2004)

De wijzigingen zijn door middel van arceringen gemarkeerd.

Paragraaf	blz.
--	Titelblad
4.2	4.2-1
4.2	4.2-2
4.2	4.2-4
4.3.2	4.3-3

K O P I E

Band 1

Revisie-overzicht revisie 2 (1997)

De wijzigingen zijn door middel van arceringen gemarkeerd.

Paragraaf	blz.	Paragraaf	blz.
--	Titelblad	6.5	6.5-1
ihoud	xii	6.5	6.5-2
1.2	1.2-6	6.5	6.5-4
1.3	1.3-4	6.8	6.8-2
1.6	1.6-6	7.3	7.3-3
1.6	1.6-9	7.3	7.3-4
2.6	2.6-2	7.5	7.5-3
4.1	4.1-1	7.5	7.5-5
4.2	4.2-1	7.5	7.5-9
4.4	4.4-1	7.5	7.5-11
4.6	4.6-1	8.1	8.1-1
5.1	5.1-2	8.1	8.1-2
5.1	5.1-5	8.2	8.2-1
5.1	5.1-12	8.3	8.3-1
5.1	5.1-13	8.3	8.3-2
5.2	5.2-10	8.3	8.3-3
5.2	5.2-12	9.1	9.1-6
6.1	6.1-3	9.1	9.1-7
6.1	6.1-4	9.2	9.2-4
6.1	6.1-5	9.2	9.2-6
6.3	6.3-2	9.2	9.2-9
6.3	6.3-3	9.3	9.3-4
6.3	6.3-4	9.3	9.3-5
6.3	6.3-5	9.3	9.3-15
6.3	6.3-6	9.5	9.5-1
6.3	6.3-7	9.5	9.5-3
6.3	6.3-8	10.2	10.2-2
6.3	6.3-9	10.2	10.2-3
6.3	6.3-10	10.5	10.5-2
6.4	6.4-1	10	10/1-1
6.4	6.4-2		

K O P I E

Band 1

Revisie-overzicht revisie 1 (januari 1995)

De wijzigingen zijn door middel van arceringen gemarkeerd.

Paragraaf	blz.
--	Titelblad
4.2	4.2-1
4.2	4.2-2
4.2	4.2-4
4.3.2	4.3-3
4.4.7	4.4-5
9.1.2	9.3-5

K O P I E

INHOUD

- 1 Inleiding en samenvattende beschrijving van de installatie
- 2 Vestigingsplaats
- 3 Ontwerp
- 4 Reactor
- 5 Reactorkoel- en drukhoudsysteem
- 6 Veiligheidsvoorzieningen
- 7 Meet- en regeltechniek
- 8 Elektrotechnische installatie
- 9 Bedrijfs- en hulpsystemen
- 10 Conventioneel systeem
- 11 Radioactief afval
- 12 Stralingsbescherming
- 13 Normaal bedrijf
- 14 Inbedrijfstelling
- 15 Ongevalanalyses
- 16 Technische specificaties
- 17 Kwaliteitsborging
- 18 Mens-machine-relatie
- 19 Ontmanteling
- 20 Maatregelen ter beperking van de gevolgen van (buiten-)ontwerpongevallen
- 21 Niet-nucleaire milieuaspecten

K O P I E

1	INLEIDING EN SAMENVATTENDE BESCHRIJVING VAN DE INSTALLATIE		1.1-1
1.1	Inleiding	1.1-1	
1.2	Samenvattende beschrijving van de installatie (tabel 1.2/1; figuur 1.2/1 tot en met 4)		1.2-1
1.3	Bedrijfservaringen	1.3-1	
1.3.1	Agemene bedrijfskenmerken		1.3-1
1.3.2	Afschakelingen	1.3-1	
1.3.3	Overige storingen	1.3-3	
1.4	Veiligheidsconcept (figuur 1.4/1 tot en met 3)		1.4-1
1.4.1	Doelstellingen van de bescherming		1.4-1
1.4.2	Veiligheidsprincipes en -maatregelen (figuur 1.4/1)		1.4-2
1.4.3	Veiligheidsvoorzieningen (figuur 1.4/2 en 3)		1.4-4
1.4.3.1	Inherent veilige eigenschappen		1.4-4
1.4.3.2	Passieve veiligheidsvoorzieningen (barrièreconcept)		1.4-4
1.4.3.3	Actieve veiligheidsvoorzieningen		1.4-5
1.4.3.4	Veiligheidstechnische ontwerpprincipes		1.4-6
1.5	Nucleaire regelgeving in Nederland (figuur 1.5/1)		1.5-1
1.6	Begrippen, afkortingen, codering, eenheden en symbolen		1.6-1
1.6.1	Begrippen	1.6-1	
1.6.2	Afkortingen	1.6-3	
1.6.3	Systeemcodering	1.6-6	
1.6.4	Eenheden	1.6-9	
1.6.5	Symbolen	1.6-10	
2	VESTIGINGSPLAATS	2.1-1	
2.1	Beschrijving Vestigingsplaats En Bereikbaarheid		2.1-1
2.2	Geologische En Geoseismische Omstandigheden		2.2-1
2.2.1	Geologie	2.2-1	
2.2.2	Seismologie	2.2-1	
2.3	Hydrologische Omstandigheden		2.3-1
2.4	Meteorologie	2.4-1	
2.5	Bodemgebruik En Industrie	2.5-1	
2.6	Bevolking Rondom De Vestigingsplaats		2.6-1
2.7	Transportroutes	2.7-1	

3	ONTWERP	3.1-1	
3.1	Overeenstemming met de eisen, gesteld in de nucleaire veiligheidsregels		3.1-1
3.2	Classificatie van civiele constructies, componenten en systemen		3.2-1
3.2.1	Veiligheidsclassificatie	3.2-1	
3.2.1.1	Inleiding	3.2-1	
3.2.1.2	Werktuigbouwkundige componenten en systemen		3.2-1
3.2.1.3	Elektrotechnische en instrumentatiecomponenten en		

3.5	Bestendigheid tegen invloeden van buitenaf	3.5-1
3.5.1	Aardbevingen	3.5-1
3.5.2	Vliegtuigongelukken	3.5-1
3.5.3	Explosiedruk golf	3.5-2
3.5.4	Windbelastingen	3.5-2
3.5.5	Overstroming	3.5-2
3.5.6	Andere invloeden van buitenaf	3.5-2
3.5.7	Aantonen van de bestendigheid tegen invloeden van buitenaf	3.5-4
3.5.7.1	Bouwkundige constructies	3.5-4
3.5.7.2	Systemen en componenten	3.5-5
3.5.7.3	Elektrotechnische installaties en meet- en regelsystemen	3.5-7
3.6	Bouwkundige constructies	3.6-1
3.6.1	Gebouwen van aardbevingsklasse i	3.6-2
3.6.1.1	Reactorgebouw (01/02)	3.6-2
3.6.1.2	Reservesuppletiegebouw (33)	3.6-6
3.6.1.3	Reserveregelzaalgebouw (35)	3.6-9
3.6.2	Andere gebouwen en bouwkundige constructies	3.6-9
3.6.2.1	Reactorhulpgebouw en ventilatieschacht (03/13)	3.6-9
3.6.2.2	Machinegebouw (04)	3.6-11
3.6.2.3	Schakelgebouw (05)	3.6-12
3.6.2.4	Dienstgebouw (06)	3.6-13
3.6.2.5	Noodstroomdieselgebouwen i en ii (10/72)	3.6-13
3.6.2.6	Deminwateraanmaakgebouw (09)	3.6-15
3.6.2.7	Afvalopslaggebouw (34)	3.6-16
3.6.2.8	Koelwatervoorzieningen	3.6-17
3.6.2.9	Overige gebouwen	3.6-18
4	REACTOR	4.1-1
4.1	Definities	4.1-1
4.2	Inleiding	4.2-1
4.3	Mechanisch ontwerp van de splijtstofelementen	4.3-1
4.3.1	Uitgangspunten van het ontwerp	4.3-1
4.3.2	Beschrijving van de constructie	4.3-2
4.3.3	Ontwerpberekeningen	4.3-4

4.4	Neutronenfysisch ontwerp van de kern		4.4-1
4.4.1	Doelstelling	4.4-1	
4.4.2	Vermogensdichtheidsverdeling		4.4-1
4.4.3	Reactiviteitscoëfficiënten	4.4-2	
4.4.4	Reactorregeling	4.4-3	
4.4.5	Reactiviteit in afgeschakelde toestand en reactiviteitsbalans		4.4-4
4.4.6	Stabiliteit van de reactorkern	4.4-4	
4.4.7	Kernbelading	4.4-4	
4.5	Thermohydraulisch ontwerp van de kern		4.5-1
4.5.1	Doelstelling	4.5-1	
4.5.2	Beschrijving van het thermohydraulische kernontwerp		4.5-1
4.5.3	Ontwerpaspecten	4.5-2	
4.5.4	Bespreking van de kritieke filmkookgrens (dnb)		4.5-2
4.6	Functioneel ontwerp van de reactiviteits-controlesystemen		4.6-1
5	Reactorkoel- en drukhoudsysteem		5.1-1
5.1	Beschrijving en ontwerp	5.1-1	
5.1.1	Functionele beschrijving	5.1-1	
5.1.2	Procestechnische uitgangspunten voor het ontwerp		5.1-4
5.1.3	Sterktetechnische uitgangspunten voor het ontwerp		5.1-6
5.1.4	Afdichtingsvoorzieningen en controle op lekkage		5.1-8
5.1.5	Akoestisch bewakingssysteem	5.1-10	
5.2	Componenten van het reactorkoel- en drukhoudsysteem		5.2-1
5.2.1	Reactorvat	5.2-1	
5.2.2	Binnenwerk van het reactorvat	5.2-2	
5.2.3	Regelstaafaandrijvingen	5.2-6	
5.2.4	Hoofdkoelmiddelpompen	5.2-7	
5.2.5	Hoofdkoelmiddelleidingen	5.2-9	
5.2.6	Appendages	5.2-9	
5.2.7	Stoomgenerator	5.2-10	
5.2.8	Drukhouder en afblaastank	5.2-12	
5.2.9	Opstelling en afsteuning van de componenten		5.2-13
5.3	Beproevingen	5.3-1	
5.3.1	Materiaal-, tussentijdse en drukbeproevingen		5.3-1
5.3.2	Periodieke beproevingen van de componenten van het reactorkoelsysteem		5.3-3

6	VEILIGHEIDSVORZIENINGEN	6.1-1
6.1	Het principe van de veiligheidsomsluiting	6.1-1
6.1.1	Functioneel ontwerp van het reactorgebouw (01/02)	6.1-1
6.1.2	Voorzieningen voor het afsluiten van de gebouwen	6.1-3
6.1.2.1	Beschrijving	6.1-3
6.1.2.2	Grenswaarden voor activering	6.1-4
6.1.3	Waterstofrecombinatie binnen de veiligheidsomhulling	6.1-4
6.2	Ringruimteafzuiging	6.2-1
6.2.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6.2-1
6.2.2	Systeembeschrijving	6.2-1
6.3	Kerninundatie- en nakoelsysteem (tj)	6.3-1
6.3.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6.3-1
6.3.2	Systeembeschrijving	6.3-1
6.3.3	Wijzen van bedrijfsvoering	6.3-3
6.3.4	Controle en inspectie	6.3-5
6.4	Primair reservesuppletiesysteem (tw)	6.4-1
6.4.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6.4-1
6.4.2	Systeembeschrijving	6.4-1
6.4.3	Wijze van bedrijfsvoering	6.4-2
6.5	Reservekoelketen (te/tg080/ve)	6.5-1
6.5.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6.5-1
6.5.2	Systeembeschrijving	6.5-1
6.6	Hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem (rl)	6.6-1
6.6.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6.6-1
6.6.2	Systeembeschrijving	6.6-1
6.7	Secundair reservesuppletiesysteem (rs)	6.7-1
6.7.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6.7-1
6.7.2	Systeembeschrijving	6.7-1
6.7.3	Wijze van bedrijfsvoering	6.7-2
6.8	Hoofdstoomafblaasstation	6.8-1
6.8.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6.8-1
6.8.2	Systeembeschrijving	6.8-1
7	Meet- en regeltechniek	7.1-1
7.1	Overzicht van het meet- en regelsysteem	7.1-1

7.2	Meettechniek	7.2-1	
7.2.1	Nucleaire meettechniek	7.2-1	
7.2.1.1	Neutronenfluxdichtheidsmeting buiten de kern		7.2-1
7.2.1.2	Kerninstrumentatie	7.2-2	
7.2.2	Conventionele meettechniek	7.2-4	
7.2.3	Positie van de regelementen	7.2-6	
7.2.4	Ongevalsinstrumentatie	7.2-7	
7.3	Besturings- en regelinrichtingen	7.3-1	
7.3.1	Vermogensregeling	7.3-1	
7.3.2	Reactorbegrenzing (grenswaarderegeling)		7.3-2
7.3.2.1	Reactorvermogensbegrenzing	7.3-3	
7.3.2.2	Regelementinworp	7.3-4	
7.3.2.3	Hoofdstoom-minimumdrukregeling	7.3-4	
7.3.2.4	Hoofdstoom-maximumdrukregeling	7.3-4	
7.3.2.5	Toerentalbegrenzing van de turbogenerator	7.3-5	
7.3.3	Druk- en waterniveauregelingen	7.3-5	
7.3.3.1	Hoofdkoelmiddeldrukregeling	7.3-5	
7.3.3.2	Waterniveauregeling van de drukhouder	7.3-5	
7.3.3.3	Waterniveauregeling van de volumeregeltank	7.3-6	
7.3.3.4	Waterniveauregeling van de stoomgenerator	7.3-6	
7.3.4	Reactorvermogensbegrenzing bij het uitvallen van de Hoofdvoedingswatervoorziening		7.3-7
7.3.5	Reactorvermogensreductie tijdens bedrijfstransiënten bij een Hypothetische uitval van het systeem voor reactor- snelafschakeling(Atws)		7.3-7
7.3.6	Overige regelingen	7.3-8	
7.3.7	Redundantie van de schakelingen		7.3-9
7.4	Storingsmeldingssysteem	7.4-1	
7.5	Reactorbeveiligingssysteem (yz)	7.5-1	
7.5.1	Taak	7.5-1	
7.5.2	Samenstelling van het systeem	7.5-1	
7.5.2.1	Analoge verwerking	7.5-2	
7.5.2.2	Digitale verwerking	7.5-3	
7.5.2.3	Activeringsschakeling	7.5-4	
7.5.3	Activeringssignalen	7.5-5	
7.5.3.1	Afschakeling van de reactor en de turbine	7.5-5	
7.5.3.2	Activeren van veiligheidssystemen	7.5-8	
7.5.4	Reactorbeveiligingspaneel	7.5-12	
7.5.5	Beveiligingsacties bij karakteristieke ongevallen	7.5-12	
7.6	Regelzaal, reserve-regelzaal, lokale bedieningspanelen		7.6-1
7.6.1	Algemeen	7.6-1	
7.6.2	Regelzaal	7.6-1	
7.6.3	Reserve-regelzaal	7.6-2	
7.6.4	Lokale bedieningspanelen	7.6-3	

7.7	Informatiesystemen	7.7-1	
7.7.1	Proces presentatie systeem	7.7-1	
7.7.2	Dosimetriesysteem	7.7-2	
7.7.3	Toegangscontrolesysteem	7.7-3	
7.7.4	Chemie automatiseringssysteem	7.7-3	
7.7.5	Telefonisch oproep systeem	7.7-3	
8	ELEKTROTECHNISCHE INSTALLATIE		8.1-1
8.1	Aansluiting op het net	8.1-1	
8.2	Stroomvoorziening voor het eigenbedrijf		8.2-1
8.2.1	Algemeen	8.2-1	
8.2.2	6 kv-installaties	8.2-1	
8.2.3	Laagspanningsinstallaties	8.2-2	
8.2.4	Elektronische besturing	8.2-2	
8.2.5	Kabels	8.2-3	
8.2.6	Hoogspanningsmotoren	8.2-3	
8.2.7	Laagspanningsmotoren	8.2-4	
8.2.8	Transformatoren	8.2-4	
8.2.8.1	Machinetransformator (AT)	8.2-4	
8.2.8.2	Eigenbedrijfstransformator (BT)	8.2-4	
8.2.8.3	Starttransformatoren (BS)	8.2-5	
8.2.8.4	Laagspanningstransformatoren (CT)	8.2-5	
8.2.9.	Doorvoeringen door de veiligheidsomhulling	8.2-5	
8.3	Noodstroomvoorziening	8.3-	
8.3.1	Algemeen	8.3-1	
8.3.2	Dieselinstallaties	8.3-2	
8.3.3	Omvormers	8.3-3	
8.3.4	Accu's en gelijkrichters voor 220 en 24 v	8.3-3	
8.4	Verlichting en huisinstallatie	8.4-1	
8.4.1	Normaal net 380 v/220 v, 50 hz	8.4-1	
8.4.2	Noodverlichtingsinstallatie	8.4-1	
8.4.3	Vluchtwegverlichting	8.4-1	
8.5	Aarding en bliksembeveiliging	8.5-1	
9	BEDRIJFS- EN HULPSYSTEMEN		9.1-1
9.1	Het opslaan en hanteren van splijtstofelementen		9.1-1
9.1.1	Opslag van nieuwe splijtstofelementen		9.1-1
9.1.2	Opslag van gebruikte splijtstofelementen		9.1-2
9.1.3	Splijtstofopslagbassinkoelsysteem (TG)		9.1-3
9.1.4	Het hanteren van splijtstofelementen		9.1-4

9.2	Koelwatersystemen	9.2-1	
9.2.1	Hoofdcoolwatersysteem (VC)	9.2-1	
9.2.2	Nood- en nevencoolwatersysteem (VF)	9.2-4	
9.2.3	Nucleair tussencoolwatersysteem (TF)	9.2-7	
9.3	Procestechnische hulpsystemen	9.3-1	
9.3.1	Volumeregelsysteem (TA)	9.3-1	
9.3.2	Nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB)	9.3-5	
9.3.3	Hoofdcoolmiddelreinigings- en ontgassingssysteem (TC)	9.3-8	
9.3.4	Hoofdcoolmiddelopslag- en -regeneratiesysteem (TD)	9.3-11	
9.3.5	Water- en stoomverzorgingssysteem (TN)	9.3-14	
9.3.6	Persluchtsysteem (TP 5-8)	9.3-14	
9.3.7	Monsternamesysteem (tv)	9.3-15	
9.3.8	Installatieontwaterings- en ontluchtingssysteem (TV)	9.3-15	
9.3.9	Nucleair gebouwonwateringssysteem (TZ)	9.3-16	
9.3.10	Deminwateraanmaak- en suppletiesysteem (UA, RZ)	9.3-16	
9.4	Ventilatiesystemen	9.4-1	
9.4.1	Nucleair ventilatiesysteem (TL)	9.4-1	
9.4.2	Koelsysteem van het biologisch schild (TM)	9.4-3	
9.5	Overige hulpsystemen	9.5-1	
9.5.1	Brandblussysteem	9.5-1	
9.5.2	Telefoon- en alarminstallaties	9.5-2	
10	CONVENTIONEEL SYSTEEM	10.1-1	
10.1	Algemeen	10.1-1	
10.2	Hoofdstoomsysteem (RA)	10.2-1	
10.2.1	Functie	10.2-1	
10.2.2	Systeembeschrijving	10.2-2	
10.3	Turbogenerator (SA-SZ)	10.3-1	
10.3.1	Functie	10.3-1	
10.3.2	Systeembeschrijving	10.3-1	
10.4	Hoofdcondensaatsysteem (RM)	10.4-1	
10.4.1	Functie	10.4-1	
10.4.2	Systeembeschrijving	10.4-1	
10.5	Hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem (RL)	10.5-1	
10.5.1	Functie	10.5-1	
10.5.2	Systeembeschrijving	10.5-1	
10.6	Stoomgeneratorspuisysteem (RY)	10.6-1	

11	RADIOACTIEF AFVAL	11.1-1	
11.1	Bronnen van radioactief afval	11.1-1	
11.1.1	Inventaris van de reactorkern	11.1-1	
11.1.2	Activiteit van het hoofdkoelmiddel	11.1-5	
11.1.3	Activiteit in de lucht van de gebouwen	11.1-8	
11.2	Radioactief afvalwatersysteem (TR)	11.2-1	
11.2.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	11.2-1	
11.2.2	Systeembeschrijving	11.2-2	
11.2.3	Lozing van vloeibaar radioactief afval	11.2-3	
11.3	Behandeling van gasvormig radioactief afval (TS,TL)	11.3-1	
11.3.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	11.3-1	
11.3.2	Systeembeschrijving	11.3-2	
11.3.3	Lozing van gasvormig radioactief afval	11.3-4	
11.4	Radioactief vast afvalstelsel (tt)	11.4-1	
11.4.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	11.4-1	
11.4.2	Systeembeschrijving	11.4-1	
11.4.3	Afgifte van vast radioactief afval	11.4-2	
11.5	Vergelijking van de lozingen met de vergunningslimieten	11.5-1	
11.6	Activiteitsbewaking	11.6-1	
11.6.1	Bewaking van de activiteit in gebouwen en systemen	11.6-1	
11.6.2	Bewaking van de afgegeven activiteit	11.6-1	
11.7	Afvoer van gebruikte splijtstofelementen	11.7-1	
12	STRALINGSBESCHERMING	12.1-1	
12.1	AGEMEEN	12.1-1	
12.2	STRALINGSBRONNEN	12.2-1	
12.3	ONTWERPASPECTEN TEN AANZIEN VAN DE STRALINGSBESCHERMING		12.3-1
12.3.1	Ontwerpbasis	12.3-1	
12.3.2	Afscherming	12.3-1	
12.3.3	Ventilatie	12.3-3	
12.3.4	Instrumentatie ten behoeve van de stralingsbescherming		12.3-4
12.3.5	Zonering	12.3-4	
12.4	DOSIS VAN HET PERSONEEL	12.4-1	
12.5	DOSIS VAN OMWONENDEN	12.5-1	
12.5.1	Maximale individuele dosis	12.5-1	
12.5.2	Effecten	12.5-3	

13	NORMAAL BEDRIJF	13.1-2	
13.1	BESTUUR EN BEHEER	13.1-2	
13.1.1	Bedrijfsorganisatie	13.1-2	
13.1.1.1	Organisatie N.V.	13.1-2	
13.1.1.2	Organisatie van de stralingsbescherming		13.1-3
13.1.1.3	Organisatie van de milieuzorg		13.1-4
13.1.2	Opleidingen	13.1-4	
13.1.3	Bewaking en beveiliging		13.1-5
13.1.4	Alarmplan	13.1-5	
13.2	BEDRIJFSVOERING	13.2-1	
13.2.1	Geplande bedrijfswijzen	13.2-1	
13.2.2	Opstarten en inbedrijfname		13.2-2
13.2.3	Vermogensbedrijf	13.2-3	
13.2.4	Uitbedrijfname	13.2-4	
13.2.5	Afschakeling	13.2-6	
14	INBEDRIJFSTELLING	14.1-1	
14.1	Algemeen	14.1-1	
14.2	Inbedrijfstellingsprogramma		14.2-1
14.2.1	Kernladen	14.2-1	
14.2.2	Onderkritische toestand		14.2-1
14.2.3	Kritisch maken	14.2-2	
14.2.4	Beproevingen bij nullastniveau		14.2-3
14.2.5	Beproevingen bij deel- en vollastniveau		14.2-3
14.3	Proefbedrijf	14.3-1	
15	ONGEVALSANALYSES	15.1-1	
15.1	Inleiding	15.1-1	
15.1.1	Veronderstelde begingebourtenissen		15.1-1
15.1.2	Representatieve begingebourtenissen		15.1-4
15.2	Thermohydraulische analyses		15.2-1
15.2.1	Algemeen	15.2-1	
15.2.2	Ongevalsverloop		15.2-3
15.2.3	Onbedoeld openen van appendages (bijvoorbeeld omloopafsluiters, afblaasregelkleppen, veiligheidskleppen) (1.4)		15.2-4
15.2.4	Brek in de hoofdstoomleiding tussen de veiligheidsomhulling en de hoofdstoomafsluiters (1.5.4)		15.2-9
15.2.5	TUSA zonder opening van de turbine-omloopleiding (2.3.2)		15.2-17
15.2.6	Langdurige noodstroomsituatie (> 30 minuten) (2.5.2)		15.2-22
15.2.7	Uitval van de hoofdvoedingswaterpompen (2.6.1)		15.2-29
15.2.8	Blokkeren van een hoofdkoelmiddelpomp of brek van een hoofdkoelmiddelpompas (3.2)		15.2-34
15.2.9	Uitworp van het meest effectieve regelement (5.2)		15.2-41
15.2.10	Onbedoeld openen en weer sluiten van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (7.1.1)		15.2-46

15.2.11	Onbedoeld openen en open blijven van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (7.1.2)	15.2-51
15.2.12	Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (7.2.2)	15.2-55
15.2.13	Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding (7.2.3)	15.2-63
15.2.14	Bezwijken van stoomgeneratorpijpen (7.3.2)	15.2-68
15.2.15	Lekkage van hoofdstoomleidingen in geval van een aardbeving (9.1.1)	15.2-75
15.2.16	Overtoerental van een hoofdkoelmiddelpomp tijdens een lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (10.2)	15.2-81
15.2.17	Bedrijfstransiënten waarbij een hypothetisch uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (ATWS) (10.5)	15.2-84
15.3	Radiologische analyses	15.3-1
15.3.1	Definities	15.3-1
15.3.2	Algemeen	15.3-2
15.3.3	De rekencode COSYMA	15.3-5
15.3.4	Invoergegevens	15.3-6
15.3.5	Indeling van weerssituaties	15.3-16
15.3.6	Wijze van berekenen	15.3-17
15.3.7	Resultaten ten aanzien van lozingen	15.3-17
15.3.7.1	Bronterm behorende bij ontwerp ongeval 1.5.1: Langdurende uitval van de secundaire hoofdkoeling bij bedrijfslekkage van stoomgeneratorpijpen	15.3-17
15.3.7.2	Bronterm behorende bij ontwerp ongeval 7.2.2: Lekkage van het primair systeem	15.3-20
15.3.7.3	Bronterm behorende bij ontwerp ongeval 7.2.3: Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding	15.3-26
15.3.7.4	Bronterm behorende bij ontwerp ongeval 7.3.2.2: Bezwijken van stoomgeneratorpijpen met een noodstroomsituatie (kortstondig)	15.3-36
15.3.7.5	Bronterm behorende bij ontwerp ongeval 7.4.2: Lekkage van een meetleiding die hoofdkoelmiddel bevat buiten de veiligheidsomhulling	15.3-40
15.3.7.6	Bronterm behorende bij ontwerp ongeval 8.2: Lekkage van een leiding in het afgassysteem	15.3-44
15.3.7.7	Bronterm behorende bij ontwerp ongeval 8.4.1: Beschadigingen van splijststofelementen tijdens het hanteren	15.3-47

16	TECHNISCHE SPECIFICATIES		16.1-1
16.1	Algemeen	16.1-1	
16.2	Indeling van de technische specificaties		16.2-1
17	KWALITEITSBORGING		17.1-1
17.1	Inleiding	17.1-1	
17.1.1	Kwaliteit	17.1-1	
17.1.2	Kwaliteitsborging	17.1-2	
17.1.3	Kwaliteitsplan	17.1-2	
17.2	Kwaliteitsborging bij de bouw		17.2-1
17.2.1	Algemeen	17.2-1	
17.2.2	Ontwerp van de centrale	17.2-1	
17.2.3	Fabricage van de componenten		17.2-2
17.2.4	Bouw/montage en inbedrijfname		17.2-2
17.2.5	Bedrijfservaring	17.2-2	
17.3	Kwaliteitsborging bij grote wijzigingsprojecten		17.3-1
17.3.1	Algemeen	17.3-1	
17.3.2	Te onderscheiden activiteiten	17.3-2	
17.3.3	Documentatie verbonden met kwaliteitsborging		17.3-2
17.3.3.1	Projectspecifiek kwaliteitsplan EPZ	17.3-2	
17.3.3.2	Projectspecifiek kwaliteitsplan van de leverancier		17.3-3
17.3.3.3	Projectinstructies	17.3-4	
17.4	Kwaliteitsborging bij de exploitatie (inclusief kleine wijzigingen)		17.4-1
17.4.1	Algemeen	17.4-1	
17.4.2	Documentatie verbonden met kwaliteitsborging		17.4-2
17.4.2.1	Kwaliteitshandboek	17.4-2	
17.4.2.2	Hoofdprocessen	17.4-3	
17.4.2.3	Procedures	17.4-4	
17.4.2.4	Werkdocumenten	17.4-4	
17.4.3	Algemeen voorschriften systeem		17.4-6
18	MENS-MACHINE-RELATIE		18.1-1
18.1	Uitgangspunten voor het ontwerp		18.1-1
18.2	Organisatorische voorzieningen		18.2-1
18.3	Procedurele voorzieningen		18.3-1

18.4	Technische voorzieningen	18.4-1	
18.4.1	Regelzaal	18.4-1	
18.4.2	Reserve-regelzaal	18.4-2I	
18.4.3	Lokale bedieningspanelen	18.4-3	
19	ONTMANTELING		
20	MAATREGELEN TER BEPERKING VAN DE GEVOLGEN VAN (BUITEN)ONTWERPONGEVALLLEN		20.1-1
20.1	Inleiding	20.1-1	
20.2	Concept van de maatregelen bij (buiten) ontwerpgevallen		20.2-1
20.3	Procedurele voorzieningen bij (buiten)ontwerpgevallen		2-3-1
20.4	Technische voorzieningen bij buiten ontwerpgevallen		20.4-1
20.4.1	Bleed & feed	20.4-1	
20.4.2	Beheersing van de waterstofconcentratie binnen de veiligheidsomhulling		20.4-3
20.4.3	Ongevals-monsternamesysteem		20.4-4
20.4.4	Drukontlasting van de veiligheidsomhulling		20.4-5
20.4.5	Elektriciteitsvoorziening tijdens een "Station Blackout"		20.4-7
20.4.6	Luchtvoorziening van de regelzaal		20.4-9
20.4.7	Vergroten van de beschikbare water- en dieselvoorraad in het reservesuppletiegebouw (33)		20.4.10
20.4.8	Additionele watertoevoer naar de stoomgeneratoren		20.4.11
20.4.9	Detectoren en ontstekers ten behoeve van de bescherming tegen explosieve gaswolken		20.4.12
21	NIET-NUCLEAIRE MILIEUASPECTEN		21.1-1
21.1	Inleiding	21.1-1	
21.2	Het bedrijfsinterne milieuzorgsysteem		21.2-1
21.3	De bescherming van mensen, dieren, planten en goederen		21.3-1
21.3.1	Luchtverontreiniging		21.3-2
21.3.2	Brand- en/of explosiegevaar		21.3-2
21.3.3	Bodem- en/of grondwaterverontreiniging		21.3-3
21.3.4	Grondwateronttrekking		21.3-4
21.3.5	Oppervlaktewaterverontreiniging		21.3-5
21.3.6	Geluidhinder		21.3-5
21.3.7	Visuele aantasting		21.3-6
21.3.8	Overige hinder		21.3-6

1	INLEIDING EN SAMENVATTENDE BESCHRIJVING VAN DE INSTALLATIE		1.1-1
1.1	Inleiding	1.1-1	
1.2	Samenvattende beschrijving van de installatie (tabel 1.2/1; figuur 1.2/1 tot en met 4)		1.2-1
1.3	Bedrijfservaringen	1.3-1	
1.3.1	Agemene bedrijfskenmerken		1.3-1
1.3.2	Afschakelingen	1.3-1	
1.3.3	Overige storingen	1.3-3	
1.4	Veiligheidsconcept (figuur 1.4/1 tot en met 3)		1.4-1
1.4.1	Doelstellingen van de bescherming		1.4-1
1.4.2	Veiligheidsprincipes en -maatregelen (figuur 1.4/1)		1.4-2
1.4.3	Veiligheidsvoorzieningen (figuur 1.4/2 en 3)		1.4-4
1.4.3.1	Inherent veilige eigenschappen		1.4-4
1.4.3.2	Passieve veiligheidsvoorzieningen (barrièreconcept)		1.4-4
1.4.3.3	Actieve veiligheidsvoorzieningen		1.4-5
1.4.3.4	Veiligheidstechnische ontwerpprincipes		1.4-6
1.5	Nucleaire regelgeving in Nederland (figuur 1.5/1)		1.5-1
1.6	Begrippen, afkortingen, codering, eenheden en symbolen		1.6-1
1.6.1	Begrippen	1.6-1	
1.6.2	Afkortingen	1.6-3	
1.6.3	Systeemcodering	1.6-6	
1.6.4	Eenheden	1.6-9	
1.6.5	Symbolen	1.6-10	

K O P I E

1 INLEIDING EN SAMENVATTENDE BESCHRIJVING VAN DE INSTALLATIE

In de eerste paragraaf van dit hoofdstuk wordt een beknopte inleiding in de inhoud van het totale veiligheidsrapport gegeven. Na een samenvattende beschrijving van de installatie (paragraaf 1.2) en de bedrijfservaringen (paragraaf 1.3), wordt in paragraaf 1.4 het veiligheidsconcept geschetst. Voorts wordt de aan het ontwerp ten grondslag liggende regelgeving (paragraaf 1.5) behandeld en wordt een overzicht gegeven van de in het veiligheidsrapport gebruikte symbolen, definities en afkortingen (paragraaf 1.6).

1.1 Inleiding

Het voorliggende "Veiligheidsrapport kernenergie-eenheid centrale Borssele 1993" bevat een geactualiseerde beschrijving van de installatie alsmede een beschrijving van de genomen maatregelen ter bescherming van mensen, dieren, planten en goederen. Hierin zijn zowel maatregelen ter voorkoming van gevaar, schade of hinder tijdens normaal bedrijf begrepen, alsook beschermende maatregelen tegen gevaren die voortvloeien uit redelijkerwijs mogelijk te achten ongevallen die een besmetting van de omgeving tot gevolg zouden kunnen hebben.

De directe aanleiding voor het opstellen van dit rapport is het voornemen, om de veiligheid van de in het "Sicherheitsbericht KCB juni 1972" beschreven bestaande installatie door verscheidene aanpassingen te verhogen. De omvang van het pakket veranderingen is in overleg met het bevoegd gezag op basis van de uitgevoerde veiligheidsevaluatie van de installatie, waarbij getoetst is aan de meest recente veiligheidstechnische inzichten, tot stand gekomen.

Dit rapport is een basisdocument voor de verlening van een vergunning voor het wijzigen van de kernenergiecentrale. Alhoewel volstaan zou kunnen worden met een wijziging van het "Sicherheitsbericht KCB juni 1972" beschrijft het voorliggende veiligheidsrapport, gezien de noodzaak tot actualisering van het oude veiligheidsrapport, de gehele installatie. Daar waar de wijzigingen van de installatie een directe invloed hebben op de tekst of de figuren is dit aangegeven met behulp van een streep in de kantlijn of door middel van arcering.

Verder beoogt dit rapport een breed publiek de mogelijkheid te bieden zich inzicht te verschaffen in de werking en veiligheid van de installatie.

In het veiligheidsrapport worden de functionele eisen en de grenswaarden ten aanzien van de veiligheid gegeven alsmede de hoofdkenmerken van de uitvoering. Tevens worden zowel getalswaarden van resultaten van ontwerpberekeningen en analyses als veelal indicatieve getalswaarden van fysische grootheden, capaciteiten, afmetingen, enz. gepresenteerd. De genoemde functionele eisen, marges ten opzichte van de veiligheidsgrenzen en hoofdkenmerken van de uitvoering mogen niet zonder meer gewijzigd worden door wijzigingen in de installatie.

Door ontwikkelingen in de stand van de techniek en op basis van ervaringen kunnen aanpassingen in analyses, bepaalde getalswaarden en de installatie plaatsvinden, zolang zulke veranderingen naar het inzicht van het toezichthoudende gezag de in het veiligheidsrapport omschreven functionele eisen en de marges ten opzichte van de veiligheidsgrenzen niet op een negatieve wijze beïnvloeden.

Het veiligheidsrapport bestaat uit 21 hoofdstukken en behandelt alle essentiële aspecten die voor een veiligheidstechnische beoordeling van de installatie nodig zijn. De hoofdstukindeling is conform een internationaal gangbare standaard. Allereerst worden het veiligheidsconcept en de daaraan ten grondslag liggende regelgeving beschreven (hoofdstuk 1). Vervolgens worden de locatie (hoofdstuk 2), het ontwerp van de installatie (hoofdstuk 3), de componenten en systemen die van belang zijn voor de veiligheid en de bedrijfsvoering van de installatie en de elektrische en besturingssystemen beschreven (hoofdstukken 4 tot en met 10).

De aspecten met betrekking tot de stralingsbelasting van mens en milieu bij normaal bedrijf worden in het hoofdstuk over de behandeling van radioactief afval en in het hoofdstuk over de stralingsbescherming behandeld (hoofdstukken 11 en 12). Er wordt aangetoond, dat de dosiswaarden voor personen in en buiten de installatie ruim onder de toegestane waarden blijven.

De normale bedrijfsvoering en de inbedrijfstelling van de installatie worden beschreven in de volgende twee hoofdstukken (hoofdstukken 13 en 14).

In het hoofdstuk over ongevalsanalyses (hoofdstuk 15) wordt uitgaande van een uitgebreid ongevallenspectrum aangetoond, dat er met de gewijzigde installatie voldoende voorzorgsmaatregelen getroffen zijn. Uit de analyses blijkt dat deze ongevallen beheerst worden zonder de uit het Nederlandse risicobeleid afgeleide dosiscriteria voor ontwerpgevallen te overschrijden.

In aansluiting op het hoofdstuk over ongevallen worden de technische specificaties, de kwaliteitsborging, de "mens-machine relatie" alsmede de ontmanteling beschreven (hoofdstukken 16 tot en met 19). Vervolgens worden er maatregelen beschreven die bedoeld zijn om de gevolgen van zeer onwaarschijnlijk geachte ongevallen, die niet door het ontwerp beheerst worden, te verminderen (hoofdstuk 20). Het afsluitende hoofdstuk (21) bevat een beschrijving van niet-nucleaire milieu-aspecten.

1.1-2

K O P I E

1.2 Samenvattende beschrijving van de installatie (tabel 1.2/1; figuur 1.2/1 tot en met 4)

De kernenergiecentrale Borssele is een licht-water/drukwaterreactor met een thermisch vermogen van 1.370 MW en een netto elektrisch vermogen van globaal 450 MW. De reactor en belangrijke delen van de reactorinstallatie zijn in een stalen veiligheidsomhulling geplaatst. Deze stalen omhulling wordt omsloten door een tweede omhulling van gewapend beton.

De locatie van de kernenergiecentrale bevindt zich 1,4 km ten noordwesten van het dorp Borssele in de gemeente Borsele, achter de zeedijk langs de Westerschelde op het terrein van de N.V. EPZ. Op dit terrein bevindt zich naast de kernenergiecentrale onder andere een kolen-/gasgestookte centrale.

Tot de kernenergiecentrale behoren voornamelijk de volgende gebouwen (zie figuur 1.2/1), waarin alle voorzieningen zijn ondergebracht die nodig zijn voor het bedrijven van de installatie:

het reactorgebouw met veiligheidsomhulling en ringruimte (01/02)

- het reactorhulpgebouw (03)
- het reserve suppletiegebouw (33)
- het reserve regelzaalgebouw (35)
- de noodstroomdieselgebouwen I en II (10/72)
- het machinegebouw (04)
- het schakelgebouw met de centrale regelzaal (05)
- het afvalopslaggebouw (34)
- de koelwaterinlaat- en -uitlaatgebouwen met leidingen (21/22/23)

De complete drukwaterreactorinstallatie wordt gevormd door de reactor met het reactorkoelsysteem (primair systeem), het conventionele deel (secundair systeem, zie figuur 1.2/2) en de benodigde nucleaire hulp- en neveninstallaties (zie figuur 1.2/4).

De warmte die in de reactor kern in het reactorvat wordt opgewekt, wordt via de twee hoofdkoelmiddelkringlopen afgevoerd naar de stoomgeneratoren.

Als warmtetransportmedium fungeert gedemineraliseerd, ontgast en boorzuurhoudend water, dat door de hoofdkoelmiddelpompen in de kringlopen tussen reactorvat en stoomgeneratoren wordt rondgepompt.

De reactor kern bestaat uit een roosterconstructie van 121 splijststofelementen. Er zijn 28 regelementen gelijkmatig over de reactor kern verdeeld.

Tijdens het vermogensbedrijf bevinden de regelementen zich in het bovenste gedeelte van de reactor kern. Wanneer de stroomvoorziening van de regelementen uitvalt of wordt uitgeschakeld, vallen de regelementen door de werking van de zwaartekracht in de reactor kern en schakelt de reactor af.

Als splijtstof dient licht verrijkt uraniumdioxide of mengoxide in tabletvorm. De tabletten bevinden zich in zircaloy-hulzen, die aan de uiteinden met kappen zijn dichtgelast (splijtstofstaaf). De splijtstofstaven worden in bundels gegroepeerd en vormen samen met afstandhouders, regelementgeleidingsbuizen en twee doosvormige eindstukken (kop en voet) een splijtstofelement.

De reactorkern is ondergebracht in het reactorvat. Via twee inlaatstompen komt het koelmiddel in het reactorvat terecht, stroomt van onder naar boven door de reactorkern waar het door het ontwikkelde vermogen wordt opgewarmd en wordt door twee uitlaatstompen teruggevoerd in de hoofdkoelmiddelkringlopen.

Elk van de twee hoofdkoelmiddelkringlopen van het reactorkoelsysteem bestaat uit een stoomgenerator, een circulatiepomp en de verbindende pijpleidingen. Het drukkoudsysteem is op één van de twee hoofdkoelmiddelkringlopen aangesloten en zorgt ervoor, dat de optredende druk- en volumevariaties van het hoofdkoelmiddel gecompenseerd worden.

De stoomgeneratoren verzorgen de warmte-overdracht van de gesloten hoofdkoelmiddelkringlopen (primair systeem) naar het conventionele deel van de installatie (secundair systeem).

Met behulp van de hoofdvoedingswaterpompen in het secundaire systeem wordt het voedingswater aan de stoomgeneratoren toegevoerd, alwaar het aan de kook wordt gebracht en verdampt.

De verzadigde stoom van de stoomgeneratoren expandeert in een condensatie-turbine waardoor mechanische energie ontstaat. De turbine drijft een draaistroomgenerator aan waarin de mechanische energie omgezet wordt in elektrische energie.

De uitlaatstoom van de turbine condenseert in drie condensors, die met water uit de Westerschelde worden gekoeld. De condensors zijn bovendien zodanig ontworpen dat in geval van afschakeling van de turbogeneratorgroep bij vol vermogen, de totale hoeveelheid warmte die door de reactor geproduceerd wordt afgevoerd kan worden. Vanaf de condensors wordt het condensaat door middel van de hoofdcondensaatpompen aan de voedingswatertank toegevoerd. Vervolgens voeren de hoofdvoedingswaterpompen het voedingswater weer terug naar de stoomgeneratoren.

Tijdens vermogensbedrijf van de installatie voedt de generator via de nettransformator (AT) het 150 kV-net (zie figuur 1.2/3).

De stroomvoorziening voor het eigenbedrijf van de installatie vindt plaats door middel van de 6 kV-eigenbedrijftransformator (BT), via twee gescheiden voedingsstrangen (BA/BB respectievelijk BU/BV). Afhankelijk van de veiligheidstechnische betekenis van de aangesloten verbruikers zijn deze opgesplitst over beide strangen en dienovereenkomstig van extra voedingsmogelijkheden voorzien.

1.2-2

K O P I E

Hierbij wordt, wanneer de generator niet in bedrijf is, in eerste instantie uitgegaan van voeding door het 150 kV-net, ofwel van voeding onafhankelijk van dit net door toevoer van energie vanuit de nabijgelegen kolen-/gasgestookte centrale (CCB). Wanneer externe voedingen niet beschikbaar zijn, worden alle verbruikers die voor het veilig uit bedrijf nemen van de installatie nodig zijn, strangsgewijs via het noodstroomnet 1 door noodstroomdieselaggregaten gevoed. Indien één van beide strangsgewijs gekoppelde noodstroomdieselaggregaten (EY010, EY020) uitvalt, staat een alternatief in te schakelen reserve noodstroomdieselaggregaat (EY030) ter beschikking. Onafhankelijk van deze voorziening bestaat er nog een noodstroomnet 2, dat via een extern 10 kV-net, of strangsgewijs door twee eigen noodstroomdieselaggregaten wordt gevoed.

Voor het bedrijven van de reactor en het reactorkoelsysteem zijn verschillende processystemen nodig, onder andere ten behoeve van:

- het gebruik en de behandeling van het hoofdkoelmiddel (debietregeling, opslag, reiniging, toevoeging van en controle op additieven etc.)
- de afvoer van de restwarmte uit het reactorkoelsysteem en uit het splijtstofopslagbassin
- de afschakelbeveiliging van de reactor door middel van het systeem voor snelle afschakeling en het systeem voor extra toediening van borium
- het gecontroleerd afvoeren van ventilatielucht uit het gecontroleerd gebied.

Een schematisch overzicht alsook de samenhang tussen de belangrijke systemen wordt in figuur 1.2/4 weergegeven.

1.2-3

K O P I E

Tabel 1.2/1 Karakteristieke nominale gegevens van de kernenergiecentrale

Netto elektrisch vermogen	450	MW
Vermogen aan de generatorklemmen	477	MW
Eigenbedrijf	27	MW
Aan de secundaire kringloop overgedragen thermisch vermogen	1370	MW
Netto rendement	32,9	%
Thermisch vermogen van de reactor	1365,6	MW
Systeemdruk in het reactorkoelsysteem (absoluut)	155	bar
Aantal hoofdkoelmiddelkringlopen	2	
Aantal splijtstofelementen	121	

1.2-4

K O P I E

Figuur 1.2/1 Belangrijke gebouwen, - overzichtschema-

1.2-5

K O P I E

Primair systeem	Secundair systeem
1 Reactorvat	5a Hoge druk turbine
2 Stoomgenerator	5b Lage druk turbine (3x)
3 Hoofdcoelmiddelpomp	6 Generator
4 Drukhouder	7 Condensor (3x)
	8 Hoofdcondensaatpomp (3x)
	9 Voedingswatertank
	10 Hoofdvoedingswaterpomp (3x)
	11 Hoofdcoelwaterpomp (3x)

Figuur 1.2/2 Gehele installatie, - overzichtschema -

1.2-6

K O P I E

Figuur 1.2/3 Elektrotechnische installatie, - overzichtschema -

1.2-7

K O P I E

- 1 Reactor
- 2 Spijtstofopslagbassing
- 3 Hoofdkoelmiddelpomp
- 4 Stoomgenerator
- 5 Drukhouder
- 6 Regelelementen
ontgassing

Figuur 1.2/4 Nucleaire bedrijfssystemen, - overzichtsschema

1.3 Bedrijfservaringen

1.3.1 Agemene bedrijfskenmerken

De kernenergiecentrale Borssele (KCB) levert sinds medio 1973 elektriciteit aan het net. Gedurende de bedrijfstijd is een grote hoeveelheid ervaring opgedaan in het veilig en economisch bedrijven van de centrale. Vanaf de inbedrijfstelling worden de bedrijfservaringen vastgelegd en geëvalueerd en de (achterliggende) oorzaken opgespoord. Deze bedrijfservaringen hebben ertoe geleid dat de bedrijfsvoering geoptimaliseerd is ten aanzien van de veiligheid. Hierbij is tevens gebruik gemaakt van bedrijfservaringen van andere kernenergiecentrales.

Tot aan 31 december 1991 heeft de KCB als basislasteenheid netto aan elektrische energie 56.560 GWh geproduceerd. Dit komt gemiddeld neer op ruim 3000 GWh per jaar. Het gemiddelde percentage dat de centrale in bedrijf was bedroeg ruim 78 %. Dit percentage wordt voornamelijk bepaald door het uit bedrijf zijn van de centrale tijdens de reguliere splijtstofwisselperiodes. De genoemde bedrijfstijd ligt boven het internationaal gemiddelde.

1.3.2 Afschakelingen

De centrale is een aantal keren ongepland uit bedrijf genomen. Dit is gebeurd op handmatige wijze en/of automatisch door het beveiligingssysteem. In tabel 1.3/1 zijn voor de afgelopen 10 jaar (periode 1982 t/m 1991) de ongeplande reactorsnelafschakelingen (RESA), turbinesnelafschakelingen (TUSA), hoofdkoelmiddelpompafschakelingen (PUMA) en handmatige afschakelingen (HAND) met de opgetreden aantallen gegeven.

Tabel 1.3/1 Ongeplande uitbedrijfnames en afschakelingen

Jaar	RESA	TUSA	PUMA	HAND
1982	2	-	2	-
1983	1	2	1	5
1984	-	2	1	7
1985	-	-	-	2
1986	1	1	2	1
1987	2	2	3	2
1988	-	-	1	-
1989	2	1	-	2
1990	-	-	-	-
1991	1	1	-	2
TOTAAL	9	9	10	21

1.3-1

K O P I E

RESA (reactorsnelafschakeling)

In de periode 1982 tot en met 1991 zijn negen RESA's opgetreden. Drie van deze RESA's traden op bij vollastbedrijf, vijf bij deellastbedrijf en één tijdens het afregelen van de installatie.

Van de drie RESA's bij vollastbedrijf werden er twee veroorzaakt door onderhoudswerkzaamheden: in 1982 tijdens het zoeken naar een afwijking in de regelementbesturing en in 1989 tijdens het verwisselen van een aanwijsinstrument in het reserve suppletiesysteem. De derde RESA was het gevolg van een kortsluiting bij de machinetransformatoren. Van de vijf RESA's tijdens deellastbedrijf was er in vier gevallen sprake van verkeerde bedieningsacties. Het vijfde geval werd veroorzaakt door een fout bij de breukkleppen van het hoofdstoomsysteem. Deze fout is later opgeheven. In 1991 trad de RESA tijdens het afregelen van de installatie op als gevolg van het niet goed functioneren van de koelmiddeltemperatuurregeling, waardoor de primaire druk te ver daalde.

PUMA (afschakeling hoofdkoelmiddelpomp)

In de periode 1982 tot en met 1991 zijn 10 PUMA's opgetreden. Bij de uitval van een hoofdkoelmiddelpomp (PUMA) overheersten de "technische" storingen als directe oorzaak. Zeven van de tien afschakelingen werden veroorzaakt door defecten aan de (pomp)beveiligingscircuits. In één geval was er sprake van onderhoudswerkzaamheden en in een ander geval waren er twee smeeroliepompen in bedrijf, hetgeen een te hoog smeerolie-debiet opleverde. De resterende afschakeling was een gevolg van variaties in het sperwaterdebiet als gevolg van een storing in het volumeregelsysteem.

TUSA (turbinesnelafschakeling)

In de periode 1982 tot en met 1991 zijn negen TUSA's opgetreden. Drie ervan hadden technisch falen als directe oorzaak. Tweemaal werd TUSA veroorzaakt door een onjuiste handeling tijdens het beproeven van de overtoerenbeveiliging van de stoomturbine (1983 en 1987). In 1984 werd de turbine eenmaal uitgeklonken als gevolg van onderhoudswerkzaamheden en eenmaal als gevolg van een storing aan de breukbeveiliging. Verder ontstond TUSA in 1987 bij het vullen van een stoomgenerator en in 1991 bij het op toeren brengen van de turbine.

HAND-afschakeling

Bij de handmatige ongeplande uitbedrijfnames (21) overheersten de lekkages, zowel aan de primaire- als de secundaire systemen, als oorzaak. In 1983 en 1984 traden lekkages op aan de in 1982 nieuw geïnstalleerde titaniumcondensoren als gevolg van losgeraakte onderdelen. Na 1984 zijn geen lekkages meer opgetreden aan de condensoren. Tussen 1983 en 1988 moest de turbine een aantal malen uit bedrijf worden genomen wegens te hoge lagertrillingen of problemen met de turbineregeling.

In alle afschakelgevallen bleef de reactorinstallatie in veilige toestand en kon de eenheid na verhelpen van de storingsoorzaak weer normaal in bedrijf worden genomen. Van de opgetreden automatische afschakelingen (RESA, PUMA, TUSA) is ongeveer de helft gebleken het gevolg te zijn van menselijk handelen; de helft daarvan was toe te schrijven aan tekortkomingen bij de bedieningsorganen.

Naar aanleiding hiervan zijn bedieningspanelen alsmede werkinstructies verbeterd en is de terugkoppeling van de bedrijfservaringen naar het bedienend personeel versterkt. Voorts zijn de simulatortrainingen versterkt.

1.3.3 Overige storingen

Bij de inventarisatie van de bedrijfservaringen in de periode 1982 tot en met 1991 zijn de opgetreden afwijkingen en storingen op systeem- en componentniveau gerangschikt. De belangrijkste (dat wil zeggen veiligheidsrelevant), worden onderstaand kort behandeld.

Drukhouder en primair afblaassysteem

In 1981 is er een lekkage opgetreden aan het mangat van de drukhouder. Dit is in 1983 structureel opgelost. Aan de primaire veiligheidskleppen en afblaaskleppen met bijbehorende stuurleidingen en stuurkleppen hebben zich meerdere malen lekkages voorgedaan. In 1983 is een lekkage van een stuurleiding van een veiligheidsklep door de overheid internationaal gemeld via het Incident Reporting System.

Hoofdstoomsysteem

De warmteafvoer via het hoofdstoomsysteem heeft in het verleden een aantal malen niet adequaat gefunctioneerd. Problemen werden geconstateerd met betrekking tot de afblaaskleppen en de hoofdstoomveiligheden. Met name in 1981 en 1984 hebben zich storingen aan veiligheidskleppen voorgedaan. In 1986 zijn de veiligheidskleppen vervangen door 2 x 10 direct gestuurde veerbelaste veiligheidskleppen. Sindsdien zijn geen storingen meer voorgekomen aan deze kleppen. In 1991 trad een lekkage op in één van de pijpen van een stoomgenerator, waardoor primair water naar het secundair systeem lekte. Nog voordat de lekkage de daarvoor geldende grenswaarde bereikte werd de installatie afgeschakeld. De betreffende pijp is afgestopt en de oorzaak van de lekkage, namelijk het niet goed functioneren van de bevestiging van de pijpen, is weggenomen. De overige pijpen zijn gecontroleerd op zwakke plekken. De extra lozing als gevolg van de storing was minder dan een vijfduizendste deel van de toegestane jaarlimiet.

Hoofd- en noodvoedingswatersysteem

De stoomturbines van de noodvoedingswaterpompen hebben in het verleden de nodige aandacht gevraagd: tot 1982 gemiddeld 5 storingsmeldingen per jaar, de afgelopen jaren gemiddeld minder dan 1. In 1984 is in één van beide noodvoedingswaterleidingen een scheur ontstaan met als gevolg een lekkage van ongeveer 7 m³/h bij een druk van 60 bar; beide noodvoedingswaterleidingen zijn in 1985 vervangen.

Reserve suppletiesystemen

De bedrijfservaringen sinds de ingebruikname in 1985 zijn gunstig met uitzondering van de veiligheids- en overstortkleppen. Bij beproevingen zijn scheurtjes geconstateerd bij meetleidingen als gevolg van trillingen. In 1989 zijn deze problemen opgelost door de systemen van een aantal nieuwe kleppen te voorzien en door het aanbrengen van verbeteringen in de leidingloop. Andere gesignaleerde afwijkingen zijn en worden voorkomen door aanpassingen van procedurele aard.

Kerninundatie- en nakoelsysteem

In de periode 1982 tot en met 1991 hebben zich met name bij de terugslagkleppen en afsluiters een aantal malen kleine lekkages voorgedaan. Deze problemen zijn momenteel grotendeels verholpen door het aanbrengen van een ontlastmogelijkheid en het aanscherpen van de onderhoudsprocedures.

Nood- en nevenkoelwatersysteem

De opgetreden storingen werden veroorzaakt door het (kortstondig) uitvallen van de noodkoelwaterpompen in het koelwaterinlaatgebouw als gevolg een gemeenschappelijke oorzaak buiten het systeem zelf. In 1984 moesten door slibafzetting in het buitendijkse koelwatertoevoerkanaal de pompen uit bedrijf genomen worden bij extreem lage waterstand. Voorts is diverse malen uit bedrijf gegaan in verband met overmatig gras, wier- en kwallenaanbod. Tijdens een storm in 1990 bij hoge waterstand raakten de fijnbandfilters van het koelwaterinlaatgebouw verstopt met vuil en helmgras, waardoor ongefiltreerd water de inbedrijfszijnde installatie werd ingepompt. Inmiddels zijn maatregelen getroffen om de problemen met de koelwaterinlaat te voorkomen, of om in ieder geval tijdig uit bedrijf te kunnen gaan. In 1987 vielen de pompen kortstondig uit tijdens een noodstroomsituatie (als gevolg van een defect in de machinetransformator), doordat een meetleiding vervuild was. Alle genoemde storingen waren van zodanig korte duur, dat de koeling niet in gevaar kwam of de noodkoelwatervoorziening werd overgenomen door een reserve systeem.

Nucleair afgassysteem

In 1986 heeft zich een storing in het systeem voor de luchtbehandeling voorgedaan. De reactor was op dat moment in verband met splijtstofwisseling niet in bedrijf. Doordat een omloopklep in het systeem niet opende vond drukopbouw in het lage druk deel van dit systeem plaats. Hierdoor kwam dit systeem op hogere druk dan het nucleair ventilatiesysteem en vond een extra lozing plaats. De omloopklep bleek bij plaatselijke bediening wel goed te functioneren. De gesignaleerde extra lozing was ruim onder de vergunde daglimiet.

Noodstroomvoorziening

De hulp-, besturings- en beveiligingssystemen van de noodstroomdieselaggregaten hebben in het verleden diverse malen storingen te zien gegeven; in de periode 1982 tot en met 1991 moest gemiddeld 3 keer per jaar aan de toezichhoudende overheid een melding worden gedaan. De ingebruikname van de reserve suppletiesystemen met eigen noodstroomvoorziening in 1985 en verbetering van de verbindingen met de starttransformatoren van de CCB en met een externe spanningsvoorziening met voldoende betrouwbaarheid en capaciteit hebben belangrijke verbeteringen ten aanzien van de beschikbaarheid van de noodstroomvoorziening gebracht.

Elektrische installaties

In het verleden hebben zich problemen voorgedaan met de 150 kV-doorvoerisolatoren van de machinetransformator. Door vervanging van het type componenten dat de storing veroorzaakte, werden deze problemen opgelost.

1.4 Veiligheidsconcept (figuur 1.4/1 tot en met 3)

1.4.1 Doelstellingen van de bescherming

Aangezien er bij kernsplijting ioniserende straling vrijkomt en radioactieve stoffen worden gevormd, dienen er maatregelen getroffen te worden ter bescherming van omgeving en personeel. Het doel van deze bescherming is de hoeveelheid ioniserende straling op zo laag als redelijkerwijs mogelijke waarden te houden en de radioactieve stoffen veilig op te sluiten. In ieder geval zullen de geldende limietwaarden niet overschreden mogen worden.

De doelstelling van de bescherming dient niet alleen tijdens normaal bedrijf, maar ook in geval van storingen of ongevallen gehandhaafd te worden.

Bij normaal bedrijf wordt de centrale bedreven binnen gespecificeerde bedrijfslimieten en -condities, en omvat het uit bedrijf zijn, opstarten, vermogensbedrijf, afschakelen, onderhoud, testen en splijtstofwisselen. Onder een storing worden alle bedrijfstoestanden gerekend, die afwijken van normaal bedrijf en waarvan verwacht kan worden dat ze eens of enkele malen gedurende de bedrijfsperiode van de installatie op kunnen treden. Als gevolg van voorzieningen in het ontwerp veroorzaken deze toestanden geen wezenlijke schade aan veiligheidsrelevante onderdelen en leiden zij niet tot een ongeval. Met een ongeval worden afwijkingen van normaal bedrijf of storingen bedoeld waarbij de afgifte van radioactieve stoffen binnen acceptabele limieten blijft.

Een ontwerp ongeval is een ongeval waartegen de kernenergiecentrale is ontworpen, overeenkomstig bepaalde ontwerpcriteria. Een buiten-ontwerp ongeval is een ongeval dat verder gaat dan een ontwerp ongeval.

Om de bovengenoemde doelstelling ten aanzien van de bescherming te realiseren dienen drie daarvan afgeleide technische beschermingsdoelstellingen gewaarborgd te zijn:

- afschakelen van de reactor en handhaving van de ondercriticaliteit op lange termijn
- afvoer van de restwarmte
- beperking van de hoeveelheid vrijkomende radioactiviteit.

Om dit te bereiken wordt een getrappt veiligheidsconcept met meerdere veiligheidsniveaus toegepast. Dit concept bestaat uit een uitgebalanceerde combinatie van maatregelen ter voorkoming van storingen en ongevallen, die met voorrang getroffen dienen te worden, en uit maatregelen die specifiek dienen ter beheersing van ongevallen (ontwerp ongevallen). Aanvullende maatregelen bestaan zowel ter beheersing van ongevallen (ontwerp- en buiten-ontwerp ongevallen) als ter beperking van de gevolgen ervan, de zogenoemde accident-management (AM) maatregelen.

1.4-1

K O P I E

1.4.2 Veiligheidsprincipes en -maatregelen (figuur 1.4/1)

Het eerste veiligheidsprincipe: "voorkomen van storingen"

Op het niveau van het normaal bedrijf (veiligheidsniveau 1) wordt door de kwaliteit van ontwerp en fabricage alsmede door een zorgvuldige bedrijfsvoering gestreefd naar een goede beschikbaarheid. Uit het oogpunt van veiligheid is dit in zoverre van belang, dat hierdoor impliciet het optreden van storingen en ongevallen wordt vermeden.

In de praktijk is gebleken, dat het foutief functioneren van delen van de installatie of van systemen, waardoor storingen ontstaan, desondanks tijdens de levensduur van een installatie niet is uit te sluiten. Kenmerkend voorbeeld is het uitvallen van componenten, zoals het uitvallen van een pomp in het reactorkoelsysteem.

Het tweede veiligheidsprincipe: "detectie en opvang van ongevallen"

Om storingen te kunnen detecteren en op te vangen (veiligheidsniveau 2) worden de systemen dusdanig ontworpen, en worden er zodanige maatregelen op het gebied van de bedrijfsvoering en bedrijfsbewaking getroffen, dat dergelijke storingen zich niet kunnen ontwikkelen tot ongevallen. Na het elimineren van de storingsoorzaak is een verder bedrijf van de installatie zonder meer mogelijk.

Bij de voorvallen die onder de eerste twee veiligheidsniveaus thuishoren, worden de hiervoor geldende dosislimietwaarden niet overschreden. Onder deze veiligheids-niveaus vallen normaal bedrijf, storingen alsook onderhoudswerkzaamheden.

Het derde veiligheidsprincipe: "beheersing van ongevallen"

Op het derde veiligheidsniveau is de installatie zó ontworpen, dat ongevallen worden beheerst (ontwerpongevallen) en dat geen uitbreiding van het ongeval plaatsvindt, of dat geen gevolgschade die leidt tot andere ongevallen kan ontstaan. De ontwerp-ongevallen zijn dusdanig gedefinieerd, dat zij steeds qua ernst afdekkend zijn voor een groep min of meer vergelijkbare gebeurtenissen. Deze ontwerpongevallen worden met inachtneming van de hiervoor geldende dosis-criteria beheerst.

De voorzieningen die dienen om ongevallen te kunnen beheersen, bestaan deels uit passieve systemen. Hiermee worden voorzieningen bedoeld, die voor het vervullen van hun veiligheidsfunctie niet afhankelijk zijn van signaleringen of toevoer van energie, maar die louter door hun aanwezigheid hun werk doen. Daarnaast zijn er actieve veiligheidsvoorzieningen, bijvoorbeeld pompen, die door het reactor-beveiligingssysteem gecontroleerd en, indien noodzakelijk, geactiveerd worden.

Het vierde veiligheidsprincipe: "minimalisering van risico's"

In aanvulling op de maatregelen ter voorkoming en beheersing van ongevallen, zijn er op het vierde veiligheidsniveau met het oog op de minimalisering van risico's maatregelen genomen, die de gevolgen van gebeurtenissen beperken, die op grond van hun geringe waarschijnlijkheid geen ontwerpongevallen zijn. Bij deze gebeurtenissen wordt voldaan aan de risicocriteria zoals vastgelegd in het Nederlandse risicobeleid.

Tot deze categorie van gebeurtenissen worden gerekend:

- zeldzame invloeden van buitenaf, zoals bijvoorbeeld aardbevingen, het neerstorten van een vliegtuig, drukgolven door explosies.
De voorzorgsmaatregelen tegen zeldzame invloeden van buitenaf, bestaan in wezen uit bouwkundige veiligheidsvoorzieningen (bijvoorbeeld een ontwerp dat rekening houdt met een aardbeving, het neerstorten van een vliegtuig) en uit de activering van aanwezige reserve systemen.
- bedrijfstransiënten waarbij men het uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling (ATWS) aanneemt, of een brand in de installatie die verder reikt dan één brandzone.
- voorvallen binnen de installatie, die op grond van hypothetische systeemstoringen die de ontwerpcriteria overschrijden, zouden kunnen leiden tot het smelten van de kern.
Met betrekking tot de maatregelen voor deze noodsituaties onderscheidt men:
 - * preventieve noodmaatregelen, die op het voorkomen van het smelten van de kern zijn gericht
 - * mitigerende noodmaatregelen, die bedoeld zijn om de gevolgen van kernsmeltongevallen te verminderen.

Het gaat bij de aangebrachte voorzieningen en getroffen maatregelen om individuele maatregelen, die specifiek toegesneden zijn op de veronderstelde gebeurtenissen. Hierbij wordt de technische inspanning afgewogen tegen de te behalen veiligheidswinst.

1.4-3

K O P I E

1.4.3 Veiligheidsvoorzieningen (figuur 1.4/2 en 3)

1.4.3.1 Inherent veilige eigenschappen

Een reactor van het type als de kernenergiecentrale Borssele bezit inherent veilige eigenschappen daar het gedrag van de reactor zodanig is dat bij een (ongewenste) toename van het aantal kernsplijtingen deze door fysische processen die zich in de reactor afspelen geheel of gedeeltelijk wordt gecompenseerd.

Zo zal bij een temperatuurverhoging van het koelmiddel als gevolg van een (ongewenste) toename van het aantal kernsplijtingen, de dichtheid van het koelmiddel afnemen wat leidt tot een automatische vermindering van het aantal kernsplijtingen.

Bovendien zal een (ongewenste) toename van het aantal kernsplijtingen aanleiding geven tot een toename van de splijstoftemperatuur waardoor verlies van neutronen zal optreden als gevolg van niet tot kernsplijting aanleiding gevende absorpties in de splijstof.

Ook laatstgenoemde proces zal leiden tot een automatische vermindering van het aantal kernsplijtingen.

1.4.3.2 Passieve veiligheidsvoorzieningen (barrièreconcept)

Het veilig insluiten van de radioactiviteit die tijdens de kernsplijting ontstaat, wordt gerealiseerd met behulp van een systeem van meerdere, in hun werking achterelkaar geschakelde barrières (figuur 1.4/2).

De eerste barrière wordt door de splijstof zelf gevormd. De splijtingsproducten die bij de kernsplijting ontstaan, komen grotendeels op vrije plaatsen van het kristalrooster van de splijstof terecht en worden daar vastgehouden. De splijstof lost niet in water op en behoudt haar insluitende functie ook dan, wanneer zij door beschadiging van een splijstofstaaf met het hoofdkoelmiddel in aanraking zou komen.

Slechts een gering gedeelte van de gasvormige en vluchtige splijtingsproducten kan uit het kristalrooster ontsnappen. Om te zorgen dat dit gedeelte niet in het hoofdkoelmiddel terecht komt, wordt de splijstof in de vorm van tabletten in splijstofhulzen van zircaloy (een speciale legering op basis van zirkonium) aangebracht. Deze hulzen worden vervolgens gasdicht dichtgelast en vormen op deze wijze de tweede barrière.

De kern van de reactor bestaat uit circa 25.000 van zulke splijstofstaven. Ondanks een uiterst zorgvuldige fabricage en een nauwgezette beproeving, kunnen enkele splijstofstaven tijdens het bedrijf gaan lekken. Het ontwerp van de reactor laat echter toe dat het bedrijf desondanks veilig doorgang kan vinden. Met de koelmiddelreiniging en -ontgassing wordt namelijk de concentratie van radioactieve stoffen in het hoofdkoelmiddel op een laag niveau gehouden.

De "drukvoerende begrenzing" van het hoofdkoelmiddel voorkomt dat in het hoofdkoelmiddel aanwezige radioactieve stoffen naar de veiligheidsomhulling ontsnappen. Met drukvoerende begrenzing van het hoofdkoelmiddel bedoelt men het reactorvat, de hoofdkoelmiddelvoerende delen van de stoomgeneratoren, de drukhouder, de hoofdkoelmiddepompen en de verbindende pijpleidingen (primair systeem). Deze componenten moeten bestand zijn tegen de hoge druk van het hoofdkoelmiddel en vormen daardoor een derde barrière tegen het vrijkomen van radioactiviteit.

Opdat ook in geval van veronderstelde lekkages van het reactorkoelsysteem geen radioactiviteit ongecontroleerd in de omgeving terecht kan komen, wordt het complete reactorkoelsysteem gasdicht omsloten door een stalen bol, de veiligheidsomhulling. Als laatste barrière dient deze omhulling ook nog te functioneren, wanneer alle andere barrières zouden bezwijken. Dat wil dus zeggen, dat de veiligheidsomhulling is ontworpen voor een ongeval waarbij het grootst mogelijke verlies van hoofdkoelmiddel met uitdamping van het reactorkoelsysteem optreedt.

De veiligheidsomhulling wordt aanvullend door een omhulling van gewapend beton (secundaire afscherming) omsloten. Deze laatste omhulling zorgt voor de afscherming van de radioactieve stoffen en beschermt de reactor tegen invloeden van buitenaf. Met behulp van de ventilatievoorzieningen wordt in de verschillende ruimten binnenin het reactorgebouw een van buiten naar binnen toenemende onderdruk in stand gehouden. Daardoor kunnen slechts naar binnen gerichte lekkages optreden en kan er geen radioactiviteit ongecontroleerd in het milieu terechtkomen. De afgezogen lucht wordt door uiterst effectieve filtersystemen geleid, voordat zij naar de ventilatieschacht wordt gevoerd.

De integriteit van de barrières die de radioactiviteit dienen tegen te houden, wordt bewaakt door het constant meten van de radioactiviteit in de verschillende kringlopen en ruimten. De verschillende barrières worden bovendien periodiek op hun goede staat gecontroleerd.

Naast barrières voor het tegenhouden van radioactiviteit en ter bescherming tegen invloeden van buitenaf, bestaan er nog barrières om de directe straling, die voornamelijk van de reactorkern afkomstig is, af te schermen. Deze barrières zijn uitgevoerd als dikke betonwanden. Ook de stalen mantel van het reactorvat zelf vormt een effectief schild tegen straling. De tijdens normaal bedrijf naar buiten tredende directe straling is zó gering, dat zij buiten het reactorgebouw niet gemeten kan worden vanwege de aanwezige natuurlijke achtergrondstraling.

1.4.3.3 Actieve veiligheidsvoorzieningen

De doelmatigheid van de beschreven splijtingsproduct- en stralingsbarrières moet tijdens normaal bedrijf, in geval van storingen en ook bij ontwerpgevallen in zoverre gehandhaafd blijven, dat er geen ontoelaatbare radioactiviteit in het milieu terecht kan komen en dat er geen ontoelaatbare stralingsbelasting voor het milieu kan optreden.

Daarom zijn enerzijds de barrières voor de tijdens genoemde ongevallen optredende belastingen ontworpen en zijn er anderzijds actieve veiligheidsvoorzieningen (technische systemen) ter bescherming van de barrières aanwezig (zie figuur 1.4/3). Belangrijke voorbeelden zijn:

	Hoofdstuk
reactorsnelafschakelingsysteem (regelelementen)	4.6
appendages van het reactorkoelsysteem	5.2.6
afsluiting van de veiligheidsomhulling	6.1.2
afzuiging van de ringruimte	6.2
kerninundatie- en nakoelsysteem	6.3
primaire reserve suppletiesysteem	6.4
reserve koelketen	6.5
noodvoedingswatersysteem	6.6
secundaire reserve suppletiesysteem	6.7
hoofdstoomafblaasstation	6.8
reactorbeveiligingssysteem	7.5
noodstroomvoorzieningen	8.3
nood- en nevenkoelwatersysteem	9.2.2
nucleair tussenkoelwatersysteem	9.2.3.

Het vrijkomen van grotere hoeveelheden radioactiviteit is denkbaar in geval van beschadiging van de eerste twee barrières door oververhitting als gevolg van een ontoelaatbare stijging van het reactorvermogen of het wegvallen van de koeling (met name door verlies van koelmiddel).

Het ontwerp van de actieve veiligheidsvoorzieningen is daarom gebaseerd op de eis, dergelijke situaties te beheersen, dat wil zeggen om in de eerste plaats de reactor altijd veilig te kunnen afschakelen en de afvoer van de restwarmte te kunnen waarborgen.

Teneinde de vereiste grote betrouwbaarheid van de veiligheidsvoorzieningen te bereiken, worden bij het ontwerp van de systemen verschillende veiligheidstechnische ontwerpprincipes voor de beheersing van mogelijke fouten en storingen toegepast, hetzij alléén of in combinatie met elkaar, afhankelijk van de technische eisen.

1.4.3.4 Veiligheidstechnische ontwerpprincipes

1) Redundantie

Het enkelvoudig falen dat toevallig optreedt, bijvoorbeeld het toevallig niet functioneren van een pomp wanneer deze wordt aangesproken, wordt door toepassing van het redundantieprincipe opgevangen. Redundantie betekent meervoudige uitvoering, wat wil zeggen dat van belangrijke componenten en systemen er meer worden geïnstalleerd, dan voor het uitvoeren van een bepaalde veiligheidsfunctie minimaal nodig zijn. Een voorbeeld van de toepassing van het redundantieprincipe is het kerninundatie- en nakoelsysteem, dat geheel in twee gescheiden strangen is uitgevoerd en waarin bepaalde actieve componenten per strang tweevoudig aanwezig zijn. Het principe van de redundantie beveiligt zodoende tegen het toevallig optreden van enkelvoudig falen.

Met betrekking tot het ontwerp van de veiligheidssystemen wordt het veronderstellen van enkelvoudig falen geëist. Dit wil zeggen dat bij de te veronderstellen ontwerpgevallen in aansluiting daarop het enkelvoudig falen in de veiligheidssystemen moet worden verondersteld. De mogelijkheid van een dergelijke fout wordt fundamenteel bij actieve en in verregaande mate bij passieve veiligheidssystemen verondersteld.

Actief enkelvoudig falen wordt gedefinieerd als het uitvallen of onterecht starten van een component, die voor het uitoefenen van zijn specifieke functie een bepaalde actie dient uit te voeren.

Passief enkelvoudig falen wordt gedefinieerd als het uitvallen van een mediumhoudend deel. Het optreden van een dergelijk falen wordt op grond van de kwaliteitseisen die gehanteerd worden bij het ontwerp, de fabricage, inspectie en onderhoud van deze componenten echter pas in een later stadium van het ongevalsverloop verondersteld.

Enkelvoudig falen bij ontwerpgevallen

Voor ontwerpgevallen wordt enkelvoudig falen in de veiligheidssystemen verondersteld. Dit leidt voor de veiligheidssystemen tot een zogenaamd "(n + 1)-ontwerp" (n = aantal voor het uitoefenen van een functie noodzakelijke redundanties). Zo is bijvoorbeeld het kerninundatie- en nakoelsysteem in twee gescheiden strangen uitgevoerd. Elk van de twee strangen is op zich in staat de veiligheidstaken van het systeem volledig uit te voeren. Een verondersteld enkelvoudig falen in één strang wordt zodoende beheerst. Indien een veiligheidssysteem slechts enkelvoudig is uitgevoerd dan moet het ontwerpgeval ook door een ander veiligheidssysteem beheerst kunnen worden. In een dergelijk geval wordt gesproken van een diversitair veiligheidssysteem.

Enkelvoudig falen bij zeldzame voorvallen

Tot de zeldzame voorvallen worden gerekend invloeden van buitenaf (een aardbeving, het neerstorten van een vliegtuig, een drukgolf als gevolg van een explosie), alsmede invloeden van binnenuit met een geringe waarschijnlijkheid die meerdere systemen gelijktijdig beïnvloeden (bijvoorbeeld een systeemoverschrijdende brand) en andere invloeden van binnenuit met een geringe waarschijnlijkheid (bijvoorbeeld ATWS).

Bij dergelijke voorvallen is de eis tot beheersing van enkelvoudig falen alleen van toepassing op systemen en componenten die een functie vervullen bij het bereiken van een veilige toestand van de installatie op korte termijn. Het gaat hierbij om functies als snelle afschakeling van de reactor, afsluiting van de primaire kringloop, suppletie via het primaire reserve suppletiesysteem in geval van lekkage, afsluiting van het hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem in geval van leidingbreuk buiten de secundaire afscherming, voeding van de stoomgeneratoren via het secundaire reserve suppletiesysteem, afblazen van hoofdstoom.

1.4-7

K O P I E

Op systemen die pas na een langere termijn hoeven te worden ingeschakeld om een veilige toestand van de installatie te verzorgen, zoals bijvoorbeeld het splijststofopslagbassinkoelsysteem en de reserve koelketen, wordt enkelvoudig falen niet verondersteld. Eventuele reparaties of maatregelen ter vervanging zijn echter mogelijk, omdat daarvoor gelegenheid is gedurende deze langere termijn.

Enkelvoudig falen tijdens onderhoudswerkzaamheden

Door beperking van de tijdsduur van onderhouds- en reparatiewerkzaamheden hoeft het optreden van enkelvoudig falen tijdens deze werkzaamheden niet te worden verondersteld.

De veiligheidssystemen zijn in principe uitgevoerd als (n + 1)-systemen; bij actieve componenten is ten dele sprake van een hogere mate van redundantie. Zo is bijvoorbeeld het kerninundatie- en nakoelsysteem in twee strangen uitgevoerd. De pompen zijn echter per strang dubbel uitgevoerd, zodat de tijd voor reparaties aan deze actieve componenten ten opzichte van een zuiver (n + 1)-ontwerp langer kan zijn.

2 Diversiteit

Fouten die een gemeenschappelijke oorzaak hebben, zoals bijvoorbeeld ontwerp- of fabricagefouten, worden vermeden door toepassing van het diversiteitsprincipe. Diversiteit betekent verscheidenheid. Voor het vervullen van een bepaalde veiligheidsfunctie worden dus verschillende fysische werkingsmechanismen en/of constructies van apparaten toegepast, die niet allemaal tegelijk door dezelfde oorzaak hun werking kunnen verliezen of kunnen uitvallen. Volgens dit principe worden bijvoorbeeld de noodvoedingswaterpompen op verschillende manieren aangedreven (elektrische aandrijving, aandrijving door middel van stoom).

3 Ruimtelijke scheiding en bouwkundige bescherming

Ter beveiliging tegen storingen door oorzaken die buiten het systeem zelf liggen (overstroming, uitstroomkrachten, brand), zijn deelsystemen (strangen) die ten opzichte van elkaar redundant zijn, in verschillende ruimten ondergebracht of op afstand van elkaar geplaatst. Wanneer componenten of systemen die slechts enkelvoudig zijn uitgevoerd beveiligd dienen te worden, of wanneer redundante deelsystemen (strangen) niet over verschillende ruimten kunnen worden verdeeld, zijn passende bouwkundige veiligheidsvoorzieningen getroffen.

4 Fail-safe-principe

Een extra bescherming tegen alle tot nog toe behandelde oorzaken van storingen en tegen het uitvallen van de hulpenergie, bijvoorbeeld van de stroomvoorziening voor de veiligheidsvoorzieningen, biedt in bepaalde gevallen het fail-safe-principe. ("Fail-safe" betekent zoveel als "uitvallen in de veilige richting".) Veiligheidsvoorzieningen worden dus zodanig ontworpen dat storingen in deze voorzieningen zelf of het uitvallen van hun stroomvoorziening, onveranderlijk leiden tot acties die op de veiligheid zijn gericht. Men denke bijvoorbeeld aan het door de zwaartekracht in de reactorkern vallen van de regelementen wanneer de stroomvoorziening uitvalt.'

5 Geautomatiseerde ongevalsbeheersing

Bij het constateren van storingen en bij het in gang zetten van maatregelen om storingen en ongevallen te kunnen beheersen, vertrouwt men in geval van de noodzaak van een snelle ingreep niet enkel en alleen op de opmerkzaamheid en de juiste beslissingen van het bedieningspersoneel. De mogelijkheid dat er verkeerde beslissingen zouden worden genomen, met name gedurende de eerste minuten na het begin van een ongeval, zou veel te groot zijn. Daarom is het ontwerp van de installatie zodanig dat het voor de beheersing van een ontwerpongeval gedurende de eerste 30 minuten na het begin van dat ongeval niet noodzakelijk is, om handmatig in de bediening in te grijpen. Hierop wordt een uitzondering gemaakt in het geval van een eenvoudige, eenduidige handgreep. Hiervoor geldt een tijd van 10 minuten waarin geen actie nodig is. De door het reactorbeveiligingssysteem aangestuurde maatregelen om het ongeval te beheersen zijn volautomatisch en hebben prioriteit boven manuele bedieningshandelingen.

Voor die gevallen, dat de regelzaal door invloeden van buitenaf buiten werking is zijn de belangrijkste veiligheidsfuncties automatisch zonder tussenkomst van het bedieningspersoneel voor een autonome bedrijfsduur van 10 uur veiliggesteld.

Wanneer de regelzaal niet functioneert, staat er in een tegen externe invloeden beschermd gebouw een reserve regelzaal ter beschikking. In ditzelfde beschermde gebouw is ook het vitale deel van het reactorbeveiligingssysteem ondergebracht.

1.4-9

K O P I E

Figuur 1.4/1 Principes en maatregelen ten behoeve van de reactorveiligheid

1.4-10

K O P I E

- 1 Splijtstof
- 2 Splijtstofomhulling
- 3 Primair systeem
- 4 Veiligheidsomhulling
- 5 Secundaire afscherming

Figuur 1.4/2 activiteitsbarrières -overzichtsschema

1.4-11

K O P I E

- | | | | |
|----|------------------------------|----|--------------------------------------|
| 1 | Reactorvat YC | 21 | Vorraadbassin deminwater RS |
| 2 | Stoomgenerator YB | 22 | Circulatiepomp RS |
| 3 | Hoofdkoelmiddelpomp YD | 23 | Dieselkoelers RS |
| 4 | Regelelementen | 24 | Noodstroomdieselaggregaat (net 2) EY |
| 5 | Veiligheidscilinder | 25 | Primaire reservesuppletiepomp TW |
| 6 | Veiligheidsomhulling | 26 | Vorraadbassin geboreerd water TW |
| 7 | Secundaire afscherming | 27 | Hoofdstoomafblaasstation RA |
| 8 | Kerninundatiepomp (HD) TJ | 28 | Hoofdvoedingswaterpomp RL |
| 9 | Kerninundatievoorraadtank TJ | 29 | Voedingswatertank RL |
| 10 | Kerninundatiebuffertank TJ | 30 | Noodvoedingswaterpomp RL |
| 11 | Nakoelpomp (LD) TJ | 31 | Deionaatbekken RZ |
| 12 | Nakoeler TJ | 32 | Noodstroomdieselaggregaat (net 1) EY |
| 13 | Splijtstofopslagbassin (SOB) | 33 | Ringruimteafzuiging TL |
| 14 | SOB-koelpomp TG | 34 | Tussenkoelpomp TF |
| 15 | SOB-koeler TG020 | 35 | Tussenkoeler TF |
| 16 | Reserve SOB-koeler TG080 | 36 | Nood- en nevenkoelwaterpomp VF |
| 17 | Reserve nakoelpomp TE | | |
| 18 | Reserve nakoeler TE | | |

1.5 Nucleaire regelgeving in Nederland
(figuur 1.5/1)

Het in Nederland geldende regelstelsel met betrekking tot het ontwerp, de bouw en de bedrijfsvoering van nucleaire installaties is schematisch in beeld gebracht in figuur 1.5/1.

Figuur 1.5/1 Nucleaire regelgeving in Nederland

De Nucleaire Veiligheidsregels zijn geamendeerde IAEA-Codes, te weten:

- NVR-1.1: Safety Code for nuclear power plant design.
Adaption of IAEA Code Safety Series 50-C-D (revisie 1)
- NVR-1.2: Safety Code for nuclear power plant operation.
Adaption of IAEA Code Safety Series 50-C-O (revisie 1)
- NVR-1.3: Hoofdregeel kwaliteitsborging voor de veiligheid van kerncentrales.
Bewerking van IAEA Code Safety Series 50-C-QA (revisie 1).

Tot de Nucleaire Veiligheidsrichtlijnen behoren de IAEA-Safety Guides. Deze Safety Guides geven acceptabele methoden aan hoe aspecten uit de Codes kunnen worden geïmplementeerd. De Safety Guides worden voor de Nederlandse situatie bewerkt.

1.5-1

K O P I E

De Guides voor ontwerp zijn nog niet geamendeerd en worden daarom als voorlopige Nucleaire Veiligheidsrichtlijnen gehanteerd. Het betreft:

- 2.1.1 Safety function and components classification for BWR, PWR and PTR
- 2.1.2 Fire protection in nuclear power plants
- 2.1.3 Protection system and related features in nuclear power plants
- 2.1.4 Protection against internally generated missiles and their secondary effects in nuclear power plants
- 2.1.5 External man-induced events in relation to nuclear power plant design
- 2.1.6 Ultimate heat sink and directly associated heat transport systems for nuclear power plants
- 2.1.7 Emergency power systems at nuclear power plants
- 2.1.8 Safety-related instrumentation and control systems for nuclear power plants
- 2.1.9 Design aspects of radiation protection for nuclear power plants
- 2.1.10 Fuel handling and storage in nuclear power plants
- 2.1.11 General design safety principles for nuclear power plants
- 2.1.12 Design of the reactor containment systems in nuclear power plants
- 2.1.13 Reactor coolant and associated systems in nuclear power plants
- 2.1.14 Design for reactor core safety in nuclear power plants.

De geamendeerde Guides voor bedrijfsvoering en kwaliteitsborging zijn reeds gepubliceerd als Nucleaire Veiligheidsrichtlijnen, te weten:

- 2.2.1 Staffing of nuclear power plants and the recruitment, training and authorization of operating personnel
- 2.2.2 In-service inspection for nuclear power plants
- 2.2.3 Operational limits and conditions for nuclear power plants
- 2.2.4 Commissioning procedures for nuclear power plants
- 2.2.5 Radiation protection during operation of nuclear power plants
- 2.2.6 Preparedness of the organization (licensee) for emergencies at nuclear power plants
- 2.2.7 Maintenance of nuclear power plants
- 2.2.8 Surveillance of items important to safety in nuclear power plants
- 2.2.9 Management of nuclear power plants for safe operation
- 2.2.10 Core management and fuel handling for nuclear power plants
- 2.2.11 Operational management for radioactive effluent and wastes arising in nuclear power plants
- 2.3.1 Establishing of the quality assurance programme for a nuclear power plant project
- 2.3.2 Quality assurance records system for nuclear power plants
- 2.3.3 Quality assurance in the procurement of items and services for nuclear power plants
- 2.3.4 Quality assurance during site construction of nuclear power plants
- 2.3.5 Quality assurance during commissioning and operation of nuclear power plants

- 2.3.6 Quality assurance in the design of nuclear power plants
- 2.3.7 Quality assurance organization for nuclear power plants
- 2.3.8 Quality assurance in the manufacture of items for nuclear power plants
- 2.3.10 Quality assurance auditing for nuclear power plants
- 2.3.11 Quality assurance in the procurement, design and manufacture of nuclear fuel assemblies.

De "industriële normen" zijn met name de normen en voorschriften van het Nederlands Normalisatie Instituut of vergelijkbare buitenlandse instanties, dus NEN, DIN, BS, ASME etcetera. Ook contractafspraken worden tot deze categorie gerekend.

1.5-3

K O P I E

1.6 Begrippen, afkortingen, codering, eenheden en symbolen

1.6.1 Begrippen

Accident-management (AM)

Maatregelen die genomen worden om de installatie in een veilige toestand te brengen of ter beperking van de gevolgen in het geval van ongevallen (ontwerp- en buiten-ontwerpongevallen).

Activiteit

Aantal gedurende een bepaalde periode optredende kern-desintegraties van een radionuclide of een mengsel van radionucliden, gedeeld door de lengte van de bewuste periode.

Eenheid: Becquerel (Bq), 1 Bq = 1 desintegratie per seconde

Buiten-ontwerpongeval

Een buiten-ontwerpongeval is een ongeval dat verder gaat dan een ontwerpongeval.

Dosis

De hoeveelheid geabsorbeerde stralingsenergie per massa-eenheid

Eenheid: Gray (Gy)

Dosisequivalent

Product van de dosis en de kwaliteitsfactor (waarin de biologische werkzaamheid van de diverse typen straling is verdisconteerd).

Eenheid: Sievert (Sv)

Gecontroleerd gebied

Het gecontroleerd gebied wordt gevormd door het reactorgebouw en het reactor-hulpgebouw. De toegang hiertoe wordt bewaakt en de in het gecontroleerd gebied ontvangen stralingsdosis wordt gemeten en geregistreerd.

Halveringstijd

Tijdsbestek waarbinnen de helft van een bepaalde hoeveelheid van een radioactieve stof vervallen is. De halveringstijden van radioactieve stoffen verschillen zeer van elkaar.

Meet- en regeltechniek

Meet- en regeltechniek is het overkoepelende begrip voor de disciplines meten, sturen, regelen, beveiligen en bewaken (verwerking van procesgegevens).

Normaal bedrijf

Onder normaal bedrijf valt het bedrijf binnen gespecificeerde bedrijfslimieten en -condities, inclusief het uitbedrijf zijn, opstarten, vermogensbedrijf, afschakelen, onderhoud, testen en splijtstofwisselen.

Ongeval

Met een ongeval worden afwijkingen van normaal bedrijf of storingen bedoeld waarna het bedrijven van de installatie uit veiligheidstechnisch oogpunt niet zonder meer voortgezet kan worden maar waarbij de afgifte van radioactieve stoffen binnen acceptabele limieten blijft.

Ontwerpongeval

Een ontwerpongeval is een ongeval waartegen de kernenergiecentrale is ontworpen, overeenkomstig bepaalde ontwerpcriteria.

Reactiviteitsbeheersing met (verrijkt) borium

Fijnregeling van de reactiviteit vindt plaats door middel van de regeling van het gehalte aan B10 (effectieve neutronabsorber) in het hoofdkoelmiddel. Toevoeging van borium aan het hoofdkoelmiddel gebeurt in de vorm van boorzuur. Als basis hiervoor dient borium in de vorm van natuurlijk borium of als verrijkt borium. De laatste bevat een hoger percentage aan B10 (32% t.o.v 19,78% van natuurlijk borium). Verrijkt borium moet worden toegepast bij de inzet van MOX als splijtstof, kan worden gebruikt bij UO₂ als splijtstof.¹

Regeling

Met regeling wordt het proces bedoeld, waarbij de regelgrootte (werkelijke waarde) met de besturingsgrootte (gewenste waarde) wordt vergeleken en afhankelijk van regelafwijkingen dusdanig wordt beïnvloed, dat de regelgrootte aan de besturingsgrootte wordt aangepast (gesloten kringloop, regelkringloop).

Restwarmte

Warmte die door het verval (vervalwarmte) van radioactieve splijtingsproducten in de splijtstof na het afschakelen van de reactor ontstaat plus de warmte die in de splijtstofstaven is opgeslagen (opgeslagen warmte). De opgeslagen warmte speelt slechts zeer kort na het afschakelen van de reactor een grotere rol bij de restwarmte, daarna heeft de vervalwarmte de overhand. De vervalwarmte bedraagt gedurende de eerste seconden na het afschakelen nog 6 % van het vóór de afschakeling aanwezige vermogen en neemt vervolgens snel af.

Storing

Onder een storing worden alle bedrijfstoestanden gerekend, die afwijken van normaal bedrijf en waarvan verwacht kan worden dat ze eens of enkele malen gedurende de bedrijfsperiode van de installatie op kunnen treden. Als gevolg van voorzieningen in het ontwerp veroorzaken deze toestanden geen wezenlijke schade aan veiligheidsrelevante onderdelen en leiden zij niet tot een ongeval.

Transiënt

Een transiënt is een verstoring in de warmtehuishouding c.q. energiebalans van de installatie.

1.6-2

1

Essentieel is het B10 gehalte in het koelmiddel ten behoeve van de bedrijfsvoering en afschakelcondities; bij UO₂ toepassing wordt aan alle criteria op dit punt voldaan bij toepassing van zowel natuurlijk als verrijkt borium, voor MOX inzet is toepassing van verrijkt borium vereist.

K O P I E

Veiligheidsvoorzieningen

Veiligheidsvoorzieningen hebben tot taak, de installatie te beveiligen tegen ontoelaatbare belastingen, en bij voorkomende ongevallen de gevolgen daarvan voor het bedieningspersoneel, de installatie en de omgeving binnen vooraf gestelde grenzen te houden.

Verrijkt borium

Borium komt in de natuur voor als samenstel van twee (stabiele) isotopen B10 en B 11, in de verhouding van 19,78% tot 80,22%. Voor reactiviteitbeheersing is het isotoop B10 van belang. Om de effectiviteit van B, dat aan het hoofdkoelmiddel wordt toegevoegd te vergroten, kan het percentage B10 worden verhoogd. Er is dan sprake van verrijkt borium. Bij inzet van MOX splijtstofelementen wordt het percentage B10 verhoogd tot 32 %. Wanneer er sprake is van toepassing van verrijkt boor bij KCB wordt derhalve het borium bedoeld met een B10 percentage van 32%.

1.6.2 Afkortingen

ACC Alarm coördinatiecentrum

AD Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter

ALARA As Low As Reasonably Achievable
zo laag als redelijkerwijs mogelijk

AM Accident Management

AKS Algemein Kennzeichen System

AOG Afvalopslaggebouw

ASME American Society of Mechanical Engineers

AT Analoog gedeelte van de reactorbeveiliging

ATWS Anticipated Transients Without Scram
(bedrijfstransiënten bij een hypothetische uitval van het systeem voor snelle
afschakeling van de reactor)

AV Prioriteitsstelling

AVS Algemeen Voorschriften Systeem

BIM Bedrijfsintern milieuzorgsysteem

Bkse Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen

BOC Begin of Cycle (begin van de cyclus)

BS British Standard

CCB	Conventionele Centrale Borssele
c-ERU	Compensated Enriched Recycled Uranium
CHF	Critical heat flux (kritieke warmteflux)
CFK	Chloorfluorkoolwaterstof
COROP	Coördinatie Commissie Regionaal Onderzoeksprogramma
DAF	Drukdalingsgradiënt
D-Bank	Dopplerbank (regelementen)
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DN	Uitwendige pijpdiameter in mm
DNB	Departure from Nucleate Boiling (kritieke filmkookgrens)
ENU	Enriched Natural Uranium
EOC	End of Cycle (einde van de cyclus)
EPZ	Elektriciteits-Produktiemaatschappij Zuid-Nederland EPZ
ERU	Enriched Recycled Uranium
ERBVC	Externe reactorbedrijfsveiligheidscommissie
FRNC	Flame Retardant Non Corrosive (moeilijk ontbrandbaar, niet corrosief werkend kabelisolatiemateriaal)
HAND	Handmatige reactorafschakeling
HD	Hoge druk
HKM	Hoofdkoelmiddel
IAEA	Internationaal Atoom Energie Agentschap
ICRP	International Commission on Radiological Protection
IP	International Protection code
KCB	Kernenergiecentrale Borssele
KEW	Kernenergiewet
KFD	Kernfysische Dienst

1.6-4

K O P I E

KMV	Koelmiddelverlies
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
KTA	Kerntechnische Ausschuss
KWU	Siemens Energieerzeugung Kraftwerk Union
L-Bank	Vermogensbank (regelementen)
LD	Lage druk
LT	Logicagedeelte van de reactorbeveiliging
LZ	Locatie Zeeland
MOX	Mengoxide
NAP	Normaal Amsterdams Peil
NEN	Nederlandse Norm
NVR	Nucleaire veiligheidsregels
PCB	Polychloorbifenyyl
Pcm	Per cent mille (10-5)
PIE	Postulated Initiating Event gepostuleerde inleidende gebeurtenis
ppm	Part per million (10-6)
PUMA	Hoofdkoelmiddelpompuitval
RBVC	Reactorbedrijfsveiligheidscommissie
RCC-M	Regles de conception et de construction des matériaux mecaniques des ilots nucléaires PWR Regels voor ontwerp en constructie van mechanische onderdelen voor het nucleaire eiland van een drukwaterreactor
RELEB	Reactorvermogensbegrenzing Reactor Leistungs Begrenzung
RESA	Reactorsnelafschakeling
Sep	N.V. Samenwerkende elektriciteits-productiebedrijven
SG	Stoomgenerator 1.6-5

K O P I E

SOB Spleijstofopslagbassin

STEW Stabeinwurf; Reactorvermogensreductie door gecontroleerde inworp van regelementen

TUSA Turbinesnelafschakeling

VDE Verband der Deutsche Elektrotechniker

VROM Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer

1.6-6

K O P I E

1.6.3 Systeemcodering

De codering van de systemen en componenten van de kernenergiecentrale Borssele is gebaseerd op het AKS-coderingssysteem.

AT	Machinetransformator
BA, BB	6 kV-rails
BE	10 kV-hoofdrail KCB terrein
BF	10 kV-hoofdrail CCB terrein
BS	150 kV/6 kV-starttransformator
BT	21 kV/6 kV-eigenbedrijfstransformator
BU, BV	6 kV-noodstroomhoofdrails
CL, CM	380 V-noodstroomhoofdrails koelwaterinlaatgebouw
CU, CV	380 V-noodstroomhoofdrails
CW, CX	380 V-hoofdrails reserve suppletiegebouw (33) (CW voor redundantie 1 en CX voor redundantie 2)
CY, CZ	380 V-rails ononderbroken voeding reserve suppletiegebouw (CY voor redundantie 1 en CZ voor redundantie 2)
DA, DB,	
DC, DD	380 V-noodstroomrails
DH	380 V-rails luchtverwarming machinegebouw
DZ	Verlichting
EA, EB	220 V-gelijkspanningshoofdrails
EC	220 V-gelijkspanningshoofdrails (regelstaafbesturing)
EE	220 V-gelijkspanningsbatterijen voor EA, EB, EC
EF	220 V-gelijkrichters voor EA, EB, EC
EH, EJ	24 V-gelijkspanningshoofdrails
EK	24 V-gelijkspanningsbatterijen
EL	24 V-gelijkrichters
EN, EP	380 V-hoofdrails ononderbroken voeding
ER	Roterende omvormers rails EM, EN en EP
EY	Noodstroomdieselaggregaten
FA, FB	
FC, FD	24 V-gelijkspanningshoofdrail reserve suppletiegebouw (FA en FB voor redundantie 1, FC en FD voor redundantie 2)
FF	24 V-gelijkspanningsrail t.b.v. noodstroomdiesel EY040D001 reservesuppletiegebouw redundantie 1
FG	24 V-gelijkspanningsrail t.b.v. noodstroomdiesel EY050D001 reservesuppletiegebouw redundantie 2
FH, FJ	24 V-gelijkspanningsrails
FN, FP	380 V-rails ononderbroken voeding
MD	Omroep- en alarminstallatie
RA	Hoofdstoomsysteem
RL	Hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem
RM	Hoofdcondensaatsysteem
RQ	Hulpstoomsysteem
RS	Secundair reserve suppletiesysteem
RY	Stoomgeneratorspuisysteem
RZ	Deminwatersuppletiesysteem

1.6-7

K O P I E

SA-SZ	Turbogenerator
SF	Turbine-omloopsysteem
TA	Volumeregelsysteem
TB	Nucleair chemicaliëndoseersysteem
TC	Koelmiddelreinigings- en ontgassingssysteem
TD	Hoofdkoelmiddelopslag- en regeneratiesysteem
TE	Reserve nakoelsysteem
TF	Nucleair tussenkoelwatersysteem
TG	Splijtstofopslagbassinkoelsysteem
TJ	Kerninundatie- en nakoelsysteem
TL	Nucleair ventilatiesysteem
TM	Koelsysteem van het biologisch schild
TN 1-2	Deminwater verzorgingssysteem
TP 5-8	Persluchtsysteem
TR	Radioactief afvalwatersysteem
TS	Radioactief afgassysteem
TT	Radioactief vast afvalsysteem
TV	Nucleair monsternamesysteem
TW	Primair reserve suppletiesysteem
TY	Installatieontwaterings- en ontluchtingssysteem
TZ	Nucleair gebouwontwateringssysteem
UA	Deminwateraanmaaksysteem
UF	HD-brandblussysteem
UG	Brandblussysteem transformatoren
UJ	LD-brandblussysteem
UK	Bedrijfswatersysteem
UV	Koudwatersysteem
UX	CO2- en halonblusinstallatie
VC	Hoofdkoelwatersysteem
VE	Reserve noodkoelwatersysteem
VF	Nood- en nevenkoelwatersysteem
VG	Conventioneel tussenkoelwatersysteem
XA	Veiligheidsomhulling
XB	Materiaalsluis
XC	Personensluis
XD	Noodsluis
XE	Montage-openingen
XF	Leidingdoorvoeringen
XG	Kabeldoorvoeringen
XH	Gebouwuitrusting
XP	Waterstofbeheersingssysteem
XQ	Ruimtestralingsmeetsysteem
XR	Personenstralingsmeetsysteem
XS	Omgevingsstralingsmeetsysteem
YA	Hoofdkoelmiddelleidingen
YB	Stoomgeneratoren
YC	Reactorvat

1.6-8

K O P I E

YD Hoofdkoelmiddelpompen
YG Geluiddetectiesysteem
YH Binnenwerk reactorvat
YM Splijtstofelementen
YP Drukhoudsysteem
YQ Kerninstrumentatie
YS Regelelementen
YX Neutronenfluxdichtheidmeting buiten de kern
YZ Reactorbeveiligingssysteem

1.6-9

K O P I E

1.6.4 Eenheden

Aan- duiding	Benaming	Grootheid	Afleiding
A	Ampère	El. Stroomsterkte	Basiseenheid
a	Jaar	Tijd	In het energiebedrijf normaal jaar: 1 a = 365 d = 8760 h
bar	Bar	Druk*	1 bar = 105 N/m ²
Bq	Becquerel	Activiteit	1 Bq = 1/s
EC	Graad celcius	Temperatuur	

1.6.5 Symbolen

1.6-10

K O P I E

VR-KCB93

1.6-11

KOPIE

2	VESTIGINGSPLAATS	2.1-1
2.1	Beschrijving Vestigingsplaats En Bereikbaarheid	2.1-1
2.2	Geologische En Geoseismische Omstandigheden	2.2-1
2.2.1	Geologie	2.2-1
2.2.2	Seismologie	2.2-1
2.3	Hydrologische Omstandigheden	2.3-1
2.4	Meteorologie	2.4-1
2.5	Bodemgebruik En Industrie	2.5-1
2.6	Bevolking Rondom De Vestigingsplaats	2.6-1
2.7	Transportroutes	2.7-1

KOPIE

2 VESTIGINGSPLAATS

In dit hoofdstuk wordt de vestigingsplaats van de kernenergiecentrale Borssele met de belangrijkste omgevingskarakteristieken beschreven. Daarbij wordt ook ingegaan op mogelijke externe invloeden op de kernenergiecentrale als gevolg van die omgevingskarakteristieken, voor zover relevant voor de aan het ontwerp te stellen eisen.

De eerste paragraaf geeft de ligging en de bereikbaarheid weer. In de paragrafen 2 en 3 wordt ingegaan op de geologische en geoseismische opbouw respectievelijk de hydrologie van de vestigingsplaats. De meteorologische gegevens worden in paragraaf 4 gepresenteerd. Het bodemgebruik en de industrie in de omgeving zijn onderwerp van paragraaf 5, terwijl paragraaf 6 de bevolkingsgegevens rondom de locatie weergeeft. In paragraaf 7 tenslotte worden de belangrijkste transportroutes in beeld gebracht.

2.1 Beschrijving Vestigingsplaats En Bereikbaarheid (figuur 2.1/1, 2.1/2)

De kernenergiecentrale Borssele (KCB) ligt circa 1,4 km ten noordwesten van Borssele aan de Westerschelde. De steden Vlissingen, Middelburg, Goes en Terneuzen liggen op afstanden van respectievelijk circa 10, 10, 14 en 13 km (zie figuur 2.1/1).

Het centrale-terrein ligt direct achter de zeedijk van de Westerschelde en grenst aan de noordzijde aan het industriegebied Vlissingen-Oost. Het terrein behoort tot het grondgebied van de gemeente Borsele en is eigendom van de N.V. EPZ. Naast de kernenergiecentrale bevinden zich op de Locatie Zeeland van N.V. EPZ een kolen/gasgestookte eenheid met bijbehorend kolenpark en een tijdelijke opslag van kolenreststoffen (CCB).

De kernenergiecentrale is bereikbaar vanaf de autosnelweg Vlissingen - Bergen op Zoom (A58/E312) via de N254 afslag Middelburg danwel Heinkenszand naar de Europaweg-Zuid, de rondweg om het industrieterrein Vlissingen-Oost. Via de Wilhelminahofweg is het terrein van EPZ Locatie Zeeland rechtstreeks op deze Europaweg-Zuid aangesloten.

Het maaiveld van het centrale-terrein ligt op circa 3,0 m + NAP. De naastliggende zeedijk heeft een kruinhoogte van 9,6 m + NAP. Het diepste punt in de Westerschelde, de Honte, bevindt zich juist ter hoogte van de centrale. De zeebodem ligt hier op circa 60 m - NAP. In figuur 2.1/2 zijn deze hoogtes schematisch in beeld gebracht.

2.1-1

KOPIE

Figuur 2.1/1 "Ligging KCB (schaal 1 : 250.000)

2.1-2

KOPIE

Figuur 2.1/2 Vertikaal profiel

2.1-3

KOPIE

2.2 Geologische En Geoseismische Omstandigheden (Figuur 2.2/1 Tot En Met 2.2/9)

2.2.1 Geologie

Nederland ligt op een gedeelte van de aardkorst, dat in het algemeen aan daling onderhevig is geweest en ook nu nog daalt, een zogenaamd sedimentair bekken; meer specifiek maakt ons land deel uit van het Noordzeebekken. Reeds vanaf het Tertiair, circa 65 miljoen jaar geleden, tot in de huidige geologische periode, het Kwartair, zet de daling geleidelijk door. Als gevolg daarvan zijn de afzettingen in de bovenste lagen tot tientallen of zelfs honderden meters diep uit die perioden afkomstig.

In het jongste geologische tijdvak, het Holoceen, zijn in het westelijke deel van Nederland afzettingen ontstaan, die in de kuststreken enige tientallen meters dik kunnen zijn (zie figuur 2.2/1).

In Walcheren en Zuid-Beveland bestaan de min of meer aan de oppervlakte liggende afzettingen uit "jonge kleien en zanden" (zie figuur 2.2/2). Als gevolg van getijdebewegingen, die invloed hadden voordat indijkingen plaatsvonden, is er bovendien een relatief gering reliëf van 1 à 1,5 m ontstaan (zie figuur 2.2/3).

Uit recent grondonderzoek op het terrein van de kernenergiecentrale blijkt dat de ondergrond ter plaatse redelijk homogeen is. Een indicatie van bodemopbouw en draagkracht van de ondergrond is weergegeven in de figuren 2.2/4 en 2.2/5.

De locatie van de kernenergiecentrale ligt binnendijs. De stabiliteit van de ondergrond is gewaarborgd door de waterstaatkundige maatregelen van Rijkswaterstaat en de plaatselijke Waterschappen.

2.2.2 Seismologie

In Nederland worden door het KNMI sinds 1904 aardbevingen geregistreerd. Jaarlijks worden door de vier seismische stations (De Bilt, Witteveen, Winterswijk en Epen) ongeveer 1200 bevingen waargenomen waarvan de epicentra verspreid liggen over de hele wereld. Daarnaast beschikt men over kennis van de seismiciteit van Nederland uit historische gegevens.

Aardbevingen worden in het algemeen gekarakteriseerd door de "magnitude op de schaal van Richter" of de "intensiteit op de schaal van Mercalli". De magnitude volgens Richter geeft aan hoeveel energie er in het hypocentrum (de haard) van de aardbeving is vrijgekomen; de intensiteit volgens Mercalli geeft aan welke effecten de aardbeving heeft op mensen, voorwerpen, bouwwerken en het landschap.

2.2-1

KOPIE

Dientengevolge is het getal op de schaal van Richter een maat voor de sterkte van de beving, terwijl het getal op de schaal van Mercalli aangeeft wat de uitwerking van de beving is met inachtnaam van afstand tot het hypocentrum en gedrag van de ondergrond. Figuur 2.2/6 toont de intensiteitenschaal met de bijbehorende verschijnselen en de overeenkomende magnitudes voor het geval de plaats van waarneming en het epicentrum (de projectie van het hypocentrum op het aardoppervlak) van de beving samenvallen. De gebruikte MSK-schaal (Medvedev, Sponheuer, Karnik) heeft in principe dezelfde schaalindeling als de in figuur 2.2/6 aangegeven gemodificeerde Mercalli-schaal.

De epicentra van in Nederland opgetreden aardbevingen zijn door het KNMI in kaart gebracht voor de periode 217 tot 1900 (figuur 2.2/7) en 1900 tot 1990 (figuur 2.2/8). De aangegeven intensiteiten representeren de waargenomen effecten op het aardoppervlak direct boven het hypocentrum van de beving. De figuren laten duidelijk zien dat de vestigingsplaats van de kernenergiecentrale niet in een seismisch actief gebied ligt. De dichtstbijzijnde beving ten opzichte van de vestigingsplaats is in 1687 geregistreerd in de buurt van Goes; de intensiteit bedroeg III, dus het betrof een lichte beving. Uit de figuren blijkt, dat lichte aardbevingen met epicentra in Nederland regelmatig voorkomen; de magnitude komt echter zelden boven 4.

Een recente beving, die van Roermond op 13 april 1992, had een voor Nederlandse begrippen hoge magnitude, namelijk 5,5 op de schaal van Richter. De intensiteit ter plaatse bedroeg VII, en blijkens opgave van het KNMI bedroeg de versnelling in horizontale richting 0,5 m/s². In Borssele, op ruim 150 km afstand, resulteerde een horizontale versnelling van 0,025 m/s². De intensiteit in Borssele bedroeg ongeveer IV.

Uit de beschikbare gegevens zijn door het KNMI zogenaamde isoseistenkaarten opgesteld; hierop is aangegeven met welke maximaal te verwachten intensiteit in een bepaald gebied rekening moet worden gehouden (figuur 2.2/9). Uit de kaart blijkt dat voor de vestigingsplaats een maximale intensiteit van VI moet worden aangehouden.

In gebieden met een zeer lage seismische activiteit zijn de beschikbare gegevens veelal niet voldoende voor een probabilistische benadering. Dit is van toepassing op de locatie van de kernenergiecentrale. In dergelijke gevallen wordt veelal naar het maximale in het gebied van de locatie waargenomen aardbevingseffect verwezen en wordt de intensiteit daarvan vermeerderd met 1 als ontwerpgrondslag aangehouden (volgens IAEA en KTA). Uit informatie van het KNMI blijkt dat de hoogst waargenomen intensiteit in het gebied rond de locatie een intensiteit van circa V2 (MSK) bedroeg. Voor de benadering van de maximaal te verwachten piekversnelling dient daarom een intensiteit van VI2 (MSK) te worden gehanteerd.

2.2-2

KOPIE

Figuur 2.2/1 Doorsnede holocene afzettingen in West-Nederland

2.2-3

KOPIE

Figuur 2.2/2 Geologie van Nederland

2.2-4

KOPIE

Figuur 2.2/3 Geomorfologie van Nederland

2.2-5

KOPIE

Figuur 2.2/4 Sondering KCB
2.2-6
KOPIE

Figuur 2.2/5 Boring KCB

2.2-7
KOPIE

Intensiteit (Mercalli)	Verschijsel	Magnitude (Richter)
I	Alleen door seismografen geregistreerd	1,9
II	Zeer licht: slechts onder gunstige omstandigheden gevoeld	2,5
III	Licht: trilling als van voorbijrijdend voertuig: door enkele personen gevoeld	3,1
IV	Matig: door velen gevoeld; rammelen van deuren en ramen; trilling als van zwaar verkeer	3,7
V	Vrij sterk: algemeen binnenshuis gevoeld; opgehangen voorwerpen slingeren; klokken blijven stilstaan	4,3
VI	Sterk: schrikreacties; voorwerpen in huis vallen om; bomen bewegen; weinig solide huizen worden beschadigd	4,9
VII	Zeer sterk: schade aan vele gebouwen; schoorstenen breken af; golven in vijvers; kerkklokken geven geluid	5,5
VIII	Vernielend: paniek; algemene schade aan gebouwen; zwakke bouwwerken gedeeltelijk vernield	6,1
IX	Verwoestend: vele gebouwen zwaar beschadigd; algemene schade aan funderingen; ondergrondse pijpleidingen breken	6,7
X	Vernietigend: verwoesting van vele gebouwen; grondverplaatsingen en scheuren in de aarde; schade aan dammen en dijken	7,3
XI	Catastrofaal: algemene verwoestingen van gebouwen; rails worden sterk verbogen; ondergrondse leidingen vernield	7,9
XII	Buitengewoon catastrofaal: algemene verwoesting; scheuren in rotsen; verandering van landschap; talloze aardverschuivingen	8,5

Figuur 2.2/6 Vergelijking tussen de intensiteit (gemeten in het epicentrum) en de magnitude

2.2-8

KOPIE

Figuur 2.2/7 Epicentra in Nederland (217-1900)

2.2-9
KOPIE

Figuur 2.2/8 Epicentra in Nederland (1900-1990)
2.2-10
KOPIE

Figuur 2.2/9 Isoseistenkaart Nederland en omgeving

2.2-11

KOPIE

2.3 Hydrologische Omstandigheden (tabel 2.3/1)

Het terrein van de kernenergiecentrale ligt binnendijs, zodat het grondwaterniveau slechts in geringe mate door de getijdenbeweging wordt beïnvloed. Ter plaatse van de gebouwen bevindt zich op een diepte van circa 20 m een waterscheidende kleilaag van ongeveer 2 m dik. Bij een maaiveldhoogte van 3,0 m + NAP ligt de grondwaterspiegel op circa 2,75 m + NAP.

De getijdenbeweging in de Westerschelde wordt opgewekt door die in de Noordzee. Wel vindt als gevolg van de bodemweerstand een vervorming van de getijdengolf plaats tijdens de voortplanting van de golf in het Westerscheldebekken. Bovendien treedt door de vorm van het bekken enige opstuwing op. Door deze effecten lopen de getijverschillen op van Vlissingen (circa 3,8 m) naar Antwerpen (circa 4,9 m). De grootste stroomsnelheden liggen bij opkomend tij tussen 1,3 en 1,5 m/s en bij afgaand tij tussen 0,8 en 1,0 m/s. Het debiet bedraagt bij Vlissingen circa 55.000 m³/s.

In tabel 2.3/1 zijn enige karakteristieke waterhoogten gegeven. Voor de locatie van de kernenergiecentrale geldt een overschrijdingskans van 10⁻⁴ per jaar voor een waterpeil van 5,8 m + NAP. Om de kans van overschrijden te verlagen tot 10⁻⁶ per jaar dient met een extra beschermhoogte van 1,5 m te worden gerekend. Het overstromingsniveau waarmee dan rekening dient te worden gehouden bedraagt dus 7,3 m + NAP. Omdat ervan uitgegaan kan worden dat de zeedijk ter plaatse van de KCB niet zal breken maar dat dit elders zal gebeuren behoeft er geen rekening te worden gehouden met een extra golfoploop.

	Hoogwater	Laagwater
gemiddeld tij	2,02 m + NAP	1,80 m - NAP
gemiddeld doottij	1,53 m + NAP	1,49 m - NAP
gemiddeld springtij	2,39 m + NAP	2,03 m - NAP
1 februari 1953, Borssele	4,70 m + NAP	
kruinhoogte zeedijk KCB		9,6 m + NAP

Tabel 2.3/1 Karakteristieke waterhoogten.

Uit waarnemingen bij Vlissingen in de periode van 1960 tot 1990 blijkt, dat de gemiddelde temperatuur van het zeewater op ongeveer 11 EC ligt. In februari 1963 is een laagste waarde geregistreerd van -1,1 EC, terwijl als hoogste waarde 20,7 EC in juli 1976 is vastgesteld.

De kwaliteit van het water wordt in sterke mate bepaald door industriële lozingen. Voor de meeste stoffen ligt de concentratie boven de voor die stoffen geldende streefwaarden voor oppervlaktewater; de waterkwaliteit moet derhalve als slecht worden beschouwd.

2.4 Meteorologie (tabel 2.4/1 tot en met 3; figuur 2.4/1)

De voor de vestigingsplaats relevante meteorologische gegevens zijn en worden verzameld door het KNMI op het waarnemingsstation Vlissingen.

De jaarlijkse frequenties van heersende windkrachten en windrichtingen zijn voor de periode 1971-1990 getabelleerd en grafisch weergegeven in een windroos in figuur 2.4/1. Hieruit blijkt dat zuidwestelijke winden met name bij hogere windkrachten domineren.

De gemiddelde seizoens- en jaarwaarden voor andere meteorologische aspecten zijn voor de periode van 1961-1990 opgenomen in tabel 2.4/2. Dit betreft luchtdruk, temperatuur, neerslag, relatieve vochtigheid en bezonning. Uit de gegevens blijkt dat zeer extreme weersituaties zich in deze periode in het gebied van de vestigingsplaats niet hebben voorgedaan.

Voor de verspreiding in de omgeving van bijvoorbeeld ventilatielucht of andere emissies in de lucht speelt naast windrichting en windkracht ook de stabiliteit van de weersituatie een belangrijke rol. Hiertoe wordt de stabiliteit in de onderste luchtlagen van de atmosfeer uitgedrukt in één van zes "weerklassen van Pasquill":

A/B/C : zeer/matig/licht onstabiel
D : neutraal
E/F : licht/matig tot zeer stabiel.

De jaarfrequenties waarmee iedere klasse in 1991 in Vlissingen voorkwam is opgenomen in tabel 2.4/3. Hieruit blijkt dat de neutrale weerklassen D het meest voorkomt.

Om de mogelijke schade aan gebouwen als gevolg van wind te bepalen is de optredende windsnelheid en de daarbij behorende kans van optreden op de locatie Borssele van belang. Bij wind kan onderscheid worden gemaakt tussen een tornado (hevige wervelwind) en extreme wind waarbij geen sprake is van wervelwind.

Voor tornado's is door het KNMI de kans van optreden met een maximale windsnelheid van 125 m/s (translatie en rotatie) voor de locatie van de kernenergiecentrale bepaald op 1.10^{-6} per jaar.

Voor extreme windsituaties is door het KNMI de kans van optreden voor de locatie bepaald door middel van extrapolatie van de tot op heden opgetreden windsnelheden en de bijbehorende kansen. Het blijkt dat de maximale windsnelheid op een hoogte van 30 m met een kans van 1.10^{-7} per jaar circa 60 m/s bedraagt. Een windsnelheid van 80 m/s heeft een kans van optreden die ruimschoots kleiner is dan 1.10^{-7} per jaar.

2.4-1

KOPIE

Vlissingen, seizoen- en jaargemiddelden, tijdvak 1961-1990

	Winter	Lente	Zomer	Herfst	Jaar
Gemiddelde temperatuur (EC)	3,7	8,4	16,4	11,5	10,0
Gem. minimale temp. (EC)	1,8	5,8	13,5	9,2	7,6
Gem. maximale temp. (EC)	86	80	78	83	82
Relatieve vochtigheid (%)	7,1	9,0	14,7	11,6	10,6
Dampdruk (hPa)	1015,1	1014,5	1016,3	1015,4	1015,3
Luchtdruk (hPa)	169,5	138,3	101,3	149,3	558,4
Neerslagduur (uur)	173,1	149,3	194,7	214,0	731,2
Neerslag (mm)	33,8	179,7	279,8	99,9	593,3
Verdamping (mm)	28123	124629	163724	63245	379720
Globale straling (J/cm2)	161,6	469,8	600,2	304,5	1536,2
Zonneschijn (uur)	21	37	42	31	34
Zonneschijn (%)					
Aantal dagen met:					
Tgem < 0 EC	13	1	0	1	15
Tgem 0 - 5 EC	39	15	0	6	59
Tgem 5 -10 EC	37	45	0	24	107
Tgem 10 -15 EC	1	27	25	40	93
Tgem 15 -20 EC	0	4	59	21	84
Tgem \$ 20 EC	0	0	8	0	8
Tmax \$ 30 EC	0	0	1	0	1
Tmax \$ 25 EC	0	0	8	1	9
Tmax \$ 20 EC	0	4	37	7	48
Tmax < 0 EC	7	0	0	0	7
Tmin < 0 EC	23	4	0	2	29
Tmin <-10 EC	1	0	0	0	1
Tmin,10 cm < 0 EC	23	5	0	2	30
Mist	19	10	4	11	44
Regen	57	57	53	59	226
Sneeuw	14	5	0	3	22
Hagel	7	5	1	4	17
Onweer	1	5	12	6	24
IJsvorming	2	1	0	0	3
Droog weer	26	36	42	32	135
Neerslag \$ 0,1 mm	34	54	47	40	51
Neerslag \$ 1,0 mm	4	3	7	6	19
Neerslag \$ 10,0 mm	36	13	5	18	72
Zonloos	58	35	26	43	162
Zon # 20 %	4	10	10	5	29
Zon \$ 80 %					

Tabel 2.4/2 Meteorologische aspecten te Vlissingen

Maand	FREQUENTIEKLASSEN (% per etmaal)					
	A	B	C	D	E	F
januari	0,26	3,6	2,8	82,5	3,9	7,1
februari	1,6	4,2	4,8	63,7	7,1	10,6
maart	0,7	6,3	9,1	67,6	7,8	7,3
april	0,8	6,6	14,7	61,4	9,0	5,8
mei	0,1	5,5	10,9	69,8	6,0	6,2
juni	1,7	6,0	9,6	78,2	1,7	2,9
juli	3,2	10,6	12,4	63,0	7,0	3,6
augustus	4,6	14,0	13,0	48,5	10,8	10,9
september	1,5	12,8	6,4	54,2	12,1	11,7
oktober	0,8	4,0	7,3	72,9	5,4	8,5
november	<0,1	1,9	1,5	82,0	5,3	2,6
december	0,1	4,7	4,0	80,2	6,5	1,9

Tabel 2.4/3 Procentueel optreden van weerklassen in de regio Vlissingen in 1991

2.4-3

KOPIE

Figuur 2.4/1 Windroos Vlissingen

2.4-4
KOPIE

2.5 Bodemgebruik En Industrie (tabel 2.5/1; figuur 2.5/1 tot en met 5)

Het oorspronkelijke maaiveld ter plaatse van de vestigingsplaats lag op 1,0 m + NAP. De bodem ter plekke en in het gebied ten oosten en zuiden van de locatie bestaat uit zogenaamde poldervaaggronden (zie figuur 2.5/1).

Uit figuur 2.5/2 blijkt, dat het grondgebied in de Gemeente Borsele in hoofdzaak wordt gebruikt voor akker- en tuinbouw.

Het landschap in dit gedeelte van Zuid-Beveland wordt getypeerd als "kleinschalig zeepolderlandschap" (zie figuur 2.5/3). Tegenwoordig behoren veel vroegere zeeweringen zoals de Zuid-Bevelandse dijken tot beschermd natuurgebied en zijn in beheer van de stichting "Zeeuws Landschap". In dit gebied zijn de hoogteverschillen relatief gering, circa 1 à 1,5 m; de ophogingen zijn met name overblijfselen van vroegere strandwallen.

In de onmiddellijke omgeving van de vestigingsplaats liggen enkele gebieden, die in bescheiden mate voor recreatieve doeleinden worden gebruikt. Dit zijn ondermeer de Westerscheldedijk in zuidoostelijke richting en de jonge duinen met aangrenzend strand in noordwestelijke richting (de vroegere Kaloot). De buitendijkse terreinen langs de Westerschelde zijn overigens bestemd voor natuurbehouds- en waterstaats-doeleinden met recreatief medegebruik (zie figuur 2.5/4).

De kustvisserij op de Westerschelde richt zich in hoofdzaak op garnalen en kokkels. Breskens is de belangrijkste aanvoerhaven.

Ten noorden van de vestigingsplaats van de kernenergiecentrale ligt het industrieterrein Vlissingen-Oost. De scheiding wordt gevormd door een spoorverbinding en een verkeersweg. Van het industrieterrein is nog niet alle grond uitgegeven. In tabel 2.5/1 zijn de anno 1992 op het industrieterrein gevestigde bedrijven inclusief aanduiding van hun activiteit opgenomen. De ligging ten opzichte van de kernenergiecentrale is weergegeven op figuur 2.5/5.

De industrieën die grote hoeveelheden chemicaliën en explosieve stoffen op hun terrein hebben zijn geïnventariseerd en onderzocht ten aanzien van de mogelijke gevolgen voor de kernenergiecentrale. Deze industrieën zijn, met uitzondering van "Dow Benelux" die buiten het industrieterrein Vlissingen-Oost ligt, in tabel 2.5/1 aangegeven met een "*". Uit de inventarisatie is gebleken dat een explosiedruk golf als gevolg van een ongeval bij deze industrieën op de locatie van de KCB een overdruk geeft die ruim onder 0,1 bar ligt. Het additionele risico (kans op overlijden) op de locatie van de KCB als gevolg van deze industrieën is kleiner dan 10-8 per jaar. Verder is uit de inventarisatie gebleken dat de mogelijke invloed van bij de genoemde industrieën aanwezige toxische stoffen op het veilig functioneren van de KCB verwaarloosbaar is.

2.5-1

KOPIE

Nr.	Bedrijfsnaam	Bedrijfssoort
59, 80	Alleghany Warehouse Europe b.v.	tabakopslag
56	Andreas Ugland Car Carriers	rederijvertegenwoordiging
2	Atochem Vlissingen b.v.	chemie
62	Bastiaanse Vlissingen v.o.f.	transportbedrijf
6	Stichting Bevordering Windenergie	windmolenpark
52	Blue Water Shipping b.v.	agentuur
50	Van Bon Cold Storage Flushing	koel- en vriesveem
18, 46	Boot & Buteijn b.v.	transport, op- en overslag
25	Caleb Brett Nederland b.v.	controlemaatschappij
84	Conservator b.v.	straal- en schildersbedrijf
73	Continental Pacific Shipping Ltd.	rederijvertegenwoordiging
70	Cornelder's Scheepvaart Mij. b.v.	cargadoor, opslag
8	COVRA n.v.	opslag radio-actief afval
74	DEKA Rhenus b.v.	agentuur
58	n.v. Delta Nutsbedrijven	50 kV station
25	Depauw & Stokoe n.v.	controlemaatschappij
36	Scheepwerf 'De Donge' b.v.	scheepswerf
66	Douane	douanekantoor
30, 75	D.S.I.S. b.v.	watersteiger
9	n.v. E.P.Z.	kolenopslag
11	n.v. E.P.Z.	elektriciteitscentrales
31	E.T.B. Zeeland b.v.	elektrische installaties
26	Eurogas Terminals c.v. *	gasopslag
79	de Feijter b.v.	staalbouw
51	Flushing Coldstorage Company,	koel- en vriesveem,
45, 52	Flushing Stevedoring v.o.f.	stuwadoor
84	The Flying Angel Club	zeemanshuis
17	Gasunie n.v.	reduceerstation
56	n.v. Haven van Vlissingen	stuwadoor, opslag
16	Havenschap Vlissingen	magazijn en werkplaats
69	Havenschap Vlissingen	kantoor
15	Havenschap Vlissingen	laad- en losperron
56	Havex b.v.	scheepsagent
7	Heerema Havenbedrijf b.v. *	offshore
1, 10	Hoechst Holland n.v. *	chemie, opslagterrein
52	Hoondert Stuwadoring b.v.	stuwadoor
53	Houtopslag Mij. Vlissingen b.v.	houtdrogerij
78	Hovercraft Services b.v.	verhuur hovercraft
56	I.C.M. b.v.	controlemaatschappij
73	I.N.A. b.v.	navigatie-apparatuur
53	Indufor n.v.	houtdrogerij
52	Jaczon b.v.	rederij en haringhandel
77	K.D.S. b.v.	timberforwarding
76	Koffiehuis Sloehaven	chauffeursrestaurant

* :Industrie die is onderzocht ten aanzien van mogelijke gevolgen voor de KCB

Tabel 2.5/1 Industrieën Vlissingen-Oost

Nr.	Bedrijfsnaam	Bedrijfssoort
21	Landlust	restaurant
72	Lloyd's Register of Shipping	technisch inspectiebureau
65	MABUWAT B.V.	aannemingsbedrijf
34	Machinefabriek Lewedorp v.o.f.	metaalconstructies
84	Martens b.v.	scheepsreiniging
2	Metablen Company b.v.	chemie
40	Metaclean b.v.	stralen en conserveren
84	The Missions to Seamen	zeemanshuis
20	Monie b.v.	landbouwprodukten
37	Mourik-van Oord Vlissingen v.o.f.	service-bedrijf
19	M.S.P. b.v.	landbouwprodukten
14, 56	N.S. Goederenvervoer	emplacement, operator goederenvervoer
56	Nedlloyd road cargo	internationaal transportbedrijf
72	Nilsson International b.v.	internale expeditie
72	Nilsson Partners b.v.	reclame- en adviesbureau
72	Nilsson Trading b.v.	handelsmaatschappij
63	De Nooijer Straalservice	stralen en conserveren
64	Van Oord ACZ b.v.	aannemingsmaatschappij
7	Oudkerk offshore, tankerservice b.v.	scheepvaartagent
34	Overlasko b.v.	metaalconstructies
4	Overslagbedrijf Terneuzen OVET b.v.	kolenoverslag
29	Pechiney Nederland n.v. *	aluminiumindustrie
3	Pelt & Hooykaas b.v.	overslag forforslakken
75	Perfect b.v.	bewaking en beveiliging
77	fa. J. Pfauth & Zn.	opslag
56	R.G.R.	expediteur
82	Rijksgebouwendienst	inspectiekantoor
84	R.Z.B. b.v.	straal- en schilderbedrijf
23	Sagro b.v.	puinbreekinstallatie
33	Sagro Staalbouw Zeeland b.v.	staalconstructies
84	K.M.S. 'Scheldepoort' b.v.	scheepsreparaties
52	Stevedoring Company Zeeland b.v.	stuwadoor
12	Total Raffinaderij Nederland n.v. *	olieraffinaderij
35	Traas Metaalbewerkingsbedrijf b.v.	metaalbewerking
73	Verbrugge de Meyer Terminals b.v.	opslag, transport, expeditie
73	Verbrugge de Meyer Marine b.v.	scheepsagent
83	Vlissingse Bootliedenwacht b.v.	bootlieden
32	Vliss. Transportbeton Ondern. b.v.	betonmortelcentrale
44, 57	Vriesveem Vlissingen v.o.f.	koel-en vriesveem
22	Vuilnisstortplaats Midden-Zeeland	vuilnisstortplaats
56	n.v. Z.I.T.O.	transportbedrijf
81	Westerschelde b.v.	stuwadoor

* :Industrie die is onderzocht ten aanzien van mogelijke gevolgen voor de KCB

Tabel 2.5/1 Industrieën Vlissingen-Oost (vervolg)

2.5-3

KOPIE

Figuur 2.5/1 Bodemkaart van Nederland

2.5-4

KOPIE

Figuur 2.5/2 Productieinrichtingen in land- en tuinbouw (1986)

2.5-5

KOPIE

Figuur 2.5/3 Landschappen van Nederland

2.5-6

KOPIE

Figuur 2.5/4 Aanduiding natuurgebieden

2.5-7

KOPIE

Figuur 2.5/5 Industriegebied Vlissingen-oost

2.5-8

KOPIE

2.6 Bevolking Rondom De Vestigingsplaats (tabel 2.6/1 en 2; figuur 2.6/1)

De gegevens over de bevolking in het gebied rondom de vestigingsplaats zijn gebaseerd op cijfers per 1-1-1991 en gedeeltelijk per 1-1-1992 zoals verstrekt door de provincie Zeeland.

In tabel 2.6/1 zijn sectorgewijs de bevolkingsaantallen binnen cirkels met verschillende stralen tot 50 km vanaf de vestigingsplaats weergegeven.

In tabel 2.6/2 zijn de woonkernen met inwoneraantal per sector (tot 20 km), alsmede de afstanden van de afzonderlijke woonkernen tot de kernenergiecentrale opgenomen.

In figuur 2.6/1 zijn ter illustratie de bevolkingsaantallen per sector (tot 20 km) uitgezet in samenhang met de windfrequenties (zie figuur 2.4/1).

Naast de lokale bevolking moet rekening gehouden worden met een groot aantal vakantiegangers en toeristen in Zeeland. Het aantal overnachtingen bedroeg in 1990 ruim 8,9 miljoen waarvan circa 75 % in de Noordzeebadplaatsen. Van het aantal overnachtingen heeft 45 % plaats in de maanden juli en augustus (deze maanden zijn er dus ongeveer 65.000 vakantiegangers per dag/nacht).

Binnen circa 5 km vanaf de vestigingsplaats bevindt zich het industriegebied Vlissingen-Oost. Het aantal werknemers overdag is circa 5000 (totale industriegebied). In de vier bedrijven met continudienst (Hoechst, Total, Pechiney en EPZ) werken 's nachts ongeveer 1000 mensen.

2.6-1

KOPIE

Sector		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Cirkel		0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	
	0-1										
	1-2					1358					
	2-3										
	3-5	980	877	2159	800						
Totaal .cum		980	877	2159	800	-	-	1358	-	-	
	5-7.5	1727				1226	526				
	7.5-10			4575	575		643	332			
	10-15		3844	12115	23245	1612	592				
	15-20	1366	1533	1029		2133	687	2926	31391	2086	
Totaal.cum		4073	6254	19878	24620	4971	2448	4616	31391	2086	
	20-30	2419	2938	3978	4158	4989	6680	11084	18406	20238	
	30-40	2452	6793	7771	24636	27057	18556	35950	41105	64968	
	40-50	3557	13535	17953	35444	50754	87474	117312	88370	126908	
Totaal.cum	00	12501	29520	49580	88858	87771	115158	168962	179272	2142+	

Sector		10	11	12	13	14	15	16	17	18	
cirkel		180-200	200-220	220-240	240-260	260-280	280-300	300-320	320-340	340-3+	
60	Totaal										
	0-1							0			
	1-2							1358			
	2-3							0			
	3-5					980	980	980	7756		
Totaal. cum		-	-	-	-	-	980	980	980	9114	
	5-7.5						1347	4779	9605		
	7.5-10				500	21400	18000	1240	250	47515	
	10-15	3386	2372	1636	4618	500	25354	18835	4063	4910	1070+
82	15-20	4136	750	18408	1668		7805	6949	4512	1861	89240
Totaal cum.		7522	3122	20044	6286	1000	54559	44764	12142	12780	2625+
56	20-30	15212	12504	9447	3226		1508	1447	1981	2642	122857

30-40	68851	36458	44018	35738				661	415014	
40-50	112999	36051	59083	51265					800705	
Totaalcum										
01132	204584	88135	132592	96515	1000	56067	46211	14123	16083	18+

Tabel 2.6/1 Bevolkingsaantallen per sector

2.6-2

KOPIE

SECTOR 1		SECTOR 2		SECTOR 3			
Woonkern Inwoners	Afstand	Inwoners	Woonkern	Afstand	Inwoners	Woonkern	Afstand+
Wissenkerke 571	16	1088	Kats	19	1533	Wilhelminadorp	17 +
Geersdijk 8	15	278	Kortgene	15	1638	Kattendijke	19 45+
Lewedorp 115	7,5	1727	Wolphaartsdijk/Oud- Sabbinge Nieuwdorp	13 5	2206	Heinkenszand	8 4575
						Goes (ged.)	15 12+

SECTOR 10			SECTOR 11			SECTOR 12		
Woonkern Inwoners	Afstand	Inwoners	Woonkern	Afstand	Inwoners	Woonkern	Afstand	I+
Biervliet	17	3386	IJzendijke	14	Schoondijke	15	1636	
Boekhoute/ Maagd van Gent/ 1	20		Waterman/ Oudeman (B)	19	Waterlandkerkje 2000	19	527	
Watervliet (B)	18				Oostburg	20	1788+	
	19	3500						
Totaal		6886	Totaal		2000	Totaal		20044

SECTOR 13			SECTOR 14			SECTOR 15		
Woonkern Inwoners	Afstand	Inwoners	Woonkern	Afstand	Inwoners	Woonkern	Afstand	I+
Breskens	12	4618	Vlissingen		Vlissingen (ged)	10	42180	
Groede	16	1212	(ged)	10	1000	Ritthem	10	620
Nieuwvliet	18	456			Gr. Valkenisse	16	6091	
					Koudekerke	13	3743	
					Zoutelande	18	1502	
					Biggekerke (ged)	15	423	
Totaal		6286	Totaal		1000	Totaal		54559

SECTOR 16			SECTOR 17			SECTOR 18		
Woonkern Inwoners	Afstand	Inwoners	Woonkern	Afstand	Inwoners	Woonkern	Afstand	I+
Biggekerke (ged)	15	423	Middelburg		Veere	14	4910	
Meliskerke	17	1276	(ged)	10	2481	Arnemuiden	7	4779
Mariekerke	16	3681	Vrouwenpolder	17	1161	Kleverskerke	10	2+
50								
Grijpskerke	15	1248	Oostkappelle	19	2464	Kamperland	15	1861
Aagtekerke	19	1157	St. Laurens	13	1497			
Middelburg (ged)	10	36000	Serooskerke	15	1772			
			Gapinge	14	439			
			Nw. en St. Joostland	7	1347			
Totaal		43785	Totaal		11161	Totaal		11800

Tabel 2.6/2 Woonkernen rondom vestigingsplaats (vervolg)

WINDROOS VLISSINGEN

/////// Bevolkingsaantallen tot 20 km

_____ Windfrequenties

Figuur 2.6/1 Bevolkingsaantallen per sector en windfrequenties

2.6-5

KOPIE

2.7 Transportroutes (tabel 2.7/1 tot en met 3; figuur 2.7/1)

In de nabijheid van de vestigingsplaats bevinden zich verschillende transportroutes. Dit betreft verkeers- en spoorwegverbindingen, scheepvaartroutes en routes ten behoeve van het vliegverkeer. De transportroutes zijn aangegeven in figuur 2.7/1.

De belangrijkste verkeerswegen zijn de snelweg A58 (E312) en de hoofdverkeersweg N254. Voorts is het industrieterrein Vlissingen-Oost door diverse verkeerswegen ontsloten die allemaal aftakken van de rondweg om het industrieterrein (de Europaweg).

Parallel aan de Europaweg ligt een goederenspoorweg van/naar het industrieterrein; de vestigingsplaats van de kernenergiecentrale is niet met dit spoor verbonden. Noordelijk van de vestigingsplaats bij 's Heer Arendskerke sluit het goederenspoor aan op de spoorlijn Vlissingen - Bergen op Zoom.

De hoofdvaargeul in de Westerschelde ten behoeve van de zeescheepvaart van en naar onder andere Antwerpen ligt op ongeveer 1,5 km afstand van de kernenergiecentrale. Op een ongeveer gelijke afstand in noordwestelijke richting bevindt zich het havengebied van Vlissingen met ondermeer de Van Cittershaven, de Quarleshaven en de Sloehaven.

Uit de studie naar vervoer van gevaarlijke stoffen per as, spoor en water is gebleken dat het transport met het hoogste risico voor de kernenergiecentrale het LPG-transport over de Westerschelde betreft.

Uit inventarisatie van de hoeveelheden en soorten explosieve en toxische stoffen die per as en spoor worden vervoerd en de afstand van dit vervoer tot de KCB is gebleken dat de mogelijke invloed hiervan op het veilig functioneren van de KCB verwaarloosbaar is.

Uit de evaluatie van door TNO uitgevoerde risicostudies voor opslag- en transportsystemen van LPG, welke representatief zijn voor de installaties en activiteiten in het havengebied Vlissingen-Oost, blijkt dat bij een afstand groter dan circa 500 m van de opslagtanks of transportwegen van gemiddeld reactieve explosieve gas-luchtmengsels (zoals LPG) geen hogere statische piekoverdruk hoeft te worden verwacht dan 0,1 bar. De minimale afstand van het LPG-transport over de Westerschelde tot de kernenergiecentrale bedraagt 1 kilometer zodat de te verwachten piekoverdruk op de locatie lager is.

2.7-1

KOPIE

VR-KCB93

Op ongeveer 10 km ten noorden van de vestigingsplaats ligt het vliegveld Midden Zeeland. Dit vliegveld is bestemd voor de kleine luchtvaart, dat wil zeggen voor vliegtuigen met een maximum startgewicht van ongeveer 6000 kg. De vestigingsplaats ligt onder een algemene zone voor het civiele luchtverkeer.

De dichtstbijzijnde militaire vliegbasis is Woensdrecht in Noord-Brabant op een afstand van circa 40 km in oostnoordoostelijke richting.

Op basis van de jaarfrequentie van neergestorte vliegtuigen in Nederland en de plaatselijke intensiteit van het vliegverkeer boven de locatie van de kernenergiecentrale is de kans berekend op het ongecontroleerd neerstorten van een vliegtuig op de gebouwen van de KCB. Dit is gedaan voor vier typen vliegtuigen. De resultaten zijn weergegeven in tabel 2.7/3.

Type vliegtuig	Kans van neerstorten op de KCB (per jaar)
Klein burgervliegtuig (< 5700 kg)	1.10 ⁻⁷
Groot burgervliegtuig (> 5700 kg)	* 1.10 ⁻⁷
Militair vliegtuig	* 1.10 ⁻⁷
Militaire helikopter	* 1.10 ⁻⁷

Tabel 2.7/3 Kans van ongecontroleerd neerstorten van een vliegtuig op de gebouwen van de KCB

2.7-2

KOPIE

VR-KCB93

KOPIE

3	ONTWERP	3.1-1	
3.1	Overeenstemming met de eisen, gesteld in de nucleaire veiligheidsregels		3.1-1
3.2	Classificatie van civiele constructies, componenten en systemen		3.2-1
3.2.1	Veiligheidsclassificatie	3.2-1	
3.2.1.1	Inleiding	3.2-1	
3.2.1.2	Werktuigbouwkundige componenten en systemen		3.2-1
3.2.1.3	Elektrotechnische en instrumentatiecomponenten en		

3.5	Bestendigheid tegen invloeden van buitenaf	3.5-1
3.5.1	Aardbevingen	3.5-1
3.5.2	Vliegtuigongelukken	3.5-1
3.5.3	Explosiedruk golf	3.5-2
3.5.4	Windbelastingen	3.5-2
3.5.5	Overstroming	3.5-2
3.5.6	Andere invloeden van buitenaf	3.5-2
3.5.7	Aantonen van de bestendigheid tegen invloeden van buitenaf	3.5-4
3.5.7.1	Bouwkundige constructies	3.5-4
3.5.7.2	Systemen en componenten	3.5-5
3.5.7.3	Elektrotechnische installaties en meet- en regelsystemen	3.5-7
3.6	Bouwkundige constructies	3.6-1
3.6.1	Gebouwen van aardbevingsklasse i	3.6-2
3.6.1.1	Reactorgebouw (01/02)	3.6-2
3.6.1.2	Reservesuppletiegebouw (33)	3.6-6

3 ONTWERP

In hoofdstuk 3 wordt beschreven hoe de civiele constructies, systemen en componenten zijn ontworpen, rekening houdend met mogelijke belastingen alsmede gepostuleerde gebeurtenissen en de daaruit voortvloeiende belastingen.

In de eerste paragraaf wordt besproken, in hoeverre wordt voldaan aan de eisen die in de Nucleaire Veiligheidsregels (NVR) worden gesteld. In paragraaf 2 worden de veiligheids- en seismische classificaties beschreven. De ontwerpaspecten met het oog op interne belastingen en belastingen door invloeden van binnenuit en invloeden van buitenaf, worden beschreven in respectievelijk de paragrafen 3, 4 en 5. In de laatste paragraaf van hoofdstuk 3 worden de bouwkundige constructies van de kernenergiecentrale Borssele beschreven, alsmede hun globale taakstelling en de opgestelde systemen.

3.1 Overeenstemming met de eisen, gesteld in de Nucleaire Veiligheids-regels

De uitgangspunten voor het ontwerp en het bedrijf van nieuwe kernenergiecentrales zijn in Nederland vastgelegd in de Nucleaire VeiligheidsRegels:

- NVR-1.1: Safety Code for nuclear power plant design.
Adaption of IAEA Code Safety Series 50-C-D (revisie 1).
- NVR-1.2: Safety Code for nuclear power plant operation.
Adaption of IAEA Code Safety Series 50-C-O (revisie 1).
- NVR-1.3: Hoofdregeel kwaliteitsborging voor de veiligheid van kerncentrales.
Bewerking van IAEA Code Safety Series 50-C-QA (revisie 1).

Deze zijn uitgewerkt in de Nucleaire Veiligheidsrichtlijnen 2.1.1 tot en met 2.1.14 (voorlopige versie), 2.2.1 tot en met 2.2.11 en 2.3.1 tot en met 2.3.8, 2.3.10 en 2.3.11 (zie paragraaf 1.5).

Onderzocht is in hoeverre het ontwerp van de kernenergiecentrale Borssele na de invoering van de voorgenomen wijzigingen voldoet aan met name NVR-1.1. Daarbij is gebleken dat aan de doelstellingen ten aanzien van de veiligheid wordt voldaan. Voor een aantal situaties is daarbij een aantal voor de kernenergiecentrale Borssele specifieke oplossingen gerealiseerd om aan deze doelstellingen te voldoen.

De bedrijfsvoering vindt plaats conform de in NVR-1.2 gestelde eisen en randvoorwaarden (zie hoofdstuk 13).

In de kernenergiecentrale Borssele wordt een kwaliteitsborgingsprogramma toegepast. Bij het opstellen, invoeren en onderhouden van dit kwaliteitsborgingsprogramma is en wordt uitgegaan van de eisen van NVR-1.3 (zie hoofdstuk 17).

3.1-1

KOPIE

3.2 Classificatie van civiele constructies, componenten en systemen (Tabel 3.2/1)

3.2.1 Veiligheidsclassificatie

3.2.1.1 Inleiding

De systemen en componenten van de kernenergiecentrale Borssele zijn afhankelijk van hun betekenis voor de veiligheid van de installatie conform NVR-1.1 geclassificeerd. Door deze indeling in veiligheidsklassen wordt de mate van vereiste zorgvuldigheid bij ontwerp (veiligheidsmarge), inkoop, inspectie, onderhoud, wijziging etc. van deze componenten en systemen bepaald. Basis voor de indeling is de voorlopige richtlijn NVR-2.1.1: "Safety Functions and Component Classification for BWR, PWR and PTR".

3.2.1.2 Werktuigbouwkundige componenten en systemen

3.2.1.2.1 Veiligheidsklassen

De onderverdeling in de IAEA-veiligheidsklassen 1, 2, 3 of 4 is afhankelijk van de functie van het betreffende systeemdeel of component. Voor delen die geen veiligheidsfunctie vervullen, geldt geen veiligheidsclassificatie.

- Veiligheidsklasse 1
omvat die veiligheidsfuncties, die nodig zijn om te voorkomen dat een aanzienlijk deel van de aanwezige hoeveelheid splijtingsproducten naar de omgeving ontsnapt als het daarvoor bedoelde beveiligingssysteem niet werkt.
- Veiligheidsklasse 2
omvat die veiligheidsfuncties, die nodig zijn om de gevolgen van een ongeval te beperken, wanneer anders een aanzienlijk deel van de aanwezige hoeveelheid splijtingsproducten naar de omgeving zou ontsnappen.
De gevolgen van het uitvallen van de functies die tot de klasse 2 behoren, hoeven slechts beschouwd te worden na een eerste falen van een andere veiligheidsfunctie.
Klasse 2 omvat ook die veiligheidsfuncties, die voorkomen dat storingen uitgroeien tot ongevallen. Hiervan uitgezonderd zijn veiligheidsfuncties die ten behoeve van andere veiligheidsfuncties een ondersteunende taak hebben.
Tenslotte omvat klasse 2 functies, waarbij het product van de gevolgen van het uitvallen van de veiligheidsfunctie en de waarschijnlijkheid dat er op de betreffende veiligheidsfunctie een beroep wordt gedaan, groot is.

3.2.2

KOPIE

- Veiligheidsklasse 3
In de veiligheidsklasse 3 zijn de veiligheidsfuncties opgenomen die een ondersteunende taak hebben ten behoeve van de functies uit de klassen 1, 2 en 3. Tot klasse 3 behoren ook functies die ervoor zorgen dat de stralingsbelasting van de bevolking en het personeel van de installatie als gevolg van bronnen buiten het primair systeem de geldende limieten niet overschrijden. Verder behoren tot deze klasse 3, veiligheidsfuncties die de reactiviteit langzamer regelen dan de overeenkomstige systemen van de veiligheidsklassen 1 en 2. Bovendien zijn in klasse 3 de functies ondergebracht die de onderkritische toestand van de splijtstof buiten het primair systeem en de afvoer van de vervalwarmte van splijtstof buiten de kern verzekeren.
- Veiligheidsklasse 4
omvat de veiligheidsfuncties die niet in de klassen 1, 2 of 3 zijn ondergebracht.

3.2.1.2.2 Beschrijving van de veiligheidsfuncties

De veiligheidsfuncties zijn:

Veiligheidsklasse:

- | | |
|--|---|
| a) Voorkoming van ontoelaatbare reactiviteitstransiënten | 3 |
| b) Handhaving van de veilige, afgeschakelde toestand van de reactor na alle afschakelhandelingen | 3 |
| c) Afschakeling van de reactor om te voorkomen dat storingen tot ongevallen leiden en om de gevolgen van ongevallen te beperken | 2 |
| d) Afschakeling van de reactor na een ongeval met verlies van koelmiddel, om een voldoende koeling van de reactorkern mogelijk te maken | 1 |
| e1) Handhaving van een voldoende hoeveelheid koelmiddel om de reactorkern tijdens en na ongevallen te kunnen koelen, wanneer het primair systeem intact is | 2 |
| e2) Handhaving van een voldoende hoeveelheid koelmiddel om de reactorkern tijdens en na alle bedrijfsomstandigheden te koelen | 3 |
| f) Afvoer van de warmte uit de reactorkern wanneer het primair systeem faalt, om schade aan de splijtstofelementen te beperken | 2 |
| g) Afvoer van de restwarmte tijdens normaal bedrijf en ongevallen waarbij het primair systeem intact is gebleven | 2 |

3.2-2

KOPIE

- h) Afvoer van de warmte van andere beveiligingsystemen naar de "Ultimate Heat Sink" 3
- i) Waarborgen van ondersteunende functies van veiligheidssystemen (bijvoorbeeld levering van stroom, pneumatische en hydraulische energie, smering) 3
- j) Handhaving van de goede staat van de splijtstofomhulling in de reactorkern 2
- k) Handhaving van de goede staat van het primair systeem 1/2
- l) Beperking van het vrijkomen van radioactief materiaal uit de veiligheidsomhulling tijdens en na ongevallen 2
- m) Beperking van de stralingsbelasting van de bevolking en van het bedieningspersoneel tijdens en na ongevallen waarbij radioactiviteit uit bronnen buiten de veiligheidsomhulling vrijkomt 3
- n) Beperking van de afgifte of het vrijkomen van radioactief afval en luchtgedragen activiteit tot beneden de voorgeschreven limieten, gedurende alle bedrijfsomstandigheden 3/4
- o) Beheersing van de omgevingscondities binnen de installatie, zodat veiligheidssystemen en personeel functies van belang voor de veiligheid kunnen uitvoeren 3
- p) Beheersing van het vrijkomen van activiteit uit bestraalde splijtstofstaven die buiten het primair systeem getransporteerd en opgeslagen worden, maar zich wel binnen de installatie bevinden, gedurende alle bedrijfsomstandigheden 3
- q) Afvoer van de vervalwarmte van bestraalde splijtstofelementen die buiten het primair systeem worden opgeslagen, maar zich wel binnen de installatie bevinden 3
- r) Handhaving van een voldoende onderkritische toestand van splijtstofelementen die buiten het primair systeem zijn opgeslagen, maar zich wel binnen de installatie bevinden 3
- s) Voorkomen van beschadigingen aan componenten of gebouwen, waardoor een veiligheidsfunctie uit kan vallen, of het beperken van de gevolgen daarvan 4

3.2-3

KOPIE

De veiligheidsfuncties zijn over de veiligheidsklassen verdeeld als weergegeven in tabel 3.2/1.

Tabel 3.2/1 Indeling veiligheidsfuncties

Klasse	Functie
1	d, k
2	c, e1, f, g, j, k, l
3	a, b, e2, h, i, m, n, o, p, q, r
4	n, s

3.2.1.3 Elektrotechnische en instrumentatiecomponenten en -systemen

De classificatie van elektrotechnische en instrumentatiecomponenten en -systemen is gebaseerd op de definities van de Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) voor de klassen 1E en 0E. Bovendien is in overleg met de Nederlandse overheid voor KCB de klasse 1A toegevoegd.

- Klasse 1E
omvat de elektrotechnische en instrumentatiecomponenten die van belang zijn voor reactorafschakeling, afsluiting van de veiligheidsomhulling, kernkoeling en de warmteafvoer van reactor en veiligheidsomhulling, of die op de een andere wijze van belang zijn ter voorkoming van verspreiding van radioactief materiaal naar de omgeving
- Klasse 1A
omvat in principe de systemen en componenten die een belangrijke taak hebben bij de bedrijfsvoering. Dit betreft met name de volgende functies:
 - * voorkoming dat procesgrootheden de grenswaarden overschrijden, waardoor het reactorbeveiligingssysteem (YZ) wordt ingeschakeld
 - * detectie en meting van hoofdkoelmiddellekkages in het primair systeem
 - * bewaking van de omgevingscondities in de installatie die van belang zijn voor het functioneren van de verschillende apparatuur en inrichtingen
 - * beveiliging van de kernenergiecentrale, zoals bijvoorbeeld communicatiesystemen, brandmeldsystemen, brandbestrijdingssystemen, bewaking van de toegangen etc.
 - * meting en registratie van de verschillende parameters tijdens normaal bedrijf en ongevalscondities (bijvoorbeeld lozing van radioactieve stoffen, radioactiviteit in de installatie, meteorologische grootheden etcetera.)

- Klasse 0E
omvat alle systemen en componenten die niet in de klassen 1E of 1A zijn ingedeeld.

3.2.2 Seismische classificatie

Met inachtneming van de invloed op de veiligheid van de totale installatie worden de onderdelen van de installatie in twee klassen ingedeeld met betrekking tot hun vereiste bestendigheid tegen aardbevingen.

Aardbevingsbestendige installatiedelen van klasse I

Hiertoe behoren die onderdelen die nodig zijn om de volgende veiligheidsfuncties te vervullen:

- automatische afschakeling van de reactor en waarborgen van een langdurige onderkritische toestand
- automatische afvoer van de restwarmte via de stoomgeneratoren
- afvoer van de vervalwarmte uit het splijtstofopslagbassin door middel van het reservekoelsysteem
- afsluiting van de ventilatie van de veiligheidsomhulling.

Aardbevingsbestendige installatiedelen van klasse II

Dit zijn alle overige delen van de kernenergiecentrale.

Voor de onderdelen van klasse II is het niet noodzakelijk aan te tonen, dat zij bestand zijn tegen belastingen ten gevolge van een aardbeving.

Om echter schade aan aardbevingsbestendige installatiedelen van de klasse I als gevolg van het falen van een klasse II onderdeel te voorkomen, moeten aan bepaalde klasse II-onderdelen toch eisen worden gesteld. Deze onderdelen worden ingedeeld in de klasse IIA; hierbij moet worden aangetoond, dat uitwerkingen daarop en beschadigingen daarvan geen nadelige invloed kunnen hebben op het veilig functioneren van de onderdelen die tot de klasse I behoren.

Alle installatiedelen die tot de klasse I behoren zijn dusdanig ontworpen, dat hun veilig functioneren in geval van een aardbeving waarmee bij het ontwerp rekening is gehouden, onaangetaast blijft. De uit deze doelstelling voortvloeiende eisen ten aanzien van de onderdelen van de installatie, worden door middel van de volgende veiligheidstechnische taakstellingen omschreven:

- Standzekerheid
Standzekerheid is de stabiliteit van onderdelen ten aanzien van ontoelaatbare veranderingen in de toestand of de plaats van opstelling (bijvoorbeeld omvallen, naar beneden vallen, van de plaats schuiven)

- Integriteit

Met integriteit bedoelt men het intact zijn van onderdelen, wat wil zeggen, dat de onderdelen op de juiste manier bestand zijn tegen alle gespecificeerde belastingen. De eis tot integriteit sluit automatisch de eis tot standzekerheid in

- Geschiktheid om te functioneren

Onder geschiktheid om te functioneren verstaat men het boven de standzekerheid en integriteit uitgaande vermogen om de vereiste functie in geval van een aardbeving te vervullen. Deze eis sluit dus automatisch de eisen ten aanzien van standzekerheid en integriteit in. Met betrekking tot het goed kunnen functioneren dient men onderscheid te maken tussen het goed functioneren na het voorval, of tijdens en na het voorval. Daarbij wordt verder onderscheid gemaakt tussen actief en passief functioneren. Een actieve geschiktheid om te functioneren waarborgt, dat de voorgeschreven mechanische handelingen kunnen worden uitgevoerd. Wanneer aan de eis tot passieve geschiktheid om te functioneren wordt voldaan, betekent dit, dat de grenzen van toelaatbare vervormingen niet worden overschreden.

| Alle installatiedelen van de klasse I zijn zo ontworpen dat bij de belastingen als gevolg van
| een aardbeving de spanningen en/of vervormingen binnen de toelaatbare grenzen liggen
| en aan de eisen ten aanzien van standzekerheid, integriteit en geschiktheid om te
| functioneren wordt voldaan.

| De installatiedelen van de klasse IIA moeten daarbij voldoen aan de eisen ten aanzien van
| standzekerheid en integriteit.

| De installatiedelen van de klasse II hoeven niet te voldoen aan de eisen ten aanzien van
| de belastingen als gevolg van een aardbeving.

3.2-6

KOPIE

3.3 Bestendigheid tegen interne belastingen (tabel 3.3/1)

3.3.1 Specificatie van de bij het ontwerp veronderstelde belastingstoestanden

Interne belastingen op de componenten en systemen van de installatie zijn het gevolg van de procescondities bij de verschillende belastingstoestanden. Het ontwerp van de componenten en systemen van het nucleaire deel van de installatie is gebaseerd op een aantal veronderstelde belastingstoestanden.

Conform internationale methodieken zijn de belastingstoestanden of -toestandsveranderingen als volgt ingedeeld:

- 1 Bedrijfstoestanden
 - 1.1 Normaal bedrijf (Normal conditions)
 - 1.2 Storingen (Upset conditions)
- 2 Ongevallen
 - 2.1 Noodgevallen (Faulted conditions)
 - 2.2 Schadegevallen (Emergency conditions)

In tabel 3.3/1 zijn deze belastingstoestanden verder onderverdeeld.

Bedrijfstoestanden

Normaal bedrijf

Onder normaal bedrijf vallen bedrijfstoestanden of bedrijfstoestandsveranderingen, waarbij de installatie wordt bedreven binnen gespecificeerde bedrijfslimieten en -condities. Het gaat hierbij in het bijzonder om het opstarten van de reactor, vermogensbedrijf en het afschakelen van de reactor, inclusief de bij deze bedrijfstoestandsveranderingen optredende transiënten.

Storingen

Tot de storingen worden afwijkingen van het normale bedrijf gerekend, die door functie- of schakelfouten van componenten zelf of van naburige componenten ontstaan. Vanuit veiligheidstechnisch opzicht is er geen reden om na afloop van een storing en het herstel van de functie- of schakelfouten het bedrijf niet voort te zetten.

Ongevallen

Ongevallen zijn afwijkingen van normaal bedrijf of storingen, waarna het bedrijven van de installatie uit veiligheidstechnisch oogpunt niet zonder meer voortgezet kan worden.

Noodgevallen

Noodgevallen zijn ongevallen die een geringe waarschijnlijkheid van optreden hebben.

Schadegevallen

Schadegevallen zijn of ongevallen die een zeer geringe waarschijnlijkheid van optreden hebben, of gepostuleerde belastingstoestanden.

Van de belastingstoestanden zijn in tabel 3.3/1 de aantallen van optreden gegeven, zoals ze voor de mechanische analyses voor de totale bedrijfstijd (40 jaar) bij het ontwerp van de installatie zijn verdisconteerd. Naast de ontwerpaantallen zijn ook de belastingscategorieën gegeven (zie paragraaf 3.3.2).

3.3.2 Belastingscategorieën

De bij het ontwerp van de mechanische componenten en systemen veronderstelde belastingstoestanden en daaruit voortvloeiende belastingen zijn ingedeeld in belastingscategorieën afhankelijk van de ernst van de belastingstoestand (zie tabel 3.3/1). De op basis van deze veronderstelde belastingen uitgevoerde sterkteberekeningen van de componenten, volgens de Stoomwezen Grondslagen en ASME Code Section III, omvatten:

- dimensionering van de componenten
- elasticiteitsberekeningen en spanningsanalyses
- vermoeiingsanalyses.

De berekende spanningen zijn getoetst aan de in de ASME Code aangegeven toelaatbare spanningswaarden die afhankelijk zijn van de indeling van de betreffende component in belastingscategorieën alsmede van de veiligheidsclassificatie (zie paragraaf 3.2.1). De belastingscategorieën worden ingedeeld van A t/m D waarbij de toelaatbare spanningen behorende bij categorie A lager zijn dan bij categorie D.

3.3.3 Reeds opgetreden belastingen

De mogelijke gevolgen van belastingen die op componenten van het primair systeem inwerken worden uitgedrukt in de zogenaamde vermoeiingsfactor. Met vermoeiingsanalyses is aangetoond dat de vermoeiingsfactor ten gevolge van de bij het ontwerp van de installatie veronderstelde belastingen en het veronderstelde aantal van optreden gedurende de totale bedrijfstijd, aan het criterium uit de ASME Code voldoet.

Het aantal tot 1993 opgetreden belastingstoestanden in de installatie is gering ten opzichte van het veronderstelde aantal. De bijbehorende berekende vermoeiingsfactoren hebben daarom een aanzienlijke veiligheidsmarge ten opzichte van de ontwerpwaarde. Indien deze trend ten aanzien van het aantal optredende belastingstoestanden gedurende de resterende bedrijfstijd geen grote wijzigingen ondergaat zal een aanzienlijke veiligheidsmarge gedurende de totale bedrijfstijd gehandhaafd blijven.

Tabel 3.3/1 Bij het ontwerp veronderstelde belastingstoestanden, ontwerp-aantallen en bijbehorende belastingscategorieën

Veronderstelde belastingstoestanden	aantal	Ontwerp-categorie	Belastings-categorie
1 Bedrijfstoestanden			
1.1 Normaal bedrijf			
- Opstarten vanuit nullast, koud	155	A	
- Afregelen tot nullast, koud	155	A	
- Sprongvormige belastingsveranderingen	100 000		A
- Hellingvormige belastingsveranderingen	12 000	A	
- Montage van het reactorvatdeksel	60		A
- Aan- en uitschakelen van een 2e pomp van het volumeregelsysteem (TA)	10 000		A
1.2 Storingen			
- Reactorsnelafschakeling (RESA)	400		B
- Turbinesnelafschakeling (TUSA), lastafschakeling op nullast, lastafschakeling op eigenbedrijf	400		B
- Onbedoeld sluiten van een hoofdstoomafsluiter	20		B
- Uitval hoofdcoolmiddelpomp	80		B
- Onbedoeld openen van de turbine-omloopklep	5		B
- Hulpsproeien met het TA-systeem	10		B
- Drukbeproeving reactorcoolstelsel	10		P*
- Dichtheidsbeproeving reactorcoolstelsel	80		P*
- Drukproeven secundair systeem	10		P*
- Beproevingen drukhouder veiligheidsklep	45		B

3.3-4

KOPIE

Tabel 3.3/1 Bij het ontwerp veronderstelde belastingstoestanden, ontwerpaantallen en bijbehorende belastingscategorïeën (vervolg)

Veronderstelde belastingstoestanden	aantal	Ontwerp- categorie	Belastings- categorie
2 Ongevallen			
2.1 Noodgevallen			
- Noodstroomsituatie	80	B	
- TUSA zonder turbine-omloopleiding		80	B
- Stoomgeneratorpijpbreuk			
* zonder noodstroomsituatie	18	B	
* met noodstroomsituatie	2	C	
- Aanspreken veiligheidsklep drukhouder		5	B
- Niet sluiten veiligheidsklep drukhouder			
* bij beproeving	6	B	
* na aanspreken	2	C	
- Niet sluiten veiligheidsklep hoofdstoomsysteem	2	B/C**	
- Onbedoelde toevoer van koud water in een stoomgenerator		4	B
- Kleine lekkage hoofdkoelmiddelkringloop		5	C
- Kleine lekkage secundaire leidingen		5	C
2.2 Schadegevallen			
- Lekkage van hoofdkoelmiddel			
* middelgrote lekkage	1	C	
* grote lekkage	1	D	
- Lekkage van een secundaire leiding			
* middelgrote lekkage	1	C	
* grote lekkage	1	C	
- Externe invloeden	1	D	
- Bijzondere schadegevallen			
* ATWS (veronderstelde transiënt zonder reactorafschakeling)		1	C
* primaire feed/bleed	1	D	
* secundaire feed/bleed	1	D	

*

P: Bijzondere belastingscategorie voor beproevingen

**

Primairzijdig B, secundairzijdig C

3.4 Bestendigheid tegen invloeden van binnenuit (figuur 3.4/1)

3.4.1 Hypothetische lekkages

3.4.1.1 Definities

Hypothetische lekkage

Met een hypothetische lekkage wordt een opening in een onder druk staande wand van een pijpleiding of component bedoeld, waarvan het bestaan wordt aangenomen om de gevolgen ervan voor constructies, systemen en componenten te kunnen analyseren.

Stabiele onderkritische lekkage

Een lekkage wordt stabiel onderkritisch genoemd als deze het gevolg is van een taaie scheur, waarvan het oppervlak slechts langzaam groter wordt.

Rondgaande scheur

Een rondgaande scheur is een scheur in een pijpleiding in de omtreksrichting van de leiding, die zich onstabiel uitbreidt, uiteindelijk uitgroeit tot een rondom doorlopende breuk en dan een openingsoppervlak bereikt van maximaal de dubbele doorsnede van de pijp (2F-breuk).

Hoogenergetische pijpleidingen

Hoogenergetische pijpleidingen zijn water- en stoomleidingen waarvan de bedrijfsdruk \$ 20 bar of de bedrijfstemperatuur \$ 100 EC is.

Laagenergetische pijpleidingen

Laagenergetische pijpleidingen zijn pijpleidingen die niet hoogenergetisch zijn.

2 %-systemen

Aan het 2 %-criterium wordt door leidingsystemen voldaan die slechts gedurende een periode # 2% van de bedrijfstijd van de totale installatie in hoogenergetische toestand worden bedreven.

3.4.1.2 Gevolgen van hypothetische lekkages

Bij lekkages en breuken in hoogenergetische pijpleidingen wordt er met de volgende effecten rekening gehouden:

- straalkrachten
- reactiekrachten
- belasting door drukverschillen
- drukopbouw
- vochtigheid
- temperatuur

3.4-1

KOPIE

- ioniserende straling
- overstrooming
- verlies van medium met het oog op het kunnen blijven functioneren van het systeem.

Bovendien wordt er bij rondgaande scheuren rekening gehouden met de volgende effecten:

- het tegen elkaar slaan van pijpleidingen
- drukgolven.

Met betrekking tot het uitslaan van gebroken pijpleidingen is rekening gehouden met gevolgschade aan naburige leidingen. In figuur 3.4/1 is de hierbij toegepaste aanname schematisch weergegeven. De gevolgschade wordt daarbij gerelateerd aan het verschil in dikte en diameter van de leidingen.

In geval van lekkages en breuken in laagenergetische pijpleidingen worden de volgende effecten beschouwd:

- vochtigheid
- ioniserende straling
- overstrooming
- verlies van medium met het oog op het kunnen blijven functioneren van het systeem.

3.4.1.3 Hypothetische faalwijzen in hoogenergetische pijpleidingen > DN 50

Ten aanzien van hoogenergetische pijpleidingen > DN 50 (DN: uitwendige pijpdiameter in mm) worden de volgende hypothetische faalwijzen verondersteld:

- Rondgaande scheuren in zwaar belaste lasnaden.
Met zwaar belaste lasnaden wordt bedoeld lasnaden aan componentaansluitingen (ook aansluitingen van appendages) en de lasnaden aan bochtstukken.
Wanneer pijpleidingen aan bepaalde eisen voldoen kunnen rondgaande scheuren worden uitgesloten op basis van het principe van "Lek-voor-breuk (zie paragraaf 3.4.2).
- Onderkritische lekkages aan zwaar belaste lasnaden.
Het lek wordt geacht een scheur in de lengterichting of een rondgaande scheur te zijn.

3.4-2

KOPIE

3.4.1.4 Hypothetische faalwijzen in hoogenergetische pijpleidingen # DN 50

Bij hoogenergetische pijpleidingen # DN 50 wordt uitgegaan van rondgaande scheuren in lasnaden.

3.4.1.5 Hypothetische faalwijzen in 2 %-systemen

Ten aanzien van pijpleidingen die normaliter laagenergetisch en slechts kortstondig (t # 2%) hoogenergetisch zijn, worden geen rondgaande scheuren verondersteld. Het in het hoogenergetische gebied bedrijven van deze systemen veronderstelt altijd een noodzaak daartoe. Lekkages in deze pijpleidingsystemen worden beschouwd als passieve, op zichzelf staande storingen.

3.4.1.6 Hypothetische faalwijzen in laagenergetische systemen

Voor laagenergetische pijpleidingen > DN 50 worden onderkritische lekkages verondersteld. Voor laagenergetische pijpleidingen # DN 50 worden rondgaande scheuren aangenomen.

3.4.2 Principe van "Lek-voor-breuk"

Als ontwerppunt van nieuwe kernenergiecentrales wordt gesteld dat, indien tijdens het ontwerp, de bouw en de bedrijfsvoering van componenten met een vijftal principes rekening wordt gehouden, het op grond van waarschijnlijkheidsberekening uitgesloten mag worden dat deze componenten grote breuken als gevolg van een rondgaande scheur zullen vertonen. Verondersteld wordt dat alvorens de componenten zullen bezwijken eerst lekkage op zal treden (principe van lek-voor-breuk) zodat bij tijdige vaststelling van deze lekkage voorzorgsmaatregelen ter vermindering van een grote breuk getroffen kunnen worden.

De vijf genoemde principes zijn:

- vereiste componentkwaliteit door:

- * hoogwaardige materiaaleigenschappen, in het bijzonder taaiheid
- * conservatieve aannames voor de toelaatbare spanningen
- * het vermijden van spanningspieken door een zo optimaal mogelijke constructie
- * waarborging van de toepassing van geoptimaliseerde fabricage- en beproevingstechnologieën
- * kennis en beoordeling van eventuele gebreken
- * het rekening houden met het bedrijfsmedium.

Indien hieraan wordt voldaan dan bezit de betreffende component de zogenaamde basiszekerheid

- uitvoering van veiligheidstechnisch relevante bewijzen, beproevingen en controles door minimaal twee van elkaar onafhankelijke partijen. Deze werkzaamheden dienen onder een regime van kwaliteitsborging uitgevoerd te worden
- aannahme van de ongunstigste situatie. Dit houdt in dat bij alle bewijzen beproevingen en controles de conservatiefste randvoorwaarden aangenomen worden zoals de grootste belasting, de slechtst gespecificeerde kwaliteit van de materialen enzovoort
- continue bewaking en registratie van alle veiligheidstechnisch relevante procesparameters zoals de werkelijk optredende belastingen, de toestand van en mogelijke gebreken aan materialen enzovoort
- gebruik van rekencodes, basisgegevens, beproevingsconcepten en beproevingsmiddelen van erkende en gevalideerde geldigheid of toepasbaarheid.

De laatste vier van bovengenoemde principes zijn de zogenaamde meervoudige redundanties. Dat wil zeggen dat naast de basiszekerheid op meervoudig redundante wijze wordt aangetoond dat deze basiszekerheid gedurende de volledige bedrijfstijd gehandhaafd blijft. Indien aan de genoemde vijf principes wordt voldaan, dan wordt aangenomen dat grote breuken uitgesloten zijn en dat componenten eerst lekkage zullen vertonen.

Voor reeds bestaande kernenergiecentrales (zoals de kernenergiecentrale Borssele) is het principe van lek-voor-breuk van toepassing indien:

- de kwaliteit van de betreffende componenten met betrekking tot de basiszekerheid ten aanzien van de wezenlijke eisen vergelijkbaar is met de huidige stand der techniek respectievelijk dat afwijkende kenmerken veiligheidstechnisch als toelaatbaar beoordeeld zijn
- het lek-voor-breuk gedrag aangetoond is
- door redundante maatregelen tijdens de totale bedrijfstijd de uitsluiting van een grote breuk verzekerd is.

De hoog-energetische leidingen waarvoor breuken op grond van het principe van "lek voor breuk" zijn uitgesloten zijn:

- hoofdkoelmiddelleidingen (YA)
- volumevereffeningsleiding (YP)
- hoofdstoomleidingen (RA) binnen de secundaire afscherming (in de ringruimte (02) door middel van een dubbelwandige leiding)
- hoofdvoedingswaterleidingen (RL) binnen de secundaire afscherming (in de ringruimte door middel van een dubbelwandige leiding)
- noodvoedingswaterleidingen (RL) en leidingen van het secundair reserve suppletiesysteem (RS) tussen de eerste terugslagklep, de stoomgenerator en de hoofdvoedingswaterleidingen.

Alhoewel breuken van deze hoog-energetische leidingen zijn uitgesloten, worden rondgaande scheuren resulterend in twee volledige breukoppervlakken, toch verondersteld met het oog op:

- noodkoeling van de kern
- drukopbouw binnen de veiligheidsomhulling
- ongevalsbestendigheid van elektrische en meet/regelapparatuur.

Voor hoog-energetische leidingen waarvoor het principe van "lek voor breuk" niet kan worden aangetoond is een benadering gevolgd op basis van het volgende concept:

- een potentiële breuk is verondersteld bij iedere discontinuïteit van het materiaal en/of de geometrie in het leidingsysteem
- iedere interactie tussen een breuk en een veiligheidsrelevante component is geanalyseerd en het risico van de interactie is berekend
- indien het risico een bepaalde waarde overschrijdt, zijn beschermende maatregelen getroffen.

3.4.3 Beveiliging tegen overstromingen binnen de installatie

Tegen overstromingen binnen de installatie als gevolg van het bezwijken van watervoerende componenten zijn voorzorgsmaatregelen getroffen, zoals plaatsing op verschillende hoogtes, compartimentering en maatregelen die een afsluiting dienen te realiseren.

Met het oog op lekkages zijn in alle gebouwen voldoende ruim bemeten systemen aanwezig om het water uit de gebouwen af te voeren. Het water uit de ontwateringssystemen van de gebouwen in het gecontroleerd gebied komt terecht in het systeem waar het radioactieve afvalwater wordt behandeld.

Ruimten waarin zich reservoirs voor radioactieve vloeistoffen bevinden, zijn als regel uitgevoerd als kuipen die de inhoud van de reservoirs kunnen bevatten. Hierdoor wordt voorkomen dat lekwater in andere ruimten terecht komt.

Lekkages van de installatie in de veiligheidsomhulling (01), leiden tot een overstromingsniveau dat beneden het niveau ligt van de voor de veiligheid relevante actieve componenten met hun inrichtingen voor energie- en mediumtoevoer en de daarbij behorende instrumentatie en regelsystemen. Om deze overstromingen, die het gevolg kunnen zijn van ongevallen waarbij een verlies van koelmiddel optreedt of van lekkage van het secundaire leidingsysteem in de veiligheidsomhulling, te kunnen beheersen staan dus alle veiligheidssystemen van de installatie ondanks de overstroming ter beschikking. Overstromingen binnen de installatie in het reactorgebouw hebben geen ernstige gevolgen voor de veiligheidssystemen in de ringruimte (02) omdat deze voldoende hoog staan opgesteld.

In geval van extreme overstromingen in de ringruimte van het reactorgebouw (02) waarbij de in deze ruimte opgestelde systemen niet beschikbaar zijn, staan reservesystemen voor de afvoer van de restwarmte (de reserve koelketen, TE/TG080/VE) ter beschikking.

Het reservesuppletiegebouw (33) is verdeeld in aparte ruimten en aldus redundant opgebouwd. Overstromingen blijven dientengevolge beperkt tot één redundantie.

De inrichtingen van de reactorbeveiliging en de reserve-regelzaal zijn ondergebracht op de bovenste verdieping van het reserveregelzaalgebouw (35); zij kunnen niet onder water komen te staan.

Op de onderste etage van het afblaasstation op het dak van het reactorhulpgebouw zijn geen inrichtingen van het hoofdstoomsysteem (RA) die van belang zijn voor de veiligheid ondergebracht. Voordat de bovenste etage, waar zulke inrichtingen aanwezig zijn, kan worden overstroomd worden op de onderste etage door de toenemende druk buitendeuren geopend die voor de afwatering zorg dragen.

3.4.4 Beveiliging tegen brand en explosies binnen de installatie

3.4.4.1 Beveiliging tegen brand

De beveiliging tegen brand bestaat uit drie onderdelen:

- voorkomen dat brand ontstaat
(bedrijfsprocedures, toepassing van moeilijk ontvlambare materialen, geringe brandbelasting)
- voorkomen dat brand zich uitbreidt
(brandcompartimenten, brandmelders)
- beperken van de gevolgen van een brand
(brandbestrijding).

De maatregelen ter beveiliging van de essentiële veiligheidsfuncties tegen brand binnen de installatie, zijn gerealiseerd met behulp van systemen die zijn ondergebracht in het reactorgebouw (de veiligheidsomhulling 01 en de ringruimte 02), het reservesuppletiegebouw (33), het reserveregelzaalgebouw (35) en het afblaasstation. De getroffen brandveiligheidsmaatregelen zijn gericht op het beperken van de brand in deze gebouwen.

Bovendien zijn in het reactorhulpgebouw (03) lokale maatregelen getroffen tegen het overslaan van brand vanuit aangrenzende gebouwen (machinegebouw 04, noodstroomdieselgebouw 10, schakelgebouw 05). Verdere maatregelen betreffen de beveiliging van de aan de zwaarste brandbelasting blootstaande plaatsen in het conventionele gedeelte van de installatie, bijvoorbeeld de plaats in het machinegebouw waar zich de olie voor de turbine bevindt.

Ook zijn de noodvoedingswaterpompen ten aanzien van brand van elkaar gescheiden.

Administratieve en organisatorische maatregelen, zoals continu aanwezig wachtpersoneel met een opleiding voor brandbestrijding en procedures voor een snelle brandbestrijding en het inzetten van de bedrijfsbrandweer, vormen een aanvulling op de technische maatregelen.

Het bepalen van de per geval te treffen maatregelen heeft plaats gevonden op basis van een evaluatie van de feitelijk aanwezige brandbare goederen en de mogelijke gevolgen van een brand. Het geheel van de bestaande brandveiligheidsmaatregelen waarborgt dat de nucleaire veiligheid verzekerd is.

Bouwkundige brandveiligheidsmaatregelen

De wanden en vloeren in de gebouwen zijn doorgaans van gewapend beton; in enkele gevallen bestaan de wanden uit metselwerk in de dragende constructie van gewapend beton. De bestaande wand- en vloerdiktes voldoen ten minste aan de eisen van brandbestendigheidsklasse F60, dat wil zeggen dat zij gedurende 60 minuten de voortplanting van een eventuele brand verhinderen.

Pijpdoorvoeringen worden door beschermingsbuizen in de wand geleid en door middel van manchetten rook- en luchtdicht afgesloten. De spleet tussen de buis in de muur en de mediumvoerende leiding is, al naargelang de situatie vereist, gevuld met loodwol (bijvoorbeeld in omstandigheden waarbij ioniserende straling optreedt) en/of met een onbrandbaar materiaal. In enkele gevallen is de doorvoering luchtdicht gelast (afsluiting van het gecontroleerd gebied).

Deuren en luiken

De deuren en luiken in de ten behoeve van de brandveiligheid van elkaar gescheiden ruimten met hoge brandbelasting zijn in F60 uitgevoerd.

Kabelroutes

In geval van een brand moet het vermogen tot functioneren van verschillende veiligheidstechnisch belangrijke en ten opzichte van elkaar redundante kabelstrangen gewaarborgd zijn.

Ter bescherming van de kabelroutes alsook om de mogelijkheid te beperken, dat een brand zich via de kabelroutes uitbreidt, zijn de kabels ten dele van een speciale coating voorzien, terwijl ook gedeeltelijk brandwerende bekledingen of trogconstructies aanwezig zijn. Kabeldoorvoeringen zijn uitgevoerd met kabelschotten zodat de vereiste brandwerendheid van vloer of wand in stand blijft.

3.4-7

KOPIE

Maatregelen voor branddetectie, -melding en -bestrijding

Alle gebouwen worden door een brandmeldinstallatie bewaakt (zie paragraaf 9.5.2). Bij detectie van brand wordt de plaats van detectie aangegeven.

Ten behoeve van de brandbestrijding zijn in de gebouwen met verhoogd brandgevaar of een belangrijke veiligheidsfunctie brandblussystemen aanwezig (zie paragraaf 9.5.1)

3.4.4.2 Beveiliging tegen explosies

Ter beveiliging van veiligheidstechnisch belangrijke installatiedelen tegen de gevolgen van explosies zijn maatregelen getroffen om eventuele explosies te voorkomen en in omvang te beperken. Deze maatregelen zijn:

- het zoveel mogelijk toepassen van niet of slecht brandbare stoffen in plaats van gassen en/of brandbare vloeistoffen
- het reduceren van de hoeveelheden aanwezige stoffen die eventueel explosies tot gevolg zouden kunnen hebben
- het begrenzen van de bij storingen vrijkomende stoffen die eventueel explosies tot gevolg zouden kunnen hebben
- het stellen van strenge veiligheidstechnische eisen aan de insluiting van stoffen die eventueel explosies tot gevolg zouden kunnen hebben
- het bewaken van de atmosfeer van ruimten gecombineerd met automatische beveiligingsmaatregelen
- het ventileren van ruimten
- het inertiseren van installatiedelen.

3.4.5 Ontwerp van de mechanische en elektrotechnische componenten ten aanzien van de omgevingscondities

Met bestendigheid tegen ongevallen worden die ontwerpeisen bedoeld, die voortvloeien uit belastingen door druk, temperatuur en vochtigheid als gevolg van ongevallen met lekkage. Deze eisen zijn met name relevant voor elektrotechnische en meet- en regeltechnische installatiedelen die van belang zijn voor de veiligheid.

De installatiedelen binnen de veiligheidsomhulling die noodzakelijk zijn voor de waarneming of beheersing van een ongeval met verlies van koelmiddel (KMV), zijn berekend op respectievelijk goedgekeurd voor de omstandigheden tijdens een KMV-ongeval.

De ontwerpcondities voor de bestendigheid tegen KMV-ongevallen volgen uit de KMV-ontwerpberekeningen. Behalve met de omgevingscondities (druk, temperatuur, vochtigheid), is bij het aantonen van de bestendigheid tegen KMV-ongevallen ook rekening gehouden met de stralingsbelasting, het naar beneden stromende water en de verouderende invloeden in de voorgaande periode (de thermische en stralingsbelasting tijdens bedrijf).

Belastingen die door andere lekkages in de veiligheidsomhulling ontstaan (lekkage van de secundaire leidingen) worden door het ontwerp tegen KMV-ongevallen afgedekt.

Eventuele gevolgen van inwerkingen van druk, temperatuur en vochtigheid door lekkages in de ringruimte worden in de eerste uren na het begin van het ongeval beheerst met behulp van systemen die zijn opgesteld in het reactorgebouw, het afblaasstation, het reservesuppletiegebouw en het reserveregelzaalgebouw. De componenten van deze systemen die zich in de ringruimte bevinden evenals de componenten in de ringruimte die daarbij nodig zijn voor de registratie van meetwaarden zijn zo ontworpen, dat ze bestand zijn tegen de te verwachten omgevingscondities. Daarbij wordt ook rekening gehouden met het binnendringen van stoom uit het reactorhulpgebouw in de aangrenzende ringruimte van het reactorgebouw.

Voor de langdurige beheersing van het ongeval zijn in de ringruimte reserve systemen voor de afvoer van vervalwarmte uit de reactor en het splijtstofopslagbassin nodig. Deze systemen zijn tegen de betreffende omgevingscondities bestand. In het reservesuppletiegebouw en het reserveregelzaalgebouw zijn geen systemen aanwezig, waarvan het falen tot grote belastingen door druk, temperatuur en vochtigheid kan leiden.

3.4.6 Beveiliging tegen het falen van hoogenergetische leidingen

Uit de veronderstelde lekkages en breuken (paragraaf 3.4.1) volgen de aan te nemen effecten. De globale effecten zoals overstroming, druk, temperatuur en vochtigheid zijn in de paragrafen 3.4.3 en 3.4.5 besproken.

Deze paragraaf beschouwt de lokale effecten zoals:

- straalkrachten
- reactiekrachten
- rondslaande leidingen.

Straalkrachten zijn bij rondgaande scheuren en onderkritische lekkages beschouwd voor leidingen waarvoor het principe van "lek voor breuk" (zie paragraaf 3.4.2) niet geldt, ten aanzien van eventuele gevolgen voor naburige systemen of componenten en bouwkundige structuren.

Reactiekrachten werken op de bevestigingen van de betreffende pijpleiding. De mogelijke krachten zijn gebruikt bij het berekenen van de verankerings- en beveiligingsconstructies danwel bij de beoordeling van mogelijke gevolgen van het falen van bevestigingen.

Rondslaande leidingen zijn bij de rondgaande scheuren beschouwd ten aanzien van de mogelijke gevolgen op naburige installaties en bouwtechnische structuren. Met betrekking tot het uitslaan van gebroken pijpleidingen is rekening gehouden met gevolgschade van naburige leidingen volgens figuur 3.4/1, waarin de schade die een leiding aan naburige leidingen kan aanbrengen gerelateerd wordt aan de diameters en wanddiktes van de verschillende leidingen.

3.4.7 Beveiliging tegen weggeslingerde brokstukken

Het ontstaan van brokstukken als gevolg van het weigeren van installatiedelen binnen de kernenergiecentrale, wordt door preventieve maatregelen (bijvoorbeeld kwaliteitsborgingsmaatregelen) zo onwaarschijnlijk gemaakt dat met uitzondering van enkele gepostuleerde uitzonderingen, een beschouwing van de gevolgen van brokstukken niet noodzakelijk is. Daarenboven zijn er door de betonstructuren, aanvullende veiligheidsreserves aanwezig ter beveiliging van de veiligheidstechnisch belangrijke installatiedelen tegen de gevolgen van brokstukken.

Installatiedelen binnen het reactorgebouw

- **Pijpleidingen**
Brostukken kunnen bij pijpleidingen ontstaan als gevolg van pijpbreuk in hoogenergetische leidingen. Door een grote mate van kwaliteitsbewaking tijdens de fabricage, de montage en bij het uitvoeren van druktesten en functionele testen, alsook door periodieke beproeving en onderhoud, wordt gewaarborgd dat het optreden van gebeurtenissen waarbij brokstukken worden gevormd (leidingbreuk) zeer onwaarschijnlijk is. Bovendien worden analyses uitgevoerd met betrekking tot mogelijke plaatselijke gevolgen van leidingbreuk op veiligheidstechnisch relevante installatiedelen in de nabijheid van leidingen met verhoogde gevaarkans. Daarmee is aangetoond dat geen ontoelaatbare gevolgschade (uitval) kan ontstaan.

- **Appendages**
Er wordt om de navolgende redenen verondersteld dat appendages in hoogenergetische systemen niet spontaan zullen falen, zodat ook geen brokstukken ontstaan.
Een spindel van een appendage wordt verondersteld geen brokstuk te kunnen worden omdat de spindel in de armaturenbehuizing aan het einde een afdichtorgaan (afdichtkegel of -klep) bezit dat een grotere diameter heeft dan de spindeldoorvoering in het deksel van de behuizing en buiten het bereik van het medium wordt gehouden vanwege de aandrijfconstructie. Het uit de armaturenbehuizing vliegen van een compleet binnenwerk is eveneens niet mogelijk omdat het binnenwerk door meerdere gekwalificeerde bouten in de armaturenbehuizing bevestigd is en meerdere bouten gelijktijdig zouden moeten falen.

- Pompen

De pompen in het reactorgebouw zijn zo uitgevoerd dat spontaan falen, waarbij brokstukken uit de drukvoerende behuizing van deze pompen ontstaan, erg onwaarschijnlijk is. Verder tonen ervaringen van pompfabrikanten aan dat het door een waaier veroorzaakt brokstuk niet door het pomphuis dringt maar met zekerheid binnen het pomphuis wordt gehouden.

- Tanks

De tanks met grote energie-inhoud die in het reactorgebouw zijn opgesteld, zijn zodanig uitgevoerd dat aan deze tanks geen instabiele scheuren worden verondersteld zodat wordt uitgesloten dat de tankwanden falen. Ook het volledig falen van flens- en dekselverbindingen kan op basis van het grote aantal toegepaste bouten uitgesloten worden. Daardoor worden de mogelijke gevolgen van het falen van de flens- en dekselverbindingen afgedekt door het veronderstelde falen van de aangesloten pijpleidingen

- Regelstaafstompen

Onafhankelijk van de kwaliteit van de onderdelen wordt aangenomen dat het ontwerp ook bestand moet zijn tegen de gevolgen van plotselinge breuk van een stomp van een regelstaaf. De aangenomen breuk wordt verondersteld op te treden in de regelstaafomhullingspijp met de grootste diameter, waarmee tevens breukaannames in de standaardwijzingspijp en de aandrijfstompen met kleinere diameter afgedekt zijn. Bij de veronderstelde totaalbreuk (= afbreken) ter plekke van het reactorvat, werken zuiger- en straalkrachten op relatief lange versnellingswegen zodat aandrijving en aandrijfstangen als projectiel loodrecht naar boven tegen de afdekbalk vliegen, zich daar vervormen en op de kabelbrug terug vallen.

- Hoofdcoolmiddelpompen

Installatiedelen in andere gebouwen

Behalve in het reactorgebouw (01/02) zijn ook nog veiligheidsrelevante systemen ondergebracht in de volgende gebouwen:

- Reservesuppletiegebouw (33)
- Reserveregelzaalgebouw (35)
- Noodstroomdieselgebouwen (10,72)
- Reactorhulpgebouw (03)
- Machinegebouw (04)
- Schakelgebouw (05)
- Koelwaterinlaatgebouw (21)

In het reservesuppletiegebouw, reserveregelzaalgebouw en de noodstroomdieselgebouwen wordt de beveiliging tegen veronderstelde brokstukken uit interne gebeurtenissen bereikt, doordat de veiligheidstechnisch belangrijke systemen ruimtelijk gescheiden zijn in de gebouwen door betonwanden tussen de afzonderlijke redundanties.

In het reactorhulpgebouw bestaat een ruimtelijke scheiding tussen de veiligheidsrelevante installatiedelen van hoogenergetische bedrijfssystemen waardoor falen van één van deze installatiedelen niet het falen van een andere tot gevolg zal hebben. Bovendien zijn hierdoor als gevolg van het falen van deze installatiedelen geen relevante gevolgen voor de standzekerheid van het gehele reactorhulpgebouw en voor het reactorgebouw te veronderstellen.

De functie van de veiligheidsrelevante installaties in het machinegebouw kunnen door veiligheidssystemen in andere gebouwen vervangen worden in geval ze als gevolg van de invloed van brokstukken zouden uitvallen.

Van vaten in het machinegebouw waarvan falen ernstige gevolgen kan hebben (voedingswatertank, oververhitters) is het falen uit te sluiten, omdat door periodieke inspectie en onderhoudsmaatregelen beginnende fouten in de belangrijke lasnaden van de vaten tijdig onderkend worden.

In het schakelgebouw en in het koelwaterinlaatgebouw zijn geen relevante hoogenergetische systemen waarbij brokstukken kunnen worden gevormd, aanwezig.

3.4-12

KOPIE

Turbinebrokstukken

De volgende maatregelen zijn getroffen om storingen aan de turbogenerator of het ontstaan van brokstukken te voorkomen:

- toepassing van een betrouwbare en beproefde constructie
- uitgebreide maatregelen om de kwaliteit te waarborgen
- slingertest van alle turbinerotoren tot 125% van het nominale bedrijfstoerental
- toepassing van een betrouwbaar turbineregelsysteem dat regelmatig wordt getest
- voorzieningen om een hoge mate van afschakelbetrouwbaarheid te garanderen
- regelmatige inspectie en controle van de turbogenerator inclusief de beschermings- en afsluitvoorzieningen
- periodiek ultrasoon onderzoek
- bewaking ten aanzien van trillingen.

Daarnaast zijn het reactorgebouw (01/02), het reservesuppletiegebouw (33) en het reserveregelzaalgebouw (35) zo gesitueerd, dat mogelijk weggeslingerde turbogeneratorfragmenten deze gebouwen niet kunnen treffen.

Voor het geval dat het regelsysteem van de turbine faalt of de regelkleppen niet goed sluiten, is een snelsluit-overtoeerenbeveiliging toegepast ter voorkoming van ontoelaatbaar hoge toerentallen. De limietwaarde voor het aanspreken van het snelsluitsysteem is zó ingesteld, dat het maximaal toelaatbare toerental van de turbinerotoren nooit bereikt wordt.

De overtoerenbeveiliging werkt "fail safe", wat wil zeggen dat de snelsluitkleppen van de turbine sluiten, zodra de druk van de regelvloeistofdruk wegvalt. De overtoerenbeveiliging kan tijdens normaal bedrijf worden beproefd. Ook de snelsluit- en regelkleppen worden regelmatig tijdens bedrijf beproefd. Naast de twee mechanische overtoerenbeveiligingen is er een onafhankelijke, elektrische overtoerenbeveiliging geïnstalleerd.

3.4-13

KOPIE

3.5 Bestendigheid tegen invloeden van buitenaf

3.5.1 Aardbevingen

Volgens de regelgeving op nucleair gebied, moet er voor het ontwerpen tegen aardbevingen een zogenoemde ontwerpaardbeving worden gedefinieerd.

Als ontwerpaardbeving wordt de volgens wetenschappelijke inzichten maximaal te verwachten aardbeving, op basis van de in de wijde omgeving van de locatie opgetreden aardbevingen en rekening houdend met de geologische situatie ter plaatse gedefinieerd.

De intensiteit van de ontwerpaardbeving voor de vestigingsplaats, is vastgesteld op VI2 (MSK) (zie paragraaf 2.2.2).

Uit de ontwerpaardbeving en de gesteldheid van de ondergrond ter plaatse is een bodemresponsiespectrum afgeleid. Met behulp daarvan kunnen de belastingen op gebouwen en constructies worden bepaald.

Aardbevingen worden beheerst door het aardbevingsbestendig ontwerpen (zie paragraaf 3.2.2) van systemen en componenten die zijn opgesteld in het reactorgebouw (01/02), in het reservesuppletiegebouw (33) en in het reserveregelzaalgebouw (35). Deze gebouwen zijn dusdanig ontworpen, dat zij tegen de ontwerpaardbeving bestand zijn. Van het reactorhulpgebouw is de standzekerheid gewaarborgd. Het concept voor de beheersing van aardbevingen gaat er van uit dat de koeling naar de Westerschelde uitvalt, aangezien het nood- en nevenkoelwatersysteem (VF) niet op een aardbeving is berekend. Teneinde ook in deze situatie voldoende koeling te hebben is de bronneninstallatie (VE) bestand tegen aardbeving.

3.5.2 Vliegtuigongelukken

Vanwege de nabijheid van het vliegveld Midden-Zeeland wordt rekening gehouden met het neerstorten van een klein vliegtuig (Cessna 210) op de kernenergiecentrale (zie paragraaf 2.7). Het reactorgebouw heeft evenwel een bestendigheid tegen de val van een groter vliegtuig. Het is namelijk bestand tegen de val van een militair vliegtuig met een beperkte snelheid. Deze aanwezige structurele weerstand van het reactorgebouw is toegepast voor de gebouwen die van het grootste belang zijn voor de veiligheid (reactorgebouw, reservesuppletiegebouw en reserveregelzaalgebouw). Door het ontwerp van de gebouwen wordt tevens voorkomen dat grote hoeveelheden motorbrandstof in de genoemde gebouwen binnen kunnen dringen.

3.5-1

KOPIE

3.5.3 Explosiedruk golf

De gebouwen die van het grootste belang zijn voor de veiligheid (reactorgebouw, reservesuppletiegebouw en reserveregelzaalgebouw), zijn zo ontworpen, dat zij een explosiedruk golf met een statische overdruk van 0,1 bar en een piekoverdruk van 0,15 bar kunnen weerstaan.

3.5.4 Windbelastingen

De gebouwen die van het grootste belang zijn voor de veiligheid (reactorgebouw, reservesuppletiegebouw en reserveregelzaalgebouw), zijn door hun ontwerp tegen explosiedruk golven en vliegtuigongelukken ook bestand tegen normale uit bouwnormen voortvloeiende windbelastingen en ten gevolge van mogelijk optredende windhozen. Deze gebouwen zijn bestand tegen een extreme wind met een windsnelheid van 80 m/s en een tornado met een maximale windsnelheid van 125 m/s. De overige gebouwen voldoen aan de normen voor normale windbelastingen.

3.5.5 Overstroming

De hoogste waterstand waarmee rekening dient te worden gehouden, bedraagt 7,3 m + NAP (zie paragraaf 2.3). Bij het ontwerp van de gebouwen en de opstelling van veiligheidsrelevante componenten is hiermee rekening gehouden. Dit geldt voor het reactorgebouw, het reservesuppletiegebouw en het reserveregelzaalgebouw.

3.5.6 Andere invloeden van buitenaf

Naast de in de paragrafen 3.5.1 tot en met 3.5.5 genoemde invloeden van buitenaf zijn ook de volgende gebeurtenissen in beschouwing genomen:

- Blikseminslag (zie paragraaf 8.5)
- Invloeden door derden (zie paragraaf 13.1.3)
- Uitval van de koeling naar de Westerschelde
- Schadelijke chemische stoffen
- Externe brand
- Extreme weersomstandigheden
- Het stranden van een schip

Uitval van de koeling naar de Westerschelde

Wanneer de koeling naar de Westerschelde uitvalt, staat het nood- en nevenkoelwatersysteem (VF) niet meer ter beschikking. De afvoer van de restwarmte vindt in dit geval plaats via het reservesuppletiesysteem (RS) en de stoomgeneratoren via verdamping. Tevens zijn voorzieningen aanwezig om de vervalwarmte af te voeren met inzet van mobiele apparatuur. Indien een dergelijke situatie langdurig zou optreden kan de vervalwarmte via het reservekoelwatersysteem (VE) worden afgevoerd.

Schadelijke chemische stoffen

Met betrekking tot toxische gassen zijn ten behoeve van de bescherming van het personeel van de regelzaal detectoren aangebracht. Bij waarneming van deze gassen wordt het ventilatiesysteem van de regelzaal automatisch afgesloten en vindt interne recirculatie plaats. Zelfs in het geval de regelzaal niet meer ter beschikking staat is toch een autonoom bedrijf van 10 uur gewaarborgd. Andere schadelijke chemische stoffen, zoals bijvoorbeeld corrosieve gassen, veroorzaken op korte termijn geen schade, zodat na blootstelling aan corrosieve gassen de installatie te allen tijde kan worden afgeschakeld.

Externe brand

Ten aanzien van de gevolgen van externe branden zijn geen extra maatregelen nodig. De maatregelen ten aanzien van de overige invloeden van buitenaf zijn afdekkend voor externe branden.

Extreme weersomstandigheden

Bijzondere maatregelen, die verder gaan dan het ontwerp tegen aardbevingen, vliegtuigongelukken en explosiedrukgolven, zijn niet nodig.

Het stranden van een schip

De gevolgen van het stranden van een schip met een gevaarlijke lading worden in voldoende mate door de maatregelen tegen explosiedrukgolven en schadelijke chemische stoffen tegengegaan.

In het geval van een mogelijk uitvallen van de koeling naar de Westerschelde als gevolg van een scheepsstranding vindt de afvoer van de restwarmte plaats via het reservesuppletiesysteem (RS) en de stoomgeneratoren via verdamping. Tevens zijn voorzieningen aanwezig om de vervalwarmte af te voeren met inzet van mobiele apparatuur. Indien een dergelijke situatie langdurig zou optreden kan de vervalwarmte via het reservenoodkoelwatersysteem (VE) worden afgevoerd.

3.5.7 Aantonen van de bestendigheid tegen invloeden van buitenaf

3.5.7.1 Bouwkundige constructies

Alle bouwkundige constructies zijn dusdanig ontworpen, dat zij bestand zijn tegen alle als reëel te beschouwen invloeden van buitenaf, of deze nu van natuurlijke of van menselijke aard zijn. Daarbij kan men denken aan bliksem, hoog- en laagwater, ijs en sneeuw, storm en brand in de omgeving. Bovendien zijn het reactorgebouw, het reservesuppletiegebouw en het reserveregelzaalgebouw (alle gebouwen van de aardbevingsklasse I) bestand tegen belastingen ten gevolge van een aardbeving, een vliegtuigongeluk en een explosiedruk golf, zodat het afschakelen van de reactor, de afvoer van de restwarmte en de afsluiting van de ventilatie van de veiligheidsomhulling na een extreme invloed van buitenaf worden gewaarborgd.

Ook de belasting door vallend puin afkomstig van andere gebouwen levert voor deze gebouwen geen gevaar op, omdat de dragende constructies van het reactorhulpgebouw, inclusief de ventilatieschacht, het machinegebouw en het schakelgebouw (alle gebouwen van de aardbevingsklasse IIA), na een aardbeving intact zullen blijven.

Een voldoende standzekerheid van de toegepaste verankeringen, die bedoeld zijn om de voor de veiligheid relevante voorzieningen en installatiedelen tegen aardbevingen te beschermen, is gewaarborgd. Hetzelfde geldt voor componenten waaraan gevolgschade zou kunnen ontstaan.

Hieronder wordt aangegeven op welke wijze de bestendigheid is aangetoond. De verschillende stappen waarin dat achtereenvolgens gedaan is zijn daarbij gegeven.

1. Aardbeving
 - a) Gebouwen van de klasse I
 - Weergave van de gebouwen door massa-/staafmodellen
 - Vaststelling van de reacties van de gebouwen
 - Analyse van toereikend draagvermogen van de constructiedelen
 - Analyse van toereikend draagvermogen van de verankeringen die bestand dienen te zijn tegen belastingen als gevolg van aardbevingen
 - Beproevingen en berekeningen
 - Kwaliteitsborgingseisen.
 - b) Gebouwen van de klasse IIA
 - Weergave van gebouwen door vereenvoudigde staafmodellen
 - Vaststelling van de reacties van de gebouwen (plastische vervormingen en het optreden van scheuren zijn hierbij toegestaan)
 - Waarborging van voldoende veiligheid bij het falen van vitale constructiedelen.

- c) Gebouwen van de klassen I en IIA ten opzichte van elkaar
 - Weergave van gebouwen door vereenvoudigde staafmodellen
 - Vaststelling van toelaatbare wisselende belastingen op de gebouwen.
- 2. Vliegtuigongeluk
 - Weergave van de buitenmuren van de gebouwen van klasse I door rotatiesymmetrische modellen met representatieve afmetingen en het uitoefenen van een belasting door het er tegen laten botsen van een vliegend voorwerp (type Cessna 210)
 - Vaststelling van de hieruit voortvloeiende belastingen
 - Analyse van het weerstandsvermogen tegen belastingen die worden veroorzaakt door een neerstortend vliegtuig.
- 3. Explosiedruk golf
 - Weergave van de gebouwen van klasse I door massa- /staafmodellen
 - Vaststelling van de reacties van de gebouwen
 - Waarborging van voldoende draagvermogen van de constructiedelen.

Binnen de gebouwen van klasse I zijn bouwkundige voorzieningen getroffen om de gevolgen van invloeden van binnenuit te kunnen beheersen. Deze bouwkundige voorzieningen moeten ervoor zorgen dat (zie paragraaf 3.4):

- de uitwerking van deze invloeden geen gevolgen heeft die meerdere redundanties van één systeem treffen
- de veiligheidssystemen goed kunnen blijven functioneren, of dat een toereikende capaciteit daarvan gewaarborgd blijft
- escalatie van schade wordt voorkomen
- de barrières goed blijven functioneren.

Doordat het machinegebouw en de turbine in het verlengde van het reactorgebouw liggen, zijn de gebouwen van klasse I beschermd tegen de gevolgen van een turbine-ongeval (zie paragraaf 3.4.7).

3.5.7.2 Systemen en componenten

Waar van toepassing is aangetoond, dat de componenten dusdanig zijn ontworpen, dat zij bestand zijn tegen geïnduceerde schokken als gevolg van een aardbeving. De beveiliging van de componenten tegen neerstortende vliegtuigen en explosiedrukgolven is verzekerd, doordat de gebouwen zelf tegen deze invloeden van buitenaf zijn ontworpen.

Systemen en componenten die voor de handhaving van de essentiële veiligheidsfuncties na een aardbeving intact of tot functioneren geschikt dienen te blijven (aardbevingsklasse I) zijn aan de hand van onderstaande bewijsmethoden gecontroleerd. Voor componenten, die na een aardbeving de integriteit of de geschiktheid tot functioneren van systemen en componenten van de aardbevingsklasse I in gevaar zouden kunnen brengen, werd eveneens de standzekerheid aangetoond (aardbevingsklasse IIA componenten).

Om aan te tonen, dat de betreffende systemen en componenten bestand zijn tegen mogelijke aardbevingen, zijn onderstaande bewijsmethoden apart of in combinatie toegepast:

- rekenkundige methoden
- experimentele methoden
- analogie- en plausibiliteitsbeschouwingen
- richtlijnen voor het leggen van pijpleidingen
- ontwerpnomogrammen voor ventilatiekanalen
- inspectiegang.

De rekenkundige bewijsvoering is gebaseerd op hetzij de responsiespectramethode, de tijdsduurmethode of op geëigende, aan de specifieke problematiek aangepaste equivalente methoden. Waar nodig is daarbij gebruik gemaakt van eindige-elementenanalyse.

Experimentele bewijzen voor werktuigbouwkundige componenten en kabeldraagconstructies zijn in een proefopstelling of in industriële installaties geleverd. De proeven zijn uitgevoerd met acceleraties die overeenkomen met die voor de ontwerpaardbeving voor de locatie Borssele.

Wanneer de principes van overdraagbaarheid kunnen worden aangehouden, zijn in plaats van de rekenkundige en experimentele methoden, analogie- en plausibiliteitsbeschouwingen toegepast.

Voor pijpleidingen is een richtlijn voor het aanbrengen opgesteld. Met inachtneming van randvoorwaarden die uit de constructie voortvloeien, zijn de pijpleidingen op toegestane afstanden tussen de ondersteuning bevestigd. De nodige flexibiliteit is door het aanhouden van de juiste buiglengten verzekerd. Voor pijpleidingen die niet volgens de voorschriften uit de richtlijn konden worden gelegd, zijn rekenkundige bewijzen geleverd.

Aangezien bij ventilatiekanalen de sterkte van de flensverbindingen en het stabiliteitsgedrag van de platen rekenkundig moeilijk vast te stellen zijn, zijn deze proefondervindelijk bepaald. Op basis van deze proefresultaten zijn ontwerpnomogrammen opgesteld waarmee de afstand tussen de ondersteuning als functie van de optredende versnellingen bepaald kunnen worden.

3.5-6

KOPIE

De beoordeling met betrekking tot aardbevingsbestendigheid van bestaande componenten en systemen heeft plaatsgevonden in de vorm van inspectiegangen door de installatie van specifieke deskundigen op aardbevingsgebied. Aan de hand van responsiespectra en controlelijsten is geïnventariseerd welke maatregelen genomen dienden te worden teneinde de beoogde aardbevingsbestendigheid te bereiken.

3.5.7.3 Elektrotechnische installaties en meet- en regelsystemen

De elektrotechnische installaties en meet- en regelsystemen die belangrijk zijn voor de veiligheid, zijn zó ontworpen, dat zij bestand zijn tegen door een aardbeving geïnduceerde schokken.

De beveiliging tegen een vliegtuigongeluk en een explosiedruk golf volgt uit het ontwerp van de gebouwen, die bestand zijn tegen deze invloeden van buitenaf.

Om de uitwerking van een aardbeving op voor de veiligheid belangrijke elektrotechnische en meet- en regeltechnische componenten te kunnen evalueren, zijn de omvang van en de eisen aan de verschillende componenten en het benodigde instrumentarium gedefinieerd. Dit is bijvoorbeeld voor de volgende componenten gebeurd:

- laag- en middenspanningskasten, regelkasten
- schakelpanelen
- elektromotoren
- meetwaarde-omvormers

Tevens zijn voor de elektrotechnische en meet- en regelcomponenten experimentele onderzoeken gedaan.

Het vertalen van de bevindingen uit die experimentele onderzoeken in conclusies die gelden voor componenten en individuele aggregaten van de kernenergiecentrale Borssele, vond plaats op basis van:

- analogiebeschouwingen
- plausibiliteitsbeschouwingen
- rekenkundige analyses

Bij de analogiebeschouwingen is uitgegaan van referentieresultaten. Daarbij wordt aangetoond dat enerzijds de statische parameters, de dynamische eigenschappen en de belastingen overdraagbaar zijn en dat anderzijds de constructies vergelijkbaar zijn.

3.5-7

KOPIE

In plaats van rekenkundige of experimentele bewijzen dat elektrotechnische en meet- en regeltechnische componenten bestand zijn tegen belastingen als gevolg van een aardbeving, zijn aan de hand van het ontwerp van die installatiedelen voor andere belastingen, plausibiliteitsbeschouwingen gehouden. Hierbij is aangetoond, dat er tegen een falen als gevolg van een aardbeving voldoende garanties aanwezig zijn.

Voor de dragende constructies ten behoeve van de elektrotechnische en meet- en regelsystemen zijn rekenkundige bewijzen geleverd. Uitgangspunt voor de berekeningen waren de zogenaamde etageresponsiespectra.

De voornoemde bewijsvoering vormt de documentatie die bij de inspectiegangen door de installatie als basis diende; alle essentiële informatie over de constructie en de elektrotechnische en meet- en regeltechnische componenten is hierin opgenomen.

Aangetoond is dat delen van de elektrotechnische en meet- en regeltechnische systemen die van belang zijn voor de handhaving van de essentiële veiligheidsfuncties, zullen blijven functioneren tijdens en na aardbevingen zoals deze op de locatie Borssele kunnen optreden.

3.5-8

KOPIE

3.6 Bouwkundige constructies (figuur 3.6/1 tot en met 3.6/10)

Terrein, het totale complex, toegangen

De locatie van de kernenergiecentrale bevindt zich 1,4 km ten noordwesten van het dorp Borssele en 10 km ten oosten van de stad Vlissingen, achter de zeedijk van de Westerschelde, in de nabijheid van de Sloehaven. Het terrein van de kernenergiecentrale ligt op circa 3,0 m boven NAP.

De gebouwen, inrichtingen en constructies die bij de kernenergiecentrale Borssele horen, zijn weergegeven in de situatieschets (figuur 3.6/1). Het terrein en de gebouwen worden bewaakt; daarnaast is het begrip "gecontroleerd gebied" ingevoerd.

Tot het "gecontroleerd gebied" worden die ruimten in gebouwen of delen van gebouwen gerekend, waarvoor een strikte toegangscontrole en dosisregistratie nodig geacht worden, teneinde omgeving en personen te beschermen tegen stralingsinvloeden. Daartoe behoren het reactorgebouw met de ringruimte (01, 02) en het reactorhulpgebouw (03) met uitzondering van het afblaasstation.

Afhankelijk van het plaatselijke dosistempo, vindt er ook tijdens het uitvoeren van werkzaamheden in het afvalopslaggebouw (34) een toegangscontrole en dosisregistratie plaats. Dit gebouw wordt echter niet tot het "gecontroleerd gebied" gerekend.

Het cilindrische reactorgebouw met koepeldak wordt aan de zuidoostkant voor de helft door het reactorhulpgebouw omsloten. Op het dak van het reactorhulpgebouw is in een opbouw het afblaasstation met de veiligheids- en afblaasregelkleppen van de hoofdstoomleidingen ondergebracht. De ventilatieschacht is op het dak van het reactorhulpgebouw tegen het reactorgebouw geplaatst.

Aan de noordzijde is een hijsinstallatie (portaalkraan) tegen het reactorgebouw geplaatst.

Aan de westzijde sluit het reservesuppletiegebouw (33) direct aan op het reactorgebouw.

| Ten zuidwesten van het reservesuppletiegebouw bevindt zich het
|| reserveregelzaalgebouw (35).

Het machinegebouw (04) met de turbogeneratorgroep sluit aan op het reactorhulpgebouw. Noordoostelijk van het machinegebouw bevinden zich de werkplaats (07), het magazijn (08) en het deminwateraanmaakgebouw (09). Het noodstroomdieselgebouw I (10) ligt tegen het reactorhulpgebouw en het machinegebouw aan. Het schakelgebouw (05) is tegen de lange zuidwestelijke zijde van het machinegebouw aangebouwd. Het dienstgebouw (06) is naast het schakelgebouw en het reactorhulpgebouw gesitueerd.

3.6-1

KOPIE

| Het noodstroomdieselgebouw II (72) ligt tegenover de naar het zuidoosten gerichte
| voorgevel van het machinegebouw.

Het afvalopslaggebouw (34) ligt ten noorden van het reactorgebouw.

De overige gebouwen ten behoeve van ondersteunende diensten liggen ten noordoosten van het reactorgebouw. De kantoorgebouwen bevinden zich ten zuidwesten daarvan. Het hoofdkantoorgebouw en de bewakingsloge liggen aan de toegangsweg naar het centraletterrein.

Tenslotte bevinden zich buitendijks het koelwaterinlaat- en koelwateruitlaatgebouw (21, 23).

3.6.1 Gebouwen van aardbevingsklasse I

3.6.1.1 Reactorgebouw (01/02)

Taken, ruimtelijke indeling en opstelling van de installaties

In het reactorgebouw bevinden zich het primair koelsysteem en diverse nucleaire hulpsystemen en veiligheidsvoorzieningen.

De omhulling van gewapend beton (secundaire afscherming) van het gebouw is om de stalen veiligheidsomhulling heen geplaatst. Tussen de veiligheidsomhulling en de secundaire afscherming bevindt zich de ringruimte van het reactorgebouw.

Het functionele ontwerp van het reactorgebouw wordt in paragraaf 6.1.1 beschreven.

Het gebouwconcept houdt, net als de situering van de componenten en pijpleidingen, rekening met de noodzakelijke bescherming tegen straling en de gevolgen van ongevallen.

In de veiligheidsomhulling zijn het primair systeem alsook delen van direct daarop aansluitende nucleaire hulpsystemen en het splijtstofopslagbassin ondergebracht. De stalen wand van de veiligheidsomhulling wordt ten opzichte van het primair systeem door zware wanden van gewapend beton (onder andere de veiligheidscilinder) beschermd. Het reactorvat en het biologische schild van gewapend beton bevinden zich onderin het gebouw. Drie doorsnedes van het reactorgebouw zijn gegeven in de figuren 3.6/2 tot en met 3.6/4.

In de veiligheidsomhulling onderscheiden zich naar het plaatselijke dosistempo:

- de installatieruimte, die in principe niet kan worden betreden wanneer de reactor in bedrijf is
- de bedrijfsruimte, die wel kan worden betreden wanneer de reactor in bedrijf is.

3.6-2

KOPIE

Door verschillende drukniveaus te handhaven, wordt ervoor gezorgd dat de lucht uit de bedrijfsruimte naar de op een lagere druk staande installatieruimte stroomt, met andere woorden van lager naar hoger plaatselijk dosistempo.

De installatieruimte die zich geheel binnen de veiligheidscilinder van gewapend beton bevindt, bevat voornamelijk de volgende componenten:

- reactorvat
- hoofdkoelmiddelleidingen
- stoomgeneratoren
- hoofdkoelmiddelpompen
- drukhoudsysteem met drukhouder, afblaastank en appendages (YP)
- recuperatieve warmtewisselaars, HD-koelers en HD-reduceerstation (TA).

De bedrijfsruimte binnen de veiligheidscilinder, die door betonnen wanden en afdekbalken van de installatieruimte wordt gescheiden, bevat voornamelijk:

- het splijtstofopslagbassin
- de splijtstofwisselmachine
- het kogelmeetsysteem
- ruimten voor de meetwaarde-omvormers.

Bovenop de veiligheidscilinder is een polaire kraan geplaatst, om componenten binnen de veiligheidsomhulling te kunnen demonteren en monteren, voor het lichten van de betonnen afdeklatten boven de reactorput, en voor het lichten van het deksel van het reactorvat bij het wisselen van splijtstofelementen.

De bedrijfsruimte buiten de veiligheidscilinder bevat:

- kerninundatiebuffertanks (TJ)
- ventilatiesystemen (TL)
- appendages en meetwaarde-omvormers.

In de ringruimte van het reactorgebouw zijn hulp- en veiligheidssystemen ondergebracht. Het gaat daarbij voornamelijk om:

- pompen en koelers van het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ)
- het splijtstofopslagbassinkoelsysteem (TG) met de reservebassinkoeler van het reserve noodkoelwatersysteem (VE)
- pompen van het volumeregelsysteem (TA)
- het olietoevoersysteem van de hoofdkoelmiddelpompen
- filter van de drukontlasting van de veiligheidsomhulling (zie paragraaf 20.4.4).

Toegang

De toegang van personen tot de veiligheidsomhulling vindt plaats via de personensluis, die via de ingang van het gecontroleerd gebied in het reactorhulpgebouw bereikbaar is. Transporten van componenten met grote afmetingen (bijvoorbeeld transportcontainers voor splijtstofelementen) naar de veiligheidsomhulling, vinden plaats door de materiaalsluis op 24,00 m boven NAP. De materiaalsluis heeft aan de buitenkant een beschermende ombouw en een hijsinstallatie met aangebouwde trapopgang. Een naast de materiaalsluis aangebrachte noodsluis voorziet in een korte vluchtroute.

Om de wand van de veiligheidsomhulling aan de buitenkant te kunnen inspecteren en onderhouden, is er een hangladder aanwezig die langs de gehele buitenzijde kan worden verplaatst.

Gebruik van de ruimten

Alle ruimten die tijdens het bedrijf toegankelijk zijn, hebben alleen een taak voor de bewaking, het onderhoud van de installatie en reparaties, alsook voor het inbrengen van nieuwe en het transport van verbruikte splijtstofelementen. Er zijn geen ruimten, waarin zich voortdurend mensen bevinden.

Bouwkundige beschrijving

De buitendiameter van het reactorgebouw bedraagt circa 49,5 m en die van de stalen veiligheidsomhulling 46,0 m.

De omhulling van gewapend beton (secundaire afscherming) van het reactorgebouw, met een wanddikte van 0,6 m, is in het onderste gedeelte tot een hoogte van 32,5 m boven NAP als een cilinder geconstrueerd terwijl het bovenste gedeelte de vorm heeft van een koepel.

De fundering bestaat uit heipalen onder twee fundatieplaten van gewapend beton. Tussen de bovenste en de onderste fundatieplaat is een drukwaterdichte folie-isolatie aangebracht, die aan de zijkanten is opgetrokken tot 5,0 m boven NAP.

De dikten van de wanden en vloeren zijn aangepast aan de eisen ten aanzien van de stralingsbescherming.

De binnenwanden en vloeren van de ringruimte zijn van gewapend beton. Het onderste gedeelte van de veiligheidsomhulling is in een kom van gewapend beton ingebed. De belastingen van de constructies binnen de veiligheidsomhulling worden via deze kom naar de ondergrond afgevoerd.

In de veiligheidsomhulling is het primair systeem alsook het splijtstofopslagbassin ondergebracht. Alle hoge-drukvoerende delen van de installatie zijn ter bescherming van de veiligheidsomhulling binnen de 1,0 m à 1,5 m dikke wanden van de veiligheidscilinder geplaatst die aan de bovenkant door betonnen balken afgedekt is. De veiligheidscilinder draagt de polaire kraan.

3.6-4

KOPIE

De reactorput bevindt zich ongeveer in het centrum van de veiligheidsomhulling. Rondom het reactorvat is het biologische schild aangebracht. De ondersteuning voor het reactorvat rusten op consoles van het biologische schild. De ruimte tussen het beton van het biologische schild en het reactorvat wordt met lucht gekoeld (zie paragraaf 9.4.2).

De afscheiding tussen het boven de reactorput liggende reactorbassin en het splijtstofopslagbassin bestaat uit een stalen schuif en afschermingsbalken van beton.

Openingen in bepaalde wanden zorgen in het geval van falen van een drukvoerend systeem voor de benodigde drukvereffening tussen de verschillende ruimten.

Verschillende afschermwanden en wandafsluitingen bestaan uit gemetselde stenen muren of droog gestapelde elementen in stalen bevestigingsconstructies; zij hebben een afschermende functie maar dienen daarnaast voor drukvereffening. Ook kunnen zij ten behoeve van montage- of demontage-werkzaamheden verwijderd worden.

Interieur

Alle wand- en plafondoppervlakken van de ruimten binnen de veiligheidsomhulling, alsook de oppervlakken van de wanden en plafonds in de ringruimte zijn voorzien van een decontamineerbare coating. De vloeren van deze ruimten zijn voorzien van een laag epoxyhars.

Op het oppervlak van staalconstructies en plaatstalen delen is eveneens decontamineerbare verf aangebracht.

In het reactorgebouw zijn plaatstalen deuren toegepast.

Veiligheidsomhulling

De veiligheidsomhulling is een stalen drukvat, dat erop is ontworpen de maximale druk van het stoom/luchtmengsel, die in geval van een guillotinebreuk (2F-breuk) van een hoofdkoelmiddelleiding ontstaat, te kunnen weerstaan.

De veiligheidsomhulling is ontworpen volgens de specifieke voorschriften voor drukvaten en de voorschriften voor tank- en reservoirbouw. In het bijzonder zijn de Stoomwezen Regels voor toestellen onder druk, "AD-Merkblätter" en DIN-normen in acht genomen. De wanddikte van de veiligheidsomhulling varieert van 22 tot 30 mm.

Als bewijs voor een voldoende sterkte en standzekerheid is een sterkte- en stabiliteitsberekening uitgevoerd. Hierbij is rekening gehouden met de ontwerpdruk, ontwerptemperatuur, warmtespanningen als gevolg van een ongelijkmatige temperatuurverdeling, onderdruk, eigengewicht en beproevingsdruk.

De veiligheidsomhulling bezit een verscheidenheid aan doorvoeringen ten behoeve van mensen, materiaal, media en energie.

- Sluizen

Tijdens het bedrijf van de reactor kan men de veiligheidsomhulling slechts via gasdichte sluizen, die bestand zijn tegen de te verwachten druk, binnengaan. Dit vindt meestal plaats via de personensluis. De deuren van de sluizen gaan in de richting van de binnenruimte open. De beide deuren van iedere sluis zijn op zo'n manier ten opzichte van elkaar vergrendeld, dat steeds maar één van de deuren kan worden geopend. Het gebruik van de sluis is mogelijk bij maximale over- en onderdruk.

De afdichtingen van de deuren en de compensatieventielen zijn dubbel uitgevoerd.

De volgende sluizen zijn aanwezig:

- * personensluis; de deuren daarvan worden elektro-hydraulisch bediend, kunnen echter in geval van een storing ook handmatig worden bediend
- * noodsluis; deze heeft deuren die handmatig moeten worden bediend en bevindt zich naast de materiaalsluis
- * materiaalsluis; deze bevindt zich op de 24 meter-vloer en is bemeten voor het doorlaten van de transportcontainer voor splijtstofelementen. De deuren worden elektro-hydraulisch bediend.

- Leiding- en kabeldoorvoeringen

Met betrekking tot leiding- en kabeldoorvoeringen wordt onderscheid gemaakt op basis van de volgende constructie-kenmerken (zie figuur 3.6/5 a tot en met e):

- a. een pijpleiding die in de onmiddellijke nabijheid van de doorvoering een bevestigingspunt heeft. De wand van de veiligheidsomhulling hoeft slechts de inwendige weerstand van de compensatoren op te nemen. Voorbeelden hiervan zijn de hoofdstoom- en voedingswaterleidingen
- b. een pijpleiding die in de doorvoering is bevestigd. De krachten die door de pijpleiding worden uitgeoefend, worden door de doorvoerstoppen in de wand van de veiligheidsomhulling opgenomen. Voorbeelden: de leidingen van de koelkringlopen, ventilatieleidingen en dergelijke
- c. uitvoering als onder b; echter voor pijpleidingen die niet aan de doorvoerstop kunnen worden gelast

3.6-6

KOPIE

- d. uitvoering als onder b; echter voor pijpleidingen met temperaturen boven 100 EC
- e. Vermogens-, regel- en meetkabels worden via speciale, druk- en temperatuurbestendige, gasdichte kabeldoorvoeringen door de wand van de veiligheidsomhulling gevoerd. Hierbij zijn alle typen doorvoeringen volgens hetzelfde principe opgebouwd en hebben zij voor de verbinding met de wand van de veiligheidsomhulling uniforme, genormaliseerde afmetingen. De doorvoeringen zijn beschermd tegen mechanische krachten.

- Montage-opening

De veiligheidsomhulling is voorzien van een grote montage-opening, die dient voor het transport van grote componenten. Het deksel van de opening is aan de wand van de veiligheidsomhulling vastgebouwd. De afdichting van de boutverbinding wordt verzorgd door twee in elkaar geplaatste afdichtingsramen, waarbij de lucht uit de tussenliggende ruimte kan worden afgezogen. In dit deksel van de montage-opening is de materiaalsluis aangebracht.

De periodieke controles van de veiligheidsomhulling zijn onderverdeeld in controles van de afdichting van de doorvoeringen, functiecontroles van de sluisen en ventilatiekleppen, alsook controle voor het vaststellen van het totale lektempo. Dit zogenaamde integrale lektheidsonderzoek wordt uitgevoerd als de installatie uit bedrijf is. De resultaten worden vergeleken met die van de eerste beproeving. Als beoordelingscriterium geldt dat de lekgrootte bij de ontwerpdruk van 4,8 bar niet groter is dan 0,25% (gewicht). Het integrale lektheidsonderzoek wordt om technische redenen uitgevoerd bij een lagere druk van 2 bar waarbij dan de maximaal toelaatbare lekgrootte overeenkomstig is gereduceerd.

3.6.1.2 Reservesuppletiegebouw (33)

Taken, ruimtelijke indeling en opstelling van de installaties

In het 3 verdiepingen tellende reservesuppletiegebouw (figuur 3.6/6) zijn de reservesuppletiesystemen met eigen noodstroomaggregaten ondergebracht. Het betreft het primair en het secundair reservesuppletiesysteem (TW respectievelijk RS). Beide systemen zijn dubbel uitgevoerd.

De strangen van beide systemen zijn ondergebracht in onafhankelijke, door vloeren en wanden van elkaar geschieden ruimten. Hierdoor is voor beide systemen "ruimtelijke scheiding van redundanties" gerealiseerd.

3.6-7

KOPIE

In het gedeelte van het gebouw dat aan het reactorgebouw grenst, bevinden zich, verdeeld over de groepen, telkens een voorraadbassin voor deminwater en een voorraadbassin voor boorzuur. Deze bassins reiken van 1,4 m tot 9,5 m boven NAP. Inspectiebordessen bevinden zich boven de voorraadbassins. Op de onderste verdieping naast de bassins liggen de pompruimten met boreer- en reservesuppletiepomp. Verder bevinden zich op de onderste verdieping en gescheiden van de pompruimten, de dieselruimten met noodstroomdieselaggregaten. In één van beide pompruimten is bovendien de boorzubereidingstank van het chemicaliëndoseersysteem (TB) opgesteld waarmee het boorzuur voor de boorzubereidingstanks wordt aangemaakt. Op de middelste verdieping zijn de dieselvoorradetanks en voorzieningen voor toevoerlucht voor de diesels en de ruimte-ventilatie ondergebracht. Op de bovenste verdieping bevinden zich de componenten van het noodstroomnet 2 en een deel van de drievoudig redundant uitgevoerde meet- en regeltechnische componenten van de reactorbeveiliging.

Op het dak van het gebouw bevinden zich de uitlaten van de koelmachines en geluiddempers van de dieselmotoren alsook de tegen externe invloeden beschermde kabelbruggen die de verbinding met het reserveregelzaalgebouw (35) vormen. De leidingen en kabels van het reservesuppletiegebouw worden in een tegen externe invloeden beschermde aanbouw tegen de wand van het reactorgebouw tot op 20,0 m boven NAP omhooggeleid en daar in het reactorgebouw gevoerd.

De toevoer van ventilatie- en verbrandingslucht vindt voor iedere groep apart plaats via toevoerkanalen aan de buitenzijde van het gebouw en luchttoevoeropeningen in de gevels. De aanzuigopeningen zijn ruim boven het ontwerp-overstromingsniveau van 7,3 m boven NAP geplaatst.

Toegang

Het gebouw is aan de buitenkant voorzien van een bordes, dat boven het ontwerp-overstromingsniveau ligt. Dit bordes is via stalen trappen bereikbaar. Vanaf dit bordes heeft men toegang tot de verschillende groepen. Via het bordes is tevens het omloopbordes van het reserveregelzaalgebouw bereikbaar. De zuidwestelijke groep van het reservesuppletiegebouw heeft bovendien een extra nooduitgang.

Gebruik van de ruimten

De ruimten worden slechts tijdens inspectieronden, periodieke beproevingen en onderhouds- en reparatiewerkzaamheden betreden.

Bouwkundige beschrijving

Het reservesuppletiegebouw heeft een paalfundering met een fundatieplaat van gewapend beton. De dragende constructie van het gebouw bestaat uit wanden en vloeren van gewapend beton.

3.6-8

KOPIE

3.6.1.3 Reserveregelzaalgebouw (35)

Taken, ruimtelijke indeling en opstelling van de installaties

In het reserveregelzaalgebouw (figuur 3.6/6) zijn de elektrotechnische en meet- en regeltechnische componenten van de reactorbeveiliging alsmede de reserve-regelzaal ondergebracht.

Het gebouw heeft twee verdiepingen. Op de benedenverdieping bevinden zich drie ruimten met elektronica- en ontkoppelingskasten. Op de bovenverdieping zijn ruimten voor schakelinstallaties, elektronicakasten alsook de reserve-regelzaal ondergebracht.

De kabelschachten van de afzonderlijke gebouwgroepen leiden naar de tegen externe invloeden beschermde kabelkanalen op het dak van het gebouw die de verbinding vormen met het reservesuppletiegebouw (33).

Toegang

De ruimten van de afzonderlijke redundanties en de reserve-regelzaal hebben eigen toegangen. In de verticale kabelschachten zijn klimvoorzieningen aangebracht, waardoor een extra vluchtroute naar het reservesuppletiegebouw is gecreëerd.

De buitentoegangen zijn bereikbaar vanaf het om het gebouw aangebrachte omloopbordes. Dit omloopbordes is toegankelijk via twee trappen en vanaf het bordes van het reservesuppletiegebouw. De toegangen en het omloopbordes bevinden zich boven het ontwerp-hoogwaterniveau.

Gebruik van de ruimten

De ruimten worden alleen tijdens inspectieronden en voor onderhouds- en reparatiewerkzaamheden betreden. Wanneer nodig, is de reserve-regelzaal ook gedurende een langere periode bemand.

Bouwkundige beschrijving

Het gebouw heeft een paalfundering met een fundatieplaat van gewapend beton. De dragende constructie van het gebouw en de wanden en vloeren zijn eveneens van gewapend beton.

3.6.2 Andere gebouwen en bouwkundige constructies

3.6.2.1 Reactorhulpgebouw en ventilatieschacht (03/13)

In het reactorhulpgebouw zijn de hulpinstallaties ondergebracht, die onmisbaar zijn voor een ongestoord bedrijf van de centrale.

Het reactorhulpgebouw (zie figuur 3.6/4) omsluit voor de helft het reactorgebouw; het heeft vier hoofdverdiepingen en drie tussenverdiepingen.

Op het dak van het reactorhulpgebouw bevindt zich in een stalen opbouw het afblaasstation en de ventilatieschacht (13). Vanuit het afblaasstation voeren de hoofdstoomleidingen over het dak van het reactorhulpgebouw naar het machinegebouw (04). Het afblaasstation is door een tussenwand in tweeën gedeeld.

Op de bovenste verdieping bevindt zich de overgang naar het dienstgebouw (06) alsook de toegang tot het gecontroleerd gebied waaronder de personensluis van het reactorgebouw. Tevens bevinden zich op deze etage de EHBO-post, laboratoria, ruimten ten behoeve van radioactieve metingen en kantoren.

Op de tweede verdieping bevinden zich de luchttoe- en -afvoersystemen en de airconditioninginstallatie van het gecontroleerd gebied, alsook de verdamperinstallatie van het radioactief afvalwatersysteem (TR).

Op de eerste verdieping zijn de decontaminatieruimten, het chemicaliënmagazijn en de "hete" werkplaats ondergebracht ("heet" wil zeggen geschikt voor werkzaamheden aan mogelijk besmette of geactiveerde onderdelen). Bovendien staan daar de boorzuuraanmaakinstallatie van het chemicaliëndoseersysteem (TB), de filterinstallatie (TR) en de volumeregeltank van het volumeregelsysteem (TA).

Op de onderste verdieping staan de afvalwaterverzamel- en controletanks (TR), de pompen en -koelers van de nucleaire tussenkoelkringloop (TF), de boorzuurpompen en -tanks (TB), en de vatenpers (TT) in de afvalbunker; ook de mobiele installatie voor het verwerken van radioactief vast afval (TT) bevindt zich hier.

De vier grote koelmiddelopslagtanks van het koelmiddelopslag- en regeneratiesysteem (TD) en de vier kerninundatiebuffertanks (TJ) strekken zich uit vanaf de eerste tussenverdieping tot onder het dak.

Toegang

De toegang tot het reactorhulpgebouw en daarmee tot het gecontroleerd gebied, is via het dienstgebouw (06).

Op de begane grond, de eerste en de tweede etage bevinden zich toegangen tot de ringruimte van het reactorgebouw (02). Bovendien zijn op de bovenste verdieping nooduitgangen naar het machinegebouw (04) en het schakelgebouw (05) aanwezig. Op de eerste verdieping liggen de ruimten die vanwege hun functie een toegang van buitenaf hebben, zoals de "hete" werkplaats met decontaminatieruimte. Deze toegangen zijn normaal gesloten.

Gebruik van de ruimten

Ruimten waarin zich voortdurend personen bevinden, zijn alleen gelegen op de bovenste verdieping. Dit zijn met name de toegang tot het gecontroleerd gebied, de klee-, was- en doucheruimten, alsook laboratoria en kantoren.

In de "hete" werkplaats wordt alleen gewerkt wanneer dit nodig is. De overige ruimten in het gecontroleerd gebied worden alleen voor inspecties en onderhouds- en reparatiewerkzaamheden voor minimale duur betreden.

Bouwkundige beschrijving

De fundering van het reactorhulpgebouw bestaat, net als die van het reactorgebouw, uit een fundatieplaat van gewapend beton op palen. De constructie is opgetrokken uit gewapend beton. De dikte van wanden en vloeren is conform de eisen van de stralingsbescherming. Het gebouw heeft in dwarsrichting twee dilatatievoegen en is net als het reactorgebouw voorzien van een grondwaterisolatie die bestand is tegen de te verwachten waterdruk. Het gebouw heeft een plat dak met daarop een staalconstructie ten behoeve van het afblaas-station.

Interieur

De wanden en plafonds in het gecontroleerd gebied zijn voorzien van een decontamineerbare coating. De vloeren hebben eveneens een decontamineerbare beschermlaag. De deuren zijn van plaatstaal.

Ventilatieschacht

De ventilatieschacht van gewapend beton reikt tot ongeveer 60,0 m boven NAP. Hij is bovenop het reactorhulpgebouw geplaatst, direct tegen de secundaire afscherming van het reactorgebouw. De af te voeren lucht wordt via kanalen van plaatstaal vanuit het reactorhulpgebouw naar de ventilatieschacht gevoerd.

3.6.2.2 Machinegebouw (04)

Taken, ruimtelijke indeling en opstelling van de installaties

In het twee verdiepingen tellende machinegebouw (figuur 3.6/7 en 3.6/8) zijn de belangrijkste installaties van de water-stoom-kringloop ondergebracht. De hoofdstoomleidingen lopen van het reactorgebouw over het dak van het reactorhulpgebouw met compensatiebochten naar het machinegebouw.

Op de turbinevloer bevinden zich de turbogeneratorgroep en de voedingswatertank. Daarboven ligt de kraanbaan van de grote brugkraan.

Op de onderste verdieping bevinden zich de condensaatverzamel tank, de condensaatkoelers alsook de hoofdcondensaatpompen (RM). Aan het zuidoostelijke einde van het gebouw bevindt zich de montagedoorgang. Verder wordt deze verdieping in beslag genomen door kabels en pijpleidingen.

Op het eerste tussenbordes zijn de kastcondensators, de drie hoofdvoedingswaterpompen (RL) en de drie noodvoedingswaterpompen (RL) geplaatst. Tegen de wand van het reactorhulpgebouw bevindt zich de koelmachine-installatie en een afgesloten ruimte voor het demineraliseren van de spui van de stoomgeneratoren. Voorts zijn op dit bordes de voorwarmers geïnstalleerd.

3.6-11

KOPIE

Op het tweede tussenbordes is in een gemetselde ruimte de olievoorziening van de turbogeneratorgroep ondergebracht. Aan weerszijden van deze ruimte zijn de herverhitters geplaatst, die van de onderste etage tot 21,0 m boven NAP reiken. Tevens staan hier de beide waterafscheiders opgesteld.

De generatoraftakleiding loopt van de generator naar de hoofdtransformator, die tegen de noordoostelijke langwand geplaatst is. Onder de generatoraftakleiding bevindt zich in de buitenlucht de eigenbedrijfstransformator.

Toegang

Alle transporten van componenten met grotere afmetingen vinden plaats via de montagedoorgang; deze is afgesloten door zware buitendeuren. De beide hoofdtrappenhuizen van het schakelgebouw (05) fungeren als brandvrije vluchtwegen.

Bouwkundige beschrijving

Het machinegebouw heeft een aparte fundatieplaat van gewapend beton en een paalfundering. De draagconstructie is van staal. De buitenwanden bestaan uit dubbele aluminiumbeplating met tussenliggende isolatie.

Om overbrenging van trillingen tegen te gaan, is de constructie van het gebouw door middel van voegen gescheiden van het turbinefundament. De holle ruimte van het turbinefundament wordt gebruikt als voorraadbassin voor het conventioneel tussenkoelwatersysteem (VG) en voor de deminwatersuppletie.

Alle deuren en poorten zijn van staal en waar nodig als brandafscherming uitgevoerd.

3.6.2.3 Schakelgebouw (05)

Taken, ruimtelijke indeling en opstelling van de installaties

Het schakelgebouw is een gebouw van zes verdiepingen; het bevat de elektrotechnische apparatuur voor het bedienen van de kernenergiecentrale. Het is tegen de lange zijde van het machinegebouw (04) aangebouwd (zie figuur 3.6/7).

Op de onderste verdieping bevindt zich de kabelkelder met de doorgang naar het machinegebouw. Op de eerste verdieping zijn de 6 kV- en de 380 V-schakelinstallaties en de traforuimten ondergebracht. Op de tweede verdieping bevinden zich de gelijkrichters, de draaistroomomvormers en de verdelers met de bijbehorende kabel- en de batterij-ruimten. Op de derde verdieping staan de rangeerverdelers opgesteld. Op de vierde verdieping zijn de regelzaal, de computer en de meet- en regeltechnische voorzieningen ondergebracht. De bovenste verdieping bevat de ventilatie-installaties voor machinegebouw en schakelgebouw alsook de airconditioning voor regelzaal en computerruimte.

Toegang

Een van buitenaf toegankelijk centraal trappenhuis in het schakelgebouw met aangrenzende lift verbindt alle verdiepingen met elkaar. Het dient tevens als vluchtroute, in combinatie met het trappenhuis van het dienstgebouw. Bovendien zijn er nog in- en uitgangen van en naar het machinegebouw aanwezig.

Gebruik van de ruimten

De ruimten op alle verdiepingen van het schakelgebouw zijn niet voor een constant verblijf van personen bedoeld. Zij worden slechts voor inspecties en onderhouds- en reparatiedoeleinden betreden. Uitzonderingen hierop vormen de regelzaal en de relaiswerkplaats.

Bouwkundige beschrijving

Het gebouw is gefundeerd op palen. De draagconstructie is een skelet van gewapend beton met een gevelbekleding van geprefabriceerde betonplaten. De vloeren zijn evenals het dak van gewapend beton. Alle deuren en poorten zijn uitgevoerd in overeenstemming met hun functie en te stellen eisen ten aanzien van bijvoorbeeld brandwerendheid.

De fundaties voor de machine- en hulptransformatoren zijn van gewapend beton. Onder elke transformator bevindt zich een olie-opvangbak met aansluitingen op een centrale olieverzamelput. De transformatoren zijn door middel van brandmuren van elkaar gescheiden.

3.6.2.4 Dienstgebouw (06)

Het dienstgebouw ligt in het verlengde van het schakelgebouw tegen het reactorhulpgebouw aan; het bezit op elke verdieping een directe verbinding met het schakelgebouw. Deze verbindingen doen tevens dienst als vluchtroutes.

De constructie van het dienstgebouw komt overeen met die van het schakelgebouw.

| 3.6.2.5 Noodstroomdieselgebouwen I en II (10/72)

Noodstroomdieselgebouw I (10)

Taken, ruimtelijke indeling en opstelling van de installaties

In het noodstroomdieselgebouw I bevinden zich de componenten van de reservevoeding van het noodstroomnet 1. Het gebouw grenst aan de noordzijde van het machinegebouw en aan de zuidoostkant van het reactorhulpgebouw (zie figuur 3.6/7).

Op de onderste verdieping is de brandstofvoorraadtank ondergebracht. Het reserve noodstroomdieselaggregaat met het bijbehorende locale bedieningspaneel en de noodstroomschakelinstallatie zijn op de tussenverdieping opgesteld. Op de bovenste verdieping bevinden zich de schakelinstallatie en het opstartstelsel van het reserve noodstroomdieselaggregaat. De ventilatieafvoer en de geluiddemper in de dieseluitlaatgassenleiding zijn op het dak geplaatst.

De toevoer van ventilatie- en verbrandingslucht vindt plaats via luchttoevoeropeningen in de gevel, die voorzien zijn van jaloezieën.

Toegangen, trappen

Het noodstroomdieselgebouw I is vanuit het machinegebouw bereikbaar.

Gebruik van de ruimten

De ruimten worden alleen betreden voor inspectieronden, periodieke beproevingen en onderhouds- en reparatiewerkzaamheden.

Indien nodig is de ruimte met het bedieningspaneel gedurende langere tijd bemand. Deze ruimte is daarom door een geluidsisolerende wand gescheiden van de aggregaatriimte, maar wel in de onmiddellijke nabijheid daarvan gesitueerd.

Bouwkundige beschrijving

Het gebouw heeft een paalfundering en is uitgevoerd in betonskeletbouw. De vloeren en trappen zijn van gewapend beton, de tussenwanden zijn gemetseld. Vanwege de brandveiligheidseisen is compartimentering toegepast en een opvangbak bij de brandstoftank aangebracht.

Noodstroomdieselgebouw II (72)

Taken, ruimtelijke indeling en opstelling van de installaties

In het noodstroomdieselgebouw II zijn componenten van het noodstroomnet 1 ondergebracht. Het gebouw bestaat uit drie verdiepingen en een tussenverdieping tussen de middelste en de bovenste etage; het is in twee van elkaar gescheiden gebouwgroepen onderverdeeld. In elke gebouwgroep bevinden zich de componenten van één strang van het noodstroomnet 1 (zie figuur 3.6/9).

Op de onderste verdieping zijn de brandstofvoorraadtanks en de roterende omvormers met de bijbehorende schakelinstallaties ondergebracht. Op de middelste etage staan de noodstroomdieselaggregaten met de bijbehorende locale bedieningspanelen alsook de kasten met elektro- en meet- en regeltechnische apparatuur. Op de tussenverdieping bevinden zich de luchtverzorging voor het starten van de dieselmotoren en de dagtank voor de dieselbrandstof. De ventilatieafvoer en de geluiddempers van de uitlaatgassenleidingen zijn op het dak geplaatst evenals de ventilatorluchtkoelers voor het koelen van de dieselmotoren.

De toevoer van ventilatie- en verbrandingslucht vindt voor elke groep apart plaats, via ventilatie-openingen in de voorgevel.

Vóór het gebouw ter hoogte van de eerste verdieping is een montageplatform aangebracht.

Toegang

De toegangen in het gebouw zijn in beide groepen op dezelfde manier gesitueerd.

De toegangen vanaf de buitenzijde liggen aan de noordoost- en aan de zuidwestzijde boven het ontwerp-hoogwaterniveau. Via een brug kunnen zij vanaf het schakelgebouw worden bereikt. Voor noodgevallen zijn bij de omvormers, de generatoren en de brandstofdagtanks tussendeuren aanwezig, die als vluchtroute kunnen dienen.

Gebruik van de ruimten

De ruimten worden alleen voor inspectieronden, periodieke beproevingen en onderhouds- en reparatiewerkzaamheden betreden.

Indien nodig is de ruimte met het bedieningspaneel gedurende langere tijd bemand.

Deze ruimte ligt naast de aggregaatruimte en is daarvan akoestisch gescheiden.

Bouwkundige beschrijving

Het noodstroomdieselgebouw II heeft een paalfundering met een fundatieplaat van gewapend beton. De opgaande constructie is eveneens van gewapend beton. Aan de brandveiligheidseisen is door compartimentering en het aanbrengen van opvangbakken onder de brandstoftanks voldaan. De grote openingen voor luchttoe- en -afvoer zijn opgevuld met geluidisolerende coulissen.

3.6.2.6 Deminwateriaanmaakgebouw (09)

Het deminwateriaanmaakgebouw is aan de zuidoostkant tegen het magazijn aangebouwd. Het bevat de demineraliseringsinstallatie waarin water wordt gedeïoniseerd, opslagtanks in opvangbakken voor natronloog en zwavelzuur en een magazijn voor chemicaliën. Alle wanden en vloeren zijn voorzien van een chemicaliën-bestendige afwerking en overeenkomstig de normen voor het veilig werken met chemicaliën zijn er brandbestrijdings- en douchevoorzieningen aangebracht. Het gebouw staat via een ondergrondse pijpleiding in verbinding met het machinegebouw.

KOPIE

3.6.2.7 Afvalopslaggebouw (34)

Taken, ruimtelijke indeling en opstelling van de installaties

Het afvalopslaggebouw doet dienst als tussenopslag van radioactief afval (zie figuur 3.6/10). Ook kunnen er licht radioactief besmet materiaal zoals gereedschappen, hulpstukken en steigermateriaal en de mobiele cementeerinstallatie, voor de verwerking van radioactief afval, opgeslagen worden.

Het te bewaren radioactieve afval is voorberekt en verpakt in vaten of containers.

Door de aard van dit afval is geforceerde ventilatie of koeling niet vereist.

De stralingsbelasting van het personeel en de omgeving van het gebouw wordt door middel van afscherming zo laag als redelijkerwijs mogelijk en ruim onder de geldende wettelijke limieten gehouden. Afgifte van radioactieve gassen of vloeistoffen vindt niet plaats als gevolg van de kwaliteit van de opgeslagen vaten en containers.

Het gebouw bestaat uit een ontvangsthal voor de aan- en afvoer van de verpakkingen en een opslaggedeelte. Het opgeslagen afval wordt afgeschermd door wegneembare betonplaten. Het plaatsen en wegnemen van de vaten en de containers gebeurt met behulp van een kraan. Het opslaggedeelte is beveiligd tegen overstroming.

Het afvalopslaggebouw is ongeveer 60 m lang, 27 m breed en 13 m hoog. Het gebouw heeft een paalfundering en is tot een niveau 12,4 m boven NAP uitgevoerd in beton; het bovenste gedeelte en het dak is uitgevoerd als staalconstructie met beplating. Het opslaggedeelte bestaat uit 10 afzonderlijke compartimenten die met wegneembare liggers zijn afgedekt. Rondom het opslaggedeelte is de betonwand waterdicht uitgevoerd tot een hoogte van 9,2 m boven NAP ter beveiliging tegen overstromingen. In verband met afschermingseisen hebben de wanden en vloeren een dikte tussen 0,5 en 1,0 m.

Het ontvangstgedeelte bestaat uit de circa 10 m brede ontvangsthal en de ruimte boven het opslaggedeelte. Voor het weghalen/terugplaatsen van de afdekliggers alsmede het plaats/verwijderen van vaten en containers kunnen 2 brugkranen het hele ontvangstgedeelte bestrijken.

Toegang

De toegang tot het afvalopslaggebouw vindt plaats via de ontvangsthal. Aan de noordwest- en de zuidoost-zijde van de ontvangsthal bevindt zich een toegang voor vrachtwagens. Er is rekening gehouden met een eventueel in de toekomst aan te sluiten spoorwegverbinding. De personeelsingang bevindt zich eveneens in de ontvangsthal.

Gebruik van de ruimten

De ruimten worden betreden door bedieningspersoneel tijdens het opslaan en afvoeren van afval, en door onderhoudspersoneel. Er is voldoende (in pandige) afscherming en ventilatie aanwezig.

3.6.2.8 Koelwatervoorzieningen

De voor de kernenergiecentrale benodigde hoeveelheid koelwater wordt aan de Westerschelde onttrokken en, na door de centrale te zijn gestroomd, weer naar de Westerschelde teruggevoerd. De koelwaterketen bestaat uit de volgende onderdelen:

- koelwatertoevoer (20)
- koelwaterinlaatgebouw (21)
- koelwaterleidingen (22)
- koelwateruitlaatgebouw (23)
- koelwaterafvoer (24).

De koelwatertoevoer, waarvan de bodem op 5,5 m beneden NAP ligt, is een open toeloopkanaal. Vóór het koelwaterinlaatgebouw is de bodem van het kanaal tot 8,0 m beneden NAP verlaagd. Door regelmatig te baggeren wordt ervoor gezorgd dat in het kanaal een niveau van 4,7 m beneden NAP is gewaarborgd en bij het koelwaterinlaatgebouw van 7,0 m beneden NAP (overeenkomend met het niveau van de onderkant van de inlaatopeningen).

Het koelwaterinlaatgebouw ligt aan de zeezijde van de dijk. Het bevat in totaal vijf reinigings- en pompstraten. Achter een doorlopende, dwarsgeplaatste kamer bevinden zich de hoofdkoelwaterpompen (3x KCB + 2 x CCB). In vier van deze pompkamers zijn tevens de nevenkoelwaterpompen (VF) geïnstalleerd.

Het dak van het gebouw met daarin de openingen voor luchtafvoer ligt boven het ontwerp-overstromingsniveau op 7,4 m boven NAP. Alle natte kamers kunnen met schotbalken worden afgesloten en worden leeggepompt. Het afval dat in het tralierooster (krooshek) terecht komt wordt opgevangen en afgevoerd.

Vanaf het koelwaterinlaatgebouw lopen drukleidingen door de dijk in een ondergronds tracé naar de kernenergiecentrale. Deze pijpleidingen kruisen de dijk met hun onderkant op 5,5 m boven NAP. Om hevelwerking in geval van een leidingbreuk aan de landzijde tegen te gaan, zijn in de leidingen op de dijk kruin automatische be- en ontluchtingskleppen geïnstalleerd. De nevenkoelwaterleidingen en de voedingskabels naar het koelwaterinlaatgebouw volgen een vergelijkbaar tracé.

Het terugstromende koelwater (van KCB én CCB) wordt door een betonnen pijpleiding vanuit de centrale, door de dijk heen naar het koelwateruitlaatgebouw geleid. De constructie van deze pijpleiding en de kruising met de dijk zijn overeenkomstig die in de toevoerleiding uitgevoerd. Voor het overbruggen van het hoogteverschil bij de kruising met de dijk is een onderdruk pomp geïnstalleerd.

3.6.2.9 Overige gebouwen

Tot de infrastructuur van de centrale behoren nog een aantal andere gebouwen, waarvan de belangrijkste zijn (zie figuur 3.6/1):

- bewakingsloge (14)
- kantoorgebouwen (15), (43), (45)
- magazijn (08)
- werkplaatsen (07)
- brandweergarages (16)
- kantinegebouw (32).

De hier genoemde gebouwen bevatten geen voor het veilig bedienen van de installatie relevante apparatuur. De bewakingsloge is van belang met betrekking tot de beveiliging van de centrale. De andere gebouwen zijn nodig voor de bedrijfsvoering in ruimere zin. Al naar gelang de inzichten van de bedrijfsleiding zullen zij dan ook naar behoefte kunnen worden aangepast.

3.6-18

KOPIE

Figuur 3.6/1 Gebouwoverzicht, -situatieschets-

3.6-19

KOPIE

Figuur 3.6/2 Reactorgebouw (01/02)

3.6-20

KOPIE

Figuur 3.6/3 Reactorgebouw (01/02)

3.6-21

KOPIE

3.6/4 Reactorgebouw (01/02) en reactorhulpgebouw (03)

3.6-22

KOPIE

Figuur 3.6/5 Leiding- en kabeldoorvoeringen van de veiligheidsomhulling
3.6-23

KOPIE

Figuur 3.6/6 Reservesuppletie- en reserveregelzaalgebouw (33/35)

3.6-24

KOPIE

Figuur 3.6/7 Machinegebouw, schakelgebouw en noodstroomdieselgebouw I
(04, 05, 10)

3.6-25

KOPIE

Figuur 3.6/8 Machinegebouw (04)

3.6-26

KOPIE

- 1 Dieselmotor
- 2 Generator
- 3 Luchtverzorging voor het starten van de diesels
- 4 Brandstofdagtank
- 5 Brandstofvoorraadtank
- 6 Geluïdemper dieseluitlaat
- 7 6 kV-kast
- 8 Roterende omvormers met schakelinstallaties
- 9 Elektro- en meet- en regeltechnische apparatuur
- 10 Ventilatie-inlaat
- 11 Ventilator
- 12 Ventilatie-uitlaat

Figuur 3.6/9 Noodstroomdieselgebouw II (72)

3.6-27

KOPIE

- 1 Ontvangsthal
- 2 Opslagruimte
- 3 Kraan

Figuur 3.6/10 Afvalopslaggebouw (34)

3.6-28

KOPIE

4	REACTOR	4.1-1	
4.1	Definities	4.1-1	
4.2	Inleiding	4.2-1	
4.3	Mechanisch ontwerp van de splijtstofelementen		4.3-1
4.3.1	Uitgangspunten van het ontwerp		4.3-1
4.3.2	Beschrijving van de constructie		4.3-2
4.3.3	Ontwerpberekeningen		4.3-4
4.4	Neutronenfysisch ontwerp van de kern		4.4-1
4.4.1	Doelstelling	4.4-1	
4.4.2	Vermogensdichtheidsverdeling		4.4-1
4.4.3	Reactiviteitscoëfficiënten	4.4-2	
4.4.4	Reactorregeling	4.4-3	
4.4.5	Reactiviteit in afgeschakelde toestand en reactiviteitsbalans		4.4-4
4.4.6	Stabiliteit van de reactorkern	4.4-4	
4.4.7	Kernbelading	4.4-4	
4.5	Thermohydraulisch ontwerp van de kern		4.5-1
4.5.1	Doelstelling	4.5-1	
4.5.2	Beschrijving van het thermohydraulische kernontwerp		4.5-1
4.5.3	Ontwerpaspecten	4.5-2	
4.5.4	Bespreking van de kritieke filmkookgrens (dnb)		4.5-2
4.6	Functioneel ontwerp van de reactiviteits-controlesystemen		4.6-1

K O P I E

4 REACTOR

In dit hoofdstuk wordt de reactor besproken. In de eerste paragraaf worden enkele definities gegeven. De tweede paragraaf geeft een inleiding van het hoofdstuk. In de drie daarop volgende paragrafen worden respectievelijk het mechanisch ontwerp van de splijtstofelementen en het neutronenfysisch en thermohydraulisch ontwerp van de kern besproken. In de zesde tevens laatste paragraaf wordt van de reactiviteitscontrolesystemen het functioneel ontwerp behandeld.

4.1 Definities

Absorber

Absorber is een materiaal dat straling absorbeert. Voor gamma-straling worden materialen met een hoog atoomgetal en een grote soortelijke massa als absorber toegepast (lood, staal, beton deels met speciale toevoegingen). Sterke neutronen-absorbers zijn borium (het isotoop B10), gadolinium, hafnium en cadmium. Deze kunnen worden gebruikt in zowel de regelementen en de moderator (primair hoofdkoelmiddel) als in de splijtstof, afhankelijk van de toepassing.

(Compensated) Enriched Reprocessed Uranium

Verrijkt gerecycled uranium. Dit uranium is hoger verrijkt dan verrijkt natuurlijk uranium, ter compensatie van niet-natuurlijke uraniumisotopen die het kernsplijtingsproces minder efficiënt maken. Het uranium is qua reactiviteit equivalent aan verrijkt natuurlijk uranium.

Doppler-effect

Verandering van de absorptiedoorsnede van uranium en plutonium voor neutronen. Deze is afhankelijk is van de relatieve snelheid tussen neutronen en uranium- of plutoniumkernen, die beïnvloed wordt door de temperatuur in het kristalrooster van de splijtstof.

Enriched Natural Uranium

Verrijkt natuurlijk uranium.

Filmkoken

Bij filmkoken vormen aan het verwarmd oppervlak de afzonderlijke dampbellen een aaneengesloten film. De warmte-overdracht van het verwarmd oppervlak aan de vloeistof vindt via deze stoomfilm plaats.

Kiemkoken

Bij kiemkoken worden aan het verwarmd oppervlak afzonderlijke dampbellen gevormd. Het verwarmd oppervlak blijft hierbij volledig door de vloeistof bevochtigd.

Moderator

Moderator is een stof, die in een korte tijd (10^{-4} s tot 10^{-5} s) door elastische botsingen de splijtingsneutronen zodanig afremt, dat hun hoge aanvangsenergie (gemiddeld 2 MeV) wordt teruggebracht tot thermische energie (minder dan 0,5 eV). Deze stof absorbeert de neutronen slechts in geringe mate.

4.1-1

K O P I E

Mengoxide Een splijtstof samengesteld uit een mengsel van uraniumdioxide en plutoniumdioxide.

MOX splijtstofelement

Een splijtstofelement waarvan de verse splijtstof uit mengoxide splijtstof bestaat.

Reactiviteit

De reactiviteit van een reactor is een maatstaf voor de relatieve afwijking tot de kritische toestand.

$\rho = k_{eff} - 1$

Verrijgingsgraad

Het massagehalte van uranium-235 in verrijkt natuurlijk uranium of in verrijkt gerecycled uranium.

Verrijkt borium

Borium komt in de natuur voor als samenstel van twee (stabiele) isotopen B10 en B 11, in de verhouding van 19,78% tot 80,22%. Voor reactiviteitbeheersing is het isotoop B10 van belang. Om de effectiviteit van B, dat aan het hoofdkoelmiddel wordt toegevoegd te vergroten, kan het percentage B10 worden verhoogd. Er is dan sprake van verrijkt borium. Bij inzet van MOX splijtstofelementen wordt het percentage B10 verhoogd tot 32 %. Wanneer er sprake is van toepassing van verrijkt boor bij KCB wordt derhalve het borium bedoeld met een B10 percentage van 32%.

Gehalte aan splijtbaar plutonium (Pu-splijtbaar)

Het massagehalte van de splijtbare isotopen plutonium-239 en plutonium-241 in verse MOX splijtstof uitgedrukt als fractie van de massa van alle zware metalen. Hierbij is de verrijgingsgraad van de uranium component 0,25%.

Versplijting

Versplijting is bij splijtstoffen de verhouding van de in de splijtstof opgewekte energie tot de massa van het zware metaal in de gebruikte splijtstof, eenheid bijvoorbeeld MW d/kg.

Bij niet splijtbare stoffen is de versplijtingsfractie de door neutronenvangst omgezette fractie van het totale aantal atomen van een nuclide. De versplijting wordt vaak weergegeven in %.

Zwaar Metaal (ZM)

Hier: uranium, plutonium en americium.

4.1-3

K O P I E

4.2 Inleiding (tabel 4.2/1, figuur 4.2/1 en 4.2/2)

De reactor is samengesteld uit de reactorkern met regelementen en smooreslementen, het binnenwerk van het reactorvat (paragraaf 5.2.2), de regelstaafaandrijving (paragraaf 5.2.3) en het reactorvat (paragraaf 5.2.1). In dit hoofdstuk worden alleen de reactorkern en het functionele ontwerp van de reactiviteitscontrolesystemen behandeld. Bij behandeling van de reactorkern worden onderscheiden gemaakt in de volgende 3 aspecten: splijtstofelement, neutronenfysica en thermohydrauliek.

De reactorkern is de nucleaire warmtebron van de kernenergiecentrale. Hij is bevestigd in de kernhouder en is samengesteld uit in totaal 121 splijtstofelementen. Alle splijtstofelementen zijn in principe identiek geconstrueerd maar kunnen van elkaar verschillen in het soort splijtstof (uraniumdioxide of mengoxide). Op 28 posities in de kern kan een regelement in het splijtstofelement geschoven worden (figuur 4.2/1).

Na elke splijtstofcyclus wordt telkens een deel van de splijtstofelementen vervangen. Ter illustratie is in figuur 4.2/2 een karakteristieke kernconfiguratie met ENU splijtstofelementen weergegeven. Deze bevat splijtstofelementen tot aan de vijfde standtijd en initiële verrijking van $4,40 + 0,05$ % ^{235}U . Er zijn tevens kernconfiguraties met (c-)ERU-elementen en met MOX-elementen mogelijk. Het aantal MOX-elementen in de kern is gelimiteerd op 40% en het aantal c-ERU-elementen is gelimiteerd op 60%.

Het hoofdkoelmiddel, dat ook als moderator fungeert en opgelost borium bevat, komt door twee inlaatstompen het reactorvat binnen en stroomt in de ringvormige ruimte tussen de kernhouder en het reactorvat omlaag. Op de bolvormige bodem wordt de stroomrichting omgekeerd. Het hoofdkoelmiddel stroomt dan in opwaartse richting door de kern en verlaat het reactorvat weer door twee uitlaatstompen.

Borium wordt in de vorm van natuurlijk of verrijkt borium toegepast met respectievelijk 19,78% en 32% B^{10} . Bij de toepassing van kernen die bestaan uit ENU en/of (c-)ERU splijtstofelementen kunnen zowel natuurlijk als verrijkt borium worden gebruikt; MOX-elementen worden alleen ingezet in combinatie met verrijkt borium.

Tabel 4.2/1 geeft een overzicht van de belangrijkste gegevens met betrekking tot de reactorkern. De in deze tabel opgenomen waarden zijn indicatieve waarden. De aangegeven afmetingen zijn nominale waarden bepaald voor koude toestand ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

4.2-1

K O P I E

Tabel 4.2/1 Belangrijkste gegevens betreffende de reactor kern

Bedrijfsdruk (uittreden reactorvat)	155	bar
Koelmiddeltemperatuur:		
inlaat	292,5	°C
uitlaat	317,5	°C
Ingestelde gemiddelde koelmiddeltemperatuur	305	°C*
Hoofdkoelmiddeldebiet (ontwerp van de pompen)	10000	kg/s
Aantal splijtstofelementen	121	
Aantal regelementen	28	
Aantal afstandshouders per splijtstofelement	7	
Type splijtstofelement	15 x 15 - 20	
Actieve lengte van de splijtstofstaven	2650	mm
Buitendiameter van de splijtstofstaven	10,75	mm
Totaalgewicht per splijtstofelement	circa 508	kg
Thermisch vermogen van de reactor	1365,6	MW
Gemiddelde vermogensdichtheid van de reactor kern (heet)	90,2	kW/dm ³
Gemiddeld specifiek splijtstofvermogen	35,6	kW/kgZM
Gemiddeld lineïek vermogen van een splijtstofstaaf	202,7	W/cm
gemiddelde warmteflux	59,9	W/cm ²
Splijtstof	UO ₂ , PuO ₂	
²³⁵ U-verrijking van de splijtstof (ENU)	4,40 + 0,05 %	(gewicht)
²³⁵ U-verrijking van de splijtstof ((c-)ERU)	4,60 ± 0,05 %	(gewicht)
²³⁹ Pu en ²⁴¹ Pu in MOX splijtstof (gemiddeld over het element)	max. 5,41%	(gewicht)
Hoeveelheid zwaar metaal	circa 39.103	kg
Minimale DNB-verhouding (ontwerp)	1,30	
Heet-kanaal-factoren (ontwerplimietwaarden):		
F _q	2,80	
F		

- 1 Reactorvat
- 2 Kernhouder
- 3 Kernmantel
- 4 Positie van een splijtstofelement
- 5 Positie van een regelelement

Figuur 4.2/1 Dwarsdoorsnede van de reactorkern
4.2-3

K O P I E

Figuur 4.2/2 Karakteristiek beladingsplan

4.2-4

K O P I E

4.3 Mechanisch ontwerp van de splijstofelementen (figuur 4.3/1)

Het mechanisch-thermische ontwerp van de splijstofelementen is enerzijds gebaseerd op de berekening van het mechanisch-thermische gedrag van de splijstofstaven als functie van de vermogensdichtheid, van de versplijting en van de thermodynamische toestand van het koelmiddel, en anderzijds op de berekening van het mechanisch-thermisch gedrag van de splijstofelementstructuur onder de belastingen zoals die tijdens het bedrijf en bij ongevallen op de splijstofelementen kunnen inwerken.

4.3.1 Uitgangspunten van het ontwerp

De belangrijkste veiligheidstechnische doelstellingen van het ontwerp zijn:

- het voorkomen dat radioactieve deeltjes in het koelwater terecht komen;
- het waarborgen dat de reactor bij ongevallen wordt afgeschakeld en in afgeschakelde toestand wordt gehouden;
- het realiseren van een geometrie waarbij voldoende nakoeling mogelijk is.

Om aan deze doelstellingen te kunnen voldoen, zijn voor de splijstofstaaf en de structuur van het splijstofelement de volgende ontwerpcriteria, met betrekking tot bedrijfs- en ongevalsituaties, toegepast:

Splijstofstaaf

- de temperatuur in het hart van de splijstof moet lager zijn dan de smelttemperatuur;
- de inwendige druk van de splijstofstaaf mag er niet toe leiden, dat de ruimte tussen splijstof en huls groter wordt;
- de vervormingen op grond van variabele wisselwerkingen mogen de voorgeschreven waarden niet overschrijden;
- een ontoelaatbare corrosie dient te worden voorkomen;
- de opname van waterstof in de huls dient te worden beperkt;
- de spanningen in de huls moeten onder de ontwerpgrenzen blijven;
- een elastische en plastische vervorming van de huls door uitwendige overdruk dient te worden voorkomen;
- de enthalpieverhoging, gemiddeld over een splijstoftablet, mag de voorgeschreven waarde niet overschrijden *;
- de uniforme rek als gevolg van de wisselwerking tussen de splijstoftabletten en de huls moet onder de ontwerpgrens blijven *.

*

Grenswaarden voor de ongevalsanalyses

4.3-1

K O P I E

De structuur van het splijstofelement

- schade aan de splijstofstaven door slijtage als gevolg van de wisselwerking tussen de afstandhouders en de splijstofstaven dient te worden voorkomen;
- de splijstofelementen mogen door de krachten van de stroming niet van het onderste rooster (zie paragraaf 5.2.2) loskomen;
- de spanningen in de geleidingsbuizen van de regelementen en andere constructiedelen dienen zó beperkt te worden, dat de integriteit van de componenten behouden blijft en de componenten goed kunnen blijven functioneren;
- vermoeiingsbreuken mogen niet voorkomen;
- de drukbelasting in de lengterichting van de splijstofstaven als gevolg van wrijvingskrachten tussen de splijstofstaven en de afstandhouders dient beperkt te blijven om de stabiliteit van de splijstofstaven te waarborgen;
- voor de uitzetting van de splijstofstaven in hun lengterichting moet altijd voldoende ruimte zijn om drukbelastingen op de splijstofstaven in de lengterichting te beperken;
- de opname van waterstof in de zirkonium constructiedelen dient zó beperkt te worden dat de integriteit ervan niet vermindert bij blootstelling aan de ontwerpbelastingen.

Uit de eisen tot enerzijds een voor nakoeling geschikte geometrie en anderzijds de mogelijkheid om de reactor bij ongevallen af te schakelen, kan verder afgeleid worden, dat ook tijdens ongevallen een voldoende bescherming tegen het knikken van de geleidingsbuizen dient te zijn gegarandeerd en dat een veilig inbrengen van een voldoende aantal regelementen steeds dient te zijn gewaarborgd.

4.3.2 Beschrijving van de constructie

Het splijstofelement (figuur 4.3/1) bestaat uit de splijstofstaven en het skelet van het splijstofelement.

Binnenin het splijstofelement zijn splijstofstaven en geleidingsbuizen op roosterposities in een geometrie van 15 x 15 aangebracht. Een splijstofelement van 15 x 15 heeft 225 roosterposities, waarvan er 20 door geleidingsbuizen en 205 door splijstofstaven worden ingenomen.

Splijstofstaaf

Deze bestaat uit splijstoftabletten van uraniumdioxide of mengoxide in een van een zirkoniumlegering gemaakte huls, die met eindproppen gasdicht en drukbestendig is dichtgelast. De splijstoftabletten hebben aan de eindvlakken uithollingen.

De gasvormige splijtingsproducten die tijdens het bedrijf van de reactor uit de splijtstof vrijkomen, worden voornamelijk in de daarvoor bedoelde gasruimten aan de uiteinden van de splijtstofstaven verzameld.

Om de belasting van de huls door de koelmiddeldruk kleiner te maken en om de warmte-overdracht te verbeteren, krijgen de splijtstofstaven bij de fabricage een inwendige druk van circa 17 bar. Als vulgas wordt helium gebruikt, dat voor een goede warmte-overdracht tussen de splijtstof en de huls zorgt.

Skelet van het splijtstofelement

Het skelet van het splijtstofelement bestaat uit de afstandhouders, de geleidingsbuizen en de kop en voet van het splijtstofelement. Aan de kop van het splijtstofelement zijn de geleidingsbuizen vastgelast of vastgeschroefd en aan de voet zijn zij vastgeschroefd. De voet van het splijtstofelement is tevens voorzien van een filter die voorkomt dat restdeeltjes die eventueel in het koelmiddel kunnen voorkomen, het element binnendringen en schade veroorzaken aan de splijtstofstaven.

De afstandhouders zorgen ervoor, dat de splijtstofstaven binnen het splijtstofelement een vaste afstand tot elkaar innemen en houden. Zij bestaan uit dunwandige strips van inconel of zircaloy (een zirconium legering). De splijtstofstaven worden verend ingeklemd. De constructie van de afstandhouders is zodanig dat deze ook als flowmixers dienst doen.

De geleidingsbuizen maken deel uit van het skelet van het splijtstofelement en hebben tot taak, de regelstaven te geleiden en deze bij een snelle afschakeling tijdens het laatste gedeelte van hun val hydraulisch af te remmen. Zij zijn verdeeld in twee stukken: de eigenlijke geleidingsbuis en het hydraulische dempergedeelte aan de onderkant. Voor de geleidingsbuizen is een zirconiumlegering toegepast.

Om de radiale positie van het splijtstofelement in de reactorkern te fixeren, zijn in de kop en de voet centreergaten aangebracht. Om de axiale positie van het splijtstofelement te handhaven, bevindt zich in de kop een constructie waardoor het splijtstofelement naar beneden gehouden wordt.

Regelement

Elk regelement bestaat uit 20 regelstaven, die aan een spinvormige constructie bevestigd zijn. Aan deze spin kan de aandrijfstang worden gekoppeld. Elk van de 20 regelstaven is opgebouwd uit een metalen huls waarin zich een absorber bevindt. Deze absorber bestaat uit 80% zilver, 15% indium en 5% cadmium. De huls is aan de boven- en onderzijde met proppen afgesloten. De bovenste prop is verbonden met de spin. De prop aan de onderzijde fungeert als stromingslichaam in het hydrodynamische dempergedeelte van de geleidebuis in het splijtstofelement. Om te voorkomen dat het regelement hard op de kopplaat van het splijtstofelement neerkomt, is in de spin een drukveer ingebouwd.

4.3-3

K O P I E

Smooorelementen

De smooorelementen begrenzen de bypass-stroming in de kern die plaatsvindt via de geleidingsbuizen van de splijstofelementen die geen regelement of meervingerige lans (zie paragraaf 7.2.1.2) bevatten. Zij bestaan uit een bodemplaat met korte smoorvingers. De smoorvingers steken in de geleidingsbuizen en begrenzen op die manier de stroming. De smooorelementen worden door drukveren op hun plaats gehouden.

4.3.3 Ontwerpberoeeningen

Ontwerpberoeeningen voor de splijstofstaaf

Invoerparameters bij de berekeningen voor het ontwerp van de splijstofstaaf zijn enerzijds vaste grootheden zoals materiaaleigenschappen, kernfysische en constructiegegevens, en anderzijds thermohydraulische randvoorwaarden, gekoppeld aan de resultaten van het neutronenfysische ontwerp.

De modellen die bij de rekenmethodes zijn gebruikt, gaan uit van natuurkundige effecten zoals naverdichting van de splijstof, uitzetting van de splijstof, verplaatsing van tabletfragmenten, het over de splijstof omhoogkruipen van de huls en uitzetting van de huls.

De rekenmethodes kunnen worden opgesplitst naar drie deelgebieden: heetkanaalanalyse, analyse van het gedrag van de splijstofstaven op lange termijn en spanningsanalyse.

Bij de heetkanaalanalyse wordt de radiale temperatuurverdeling binnenin de splijstof berekend (temperatuuranalyse). Daarbij wordt uitgegaan van de tijdens normaal bedrijf door ongunstige aannames maximaal mogelijke lineïeke vermogen van de splijstofstaaf. Aangetoond wordt, dat de maximale splijstoftemperatuur onder de smelttemperatuur van de splijstof blijft. Bovendien wordt bij deze analyse de mechanische wisselwerking tussen de splijstof en de huls bij snelle vermogensverhogingen onderzocht. Er wordt aangetoond dat de belasting van de huls door de thermische uitzetting van de splijstof de ontwerpwaarde niet overschrijdt.

Bij de analyse van het gedrag van de splijstofstaven op lange termijn wordt de mechanische wisselwerking tussen huls en splijstof bepaald. Deze komt voort uit het samenspel tussen drukverschillen, warmte-uitzetting, naverdichting en vervorming van de splijstof.

Verdere effecten die het gedrag op lange termijn kenmerken, zijn het vrijkomen van gasvormige splijtingsproducten, corrosie aan de buitenkant van de huls, de opname van waterstof en de uitzetting van de huls in lengterichting.

4.3-4

K O P I E

De resultaten van de lange-termijnanalyse zijn de uitzettingen, de inwendige druk, de dikte van de corrosielaag en de waterstofconcentratie in het materiaal van de huls aan het eind van de gebruiksduur.

Bij de spanningsanalyse wordt aangetoond, dat de huls niet elastisch knikt of plastisch vervormt. Er wordt aangetoond dat de vergelijkspanningen in de verschillende spanningscategorieën beneden de ontwerpwaarden blijven. De dynamische buigingsbelasting van de splijtstofstaven door stromingskrachten wordt onderzocht. Aangevoerd wordt, dat de spanningsamplitude van de trillingen beneden de vermoeiingssterkte blijft.

Onderzocht worden de spanningen aan het begin van de gebruiksduur, wanneer de huls aan het maximale drukverschil tussen de koelmiddeldruk en de inwendige gasdruk is blootgesteld. Twee gevallen worden nader bekeken, te weten de splijtstofstaaf in het heetkanaal (hoogste temperatuur van de huls) en de bedrijfstoestand nullast-heet (grootste drukverschil).

Ontwerpberekeningen voor de constructie van het splijtstofelement

Invoerparameters van de analyse van de integriteit en de juiste werking van de splijtstofelement-constructie zijn constructiegegevens, materiaaleigenschappen, materiaalgedrag bij bestraling, alsook neutronenfysische en thermohydraulische gegevens.

De ontwerpberekeningen zijn te verdelen in analyses voor normaal bedrijf en in analyses voor ongevallen.

Voor de omstandigheden tijdens normaal bedrijf wordt aangetoond dat wordt voldaan aan de onderstaande ontwerpcriteria:

- een adequate bevestiging van de splijtstofstaven in de afstandhouders;
- het neergedrukt houden van de splijtstofelementen;
- de beperking van de spanningen in de constructies;
- de uitsluiting van breuken door materiaalvermoeiing;
- het voorkomen van instabiliteit ten gevolge van drukbelasting in de lengterichting van de splijtstofstaaf;
- het voorkomen van de opname van waterstof in de zirkonium onstructie-delen.

Voor de omstandigheden tijdens ongevallen worden als bewijsvoering structuurdynamische programma's op basis van eindige-elementenmethoden toegepast. Met inachtneming van de krachten die op de constructies worden uitgeoefend, worden de optredende trillingen onderzocht en wordt aangetoond dat de integriteit van de structuur van het splijtstofelement intact blijft.

4.3-6

K O P I E

4.4 Neutronenfysisch ontwerp van de kern

4.4.1 Doelstelling

Het neutronenfysische kernontwerp is gebaseerd op de berekening van alle belangrijke wisselwerkingsprocessen tussen de materialen van de kern en de neutronen, die van belang zijn voor het bedrijven van de reactor. Van bijzonder belang zijn daarbij de kernsplijtingen en de verstrooiingsprocessen van de neutronen in de materialen. De resultaten van de berekeningen die met behulp van invoergrootheden zoals kernfysische parameters, geometrische kengetallen en variabele kerngrootten zijn uitgevoerd, zijn de in veiligheidsopzicht relevante grootheden, zoals verdeling van de vermogensdichtheid, reactiviteitscoëfficiënten, reactiviteitsbalans en reactiviteit in afgeschakelde toestand.

Belangrijke doelen van het neutronenfysisch ontwerp van de kern zijn het voorkomen van overschrijding van de voorgeschreven maximale waarden voor de vermogensdichtheid, het langdurig onderkritisch kunnen maken van de reactor vanuit elke situatie en het inherent veilige karakter van de kern.

De reactorkern moet na iedere bedrijfscyclus opnieuw beladen worden. Dit vindt plaats volgens een vooraf vastgesteld beladingsplan. Daarbij wordt een deel van de splijtstofelementen op andere plaatsen gezet en een deel ontladen en vervangen door nieuwe elementen.

De beladingsplannen worden voor elke cyclus opnieuw vastgesteld waarbij rekening gehouden wordt met eventueel gewijzigde randvoorwaarden.

Daarom moet voor aanvang van elke nieuwe bedrijfscyclus door middel van voor de betreffende reactorkern specifieke veiligheidsanalyses aangetoond worden dat de bovengenoemde doelen met betrekking tot het neutronenfysisch ontwerp van de kern gerealiseerd worden.

In het vervolg van deze paragraaf worden de voor het neutronenfysisch ontwerp van de kern belangrijke parameters besproken.

4.4.2 Vermogensdichtheidsverdeling

Afhankelijk van de lokale neutronenbalans ontstaat in de kern een vermogensdichtheidsverdeling. In radiale richting wordt deze in hoge mate door de gekozen rangschikking van de splijtstofelementen bepaald en in axiale richting hoofdzakelijk door de positie van de regelstaven.

4.4-1

K O P I E

Van bijzonder belang voor de veiligheid is de maximale waarde van de lokale vermogensdichtheid, die bepaalde limietwaarden niet mag overschrijden. Het behoort daarom tot de doelstellingen van het ontwerp om de maximale waarde van de lokale vermogensdichtheid in de reactorkern beneden deze limietwaarden te houden.

4.4.3 Reactiviteitscoëfficiënten

De reactiviteitscoëfficiënten beschrijven de veranderingen van de reactiviteit gerelateerd aan veranderingen van typische toestandparameters zoals koelmiddeltemperatuur, gehalte aan dampbellen, splijtstoftemperatuur, boriumconcentratie en positie van de regelstaven.

De koelmiddeltemperatuurcoëfficiënt geeft de reactiviteitsverandering weer, gerelateerd aan de verandering van de hoofdkoelmiddeltemperatuur.

De reactorkern is ondergemodereerd ontworpen. Dat houdt in dat, bij afwezigheid van borium in het koelmiddel, een temperatuurverhoging met als gevolg een afname van de dichtheid van het koelmiddel, steeds tot een afname van de reactiviteit leidt. Dit resulteert in een negatieve koelmiddeltemperatuurcoëfficiënt.

De reactiviteit van de reactorkern wordt mede beheerst door gebruik te maken van een in het koelmiddel opgeloste neutronenabsorber (borium). Een afname van de dichtheid van het koelmiddel (door een temperatuurverhoging) zal tevens tot een afname van de dichtheid van de neutronenabsorber in de kern leiden. Als gevolg daarvan kan de koelmiddeltemperatuurcoëfficiënt bij een toenemende boriumconcentratie in de kern minder negatief, of aan het begin van een bedrijfscyclus bij laag vermogen, wanneer zich nog geen xenon gevormd heeft, zelfs enigszins positief worden.

De dampbelcoëfficiënt geeft de reactiviteitsverandering weer, gerelateerd aan de verandering van het gehalte aan dampbellen.

De bijdrage van de dampbelcoëfficiënt is tijdens normaal bedrijf te verwaarlozen. Het reactiviteitseffect van de dampbelcoëfficiënt kan echter zeer grote waarden bereiken bij een grote koelmiddellekkage. De dampbelcoëfficiënt is altijd negatief.

De splijtstoftemperatuurcoëfficiënt (Doppler-coëfficiënt) geeft de reactiviteitsverandering weer, gerelateerd aan de verandering van de splijtstoftemperatuur. Hij is altijd negatief en speelt een beslissende rol bij de stabiliteit en veiligheid. Elke vermogenstoename, met als gevolg een zeer snelle toename van de splijtstoftemperatuur, levert daardoor direct een negatieve bijdrage aan de reactiviteitsbalans, waardoor het vermogen weer afneemt.

4.4-2

K O P I E

Bij nullastbedrijf zijn de koelmiddel- en splijtstoftemperatuurcoëfficiënt gekoppeld. Daarom spreekt men ook wel van de isotherme koelmiddeltemperatuurcoëfficiënt (ITC). Deze heeft de waarde van de som van de koelmiddeltemperatuurcoëfficiënt en de splijtstoftemperatuurcoëfficiënt. Bij storingen bij nullastbedrijf is deze ITC bepalend voor de zelfregelzaamheid (dat wil zeggen zonder de regelementregeling) van de reactor. Daarom wordt de reactor te allen tijde zo bedreven dat de ITC steeds negatief is. Teneinde gedurende bovengenoemde omstandigheden de ITC te kunnen observeren is instrumentarium aanwezig. Tijdens vollastbedrijf (met Xe-evenwicht) wordt de boriumconcentratie zo ingesteld dat ook de koelmiddeltemperatuurcoëfficiënt negatief is.

De reactiviteitscoëfficiënt van de boriumconcentratie (de werkzaamheid van het borium) geeft de reactiviteitsverandering weer gerelateerd aan de verandering van de boriumconcentratie. Bij toename van de boriumconcentratie neemt het vermogen van de reactor af, dat wil zeggen deze coëfficiënt is negatief.

De reactiviteitscoëfficiënt van de effectiviteit van de regelementen geeft de verandering van de reactiviteit weer, gerelateerd aan de verandering van de inschuifdiepte. Een toename van de inschuifdiepte resulteert in een afname van het vermogen, dat wil zeggen deze coëfficiënt is negatief.

4.4.4 Reactorregeling

Om de reactor op te kunnen starten en gedurende een bedrijfscyclus het volle vermogen te kunnen handhaven, is een zekere mate van overreactiviteit nodig. Ter compensatie van deze overreactiviteit, om een voldoende afschakelbetrouwbaarheid te garanderen en om reactiviteitsveranderingen te regelen staan twee mogelijkheden ter beschikking: Het inbrengen van de regelstaven en het verhogen van de boriumconcentratie.

Regelementen met absorbers bewerkstelligen snelle reactiviteitsveranderingen. Langzame reactiviteitsveranderingen worden door verandering van de boriumconcentratie tot stand gebracht.

4.4-3

K O P I E

4.4.5 Reactiviteit in afgeschakelde toestand en reactiviteitsbalans

Door de regelementen wordt een voldoende reactiviteit in afgeschakelde toestand gewaarborgd, hetgeen wil zeggen dat de reactor te allen tijde veilig kan worden afgeschakeld, zelfs onder de verzwarende omstandigheid dat het meest effectieve regelement in uitgetrokken toestand blijft steken (stuck rod).

De reactiviteitswinst die door het afschakelen en afkoelen van de reactor optreedt, wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door de verlaging van de koelmiddel- en brandstoftemperatuur en het verval van xenon. Deze reactiviteitswinst wordt door de afschakelreactiviteit van de regelementen en van het opgeloste borium gecompenseerd.

Een voldoende afschakelbetrouwbaarheid is gewaarborgd, wanneer een berekende afschakelreactiviteit onder de aanname van stuck rod van minimaal 1 % wordt aangetoond (keff # 0,99).

4.4.6 Stabiliteit van de reactorkern

Een qua ruimte en tijd stabiele neutronenflux van de reactorkern is een belangrijke vereiste voor het veilig bedrijf van de installatie. Hierbij moet onderscheid worden gemaakt tussen de korte termijn (een tijdconstante van enkele seconden) en de lange termijn (een tijdconstante van enkele uren).

Uit analyses is gebleken dat instabiliteiten op korte termijn niet voorkomen vanwege de negatieve reactiviteitscoëfficiënten van de reactor. Schommelingen op lange termijn worden op grond van de geometrie van het reactorontwerp gedempt.

4.4.7 Kernbelading

Voor iedere kernbelading wordt een beladingsplan opgesteld en moet worden aangetoond, dat aan alle veiligheidseisen is voldaan. Dit bewijs wordt geleverd binnen het kader van de planning ten aanzien van de inzet van splijtstofelementen. Van iedere op handen zijnde splijtstofcyclus wordt aangetoond dat deze aan de veiligheidseisen voldoet en dus de veiligheid niet in gevaar brengt.

Een belangrijke invloed op de parameters van het beladingsplan (zoals cyclusduur, verrijkingsgraad enzovoort) wordt uitgeoefend door de beladingsstrategie (het gekozen beladingspatroon). Er wordt onderscheid gemaakt tussen out-in- en in-out-belading. Bij de out-in-belading bevinden zich de verse splijtstofelementen aan de rand van de kern, en in de volgende cycli, worden zij meer naar het midden van de kern verplaatst. In geval van de in-out-belading staan daarentegen juist de oudste splijtstofelementen aan de rand van de kern.

4.4-4

K O P I E

De nieuwe splijtstofelementen staan iets meer naar binnen. Deze laatste beladingswijze wordt vanwege de geringe neutronenlekage ook wel low-leakage-belading genoemd. Low-leakage-beladingen maken langere cycli mogelijk en vertonen een beter corrosiegedrag. Naast deze beide uitersten ten aanzien van de beladingsstrategie bestaat er nog de gedeeltelijke low-leakage-belading. Hierbij worden zowel nieuwe splijtstofelementen als elementen met een langere standtijd aan de rand van de kern geplaatst.

Figuur 4.2/2 laat ter illustratie een karakteristiek beladingsplan met ENU splijtstofelementen zien. Het stelt een low-leakage-belading zonder slijtbare absorber voor, waarmee een natuurlijke cyclusduur van 314 dagen vol bedrijf gerealiseerd kan worden. Door verlaging van de koelmiddeltemperatuur is verlenging van de natuurlijke cyclus mogelijk.

4.4-5

K O P I E

4.5 Thermohydraulisch ontwerp van de kern

4.5.1 Doelstelling

Het thermohydraulische kernontwerp omvat de berekening van de thermische en de hydraulische toestand van het hoofdkoelmiddel in de reactorkern. Door berekening van lokale koelmiddelsnelheden en enthalpieverdelingen in de reactorkern, samen met de vermogensdichtheidsverdelingen wordt aangetoond dat de warmte die in de splijstofstaven ontstaat, op een veilige manier aan het koelmiddel wordt afgestaan.

Doel van het thermohydraulische ontwerp van de kern is, onder alle bedrijfsomstandigheden te verzekeren dat in de kern geen filmkoken kan ontstaan, omdat daardoor de warmteoverdracht naar het hoofdkoelmiddel verslechterd, met als mogelijk gevolg een te hoge splijstoftemperatuur.

4.5.2 Beschrijving van het thermohydraulische kernontwerp

Het thermohydraulisch gedrag van de kern wordt berekend aan de hand van een rekenmodel van het meest belaste koelkanaal (heet kanaal), en van een middelmatig belast koelkanaal, (normaal kanaal).

Heetkanaalfactoren geven de relatie weer tussen een normaal kanaal en het heet kanaal. De heetkanaalfactoren F_Q voor de warmtebelastingen in de splijstof en F^aH voor de opwarmmarge in het koelkanaal worden als volgt gedefinieerd:

Waarin
 q

Bij de berekening van de heetkanaalfactor F^aH spelen talrijke individuele factoren een rol, die bijvoorbeeld de axiaal geïntegreerde nucleaire vermogensdichtheidsverdeling, ongelijkvormigheden in de koelmiddeldoorstroming of geometrische toleranties beschrijven. Terwijl enkele van deze subfactoren door vermenging, dat wil zeggen dwarsstroming tussen subkanalen, kunnen worden verminderd, oefenen andere hun volle invloed uit op de enthalpieverhoging.

4.5.3 Ontwerpaspecten

Binnen het voorgenomen bedrijfsgebied van de reactor dienen het koelmiddeldebiet, de temperatuurverdelingen, de koelmiddeltemperatuur en de massastroomtransiënten (uitval van de hoofdkoelmiddelpompen) dusdanig bemeten te worden, dat in de kern geen belastingen voorkomen die de hulzen ontoelaatbaar zouden kunnen beschadigen.

4.5.4 Bespreking van de kritieke filmkookgrens (DNB)

Wanneer de warmteflux aan het hulsoppervlak te hoge waarden bereikt, kan er een dampfilm ontstaan die de warmte-afvoer belemmert. De overgang van kiemkoken in filmkoken wordt met kritieke filmkookgrens of "Departure from Nucleate Boiling" (DNB), en de bijbehorende warmteflux met kritieke warmteflux (CHF) aangeduid. Filmkoken gaat gepaard met een duidelijke verslechtering van de warmte-overdracht en mag daarom tijdens normaal bedrijf niet plaatsvinden om beschadiging van de hulzen te voorkomen.

De verhouding tussen de kritieke en de optredende warmteflux wordt de DNB-verhouding genoemd.

De minimale DNB-verhouding is een maatstaf voor de beveiliging tegen filmkoken.

Om tijdens het bedrijf vast te stellen of de minimale DNB-verhouding niet overschreden wordt, wordt als parameter voor de DNB-verhouding de grootte van het verschil tussen gemeten bedrijfsdruk en berekende verzadigingsdruk van het heetkanaal (de kookmarge) vastgesteld en met een minimale waarde vergeleken.

Bij transiënten gedurende normaal bedrijf worden installatiecondities die met het oog op de DNB ontoelaatbaar zijn, door het aanhouden van de vermogenslimietwaarde en de kookpuntlimietwaarde voorkomen.

Ook bij de ontwerptransiënt waarbij de hoofdkoelmiddelpompen uitvallen en met inachtneming van meettoleranties moet de mogelijkheid van filmkoken worden uitgesloten. Het thermohydraulische ontwerp gaat ervan uit, dat een voldoende beveiliging tegen filmkoken is gewaarborgd (DNB-verhouding $\geq 1,30$), wanneer bij de ontwerpbelasting $F^aH \# 1,80$ is.

4.6 Functioneel ontwerp van de reactiviteitscontrolesystemen

Het functioneren van het regelstaafstelsysteem wordt in paragraaf 5.2.3 beschreven.

De veiligheidsfunctie van het regelstaafstelsysteem is een snelle afschakeling van de reactor op betrouwbare wijze tot stand te brengen.

Daar de regelementen door stroomvoerende elektromagneten worden vastgehouden, geschiedt de snelle afschakeling van de reactor door de stroom te onderbreken waardoor de regelementen in de kern vallen door de werking van de zwaartekracht (fail-safe-principe).

De regelfunctie van het regelstaafstelsysteem is reactorvermogen door in- of uitbewegen van de regelstaven te veranderen. De mogelijkheid om de reactor door middel van het regelstaafstelsysteem te regelen, wordt niet beperkt wanneer een regelement tijdens een gewenste beweging komt vast te zitten. De vervormingen van de vermogensdichtheidsverdeling zijn in dat geval zeer gering.

De geschiktheid tot functioneren van de regelstaven wordt voortdurend bewaakt.

Om de reactiviteit te kunnen veranderen, heeft men naast het regelstaafstelsysteem de beschikking over de volgende systemen om borium toe te voeren: het volumeregelsysteem (TA), het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) en het primair reserve suppletiesysteem (TW). Bij ongevallen kunnen al deze systemen gecombineerd toegepast worden.

De bovenstaande systemen zijn gescheiden opgesteld en functioneren op verschillende wijzen. Zij zijn beschermd tegen invloeden van binnenuit, terwijl het primair reservesuppletiesysteem (TW) ook beschermd is tegen invloeden van buitenaf. Hierdoor is bereikt dat zij niet door dezelfde oorzaak allemaal tegelijk kunnen uitvallen (common-cause-failure).

4.6-1

K O P I E

5	REACTORKOEL- EN DRUKHOUDSYSTEEM	5.1-1
5.1	Beschrijving en ontwerp	5.1-1
5.1.1	Functionele beschrijving	5.1-1
5.1.2	Procestechnische uitgangspunten voor het ontwerp	5.1-4
5.1.3	Sterktetechnische uitgangspunten voor het ontwerp	5.1-6
5.1.4	Afdichtingsvoorzieningen en controle op lekkage	5.1-8
5.1.5	Akoestisch bewakingssysteem	5.1-10
5.2	Componenten van het reactorcool- en drukhoudsysteem	5.2-1
5.2.1	Reactorvat	5.2-1
5.2.2	Binnenwerk van het reactorvat	5.2-2
5.2.3	Regelstaafaandrijvingen	5.2-6
5.2.4	Hoofdcoolmiddelpompen	5.2-7
5.2.5	Hoofdcoolmiddelleidingen	5.2-9
5.2.6	Appendages	5.2-9
5.2.7	Stoomgenerator	5.2-10
5.2.8	Drukhouder en afblaastank	5.2-12
5.2.9	Opstelling en afsteuning van de componenten	5.2-13
5.3	Beproevingen	5.3-1
5.3.1	Materiaal-, tussentijdse en drukbeproevingen	5.3-1
5.3.2	Periodieke beproevingen van de componenten van het reactorcoolstelsel	5.3-3

K O P I E

5 REACTORKOEL- EN DRUKHOUDSYSTEEM

In de eerste paragraaf worden hoofdzakelijk de werking en de proces- en sterketechnische uitgangspunten voor het ontwerp van het reactorkoel-en drukhoudsysteem beschreven.

In de tweede paragraaf worden de componenten van het reactorkoel- en drukhoudsysteem behandeld en in de laatste paragraaf wordt ingegaan op de beproeving van deze componenten.

5.1 Beschrijving en ontwerp (tabel 5.1/1; figuur 5.1/1 en 5.1/2)

Het primair systeem bestaat uit het reactorkoelsysteem en het drukhoudsysteem. Het reactorkoelsysteem dient om het vermogen, dat in de reactorkern door kernsplijting is geproduceerd af te voeren en in de stoomgeneratoren aan de stoom/waterkringloop over te dragen.

Het drukhoudsysteem dient om op de benodigde bedrijfsdruk te komen, deze te handhaven en een ontoelaatbare drukstijging te voorkomen en om volumeveranderingen van het hoofdkoelmiddel op te vangen.

5.1.1 Functionele beschrijving

Het primair systeem heeft als functie het in de reactorkern geproduceerde vermogen af te voeren naar de stoom/waterkringloop van het secundair systeem. Hierbij dient de koeling van de kern te allen tijde gewaarborgd te zijn. Het systeem moet bestand zijn tegen de belastingen als gevolg van de temperaturen en drukken die op kunnen treden tijdens de verschillende bedrijfstoestanden zoals sterke vermogenswisselingen en snelle reactorafschakeling. Ook moet het systeem bestand zijn tegen de optredende belasting ten gevolge van neutronenbestraling en de mogelijk optredende mechanische belastingen. De belangrijkste ontwerp- en bedrijfsgegevens van het primair systeem zijn vermeld in tabel 5.1/1.

Het reactorkoelsysteem bestaat hoofdzakelijk uit (zie figuur 5.1/1):

- het reactorvat (YC);
- twee stoomgeneratoren (YB);
- twee hoofdkoelmiddelpompen (YD);
- de verbindende hoofdkoelmiddelleidingen (YA).

5.1-1

K O P I E

Het drukkoudsysteem (YP) bestaat hoofdzakelijk uit (zie figuur 5.1/1):

- de drukhouder met drukhouderdôme, verwarming en volume-vereffeningsleiding
- de sproeikleppen met sproeileidingen
- de drie drukbeveiligingstoestellen
- de afblaastank met afblaasdome, koelkringloop en hulpsystemen
- de ontgassingsleiding van de drukhouder
- de ontluchtingsleiding van de drukhouder.

Het hoofdkoelmiddel wordt door de hoofdkoelmiddelpompen via twee inlaatstompen het reactorvat binnengeleid, stroomt in de ringvormige ruimte tussen de kernhouder en de wand van het reactorvat naar beneden, wordt in het onderste bolvormige gedeelte van het reactorvat omgekeerd, stroomt dan van onder naar boven door de reactorkern en verlaat het reactorvat via twee uitlaatstompen.

Vandaar wordt het opgewarmde koelmiddel naar de beide stoomgeneratoren gevoerd. In de U-vormige stoomgeneratorpijpen wordt de warmte die in de reactor en door de beide hoofdkoelmiddelpompen aan het hoofdkoelmiddel is afgegeven, onttrokken. Het afgekoelde hoofdkoelmiddel wordt vervolgens naar de hoofdkoelmiddelpompen geleid en opnieuw in het reactorvat gebracht.

De drukhouder is tijdens normaal bedrijf voor circa 2/3 met water en voor de rest met stoom gevuld. Bij het op vermogen brengen van de installatie stijgt het niveau in de drukhouder aanvankelijk evenredig met de gemiddelde hoofdkoelmiddeltemperatuur. In het belastingsgebied boven 38 van het nominaal vermogen wordt de gemiddelde hoofdkoelmiddeltemperatuur en dus ook het niveau in de drukhouder constant gehouden. De volume-vereffeningsleiding verbindt de drukhouder met het warme been van één van beide koelkringlopen. Variaties in het koelmiddelvolume worden door de drukhouder opgenomen, respectievelijk gecompenseerd.

Vanaf de perszijde van één van beide hoofdkoelmiddelpompen ("koude been") leidt één sproeileiding met sproeiklep naar één sproeier in de drukhouder. Van de perszijde van de andere hoofdkoelmiddelpomp leiden twee sproeileidingen met elk een sproeiklep naar twee sproeiers in de drukhouder. Door continu een geringe hoeveelheid hoofdkoelmiddel door de sproeileidingen te laten stromen (zogenaamd continu sproeien) worden deze onderdelen op bedrijfstemperatuur gehouden en wordt tevens het hoofdkoelmiddel in de drukhouder voortdurend verversd en gemengd.

In het met water gevulde gedeelte van de drukhouder bevindt zich een verwarmingselement. Met deze elektrische verwarming en de sproei-inrichting wordt de hoofdkoelmiddeldruk geregeld.

5.1-2

K O P I E

Bij een drukdaling wordt het hoofdkoelmiddel door inschakeling van de verwarming verdampt en de druk weer op de ingestelde waarde gebracht. Bij een drukstijging wordt een extra hoeveelheid hoofdkoelmiddel uit de koude benen van de hoofdkoelmiddelleidingen in de stoomruimte gesproeid, waardoor stoom condenseert en de druk daalt. De verwarming, die trapsgewijs kan worden bijgeschakeld, is gedeeltelijk bedoeld om warmteverliezen, die altijd tijdens bedrijf optreden, op te vangen en om de drukdaling ten gevolge van het continu sproeien te compenseren.

Door het achtereenvolgens aanspreken van drie veiligheidskleppen, elk in een zogenaamde tandemopstelling, wordt voorkomen dat de druk in het reactorkoel- en drukhoudsysteem tot een ontoelaatbare waarde stijgt (zie figuur 5.1/2). Door toepassing van drie veiligheidskleppen wordt voldoende zekerheid gegeven dat, indien nodig, een klep opent. Als gevolg van de oplopende aanspreekdrukken van de veiligheidskleppen worden alleen meerdere kleppen tegelijkertijd geopend indien dit nodig is voor de drukbeheersing. Door de tandemopstelling wordt zekergestellt dat een geopende veiligheidsklep, indien nodig, weer sluit.

De drie drukbeveiligingstoestellen zijn direct op de drukhouderdome gemonteerd. Zij zijn zowel voor het afvoeren van stoom als van onderkoeld water geschikt.

De veiligheidskleppen van het drukhoudstation zijn mediumgestuurd. Daarbij zijn de drie drukbeveiligingstoestellen zodanig uitgevoerd, dat de eerste strang volgens het arbeidsprincipe (actief, motorgestuurd) en de beide andere strangen volgens het rustprincipe (passief, veergestuurd) functioneren.

Door aansturing van het eerste drukbeveiligingstoestel met actieve stuurkleppen (motor) kan de aanspreekdruk variabel worden ingesteld. Hierdoor kan met dit systeem de aanspreekdruk temperatuurafhankelijk worden verlaagd, bijvoorbeeld bij een koude installatie. Het eerste drukbeveiligingstoestel vervult daardoor ook een functie in de beveiliging tegen brosse breuk ten gevolge van een geringere taaiheid van het materiaal bij lagere temperaturen.

Om drukontlasting van het primair systeem mogelijk te maken zijn in de stuurleidingen van de hoofd- en tandemklep van het 2e en 3e drukbeveiligingstoestel stuurkleppen ingebouwd.

Bij het 1e drukbeveiligingstoestel wordt de primaire drukontlasting door de tijdens normaal bedrijf gestuurde klep verzorgd. Daardoor kunnen, indien noodzakelijk, alle drukbeveiligingstoestellen handmatig vanuit de regelzaal of de reserve-regelzaal geopend worden. De motorbediende regelstrangen worden door het noodstroomnet 2 gevoed. Vanaf de veiligheidskleppen leiden afblaasleidingen naar de afblaasdome. Deze leidingen komen via een verdeelsysteem onder water uit in de afblaastank.

Door middel van een ontgassingsleiding wordt verhinderd dat niet-condenseerbare gassen in de veiligheidskleppen komen. Hierbij wordt de afgevoerde stoom naar de afblaastank geleid, waar hij condenseert. De afblaastank is door middel van breekplaten tegen te hoge druk beveiligd. Na het aanspreken van de breekplaten vindt drukontlasting naar de veiligheidsomhulling plaats.

5.1.2 Procestechnische uitgangspunten voor het ontwerp

Randvoorwaarden voor het ontwerp

Het warmtetechnische ontwerp van de kern is erop gericht te garanderen dat bij normaal bedrijf van de reactor geen materiaaltechnische grenswaarden worden bereikt waarbij beschadiging van de splijtstofhulzen zou kunnen optreden.

Het warmtetechnisch ontwerp van het reactorkoelsysteem wordt bepaald door de beveiliging tegen filmkoken aan de splijtstofstaven. De vereiste marge ten opzichte van filmkoken bij een bepaalde gemiddelde warmteflux is maatgevend voor het koelmiddeldebiet, de koelmiddeltemperatuur en de koelmiddeldruk. De grootte van de stoomgeneratoren (oppervlak ten behoeve van de warmteoverdracht) en de capaciteit van de hoofdkoelmiddelpompen zijn overeenkomstig deze eisen ontworpen.

Het reactorkoel- en drukhoudsysteem met de bijbehorende installatiedelen zijn zodanig gedimensioneerd, dat ze bestand zijn tegen de temperaturen en drukken die zowel bij stationaire als bij niet-stationaire bedrijfscondities optreden. Daartoe behoren zowel het verwarmen en afkoelen van het reactorkoelsysteem, alsmede sterke belastingwisselingen tijdens bedrijf, zoals lastafschakeling en snelle turbine- en reactorafschakeling.

Zoals gebruikelijk voor nucleaire installaties dient men zich voor het ontwerp van de drukbeveiligingstoestellen en de drukhouder te baseren op de onderstaande ongevalscombinatie, omdat die tot de maximale volume-vergroting van het hoofdkoelmiddel in het reactorkoel- en drukhoudsysteem leidt:

Snelle turbine-afschakeling vanuit vollast, met

- uitval van de turbine-omloop
- uitval van de regelstaaf-inworpschakeling (reactorvermogen-reductie door gecontroleerde inworp van regelementen)
- uitval van de koelmiddeldrukregeling (geen sproeien in de drukhouder)
- uitblijven van actie op het eerste criterium voor snelle afschakeling
- uitval van de hoofdstoomafblaasregelkleppen.

5.1-4

K O P I E

Hierbij wordt het eerste drukbeveiligingstoestel van de drukhouder aangesproken. Het tweede respectievelijk derde drukbeveiligingstoestel spreken pas aan, wanneer nog meer uitvalsaannames verondersteld worden. Wanneer bijvoorbeeld de reactorafschakeling door het systeem voor snelle afschakeling niet werkt (ATWS), kunnen de veiligheidskleppen van het tweede en het derde drukbeveiligingstoestel ook aanspreken. De maximaal toelaatbare druk bij transiënten ten gevolge van storingen van 1,1 maal de ontwerpdruk wordt echter niet overschreden. Dit houdt in dat de maximaal toelaatbare druk bij gebeurtenissen met geringe waarschijnlijkheid van optreden, zoals ATWS (1,3 maal de ontwerpdruk, vanwege de geringe kans van optreden) zeker niet wordt overschreden.

Het openen en sluiten van de hoofd- en tandemklep van een drukbeveiligingstoestel geschiedt in drukstappen. De eerste klep (in stromingsrichting gezien) gaat bij circa 172 bar open en sluit weer bij circa 164 bar, terwijl de tweede klep pas sluit als de systeemdruk tot circa 135 bar is gedaald, bijvoorbeeld omdat de eerste klep door een defect is opengebleven. Deze tandemklep voorkomt dus een ongeval met hoofdkoelmiddelverlies, indien de aangesproken hoofdklep - om welke reden dan ook - niet meer sluit. De tandemklep is echter ook in staat de verdere drukbeveiliging van het primaire systeem over te nemen. Dit houdt in dat als bij een dergelijk ongeval (hoofdklep van het eerste drukbeveiligingstoestel opengebleven) waarbij het vermogen van de installatie wordt verminderd, de druk opnieuw tot 172 bar stijgt, de tweede tandemklep opent en zolang geopend blijft, totdat de systeemdruk tot 135 bar is gedaald. Bij bedrijfsdruk staan de drie tandemkleppen normaal in de stand "open". Het principe van de drukstaffeling van de 3 drukbeveiligingstoestellen is weergegeven in figuur 5.1/2.

Belangrijke parameters

Bedrijfsgegevens zoals bijvoorbeeld bedrijfsdruk, koelmiddelinaattemperatuur en koelmiddeldebiet worden bepaald door de randvoorwaarden voor het warmtetechnisch ontwerp ter voorkoming van filmkoken.

De belangrijkste ontwerp- en bedrijfsgegevens zijn in tabel 5.1/1 vermeld.

Gedrag bij deellast

Het zogenaamde stationair deellastdiagram geeft het verloop van de druk en de temperatuur aan primaire en secundaire zijde weer als functie van het vermogen (zie paragraaf 13.2.3). Het stationair deellastdiagram bestaat uit een gedeelte met constante hoofdstoomdruk (onderste vermogensgebied) en een gedeelte met een constante, gemiddelde koelmiddeltemperatuur (bovenste vermogensgebied).

5.1-5

K O P I E

Bij de bepaling van het deellastdiagram moet rekening worden gehouden met de volgende fysische samenhang:

- om het thermisch rendement tijdens bedrijf met nominale belasting te verbeteren, vindt de warmte-overdracht in de stoomgenerator bij de hoogstmogelijke temperatuur plaats. Deze temperatuur wordt begrensd oor het bovengenoemde warmtetechnisch ontwerp ter voorkoming van filmkoken aan de oppervlakte van de splijststofstaven;
- met het oog op een grote belastingsflexibiliteit moet de gemiddelde koelmiddeltemperatuur in het bovenste vermogensgebied constant worden gehouden. Hierdoor worden in het reactorkoelsysteem grote variaties in de soortelijke massa van het hoofdkoelmiddel voorkomen. Het niveau in de drukhouder en de koelmiddeldruk blijven zodoende ook bij grote en snelle belastingvariaties in hoge mate constant. Bovendien biedt een constante gemiddelde koelmiddeltemperatuur vanuit het gezichtspunt van de neutronenfysica het voordeel, dat na vermogensveranderingen geen bijkomende reactiviteitsinvloeden door de negatieve koelmiddeltemperatuurcoëfficiënt behoeven te worden gecompenseerd (bijvoorbeeld door het inschuiven of uittrekken van de regelementen).

Opstelling van het reactorkoel- en drukhoudsysteem

De stoomgeneratoren zijn ten opzichte van het reactorvat hoger opgesteld, om een natuurlijke circulatie te garanderen als de hoofdkoelmiddelpompen niet beschikbaar zijn. Zodoende wordt gegarandeerd dat de restwarmte naar de secundaire zijde kan worden afgevoerd.

5.1.3 Sterktetechnische uitgangspunten voor het ontwerp

Belastingen

Bij de sterkteberekening van de componenten voor het primair systeem is rekening gehouden met de volgende belastingen:

- belastingen door ingebouwde componenten;
- belastingen door eigen gewicht;
- mechanische uitwendige belastingen;
- stationaire en niet-stationaire belastingen van de componenten tengevolge van inwendige druk;
- stationaire en niet-stationaire temperatuurspanningen;
- belastingen door hypothetische lekkages;
- belastingen ten gevolge van aardbevingen.

5.1-6

K O P I E

Bij het ontwerp van het reactorvat is bovendien rekening gehouden met de verandering van de materiaaleigenschappen tengevolge van neutronenbestraling gedurende een bedrijfstijd van 40 jaar. Dit is gedaan op basis van een mechanische breukanalyse.

Berekeningsmethode

De sterkteberekening van de componenten, die volgens de Stoomwezen Grondslagen en ASME Section III alsmede volgens KTA of RCCM is uitgevoerd, omvat:

- de dimensionering van de componenten;
- de elasticiteitsberekening en spanningsanalyse;
- de vermoeiingsanalyse.

Bedrijfsveiligheid van het reactorvat

De veiligheid van het reactorvat wordt door onderstaande maatregelen gegarandeerd:

- nauwkeurige analyse van de bedrijfsbelastingen en conservatieve begrenzing van de toelaatbare spanningen;
- begrenzing van de hoofdkoelmiddeldruk;
- toepassing van materialen met goede eigenschappen ten aanzien van de taaiheid;
- gekwalificeerde fabricagemethoden;
- kwaliteitsborging tijdens de fabricage en meervoudige beproeving;
- niet-destructief onderzoek tijdens de fabricage;
- drukproef bij 1,3 maal de ontwerpdruk;
- bepaling vooraf, tijdens bedrijf en door middel van ingehangen proefstukken, van de brosheid van het materiaal als gevolg van de inwerking van straling;
- periodiek niet-destructief onderzoek van het vat;
- periodieke drukproeven.

Bij een toenemende bedrijfsduur en de daarmee gepaard gaande neutronenbestraling, veranderen de materiaaleigenschappen. Zo neemt de gevoeligheid voor brosse breuk onder invloed van neutronenbestraling toe. Om het gedrag ten aanzien van brosse breuk op lange termijn van de voor het reactorvat toegepaste materialen onder invloed van de neutronenbestraling te voorspellen, is reeds ten tijde van de bouw een omvangrijk bestralingsprogramma opgesteld. Hiermee is voorafgaand aan de bedrijfsvoering een prognose over het materiaalgedrag gemaakt. Uitgaande van dit programma zijn de gevolgen van de neutronenbestraling gedurende 40 bedrijfsjaren voor het materiaal geëxtrapoleerd.

In 1985 is aan de hand van de testresultaten van ingehangen proefstukken de invloed op het materiaalgedrag experimenteel bepaald. Daarbij is gebleken dat de vooraf bepaalde extrapolatiewaarden conservatief zijn, en het materiaalgedrag dus gunstiger is dan van tevoren was vastgesteld.

5.1-7

K O P I E

Om tijdens de in- en uitbedrijfname een ontoelaatbare wijze van bedrijfsvoering te voorkomen, is in het reactorbeveiligingssysteem (YZ) een beveiliging tegen brosse breuk opgenomen door drukbegrenzing bij lagere temperaturen. Hierdoor wordt voorkomen dat de combinatie van de druk en de temperatuur ontoelaatbare waarden bereikt.

Voordat bij een bepaalde koelmiddeltemperatuur een ontoelaatbare druk wordt bereikt, worden automatisch tegenmaatregelen genomen om de druk te ontlasten. Zo wordt bijvoorbeeld de verwarming van de drukhouder uitgeschakeld. Zonodig vindt bovendien drukontlasting via het eerste drukbeveiligingstoestel van de drukhouder plaats.

Naast de bovenomschreven maatregelen voor analyse van de normale bedrijfsvoering van de installatie, zijn ook hypothetische fouten ter beoordeling van onderkoelingstransiënten bij ongevallen met koelmiddelverlies in beschouwing genomen. Door middel van thermohydraulische analyses is het verwachte druk- en temperatuurverloop aan de reactorvatwand tijdens de transiënt bepaald en zijn de daaruit voortvloeiende spanningsintensiteitsfactoren berekend. Uit de resultaten volgt dat een begin van scheurvorming niet op zal treden.

5.1.4 Afdichtingsvoorzieningen en controle op lekkage

Het reactorkoelsysteem is waar mogelijk voorzien van gelaste verbindingen. Een uitzondering hierop vormen:

- de dubbele O-ringafdichting van het reactorvatdeksel;
- de assen van de hoofdkoelmiddelpompen met hun afdichtingssysteem;
- de regelstaafaandrijvingen en de doorvoering voor instrumentatielansen;
- man- en handgaten in de componenten;
- diverse flensverbindingen, bijvoorbeeld van drukbeveiligingstoestellen.

Controle op lekkage bij het reactorvatdeksel

Het deksel van het reactorvat wordt met behulp van opsluitbouten op het onderstuk van het reactorvat gedrukt. Twee metalen O-ringen, die tussen de flensvlakken van het onderstuk en het deksel zijn aangebracht, zorgen voor de afdichting. De juiste werking van de binnenste O-ring wordt bewaakt. Indien de werking verslechterd wordt het uittredende stoom/watermengsel via een opening uit de ruimte tussen de binnenste en de buitenste O-ring afgevoerd en naar een meetbuis geleid, die is voorzien van een op afstand afleesbare niveaumeting. Tijdens bedrijf kan lekkage van het reactorvatdeksel op deze wijze voortdurend worden gecontroleerd.

Controle op lekkage van het reactorkoelsysteem

Om het principe van "lek vóór breuk", dat voor het primair systeem is aangenomen, te kunnen waarmaken, zijn er voorzieningen voor controle om geringe lekkages aan componenten en pijpleidingen te onderkennen en voldoende nauwkeurig te lokaliseren aangebracht. De gebruikte methoden voor het vaststellen van geringe lekkages zijn:

- meting van het gevormde condensaat;
- activiteitsmeting.

Meting van het gevormde condensaat

De lucht in de installatieruimte wordt door het nucleaire ventilatiesysteem (TL) voortdurend gecirculeerd en gekoeld (zie paragraaf 9.4.1). De bij de koeling van de lucht condenserende waterdamp wordt per ventilatiestrang in een klein meetvat verzameld. Het wateraanbod in deze meetvaten wordt periodiek visueel gecontroleerd. Bovendien wordt vanuit de regelzaal bewaakt, of de grenswaarden van het waterniveau in de meetvaten niet worden overschreden. Een verhoogde condensaatvorming kan zo snel worden vastgesteld en kan dienen als indicatie voor een mogelijke lekkage.

Activiteitsmeting

De installatieruimte in het reactorgebouw wordt door afzuiging van een bepaalde hoeveelheid lucht ten opzichte van de bedrijfsruimte op een geringe onderdruk gehouden. De afgezogen lucht wordt continu op radioactiviteit bewaakt.

Een stijging van de activiteit in de lucht van de installatieruimte kan zo geconstateerd worden en een indicatie voor lekkage van het primair systeem vormen.

5.1-9

K O P I E

5.1.5 Akoestisch bewakingssysteem

Om beschadiging door losse of losgeraakte delen in het reactorkoelsysteem in een vroegtijdig stadium te onderkennen, worden de amplitudes van geluidssignalen binnen een bepaald frequentiebereik continu gemeten.

De daarbij gebruikte opnemers zijn aan de wand van de componenten angebracht:

- twee opnemers zijn circa 180 E verspringend op het reactorvatdeksel angebracht;
- per stoomgenerator is één opnemer boven (nabij de voedingswaterstomp) en een andere aan de onderkant van de stoomgenerator gemonteerd.

De signalen van de opnemers worden via meetleidingen naar de voorversterkers binnen de veiligheidsomhulling geleid, in gestandaardiseerde signalen omgezet en via doorvoeringen uit voorgespannen glas naar de regelzaal geleid. Aanspreken van het systeem leidt tot een alarmering op de regelzaal.

5.1-10

K O P I E

Tabel 5.1/1 Belangrijkste gegevens van het reactorkoelsysteem

Thermisch reactorvermogen	1365,6	MW
Vermogensoverdracht in de stoomgeneratoren	1370	MW
Koelmiddeldebiet (ontwerp van de pompen)	10000	kg/s
Bedrijfsdruk	155	bar
Koelmiddelintredetemperatuur van het reactorvat (vollast)	292,5	EC
Koelmiddeluitredetemperatuur van het reactorvat (vollast)	317,5	EC
Opwarmmarge (vollast)	25	EC
Watervolume (vollast, inclusief watervolume van de drukhouder)circa 190	m3
Capaciteit per drukbeveiligingstoestel (stoom of water bij 172 bar overdruk)	33,3	kg/s

5.1-11

K O P I E

1	Reactorvat	RA	HOOFSTOOMSYSTEEM
2	Hoofdkoelmiddelleiding	RL	HOOFD- EN NOODVOEDINGSWATERSYSTEEM
3	Stoomgenerator	RS	SECUNDAIR RESERVESUPPLETIESYSTEEM
4	Hoofdkoelmiddelpomp	TA	VOLUMEREGELSYSTEEM
5	Drukhouder	TJ	KERNINUNDATIE- EN NAKOELSYSTEEM
6	Sproeiventiel	TW	PRIMAIR RESERVESUPPLETIESYSTEEM
7	Volumevereffeningsleiding	TY	INSTALLATIEONTWATERINGS- EN
8	Verwarming		ONTLUCHTINGSSYSTEEM
9.	Drukhouderdome		
10	1e drukbeveiligingstoestel		
11	2e drukbeveiligingstoestel		
12	3e drukbeveiligingstoestel		
13	Afblaastank		
14	Afblaasdome		
15	Breekplaten		

Figuur 5.1/1 Reactorkoel- en drukhoudsysteem, - principeschema -
5.1-12

K O P I E

Figuur 5.1/2 Drukstaffeling van het reactorkoelsysteem
5.1-13

K O P I E

5.2 Componenten van het reactorkoel- en drukhoudsysteem (tabel 5.2/1; figuur 5.2/1 en 5.2/2)

5.2.1 Reactorvat

Taak en functie

Het reactorvat vormt het omhulsel voor de nucleaire warmtebron en is een vast punt in het primair systeem. In het reactorvat met binnenwerk zijn de reactorkern inclusief de noodzakelijke meet- en regelapparatuur ondergebracht.

Het hoofdkoelmiddel treedt het reactorvat binnen via twee inlaatstompen en stroomt in de ringvormige ruimte tussen de kernhouder en de wand van het reactorvat axiaal naar beneden. Nadat de stromingsrichting radiaal is omgekeerd, stroomt het hoofdkoelmiddel van onder naar boven door de reactorkern en verlaat het reactorvat via twee uitlaatstompen.

De koelmiddel-inlaat- en -uitlaatstompen liggen in een vlak dat circa 1450 mm boven dat van de bovenkant van de reactorkern ligt. Onder deze stompen bevinden zich geen andere doorvoeringen, zodat de koeling van de reactorkern in geval van lekkage in de aangesloten leidingen door het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) wordt gegarandeerd.

Constructie

Het reactorvat bestaat uit het onderstuk en het vatdeksel (figuur 5.2/1), die met een flensverbinding aan elkaar verbonden zijn. Het reactorvat is uit naadloze smeedstukken vervaardigd (geen verticale lasnaden). Alle oppervlakken die met het hoofdkoelmiddel in contact komen, zijn van een roestvaststalen platering voorzien om corrosie te voorkomen en het hoofdkoelmiddel schoon te houden.

Het onderstuk van het vat bestaat uit de volgende smeedstukken, die door middel van horizontale lasnaden met elkaar verbonden zijn:

- vatbodem;
- bodemzone-ring;
- 2 vatringsen;
- mantelflensring.

De consoles voor de axiale en radiale begrenzing van de kernhouder zijn aan de binnenzijde aan de bodem van het vat gelast, evenals de consoles voor ondersteuning van de kernhouder.

5.2-1

K O P I E

In de mantelflensring zijn de 4 koelmiddelstompen en aan de buitenzijde de draagsteunen voor ondersteuning van het reactorvat gelast.

Aan de binnenzijde van de mantelflensring is de bovenste kernondersteuning op een draaglijst geplaatst. De mantelflensring is verder voorzien van tapgaten met schroefdraad voor de flensverbinding van het reactorvat.

Het vatdeksel bestaat uit een:

- dekselring;
- dekselkom.

In de dekselring bevinden zich de doorlopende gaten ten behoeve van de tapeinden van het reactorvat en de groeven voor de O-ringen.

In de dekselkom bevinden zich de stompen voor de aandrijvingen van de regelementen en voor de kerninstrumentatie. De benodigde versteviging rondom de uitsparingen voor de stompen in het deksel is in de dekselkom aangebracht. Alle stompen zijn ingeschroefd. Om de noodzakelijke afdichting te garanderen, zijn de stompen met hun corrosievaste bekleding aan de binnenzijde van de dekselkom aan de platering vastgelast.

5.2.2 Binnenwerk van het reactorvat

Het binnenwerk van het reactorvat dient voor:

- opname van het gewicht en de spankrachten van de splijtstofelementen;
- goede positionering en uitlijning van de splijtstofelementen;
- uitlijning en geleiding van de regelementen;
- opname van de stootbelasting van de regelementen bij een snelle afschakeling van de reactor;
- geleiding van de hoofdkoelmiddelstroom in het reactorvat;
- vermindering van de neutronenbestraling van de reactorvatwand.

De kernondersteuning, de draagconstructie van de reactorkern, bestaat in principe uit:

- de onderste kernondersteuning, en
- de bovenste kernondersteuning met de geleidingen voor de regelementen.

5.2-2

K O P I E

Onderste kernondersteuning

De onderste kernondersteuning bestaat uit de kernhouder, de kernmantel, het onderste rooster, de stuwplaat en de schemel (opvangconstructie voor de kern).

De onderste kernondersteuning bepaalt grotendeels de positionering van de reactorkern bij alle bedrijfscondities en ongevallen. Bij een splijtstofwisseling blijft dit gedeelte in het reactorvat, maar het kan er ook uitgehesen worden voor een inspectie van het reactorvat, zonder dat er bouten losgedraaid moeten worden.

De kernhouder vervult verschillende functies:

- stromingsgeleiding van het hoofdkoelmiddel;
- thermisch schild;
- ondersteuning van de kern (samen met het onderste rooster).

De kernhouder is met het bovineinde aan een draaglijst aan de flens van het reactorvat opgehangen.

De centrering tussen de onderste kernondersteuning en het reactorvat geschiedt met vier stevige nokken die in de ophangflens van de kernhouder passen.

De ophangflens van de kernhouder ligt vlak aan tegen de draaglijst en is slechts van enkele gekalibreerde sleuven voorzien, die een gedoseerde nevenstroom van het binnenstromende hoofdkoelmiddel in de ruimte tussen het reactorvatdeksel en de afdekplaat mogelijk maken ten behoeve van de verwarming respectievelijk afkoeling van het reactorvatdeksel.

Bij de doorstroming van deze sleuven wordt het drukverschil tussen reactorinlaat en -uitlaat bijna opgeheven. Een te grote belasting van de afdekplaat tengevolge van het drukverschil wordt daardoor voorkomen.

De (ferritische) uitlaatstompen en de (austenitische) kernhouder sluiten bij bedrijfstemperatuur juist op elkaar aan als gevolg van verschillen in uitzetting. In de koude toestand blijft de kernhouder ver genoeg naar binnen om uithijzen van de gehele onderste kernondersteuning mogelijk te maken.

De veelhoekige contour van de reactorkern wordt door de kernmantel omsloten. De kernmantel is door middel van horizontale platen op de kernhouder afgesteund. De afmetingen van de mantel zijn afgestemd op het uitzettingsgedrag van de splijtstofelementen. Gekalibreerde uitsparingen in de platen laten een bepaalde nevenstroom voor koeling van de kernhouder toe.

5.2-3

K O P I E

Het onderste rooster draagt het gewicht en neemt de spankrachten van de kern op. Bovendien zorgt het rooster er tijdens de belading voor, dat met behulp van de op het rooster aangebrachte ruiters met stiften de splijstofelementen gecentreerd worden. Aan de onderzijde van het rooster is de stuwplaat bevestigd, die samen met de op de bodem van het reactorvat bevestigde schemel zorgt voor een gelijkmatige koelwatertoevoer naar de reactorkern.

Door de tijdens de montage in het reactorvat op maat gemaakte neerhouders met schotelveren wordt de gehele kernondersteuning aan de bovenzijde in verticale richting gefixeerd.

Bovenste kernondersteuning

De bovenste kernondersteuning bestaat uit het bovenste rooster, de roosterplaat en de regelstaafgeleiding. De bovenste kernondersteuning is ten behoeve van de bedrijfsvoering uitneembaar. Hij bevindt zich in het stompengedeelte van de kernhouder. Hij vormt de bovenste afdekking van de reactorkern en de regelstaafgeleidingen zijn erin ondergebracht. Bij een splijstofwisseling wordt de complete bovenste kernondersteuning in zijn geheel uit het geopende reactorvat verwijderd. Daarbij zijn de aandrijfstangen van de regelementen, die geheel in de splijstofelementen zijn ingeschoven, ontkoppeld. De aandrijfstangen zijn afzonderlijk of samen met de bovenste kernondersteuning uitneembaar. Daarbij bestaat geen gevaar dat de absorberstaven worden meegenomen, omdat vooraf gecontroleerd is op juiste ontkoppeling.

Bij het hijsen en neerlaten worden zowel het deksel van het reactorvat als de bovenste kernondersteuning op dezelfde wijze met behulp van drie lange stangen, die aan de flens van het reactorvat worden bevestigd, axiaal geleid. Bij de bovenste kernondersteuning geschiedt de geleiding via drie ogen, die aan de buitenrand van een hijsinrichting voor de bovenste kernondersteuning zijn bevestigd. Deze hijsinrichting kan door afstandsbediening onder water aan de hijsogen van de bovenste kernondersteuning worden bevestigd.

Een buigvast bovenste rooster vormt de ruggengraat van de bovenste kernondersteuning. Het rooster bevindt zich boven de uitlaatstompen. De roosterplaat is door middel van stangen, die over de gehele doorsnede van de kern zijn verdeeld, met het bovenste rooster verbonden. Met een flens ligt het rooster op de ophangflens van de onderste kernondersteuning.

De roosterplaat centreert de splijstofelementen en de regelstaafgeleidingen. Hij draagt de tijdens bedrijf omhoog gerichte stromings- en spankrachten op de aangeboute stangen over op het bovenste rooster.

5.2-4

K O P I E

Het inzetstuk van de regelstaafgeleiding bestaat uit vier doorgaande verticale staven met tussenliggende horizontale geleidingsplaten. In deze platen zijn gaten/spleten aangebracht waardoorheen de afzonderlijke vingers van een regelement verticaal op en neer bewogen kunnen worden. Het grootste deel van dit skelet van verticale staven en horizontale geleidingsplaten wordt omsloten door een mantel ter bescherming tegen dwarsstroming. In het onderste open deel van het skelet zijn de geleidingsplaten onderling verbonden door buisjes ter geleiding van de twaalf buitenste vingers.

Voor de centrering aan de onderkant op de gaten van de roosterplaat zijn aan de roosterplaat pennen gelast. Aan de bovenzijde valt het inzetstuk van de regelstaafgeleiding in de gaten van het bovenste rooster. Bovenop het bovenste rooster zijn tenslotte afdekkappen geschroefd die nauw sluiten om de aandrijfstangen van de regelementen. Naast afsluiting ter vermindering van turbulente stroming in de dekselkom zorgen deze kappen er ook voor dat de uitstekende aandrijfstangen nagenoeg verticaal blijven staan. Dit om het eroverheen plaatsen van het vatdeksel te vergemakkelijken.

Sterktetechnisch ontwerp

Het binnenwerk van het reactorvat is ontworpen voor de belastingen die tijdens normaal bedrijf en bij ongevallen optreden. Hierdoor is de afschakelbaarheid van de reactor gegarandeerd. De volgende belastingen voor bedrijfs- en ongevalscondities zijn beschouwd:

- mechanische belastingen tengevolge van gewicht, stationaire stroming, trillingen, vertrags- en spankrachten;
- temperatuurbelastingen door verschillen in uitzetting van verschillende onderdelen en als gevolg van warmtestraling
- trillingen en stootbelastingen;
- belastingen als gevolg van ongevallen met koelmiddelverlies.

Tijdens de inbedrijfstelling is een uitgebreid programma van trillingsmetingen uitgevoerd.

Materialen

Door de toepassing van gestabiliseerde austenitische materialen met goede eigenschappen ten aanzien van stralingsbelasting is juist functioneren van het binnenwerk gegarandeerd. Daarbij is rekening gehouden met de neutronendosis en het stralingsniveau, dat gedurende de levensduur van de reactor zal optreden. Er zijn bij voorkeur austenitische staalsoorten met een verlaagd C-gehalte en een beperkt Co/Ta-gehalte toegepast om de invloed van de neutronenbestraling te beperken, in de vorm van gewalste platen en profielen, gesmede delen en lastoevoegmaterialen.

Alle toegepaste austenitische materialen zijn op hun gedrag onder neutronenbestraling, hun bestendigheid tegen spannings- en interkristallijne corrosie beproefd bij de te verwachten omstandigheden.

5.2.3 Regelstaafaandrijvingen

Taak

Voor de vermogensregeling en snelle afschakeling worden regelementen toegepast (zie hoofdstuk 4). De regelementen worden via regelstaafaandrijvingen op- en neerbewogen.

Met behulp van de regelstaafaandrijvingen kunnen de regelementen over de totale hoogte van de kern in- of uitbewogen worden, of in elke positie in overeenstemming met de groefverdeling van de aandrijfstangen binnen het bewegingsgebied gefixeerd worden. Bovendien kunnen de aandrijfstangen in geval van een noodzakelijke snelle afschakeling geheel ontkoppeld worden, zodat de regelementen met aandrijfstangen door de zwaartekracht in de kern vallen.

Constructie

De regelstaafaandrijving bestaat uit het druklichaam, de stappeneenheid, de aandrijfstang en het spoelenhuis. Elke regelstaafaandrijving vormt een afzonderlijke eenheid, die apart op één van de stompen van het vatdeksel wordt geschroefd. De afdichting van deze flensverbinding geschiedt met een metalen dichtingsring. De wand van het druklichaam vormt de begrenzing van de drukvoerende ommanteling van het hoofdkoelmiddel.

De stappeneenheid is in het onderste gedeelte van het druklichaam ingebouwd. Deze eenheid bestaat hoofdzakelijk uit de geleidebus als dragend deel, palhouders met pallen, ankers en polen. Door de ankers worden twee groepen pallen bewogen. De pallen grijpen in een vaste volgorde in de groeven van de aandrijfstang. Door deze vaste volgorde kan de aandrijfstang en dus ook het regelement in of uit de kern worden gestuurd.

De aandrijfstang vormt de verbinding tussen de stappeneenheid en het regelement. Ze bestaat uit een buis, die aan de bovenzijde over de benodigde slaglengte met een steek van 10 mm is gegroefd en aan de onderzijde van een mechanische koppeling is voorzien. Deze koppeling zorgt voor de verbinding met het regelement.

Tijdens reactorbedrijf is de aandrijfstang altijd met het regelement verbonden. De koppeling kan vanaf de bovenzijde via een bedieningsstang, die door het binnenste van de aandrijfstang wordt geleid, worden losgekoppeld. Het regelement kan alleen losgekoppeld worden als het reactorvatdeksel is verwijderd.

5.2-6

K O P I E

Het spoelenhuis bestaat hoofdzakelijk uit de drie werkspoelen (hef-, grijp- en houdspoel) en spoelen voor standaanwijzing (analoge en eindpositiespoelen).

Stapsgewijze verplaatsing

Het regelement wordt verplaatst in een door een klokgenerator vooraf ingestelde volgorde van spoelstroomschakelingen op de drie werkspoelen. In de ruststand (element volledig ingeschoven) is alleen de grijpspoel ingeschakeld. Het regelement wordt vanuit deze ruststand door gerichte schakelvolgordes omhoog bewogen.

Reactorsnelafschakeling (RESA)

De werkwijze van de regelstaafaandrijving bij een reactorsnelafschakeling of stroomuitval aan de werkspoelen, is steeds veiligheidsgericht (fail-safe). Wanneer een RESA optreedt, of de stroomvoorziening uitvalt, vallen de ankers van de polen. Hierdoor worden de pallen uit de groeven van de aandrijfstang getrokken. De aandrijfstang wordt niet langer in positie gehouden en valt met het aangekoppelde regelement door de zwaartekracht in de kern. Het regelement wordt aan het einde van de val door hydraulische schokbrekers afgeremd. De restenergie wordt door een veer, die aan de spinconstructie van het regelement is bevestigd, opgenomen.

Standaanwijzing

De actuele positie van de aandrijfstang en daarmee de positie van het ermee verbonden regelement, wordt via een digitale stappenteller, die door de klokgenerator wordt gestuurd, en via een continue analoge signalering door middel van de standaanwijsspoel bepaald. Daarnaast worden de bovenste en onderste positie door afzonderlijke eindpositiespoelen geregistreerd.

Functionele beproevingen

De regelstaafaandrijvingen zijn op een proefbank aan een functionele beproeving onderworpen, waarbij druk en temperatuur in overeenstemming waren met de bedrijfscondities. Het functioneel beproevingsprogramma omvatte het functioneren van de aandrijving in koude en warme toestand, en het testen van de functie voor reactorsnelafschakeling.

Na de montage op het reactorvatdeksel is de werking van de aandrijving in het kader van de inbedrijfstelling nogmaals getest en zijn valtijdmetingen uitgevoerd.

Jaarlijks worden functionele beproevingen uitgevoerd.

5.2.4 Hoofdkoelmiddelpompen

De hoofdkoelmiddelpomp is een eentraps-centrifugaalpomp met een verticale as en een motor die bovenop de pomp is geplaatst. Het hoofdkoelmiddel treedt loodrecht aan de onderzijde de pomp binnen en wordt na drukverhoging in de waaier en horizontaal door de persstomp naar buiten geleid.

Het pomphuis is als een ringvormig huis met een axiale zuigstomp en een radiale persstomp uitgevoerd. Het is een gelaste constructie, die uit verschillende gesmede delen bestaat. Het pomphuis is in de pijpleiding gelast. De lagers, afdichtingen en andere inbouwdelen zijn op het deksel gemonteerd, zodat ze na het loskoppelen van de flensverbinding samen met de as en de rotor uit het pomphuis getrokken kunnen worden. Het pomphuis zelf blijft op zijn plaats.

De hoofdafdichting (HD-afdichting), waarin de volle systeemdruk tot een tegendruk van enkele malen de atmosferische druk wordt gereduceerd, is een hydrodynamische, mechanische asafdichting in tweetrapsuitvoering. De lekkage van deze afdichting bedraagt enkele honderden liters per uur en wordt naar het koelmiddelreinigings- en ontgassingssysteem (TC) afgevoerd. De afdichting naar buiten toe, waarbij de druk tot atmosferische druk wordt teruggebracht, wordt verzorgd door een extra nageschakelde mechanische afdichting (LD-afdichting). In geval van beschadiging van de HD- en LD-afdichtingen kan de pomp tenslotte nog door een reserve afdichtingstrap tegen de volle systeemdruk worden afgedicht. Deze afdichting is normaliter geopend en wordt bij een overmatige lekkage automatisch gesloten.

Indien als gevolg van een veronderstelde externe invloed de automatische afdichting faalt dan kan de reserve afdichting alsnog gesloten worden door opening van een bypass-klep. Hierdoor wordt verhoogde lekkage van hoofdkoelmiddel in de veiligheidsomhulling voorkomen.

De pomp wordt via een boogtandkoppeling aangedreven door een elektromotor met terugloopsper. De elektromotor rust met het lantaarnstuk op het pomphuis, dat zodanig is opgehangen dat de thermische uitzetting van de hoofdkoelmiddelleidingen gecompenseerd wordt.

Voor koeling en smering van het onderste lager en de HD-afdichting wordt schoon, koud sperwater uit het volumeregelsysteem (TA) gebruikt. Een gedeelte hiervan stroomt via het onderste lager in het pomphuis. Hiermee wordt tevens voorkomen dat heet water uit het primair systeem stroomt. Het resterende gedeelte van het koude sperwater stroomt door de HD-afdichting. Het wordt in de ruimte tussen HD- en LD-afdichting verzameld, naar buiten afgevoerd en in het TA-systeem weer op de sperwaterdruk gebracht. De LD-afvoerleiding is voor de volle systeemdruk ontworpen, voor het geval dat de HD-afdichting defect mocht raken.

5.2-8

K O P I E

Voor de aslagering is als onderste stuurlager het bovengenoemde watergesmeerde lager op de waaier aangebracht. De overige lagers, het bovenste radiaal- en druklager evenals de motorlagers zijn oliegesmeerd. De olie wordt via een olietoevoersysteem, bestaande uit een oliereservoir, koelers, filters, pompen en benodigde reserve-eenheden met toebehoren, naar de smeerpunten geleid. Voor de afdichting van de flensverbinding tussen pomphuis en deksel wordt een spiraalafdichting van grafiet toegepast.

5.2.5 Hoofdkoelmiddelleidingen

De hoofdkoelmiddelleidingen verbinden de componenten van het reactorkoelsysteem en dienen om het hoofdkoelmiddel van het reactorvat naar de stoomgenerator en vervolgens via de hoofdkoelmiddelpomp terug naar het reactorvat te transporteren.

De pijpen en bochten van de hoofdkoelmiddelleidingen en de volume-vereffeningsleiding zijn van ferritisch, goed lasbaar, fijnkorrelig staal met een austenitische platering vervaardigd. Voor de hoofdkoelmiddelleidingen en de volumevereffeningsleiding is aangetoond dat aan de voorwaarden voor toepassing van het concept van uitsluiting van grote breuken en dus aan het principe van lek-voor-breuk wordt voldaan. Een grote breuk van deze leidingen als gevolg van een rondgaande scheur is daardoor uitgesloten (zie paragraaf 3.4.2). De stompen zijn op dezelfde wijze uitgevoerd. Alle overige pijpleidingen van het reactorkoelsysteem zijn van roestvast staal vervaardigd.

Het reactorvat dient als vast punt. De stoomgeneratoren en de hoofdkoelmiddelpompen zijn opgehangen in trekstangen, zodat voorkomen wordt dat de hoofdkoelmiddelleidingen tengevolge van warmtespanningen extra worden belast.

5.2.6 Appendages

De appendages van het primair systeem vervullen de volgende functies:

- afsluiting van de op het reactorkoelsysteem aangesloten leidingen van de veiligheids- en hulpsystemen (eerste afsluiting)
- waarborging van de veiligheidsfuncties onder bedrijfs- en ongevalscondities, bijvoorbeeld:
 - * openen voor nakoeling en kerninundatie
 - * regelfuncties (drukhoudsysteem)
 - * sluiten bij isolatie van het primaire systeem.

De afsluiters in het primair systeem worden door het noodstroomnet 2 gevoed.

Appendages die geen actieve veiligheidsfunctie vervullen, zijn handbediend en worden bijvoorbeeld voor aftap en ontluchting toegepast.

De volgende soorten appendages worden gebruikt voor een actieve veiligheidsfunctie:

- afsluiters met elektrische aandrijving, bijvoorbeeld in het kerninundatie- en nakoelsysteem;
- terugslagkleppen, bijvoorbeeld in het kerninundatie- en nakoelsysteem of in het volumeregelsysteem.

Voor drukbeveiliging en -ontlasting van het reactorakoelsysteem zijn drie _____ drukbeveiligingstoestellen (in tandem geschakelde veiligheidskleppen met stuurkleppen) door middel van een flensverbinding op de dome van de drukhouder gemonteerd.

Elk drukbeveiligingstoestel bestaat uit twee direct achter elkaar geschakelde kleppen in een gemeenschappelijk klephuis, waarbij in de bedrijfspositie de eerste klep (in stromingsrichting gezien) - de zogenaamde hoofdklep - gesloten is en de tweede - de zogenaamde tandemklep - geopend is.

De drukbeveiligingstoestellen worden door verschillende stuurkleppen aangestuurd. Het eerste drukbeveiligingstoestel van de drukhouder wordt volgens het arbeidsprincipe door een drieweg-stuurklep met motoraandrijving gestuurd.

De twee andere drukbeveiligingstoestellen worden volgens het rustprincipe elk door een met het eigen medium werkende, veerbelaste stuurklep gestuurd.

5.2.7 Stoomgenerator

Taak en functie

De stoomgeneratoren dienen om met behulp van de door het hoofdkoelmiddel overgedragen warmte, de voor de aandrijving van de turbine benodigde verzadigde stoom te produceren.

Het hoofdkoelmiddel (primaire zijde) komt de inlaatkamer via de inlaatstomp binnen, stroomt door de U-vormig gebogen pijpen en geeft daarbij zijn warmte af aan het secundaire systeem. Het hoofdkoelmiddel verlaat de stoomgenerator via de uitlaatstomp in de uitlaatkamer.

Aan het gedeelte boven de pijpplaat (secundaire zijde) wordt ten behoeve van de productie van verzadigde stoom via een aan de zijkant aangebrachte inlaatstomp en een daarop aangesloten ringverdeler voorverwarmd water toegevoerd. De stoomproductie vindt bij natuurlijke circulatie plaats. Hiertoe is rondom de pijpenbundel een geleidemantel aangebracht, die boven de pijpenbundel met de waterafscheider is verbonden.

In de ruimte boven het waterpeil zijn een waterafscheider voor de grove afscheiding van het stoom/watermengsel en een stoomdroger voor droging van de stoom aangebracht.

De gedroogde stoom verlaat de stoomgenerator via de centrale uitlaatstomp op de bovenzijde waarop de hoofdstoomleiding is aangesloten.

Constructie

De stoomgeneratoren zijn als warmtewisselaars met U-vormige pijpen in verticale opstelling uitgevoerd. De belangrijkste componenten zijn de pijpplaat, waarop de bundel U-vormige pijpen is vastgelast, onder de pijpplaat een halfronde verzamelkamer (inlaat-respectievelijk uitlaatkamer gescheiden door een bolle scheidingswand) en de drukvoerende wand die boven de pijpplaat, cilindrisch om de pijpenbundel is aangebracht en zich boven de pijpenbundel conisch verwijdt en aan de bovenzijde is afgesloten.

De bundel U-vormige pijpen wordt over de totale lengte door verschillende roosters geleid. De afzonderlijke pijpen zijn aan de pijpplaat-platering aan primaire zijde vastgelast en na het inlassen in de pijpplaat gewalst.

Met behulp van een op afstand bediende methode kan de wanddikte van de U-vormige pijpen vanuit de primaire kamers worden bepaald. Voor de toegankelijkheid is een mangatstomp aangebracht. Via de mangatstomp kan het binnenwerk aan secundaire zijde worden geïnspecteerd en kunnen de afscheiders worden gemonteerd en gedemonteerd. Bovendien zijn in de drukvoerende wand boven de pijpplaat enkele handgaten aangebracht, waardoor de pijpbundel en de pijpplaat visueel kunnen worden geïnspecteerd.

Voor de ophanging van de stoomgenerator zijn aan de buitenzijde van de pijpplaat drie draagsteunen gelast.

5.2-11

K O P I E

5.2.8 Drukhouder en afblaastank

Drukhouder

De drukhouder dient om de voor de normale bedrijfsvoering van het reactorkoelsysteem vereiste druk, die boven de bij de reactoruitlaatemperatuur behorende verzadigingsdruk ligt, te leveren respectievelijk in stand te houden. Met name bij belastingsvariaties van de reactor moeten de volumeveranderingen van het hoofdkoelmiddel, die door verandering van de systeemtemperatuur worden veroorzaakt, zonder grote drukvariaties gecompenseerd worden (zie ook paragraaf 5.1).

De drukhouder is een cilindrisch vat met daarop een dome. In het onderste gedeelte van de drukhouder zijn de stompen voor de verwarmingselementen, de aftapleiding, de aansluiting voor de volume-vereffeningsleiding en een mangat aangebracht.

Aan de bovenkant bevinden zich stompen voor de dome en voor het sproeisysteem. Op de drukhouderdome bevinden zich de stompen voor de drukbeveiligingstoestellen.

In het bovenste vatgedeelte is een binnenmantel ingebouwd, om de vatwand tegen thermische schokken als gevolg van het koude sproeiwater te beschermen. Ook de sproeileidings- en volumevereffeningsstompen zijn door middel van een warmtebuffer beschermd tegen thermische schokken.

Afblaastank

De afblaastank is een cilindrisch vat met daarop een dome. De afblaastank is voorzien van een verdeelsysteem om de stoom die bij opening van de drukbeveiligingstoestellen uit de drukhouder stroomt, te condenseren.

De afgeblazen stoom wordt aan de bovenzijde via stompen in de dome naar het vat geleid en via verdeelpijpen en sproeiers in het in de drukhouder aanwezige koude water geblazen. Het vat is voor circa 2/3 met water gevuld. Boven het waterpeil is voortdurend een stikstofkussen aanwezig.

Verdeelpijpen en sproeiers zijn zodanig ontworpen, dat er volledige condensatie van de damp in het aanwezige water kan plaatsvinden. De waterinhoud wordt indien de watertemperatuur in de afblaastank een bepaalde waarde bereikt, via een aangesloten koelkringloop, bestaande uit een warmtewisselaar, circulatiepomp en de verbindingsleidingen en appendages, gekoeld.

Door middel van een temperatuurbewaking en een waterpeilregeling worden de vereiste waarden aangehouden. Het vat wordt tegen ontoelaatbare overdruk beveiligd met behulp van breekplaten. Ten behoeve van onderhoudswerkzaamheden is in het vat en de dome een mangat aangebracht.

5.2.9 Opstelling en afsteuning van de componenten

De componenten (reactorvat, stoomgeneratoren, hoofdkoelmiddelpompen en drukhouder) zijn zodanig afgesteund, dat de reactiekrachten als gevolg van het bij hypothetische lekkages uitstromende medium op de gebouwconstructie kunnen worden overgedragen.

In het concept van de ondersteuningsconstructies voor de componenten van het reactorkoelsysteem is het reactorvat een vast punt. De aangesloten hoofdkoelmiddelleidingen zijn kort gehouden en dragen de thermische uitzettingen van het systeem over op de stoomgeneratoren en hoofdkoelmiddelpompen, die horizontaal schuivend zijn opgehangen.

De ondersteuningsconstructies hebben ten doel:

- het reactorvat in het gebouw te centreren;
- de horizontale verplaatsing van stoomgeneratoren en hoofdkoelmiddelpompen mogelijk te maken;
- de bedrijfsbelastingen; de belastingen tengevolge van aardbevingen, en de op de componenten uitgeoefende belastingen door hypothetische lekkages van aansluitende leidingen (hoofdkoelmiddel- en hoofdstoomleidingen) op de gebouwconstructie over te dragen.

Afsteuning van het reactorvat

Het reactorvat rust met vier aangelaaste steunen op een draagring en wordt daar in de middenpositie gefixeerd. In de steunpunten worden de steunen radiaal geleid, waardoor de thermische uitzetting van het vat niet wordt belemmerd.

Afsteuning van de stoomgenerator

De stoomgenerator is horizontaal vrij beweegbaar met behulp van drie hangers aan een stalen ondersteuningsconstructie opgehangen en kan daardoor de thermische uitzetting van de hoofdkoelmiddelleiding spanningsvrij volgen.

De hangers nemen de verticale krachten van de drie steunen, die aan de pijpplaat van de stoomgenerator zijn gelast, op en dragen deze over op de stalen ondersteuningsconstructie.

Afsteuning van de hoofdkoelmiddelpomp

De hoofdkoelmiddelpomp is horizontaal vrij beweegbaar met behulp van drie hangers aan een stalen ondersteuningsconstructie opgehangen en kan de thermische uitzetting van de hoofdkoelmiddelleiding ongehinderd volgen.

De hangers nemen de verticale krachten van de drie steunen, die aan het pomphuis zijn gelast, op en dragen deze over op de stalen ondersteuningsconstructie.

Afsteuning van de drukhouder

De drukhouder vormt het vaste punt voor de aansluitende, elastisch gelegde pijpleidingen. Hij is op drie niveaus afgesteund.

In het benedengedeelte zijn drie draagsteunen aangebracht, die met trekankers op het draagvlak rusten. Ze zorgen voor de overdracht van de verticale krachten en gedeeltelijk van de horizontale krachten.

Aan het bovengedeelte van de cilindrische mantel zijn vier consoles voor het overbrengen van de belastingen ten gevolge van ongevallen met koelmiddelverlies aangebracht.

De dôme van de drukhouder is op het plafond van de appendageruimte horizontaal afgesteund.

5.2-14

K O P I E

Tabel 5.2/1 Componenten van het reactorkoelsysteem

Ontwerpdruk	176	bar	
Ontwerptemperatuur:			
- drukhouder	362	EC	
- overig systeem	350	EC	
Reactorvat			
Inwendige diameter	3726	mm	
Cilinderwanddikte + platering	circa 81 + 7	mm	
Hoogte	9825	mm	
Basismateriaal	22 NiMoCr 37		
Regelstaafaandrijving			
Aantal	28		
Slaghoogte	2630	mm	
Hefkracht	circa 2000	N	
Staplengte	10	mm	
Stappenfrequentie (maximaal)	1	s-1	
Hoofdcoolmiddelpomp			
Debiet	18000	m ³ /h	
Toerental	25	s-1	
Vermogen (bij bedrijfstemperatuur)	circa 5100	kW	
Materiaal	fijnkorrelig staal		
Hoofdcoolmiddelleiding			
Nominale diameter	800	mm	
Materiaal	fijnkorrelig staal		
Stoomgenerator			
Hoogte	circa 17200	mm	
Materiaal	fijnkorrelig staal		
Ontwerpdruk (primair)	176	bar	
Ontwerpdruk (secundair)	88	bar	
Ontwerptemperatuur	350	EC	
Materiaal (U-pijpen)	Incoloy 800		
Drukhouder			
Totaal beschikbaar volume	circa 40	m ³	
Watervolume bij vollast	24	m ³	
Stoomvolume bij vollast	16	m ³	
Beschikbare verwarmingscapaciteit	circa 2000	kW	
Materiaal	fijnkorrelig staal		
Afblaastank			
Totaal beschikbaar volume	circa 40	m ³	
Watervolume (normaal bedrijf)	circa 25	m ³	
Gasvolume (normaal bedrijf)	circa 15	m ³	
Temperatuur (normaal bedrijf)	50	EC	

5.2-15

K O P I E

1	Vatbodem	Onderste kernondersteuning
2	Bodemzone-ring	13 Kernhouder
3	Vatringen	14 Kernmantel
4	Mantelflensring	15 Onderste rooster
5	Koelmiddel-inlaatstomp	16 Stuwplaat
6	Koelmiddel-uitlaatstomp	17 Schemel
7	Console kernhouderbegrenzing	
8	Console kernhouderondersteuning	Bovenste kernondersteuning
9	Dekselflensring	18 Bovenste rooster
10	Dekselkom	19 Roosterplaat
11	Regelstaafstompen	20 Regelstaafgeleiding
12	Bevestigingstapeinden	21 Verbindingsstangen

Figuur 5.2/1 Constructiedelen van het reactorvat

5.2-16

K O P I E

- | | | | |
|---|-------------------------|----|---------------------------|
| 1 | Primaire uitlaatstomp | 10 | inlaat voor meetleidingen |
| 2 | Draagsteun | 11 | Geleidemantel |
| 3 | Handgat | 12 | Ringverdeler |
| 4 | Secundaire inlaatstomp | 13 | Pijpenbundelondersteuning |
| 5 | Waterniveau | 14 | Pijpenbundel |
| 6 | Mangat (secundair) | 15 | Pijpenplaat |
| 7 | Secundaire uitlaatstomp | 16 | Verzamelkamers |
| 8 | Stoomdroger | 17 | Primaire inlaatstomp |
| 9 | Waterafscheider | | |

Figuur 5.2/2 Stoomgenerator
5.2-17

K O P I E

5.3 Beproevingen

5.3.1 Materiaal-, tussentijdse en drukbeproevingen

Het reactorcoolsysteem is zodanig ontworpen, dat het gedurende de totale levensduur van de kernenergiecentrale inzetbaar blijft. Om die reden zijn de keuze van geschikte materialen, de materiaalbeproeving, een zorgvuldige fabricagevoorbereiding, de fabricage evenals de bijbehorende fabricagecontrole en tussentijdse beproeving van het grootste belang. Met het oog hierop zijn alle componenten van het primair systeem gelijkwaardig behandeld. De eisen en voorschriften zijn voor de afzonderlijke componenten in componentenspecificaties opgenomen. Door deze specificaties is een zorgvuldig fabricageproces gegarandeerd.

Materiaalkeuze

Bij de materiaalkeuze is rekening gehouden met de volgende eisen:

- voldoende mechanische eigenschappen (treksterkte, rekgrens, kerfslagwaarde, breukrek, taaiheid) bij bedrijfs- en omgevingstemperatuur;
- goede veredelingsmogelijkheden bij de vereiste wanddiktes;
- goede lasbaarheid;
- geringe brosheid als gevolg van neutronenbestraling voor materialen in de kernzone;
- bestendigheid tegen corrosie onder invloed van het hoofdkoelmiddel.

Fabricage en fabricagecontrole

De complete fabricage, vanaf de fabricage van de halffabrikaten, is volgens vooraf opgestelde en gecontroleerde documenten uitgevoerd. Het centrale fabricagedocument is de componentenspecificatie, waarin ook alle stappen van de beproeving zijn beschreven. Andere documenten die als uitgangspunt voor de uitvoering van de werkzaamheden dienen zijn constructietekeningen, materiaalspecificaties, lassocificaties, gloeispecificaties en specificaties voor tussentijdse beproeving.

De materiaalspecificatie en de specificatie voor tussentijdse beproeving vormen eveneens de basis voor de documentatie waarin de resultaten van de beproevingen en controles zijn opgenomen. Tijdens de fabricage is door middel van begeleidende fabricagecontrole gegarandeerd, dat de beproevingen vakkundig zijn uitgevoerd. Voor de gehanteerde kwaliteitsborging bij de fabricage van de componenten wordt verwezen naar paragraaf 17.2.

5.3-1

K O P I E

Beproevingen

Met de beproevingen is aangetoond, dat de halffabrikaten respectievelijk componenten aan de gestelde eisen voldoen. Omvang en tijdstip evenals de bij de uitvoering in acht te nemen voorschriften zijn vastgelegd in materiaalspecificaties en specificaties voor tussentijdse beproeving.

In het volgende worden de beproevingen aan de hand van het voorbeeld van de gesmede ringen voor het reactorvat beschreven.

De chemische samenstelling is niet alleen door middel van een smeltanalyse, maar ook door controle-analyses van de complete, gesmede delen gecontroleerd.

Destructief onderzoek van de gesmede ringen

De monsters voor mechanische beproeving zijn na het veredelingsproces genomen. Bij ringen die tijdens het verdere verwerkingsproces nog meermaals zijn gegloeid, is de mechanische beproeving na twee typen warmtebehandelingsmethoden uitgevoerd:

- simulerend gegloeid.
Hierbij is het proefstuk aan een aantal gloeibehandelingen onderworpen, waarmee de na het productieproces te verwachten gloeibehandelingen door een aantal extra gloeibehandelingen voor eventueel noodzakelijke reparaties zijn gesimuleerd. Door deze beproeving beschikte men reeds bij de aanvang van de productie over de waarden, die in gereede toestand konden worden verwacht
- gloeien in eindtoestand.
Het hiervoor bestemde proefmateriaal is bij het desbetreffende werkstuk gevoegd en aan alle warmtebehandelingen onderworpen. Na de laatste gloeibehandeling is de afnamebeproeving als eindafname uitgevoerd.

Na deze gloeibehandelingen is van de afzonderlijke monsters het volgende bepaald:

- treksterkte en rekgrens, rek en taaiheid bij omgevings- en ontwerptemperatuur;
- kerfslagwaarde (inclusief overgangstemperatuurgrafieken);
- gedrag bij brosse breuk op basis van Pellini-proeven;
- korrelgrootte en structuur.

Van elke gesmede ring zijn in overeenstemming met de componentenspecificatie monsters genomen. De gelijkmatigheid van de veredeling is door over de omtrek verdeelde hardheidsproeven door middel van micro-etsen en destructief onderzoek aan de monsters aangetoond.

5.3-2

K O P I E

De monsternamen waren zodanig, dat de bij het destructief onderzoek vastgestelde waarden representatief waren voor het complete halffabrikaat.

Niet-destructief onderzoek van de gesmede ringen

Aan de werkstukken is een volledig onderzoek naar oppervlaktescheuren uitgevoerd. Alle werkstukken zijn bovendien aan een compleet ultrasoon onderzoek onderworpen.

Persproef

Bij de persproef zijn tenslotte door middel van rekmetingen aan de binnen- en buitenwand van het reactorvat de belastingen gemeten die op zwaarstbelaste plaatsen optreden.

5.3.2 Periodieke beproevingen van de componenten van het reactorkoel-systeem

Doel van het periodiek niet-destructief onderzoek

Het hoofddoel van het periodiek niet-destructief onderzoek is aan te tonen, dat de tijdens de bouw van de installatie bereikte veiligheidstoestand gehandhaafd blijft.

Daarnaast wordt het niet-destructieve onderzoek aan de componenten van het reactorkoelsysteem uitgevoerd om de geldigheid van het ontwerp-principe van "lek voor breuk" (zie paragraaf 3.4.2) te handhaven.

Na de inbedrijfstelling van de reactor worden de componenten van het reactorkoelsysteem aan regelmatig terugkerende proeven onderworpen. De periodieke beproevingen van de componenten geschieden door middel van een inservice inspectie en persprogramma op basis van ASME section XI, aangevuld met eisen van de Dienst Stoomwezen. Dit programma geeft aan welke componenten periodiek beproefd moeten worden, hoe deze beproeving moet plaatsvinden en met welke frequentie.

De resultaten van het in het kader van de fabricage en montage uitgevoerde niet-destructieve onderzoek worden tijdens het periodiek niet-destructief onderzoek als vergelijkingsmateriaal gebruikt.

In beproevingszones, waarin tijdens het periodiek niet-destructief onderzoek, op afstand bediende testapparatuur wordt gebruikt, is voor de inbedrijfstelling een referentieproef uitgevoerd, om latere testresultaten te kunnen vergelijken.

Voorzieningen voor de uitvoerbaarheid van het periodiek niet-destructief onderzoek

Deze voorzieningen zijn bedoeld om het periodiek niet-destructief onderzoek snel en vlekkeloos te kunnen uitvoeren en daarmee de stralingsbelasting van het beproevingspersoneel zo veel als mogelijk te beperken.

5.3-3

K O P I E

Dit is onder andere bereikt door:

- gebruik te maken van voor beproeving geschikte oppervlakken van componenten in de beproevingszones;
- een voldoende groot aantal man-, hand- en kijkgaten in de componenten voor inwendige inspectie;
- een warmte-isolatie van de te beproeven zones die snel kan worden gedemonteerd en gemonteerd;
- een goede toegankelijkheid van de componenten;
- toepassing van op afstand bediende testapparatuur op plaatsen met een hoog dosistempo.

Soorten beproevingen en testmethoden bij het periodiek niet-destructief onderzoek

Volumebeproeving

Het ultrasoon onderzoek wordt met de hand of, op plaatsen met een hoog dosistempo, mechanisch met behulp van op afstand bediende verplaatsing van de taster en automatische registratie van de meetwaarden verricht.

Het ultrasoon onderzoek wordt zowel bij de volumebeproeving als bij het onderzoek naar fouten in of dicht aan het oppervlak toegepast. Daarbij worden de meetrichtingen zodanig gekozen, dat uit veiligheidstechnisch oogpunt belangrijke fouten en de mogelijke ligging ervan goed kunnen worden herkend. Hiertoe behoren:

- vlakken loodrecht op de hoofdspanningsrichtingen;
- vlakken parallel aan de smeltvlakken van lasnaden (fouten in langsrichting);
- vlakken loodrecht op de richting van lasnaden (fouten in dwarsrichting).

Om fouten voldoende te kunnen herkennen, worden tasters met verschillende meetrichtingen gebruikt.

Wervelstroomonderzoek vindt plaats aan dunwandige componenten van niet-ferromagnetische materialen. Wanneer deze methode wordt toegepast voor de beproeving van U-pijpen van stoomgeneratoren, kunnen fouten aan de binnen- en buitenzijde van de pijpen evenals materiaalslijtage en afzettingen aan secundaire zijde worden opgespoord. Op plaatsen met een hoog dosistempo wordt het onderzoek mechanisch uitgevoerd met behulp van op afstand bediende verplaatsing van de sonde en automatische registratie van de meetwaarden.

5.3-4

K O P I E

Opsporen van fouten in of dicht aan de oppervlakte

Bij magnetisch scheuronderzoek wordt aan direct registrerende methoden van scheuronderzoek (magnetisch onderzoek) de voorkeur gegeven. Daarmee kunnen scheurtjes van het materiaal in of dicht aan de oppervlakte worden opgespoord, die zich loodrecht of bijna loodrecht op de veldrichting bevinden en in vergelijking met de lengte en diepte een geringe breedte hebben.

Methoden van magnetisch scheuronderzoek kunnen uitsluitend op ferromagnetische materialen worden toegepast.

Met penetrant onderzoek kunnen scheurtjes aan de oppervlakte van alle materialen worden opgespoord.

De toepassing van beide bovengenoemde methoden beperkt zich tot direct toegankelijke oppervlakken.

Voor ultrasoon onderzoek van oppervlakken en zones dicht aan de oppervlakte worden speciale technieken toegepast waarbij gebruik wordt gemaakt van oppervlakte- of kruipgolven, de zender/ontvanger-techniek met drukgolven (SEL-techniek), of van het hoekeffect.

Ook wervelstroomonderzoek wordt toegepast voor de beproeving van oppervlakken en zones dicht aan de oppervlakte (bijvoorbeeld schacht en schroefdraad van draadeinden).

Visuele inspectie

Visuele inspecties worden zonder optische hulpmiddelen uitgevoerd aan direct toegankelijke zones, en met optische hulpmiddelen eveneens aan moeilijk toegankelijke of ondergedompelde zones.

De visuele inspecties dienen enerzijds om de algemene toestand van componenten te beoordelen en anderzijds om bepaalde zones van componenten gericht te onderzoeken op:

- sporen van lekkages;
- mechanische beschadigingen;
- loszitten van boutverbindingen;
- toestand van aansluitingen van meetplaatsen en -leidingen;
- lagering van componenten;
- afzetting van vreemde stoffen;
- oppervlakteveranderingen.

Lektesten

Deze dienen voor het opsporen van lekkages in het primair systeem en worden telkens bij het koud opstarten van de reactorinstallatie uitgevoerd.

Persproeven

Persproeven zijn belastingsproeven. Ze worden bij een hogere druk dan de toelaatbare bedrijfsoverdruk uitgevoerd. Met persproeven wordt gegarandeerd dat zich in het materiaal van de drukvoerende wanden geen fout bevindt die onder bedrijfscondities tot falen van de component zou kunnen leiden.

Componenten van het reactorkoelsysteem

Periodiek niet-destructief onderzoek van het reactorvat

Onderste gedeelte van het reactorvat.

Het inwendige oppervlak van het onderste gedeelte van het reactorvat is na verwijdering van het deksel en demontage van het binnenwerk toegankelijk. De controles worden vanwege de gewenste afscherming onder water vanaf de binnenzijde van het reactorvat door de platering heen uitgevoerd. De aankoppeling van de tasters voor ultrasoon onderzoek geschiedt met behulp van op afstand bediende apparatuur.

Ultrasoon onderzoek wordt uitgevoerd aan:

- lasnaden in de reactorvatwand;
- ingelaste delen en binnenkanten van koelmiddelstompen;
- verbindingsnaden van de hoofdkoelmiddelleidingen.

Visuele inspecties worden in geselecteerde zones, bijvoorbeeld met een onderwater-TV-camera, uitgevoerd.

Reactorvatdeksel

Na demontage wordt het reactorvatdeksel op een daarvoor bestemde plaats opgesteld en is daar vanaf de buiten- en binnenzijde toegankelijk voor inspectie.

Ultrasoon onderzoek wordt op afstand bediend uitgevoerd aan:

- de rondlas van het deksel;
- de bevestigingen van de stompen.

De visuele inspectie van de platering aan de binnenzijde van het deksel geschiedt met behulp van een TV-camera.

5.3-6

K O P I E

Draadeinden en moeren van het reactorvat

De draadeinden worden in gedemonteerde toestand aan een wervelstroomonderzoek onderworpen, om scheuren in en dicht aan het oppervlak op te sporen. De moeren worden visueel geïnspecteerd.

Periodiek niet-destructief onderzoek van de stoomgeneratoren

De zones die aan ultrasoon en oppervlaktescheuronderzoek worden onderworpen, zijn direct toegankelijk nadat de eenvoudig demonteerbare warmte-isolatie is verwijderd.

Ultrasoon en oppervlaktescheuronderzoek worden uitgevoerd aan:

- lasnaden in de wand;
- ingelaste stompen.

Bovendien worden de pijpen van de stoomgenerator met behulp van op afstand bediende testapparatuur aan een wervelstroomonderzoek en waar nodig aan ultrasone beproevingen onderworpen. Belangrijke delen van het binnenoppervlak worden visueel geïnspecteerd.

Periodiek niet-destructief onderzoek van de drukhouder

De zones die aan ultrasoon en oppervlaktescheuronderzoek worden onderworpen, zijn direct toegankelijk nadat de eenvoudig demonteerbare warmte-isolatie is verwijderd.

Ultrasoon en oppervlaktescheuronderzoek worden uitgevoerd aan:

- lasnaden;
- ingelaste stompen.

Belangrijke delen van het binnenoppervlak worden met een TV-camera visueel geïnspecteerd.

Periodiek niet-destructief onderzoek van de hoofdkoelmiddelpomphuizen

De zones die aan ultrasoon en oppervlaktescheuronderzoek worden onderworpen, zijn direct toegankelijk nadat de eenvoudig demonteerbare warmte-isolatie is verwijderd.

Ultrasoon en/of oppervlaktescheuronderzoek wordt uitgevoerd aan:

- lasnaden in de pomphuizen.

Periodiek niet-destructief onderzoek van de hoofdkoelmiddelleidingen

De zones die aan ultrasoon en oppervlaktescheuronderzoek worden onderworpen, zijn direct toegankelijk nadat de eenvoudig demonteerbare warmte-isolatie is verwijderd.

Aan de hoofdkoelmiddelleidingen wordt ultrasoon onderzoek hoofdzakelijk uitgevoerd met op afstand bediende testapparatuur. Daarbij worden de rond- en langsnaden geïnspecteerd.

6	VEILIGHEIDSVORZIENINGEN	6.1-1
6.1	Het principe van de veiligheidsomsluiting	6.1-1
6.1.1	Functioneel ontwerp van het reactorgebouw (01/02)	6.1-1
6.1.2	Voorzieningen voor het afsluiten van de gebouwen	6.1-3
6.1.2.1	Beschrijving	6.1-3
6.1.2.2	Grenswaarden voor activering	6.1-4
6.1.3	Waterstofrecombinatie binnen de veiligheidsomhulling	6.1-4
6.2	Ringruimteafzuiging	6.2-1
6.2.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6.2-1
6.2.2	Systeembeschrijving	6.2-1
6.3	Kerninundatie- en nakoelsysteem (tj)	6.3-1
6.3.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6.3-1
6.3.2	Systeembeschrijving	6.3-1
6.3.3	Wijzen van bedrijfsvoering	6.3-3
6.3.4	Controle en inspectie	6.3-5
6.4	Primair reservesuppletiesysteem (tw)	6.4-1
6.4.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6.4-1
6.4.2	Systeembeschrijving	6.4-1
6.4.3	Wijze van bedrijfsvoering	6.4-2
6.5	Reservekoelketen (te/tg080/ve)	6.5-1
6.5.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6.5-1
6.5.2	Systeembeschrijving	6.5-1
6.6	Hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem (rl)	6.6-1
6.6.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6.6-1
6.6.2	Systeembeschrijving	6.6-1
6.7	Secundair reservesuppletiesysteem (rs)	6.7-1
6.7.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6.7-1
6.7.2	Systeembeschrijving	6.7-1
6.7.3	Wijze van bedrijfsvoering	6.7-2
6.8	Hoofdstoomafblaasstation	6.8-1
6.8.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	6.8-1
6.8.2	Systeembeschrijving	6.8-1

KOPIE

6 VEILIGHEIDSVoorzieningen

In hoofdstuk 6 worden de belangrijkste veiligheidstechnische installaties van de centrale beschreven. De samenhang tussen de verschillende veiligheidsvoorzieningen is besproken in het veiligheidsconcept (paragraaf 1.4). Na een beschrijving van de veiligheidsomsluiting (paragraaf 1) en de ringruimte-afzuiginstallaties (paragraaf 2) als onderdelen van het barrièreconcept wordt in het resterende deel van dit hoofdstuk een beschrijving gegeven van de actieve veiligheidsvoorzieningen. In paragraaf 3 is dit het kerninundatie- en nakoelsysteem, in paragraaf 4 het primair reserve-suppletiesysteem en in paragraaf 5 de reservekoelketen; dit zijn veiligheidssystemen ten behoeve van de primaire warmteafvoer. De veiligheidssystemen ten behoeve van de secundaire warmteafvoer, te weten het hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem, het secundair reservesuppletiesysteem en het hoofdstoomafblaasstation worden in de paragrafen 6, 7 en 8 beschreven.

6.1 Het principe van de veiligheidsomsluiting

6.1.1 Functioneel ontwerp van het reactorgebouw (01/02) figuur 1.4/2 en 6.1.1/1)

De veiligheidsomsluiting dient om de omgeving te beschermen tegen het ontoelaatbaar vrijkomen van radioactieve stoffen en tegen directe straling tijdens normaal bedrijf en bij mogelijke ongevallen, in het bijzonder:

- ongevallen met verlies van koelmiddel (KMV-ongeval);
- ongevallen bij het hanteren van splijtstofelementen.

Bovendien moet de veiligheidsomsluiting de voor de veiligheid belangrijke onderdelen van de installatie beschermen tegen invloeden van buitenaf.

De volgende activiteitsbarrières vormen samen de veiligheidsomsluiting (zie figuur 1.4/2). Ze bestaat uit:

- de veiligheidsomhulling (staal) met sluisen en doorvoeringen voor leidingen, kabels en ventilatiekanalen met inbegrip van de afsluitkleppen in de leidingen en kanalen die door de veiligheidsomhulling heen voeren
- de secundaire afscherming (gewapend beton) met fundatieplaat
- de ringruimte (02) (de ruimte tussen de secundaire afscherming en de veiligheidsomhulling) met gefilterde luchtafzuiging.

6.1-1

KOPIE

De bolvormige veiligheidsomhulling vormt een drukbestendige en gasdichte barrière. Ze is ontworpen op belastingen ten gevolge van overdruk en temperatuur die zich na een hypothetisch falen van een hoofdkoelmiddelleiding onder conservatieve omstandigheden zouden voordoen (KMV-ongeval). In het bijzonder de aanname dat de uitstroombdoorsnede overeenkomt met de dubbele diameter van de leiding (2F-breuk) leidt tot maximale druk- en temperatuurwaarden die afdekkend zijn voor andere KMV-ongevallen. Hoe bij een hypothetische 2F-breuk zich de druk en de temperatuur binnen de veiligheidsomhulling ontwikkelen als functie van de tijd, is weergegeven in figuur 6.1.1/1. Uit deze analyse volgen voor de druk en temperatuur binnen de veiligheidsomhulling de ontwerpwaarden:

- inwendige druk: 4,8 bar (absoluut)
- bijbehorende temperatuur: circa 130EC

Alle drukvoerende installatiedelen van het primair systeem zijn omgeven door wanden van gewapend beton. Hierdoor wordt bij een breuk in deze drukvoerende systemen de stalen veiligheidsomhulling tegen eventuele weggeslingerde fragmenten beschermd.

De secundaire afscherming van het reactorgebouw beschermt de omgeving tegen directe straling vanuit het binnenste van de veiligheidsomhulling na een KMV-ongeval. De betonnen omhulling beschermt de voor de veiligheid belangrijke onderdelen van de installatie tegen belastingen die het gevolg kunnen zijn van invloeden van buitenaf.

Om een ongecontroleerde verspreiding van radioactiviteit te voorkomen is tijdens normaal bedrijf de luchtstroom met behulp van de ventilatiesystemen zo ingesteld, dat hij van ruimten met een lage radioactiviteit naar ruimten met een hogere radioactiviteit loopt (zie paragraaf 9.4.1).

Bij ongevallen die leiden tot een overdruk in de veiligheidsomhulling zorgt de luchtafzuiging uit de ringruimte er voor dat er in de ruimte tussen de veiligheidsomhulling en de secundaire afscherming een onderdruk heerst ten opzichte van de buitenlucht. De afgezogen lucht wordt door middel van filters ontdaan van eventueel aanwezige radioactieve stoffen (aërosolen en radioactief jodium) en vervolgens via de ventilatieschacht afgevoerd. Hierdoor wordt een ongecontroleerde verspreiding van deze radioactiviteit uit de ringruimte naar de omgeving voorkomen.

De periodieke controles van de veiligheidsomhulling zijn onderverdeeld in controles van de afdichting van de doorvoeringen, functiecontroles van de sluisen en ventilatiekleppen, alsook controle voor het vaststellen van het totale lektempo. Dit zogenaamde integrale lekdichtheidsonderzoek wordt uitgevoerd als de installatie uit bedrijf is. De resultaten worden vergeleken met die van de eerste beproeving. Als beoordelingscriterium geldt dat de lekgrootte bij de ontwerpdruk van 4,8 bar niet groter is dan 0,25% (gewicht). Het integrale lekdichtheidsonderzoek wordt om technische redenen uitgevoerd bij een lagere druk van 2 bar waarbij dan de maximaal toelaatbare lekgrootte overeenkomstig is gereduceerd.

6.1-2

KOPIE

6.1.2 Voorzieningen voor het afsluiten van de gebouwen

6.1.2.1 Beschrijving

Na het optreden van een KMV-ongeval worden alle doorvoeringen van de veiligheidsomhulling van systemen die niet noodzakelijk zijn voor de beheersing van het ongeval afgesloten.

Dit betreft de volgende systemen:

- nucleair ventilatiesysteem (TL);
- volumeregelsysteem (TA);
- splijtstofopslagbassinkoelsysteem (TG);
- nucleair monsternamesysteem (TV);
- nucleaire tussenkoelwatersysteem (TF);
- systemen voor de toe- en afvoer van hulpmedia (o.a. TP, TS, TY).

Hiervoor zijn twee afsluitkleppen per doorvoering aanwezig, waarvan de aandrijvingen gevoed worden door noodstroom.

Bij het vrijkomen van radioactieve stoffen die een stijging van de radioactiviteit in de atmosfeer van de veiligheidsomhulling tot gevolg heeft, zonder dat hierbij de grenswaarden voor activering voor bovengenoemde afsluiting wordt overschreden, worden de ventilatiedoorvoeringen gesloten. Daartoe worden van de door de veiligheidsomhulling heen gevoerde kanalen voor luchttoevoer, luchtafvoer en handhaving van de onderdruk, de eerste ventilatiekleppen binnen en buiten de veiligheidsomhulling gesloten.

Door de veiligheidsomhulling heen gevoerde leidingen van systemen die dienen voor het afschakelen van de reactor, voor de nood- en nakoeling, voor het waarborgen van de ondercriticaliteit op lange termijn en het handhaven van de mechanische en thermische ontwerpcondities van de veiligheidsomhulling tijdens en na ongevallen, behoren tot de veiligheidsvoorzieningen, die bij een KMV-ongeval niet worden afgesloten.

Hiertoe behoren met name:

- kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ);
- primaire reservesuppletiesysteem (TW);
- hoofdstoomsysteem (RA);
- hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem (RL);
- secundaire reservesuppletiesysteem (RS).

De omstandigheden waaronder deze systemen geheel of gedeeltelijk worden afgesloten, zijn overeenkomstig het verloop van het ongeval gedetailleerd in procedures vastgelegd.

6.1-3

KOPIE

6.1.2.2 Grenswaarden voor activering

De afsluiting van doorvoeringen wordt door het reactorbeveiligingssysteem (YZ) geïnitieerd als:

de druk in de installatie-/bedrijfsruimte een grenswaarde overschrijdt
of als
de noodkoelcriteria (zie paragraaf 7.5.3.2) worden bereikt.

Als er op andere wijze radioactieve stoffen vrijkomen (bijvoorbeeld bij het hanteren van splijtstofelementen of als gevolg van lekkages), waarbij de grenswaarde voor activering voor het afsluiten van doorvoeringen niet wordt bereikt, worden de ventilatiesystemen automatisch gesloten als de aanwijzing van de redundant uitgevoerde dosistempometingen op de splijtstofwisselmachine de grenswaarde overschrijdt.

Het tot stand komen van bovengenoemde (reactorbeveiligings-) signalen en de sturing van daarbij gebruikte actieve componenten worden periodiek gecontroleerd.

6.1.3 Waterstofrecombinatie binnen de veiligheidsomhulling

Bij een hypothetisch KMV-ongeval komt onder andere waterstof vrij in de atmosfeer van de veiligheidsomhulling. Voor een groot gedeelte is deze waterstof afkomstig van door radiolyse ontleed water, zowel uit de voorafgaande reactorbedrijfsfase alsook van de productie gedurende de nood- en nakoeling. Daarnaast kan ook waterstof uit metaal/water-reacties ontstaan.

Om na een bovengenoemd ongeval op langere termijn een ontoelaatbare toename van de H₂-concentratie te voorkomen en daarmee de H₂-concentratie beneden de explosiegrens te houden, is een systeem van recombinatoren geïnstalleerd om het H₂-gehalte van de atmosfeer in de veiligheidsomhulling gecontroleerd te reduceren. Dit systeem bestaat uit een aantal recombinatoren die binnen de veiligheidsomhulling opgesteld staan en die op een passieve wijze de H₂-concentratie reduceren.

6.1-4

KOPIE

De meting van de H₂-concentratie vindt plaats met behulp van een afgeschermd monsternamekast met circulatieluchtventilator die in het reactorhulpgebouw (03) is gelokaliseerd. De toevoer van het gas uit de veiligheidsomhulling naar de monsternamekast en weer retour vindt plaats via een leidingsysteem dat op diverse plaatsen binnen de veiligheidsomhulling uitmondt.

De leidingen hebben aansluitingen voor het afvoeren van condenswater en kunnen voor het spoelen met stikstof doorgeblazen worden.

In het geval van bepaalde buiten-ontwerpegevallen is het mogelijk dat grotere hoeveelheden waterstof gevormd worden. Hiervoor zijn andere maatregelen getroffen (zie paragraaf 20.4.2).

6.1-5

KOPIE

Figuur 6.1.1/1 Druk- en temperatuurverloop binnen de veiligheidsomhulling na een ongeval met koelmiddelverlies (2F

6.2 Ringruimteafzuiging (tabel 6.2/1; zie figuur 9.4/1)

6.2.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Bij een ongeval waarbij de activiteit en de druk in de veiligheidsomhulling stijgen, zorgt de afzuiging van lucht uit de ringruimte ervoor, dat in de ringruimte ten opzichte van de buitenlucht een onderdruk wordt gehandhaafd. Hiermee wordt bereikt, dat door eventuele lekkages uit de veiligheidsomhulling ontsnappende radioactieve stoffen worden tegengehouden en dat de lucht uit de ringruimte alleen gefilterd en gecontroleerd aan de buitenlucht wordt afgegeven.

Tijdens normaal bedrijf is de ringruimteafzuiging buiten werking en wordt alleen voor korte tijd ter controle ingeschakeld; hierdoor wordt een maximale beschikbaarheid van de filters gewaarborgd. De ringruimte wordt tijdens normaal bedrijf wel geventileerd en op onderdruk ten opzichte van de buitenlucht gehouden door andere delen van het nucleair ventilatiesysteem (zie paragraaf 9.4).

6.2.2 Systeembeschrijving

De ringruimteafzuiging (TL 070, zie paragraaf 9.4.1) wordt ingeschakeld door het signaal "algemene gebouwfsluiting" van het reactorbeveiligingssysteem (YZ).

Er zijn twee ventilatoren geïnstalleerd, die elk geschikt zijn voor de vereiste afvoercapaciteit van de lucht. Als de eerste ventilator niet start, wordt er automatisch overgeschakeld op de reserveventilator.

De afgezogen lucht wordt bij een ongeval via een filterinstallatie bestaande uit aërosol- en actiefkoolfilters naar de ventilatieschacht afgevoerd.

De stroomvoorziening van de ringruimteventilatoren is gewaarborgd door een voeding met noodstroom.

De onderdelen van de ringruimteafzuiging zijn ondergebracht in het reactorhulpgebouw.

6.2-1

KOPIE

Tabel 6.2/1 Gegevens over de ringruimteafzuiging

Onderdruk in de ringruimte bij een KMV-ongeval	\$	1	mbar
Afvoercapaciteit		3000	m ³ /h
Uitvoering		Ventilatoren redundant 2 x 100 %	
Filtercombinatie		aërosol- en actiefkool filter	
Werking filters			
halogenen (organisch)	\$	99	%
halogenen (anorganisch)	\$	99,9	%
aërosolen	\$	99,90	%

6.2-2

KOPIE

6.3 Kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) (tabel 6.3/1; figuur 6.3/1 tot en met 4)

6.3.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) behoort tot de veiligheidssystemen en is onderdeel van de nakoelketen. Deze bestaat uit het kerninundatie- en nakoelsysteem, het nucleair tussenkoelwatersysteem (TF) en het nood- en nevenkoelwatersysteem (VF).

Het TJ-systeem heeft tot taak na KMV-ongevallen lekkages te compenseren, de boorzuurconcentratie in het primair systeem te verhogen en de afvoer van restwarmte uit de reactor te verzorgen en langdurig te verzekeren. Bij transiënten moet het systeem, na afkoeling via de stoomgeneratoren, de verdere afkoeling verzorgen en de reactor indien noodzakelijk in de "koude, drukloze" toestand brengen en langdurig in deze toestand houden. Tijdens het vermogensbedrijf staat het systeem stand-by. Bij het in en uit bedrijf nemen van de installatie en bij de splijststofwisseling wordt het voor bedrijfsvoeringstaken gebruikt.

Het TJ-systeem is in twee strangen (redundanties) uitgevoerd, waarbij voor elke strang de veiligheidstechnisch belangrijke pompen en armaturen dubbel aanwezig zijn. De schakeling is zo ontworpen, dat in het geval van actief enkelvoudig falen (bijvoorbeeld het uitvallen van één van de pompen) beide strangen beschikbaar blijven.

Iedere aansluiting van het TJ-systeem met het primair systeem is principieel voorzien van een dubbele afsluiting.

Het ontwerp van het TJ-systeem wordt in belangrijke mate bepaald door de eisen die gesteld worden in verband met het beheersen van hypothetische ongevallen met lekkages, waarbij deze kunnen variëren van kleine lekkages tot aan een guillotinebreuk (2F-breuk) in de hoofdkoelmiddelleiding.

6.3.2 Systeembeschrijving

Het kerninundatie- en nakoelsysteem bestaat uit twee afzonderlijke strangen (redundanties), waarbij in elke strang de veiligheidstechnisch belangrijke pompen en armaturen eveneens redundant aanwezig zijn. Elk van de beide strangen is vast toegewezen aan een bepaalde kringloop van het primair systeem. Elke strang beschikt over twee kerninundatievoorradetanks, waarin zich de voorraden boorzuurhoudend water bevinden voor de HD- en LD-voeding. Het HD-gedeelte van een strang bestaat uit twee kerninundatiepompen en de HD-voedingsleiding, die in de ringruimte aansluit op de bijbehorende strang van de LD-voeding. De voeding van het primair systeem geschiedt per strang via een gemeenschappelijke voedingsleiding.

6.3-1

KOPIE

Het LD-gedeelte van een strang bestaat uit de zuigleiding, die kan aanzuigen uit de kerninundatievoorradetanks, het primair systeem en de put van het reactorgebouw. Het LD-gedeelte bestaat verder uit twee nakoelpompen, een nakoeler met aan de drukzijde een regelstation en de voedingsleiding.

De gemeenschappelijke voedingsleiding van het HD- en LD-deel van een strang vertakt zich binnen de veiligheidsomhulling in een koude en een hete voedingsleiding. De koude voedingsleiding sluit aan op de hoofdkoelmiddelleiding tussen de stoomgenerator en de hoofdkoelmiddelpomp ("koude been"), de hete voedingsleiding sluit aan tussen de stoomgenerator en het reactorvat ("hete been").

Elk van de vier voedingsleidingen beschikt verder over een kerninundatiebuffertank.

In iedere strang takt een nakoelzuigleiding vanuit de hete voedingsleiding af naar de nakoelpomp zodat hoofdkoelmiddel uit het hete been van het primair systeem wordt aangezogen.

De verbindingen tussen het TJ-systeem en de primaire kringloop respectievelijk de put worden ook door het reservenakoelsysteem (TE) gebruikt als aanzuig- en terugvoerleiding.

De aanzuigleiding van het reservenakoelsysteem bevindt zich in één van de twee strangen, vóór de nakoelpompen. De terugvoerleiding van het TE-systeem splitst zich en takt in achter de beide nakoelers. Indien het TE-systeem niet in werking is zijn de aansluitleidingen door twee in serie geschakelde afsluitkleppen afgesloten.

Om het functioneren tijdens deellastbedrijf te waarborgen beschikken zowel de HD-kerninundatie- alsook de nakoelpompen over nullastleidingen, waardoor altijd voldoende doorstroming van de pomp gehandhaafd blijft.

De beschikbaarheid van een strang bij het uitvallen van een stroomrail is gewaarborgd, doordat beide redundante pompen (zowel de HD als de LD) van een strang aan verschillende elektrische redundanties zijn gekoppeld. Bij een startweigering of uitval van een HD-pomp, of bij het uitvallen van een rail, wordt automatisch op de reservepomp omgeschakeld. De LD-pompen starten alle vier zodat bij uitval van een pomp of bij uitval van een rails steeds minimaal 1 pomp per strang beschikbaar is. Daarnaast wordt het HD- en het LD-systeem bij uitval van de normale stroomvoorziening door noodstroom gevoed.

Aan zuig- en aan drukzijde zijn de twee strangen door leidingen verbonden die normaal gesloten zijn door middel van afsluiters. Hierdoor ontstaat de mogelijkheid om bij gebeurtenissen die de ontwerpcriteria overschrijden (buiten-ontwerp ongevallen), de scheiding van de strangen op te heffen.

Tenslotte kan het TJ-systeem via beide strangen vanuit de kerninundatievoorradetanks boorwater bovenin de veiligheidsomhulling sproeien. Dit deel van het systeem heeft echter geen functie voor de beheersing van ontwerp-ongevallen.

6.3-2

KOPIE

6.3.3 Wijzen van bedrijfsvoering

Normaal bedrijf

Tijdens het vermogensbedrijf van de installatie staat het kerninundatie- en nakoelsysteem stand-by. Door de pompkeuzeschakelaar zijn telkens twee aan verschillende elektrische redundanties gekoppelde kerninundatiepompen (HD) (één van elk per strang) voorgeselecteerd voor eventuele inzet. Alle voedingsleidingen zijn geopend. Deze leidingen worden van de druk van het primair systeem afgesloten door twee in serie geplaatste terugslagkleppen. De nakoelzuigleidingen zijn van deze druk afgesloten door twee in serie geplaatste afsluiters.

Bij het nakoelbedrijf is de druk van het primair systeem verlaagd en worden de tijdens het vermogensbedrijf gesloten kleppen in de nakoelzuigleidingen geopend, en zijn de tijdens het vermogensbedrijf geopende kleppen in de hete voedingsleidingen en naar de kerninundatiebuffertanks gesloten, zodat de warmte van de gesloten kringloop via de nakoelpomp naar de nakoelers wordt afgevoerd (zie figuur 6.3/2). De afkoeling van het primair systeem vindt plaats met een geregelde temperatuursgradiënt.

De inundatie en het ledigen van het reactorbassin voor een splijtstofwisseling geschieden via een controleleiding, waarbij boorwater door de kerninundatiepomp uit de kerninundatievoorraadtanks in het reactorbassin gepompt wordt, respectievelijk uit dit bassin in de tanks wordt teruggepompt.

HD-kerninundatie

Door het HD-kerninundatiesignaal (zie paragraaf 7.5.3.2) wordt in elke strang een kerninundatiepomp gestart. Indien nodig wordt automatisch omgeschakeld op de reservepomp van dezelfde strang. De pompen zuigen aan uit de kerninundatievoorraadtanks en voeden de koelkringloop heet- en koudzijdig via de voedingsleidingen (zie figuur 6.3/3).

In het ongunstigste geval kan de voedingscapaciteit van een kerninundatiepomp via het lek verloren gaan (bijvoorbeeld bij een breuk van een voedingsleiding), zodat voor de kerninundatie alleen de pomp van de tweede strang effectief is. Het volume van de kerninundatievoorraadtanks en de pompcapaciteit zijn zodanig bemeten dat ook in deze situatie de kern afdoende gekoeld kan worden.

Voeding vanuit de kerninundatiebuffertanks

Het boorwater in de kerninundatiebuffertanks wordt door de druk van een stikstofkussen automatisch in het reactorkoelsysteem geperst, wanneer de druk in het primair systeem lager wordt dan de stikstofdruk. Bij het afschakelen van de reactor tijdens normaal bedrijf wordt voeding voorkomen door sluiting van tijdens het vermogensbedrijf geopende kleppen.

6.3-3

KOPIE

LD-kerninundatie

Door het LD-kerninundatiesignaal (zie paragraaf 7.5.3.2) worden in iedere LD-strang de twee nakoelpompen gestart. Samen met de kerninundatiepompen zuigen de nakoelpompen aan uit de kerninundatievoorraadtanks totdat deze leeg zijn. In het ongunstigste geval kan de voedingscapaciteit van een nakoelpomp via het lek verloren gaan (bijvoorbeeld bij een breuk van een voedingsleiding), zodat voor de kerninundatie alleen de pomp van de tweede strang effectief is. Het volume van de kerninundatievoorraadtanks en de pompcapaciteit zijn zodanig bemeten dat ook in deze situatie de kern afdoende gekoeld kan worden.

Door de parallelle werking van de kerninundatiepompen en de nakoelpompen is de continuïteit van de kerninundatie bij een omschakeling van HD-kerninundatie op LD-kerninundatie gewaarborgd.

Putbedrijf

Wanneer de kerninundatievoorraadtanks leeg zijn, wordt er op putbedrijf omgeschakeld. De reactorput bevindt zich onderin de veiligheidsomhulling. Het uit het primair systeem gelekt hoofdkoelmiddel en het geïnjecteerde koelmiddel uit de kerninundatievoorraadtanks verzamelt zich in de reactorput. Bij putbedrijf wordt dit weggelekte koelmiddel aangezogen.

Door het reactorbeveiligingssignaal "putbedrijf" (zie paragraaf 7.5.3.2) worden:

- de zuigleidingen van de kerninundatievoorraadtanks gesloten;
- de aanzuigleidingen uit de put van het reactorgebouw geopend.---

De kerninundatiepompen worden gestopt door het bedrijfssignaal laag niveau kerninundatievoorraadtanks.

De nakoelpompen zuigen dan uit de put aan en voeren het koelmiddel weer terug naar het primair systeem nadat het is afgekoeld in de nakoeler (zie figuur 6.3/4).

Gecombineerd put- en nakoelbedrijf

Deze wijze van bedrijfsvoering is noodzakelijk bij kleine lekkages, waarbij de afvoer van de warmte via het lek geen voldoende kernkoeling waarborgt. Door de scheiding van het LD-kerninundatiesysteem in twee strangen is het mogelijk, één strang op lekcompensatie (putbedrijf) te schakelen en de andere op nakoelbedrijf.

Bij het uitvallen van een strang op de lange termijn kan met de intact gebleven strang beurtelings put- en nakoelbedrijf gevoerd worden.

Sproeien in de gebouwen

Voor het beheersen van de hypothetische KMV-ongevallen is het niet noodzakelijk het gebouwsproeisysteem in te zetten. Om de druk en de hoeveelheid aërosolen in de veiligheidsomhulling te verlagen kan dit systeem handmatig bijgeschakeld worden.

6.3-4

KOPIE

6.3.4 Controle en inspectie

Zowel het waterpeil in de kerninundatievoorraadtanks als de waterstand en de druk in de kerninundatiebuffertanks worden bewaakt. Foutieve standen van motorgedreven armaturen worden gemeld.

Tijdens bedrijf kan de werking van het kerninundatie- en nakoelsysteem tot aan de eerste afsluiters bij het primair systeem beproefd worden. Voor dit doel zijn er beproevingsleidingen aanwezig, die van de voedingsleidingen aftakken en teruglopen naar de kerninundatievoorraadtank. Daarbij kunnen debiet, druk en klepstanden gecontroleerd worden. Nadat de kerninundatiepompen of de nakoelpompen in bedrijf zijn geweest, wordt gecontroleerd, of de terugslagkleppen goed gesloten zijn. De motorbediende kleppen, die bij de aanvang van het putbedrijf geactiveerd moeten worden, worden eveneens aan periodieke functiecontroles onderworpen.

De geschiktheid van het systeem om te functioneren blijft tijdens de beproeving gehandhaafd, omdat indien nodig door automatische aansturing de oorspronkelijke toestand weer hersteld wordt en tevens de controleleiding wordt afgesloten.

De werking van het TJ-systeem met inbegrip van de terugslagkleppen (de eerste afsluitingen) bij het primair systeem wordt tijdens de inbedrijfname na een splijtstofwisseling gecontroleerd.

6.3-5

KOPIE

Tabel 6.3/1 Kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ)

Kerninundatievoorraadtank			
aantal	4		
watervolume (per strang)	min. 330	m3	boorwater
Kerninundatiebuffertank			
aantal	4		
watervolume (per strang)	min. 41	m3	boorwater
bedrijfsdruk	circa 25	bar	
Nakoelpomp			
aantal	4		
maximale persdruk	circa 9	bar	
debiet / druk	circa 465	m3/h/8,1	bar
Kerninundatiepomp			
aantal	4		
maximale persdruk	circa 110	bar	
debiet / druk	circa 190	m3/h/65	bar
Nakoeler			
aantal	2		
warmtecapaciteit (ontwerp)	circa 20	MW	
Sproeipomp			
aantal	2		
maximale persdruk		14	bar
debiet / druk	3 50	m /h/	13 bar

6.3-6

KOPIE

In het schema zijn de armaturenstanden weergegeven tijdens vermogensbedrijf

- | | | |
|----|---------------------------------|--------------------------------|
| 1 | Kerninundatievoorraadtank | TF NUCL. TUSSENKOEWATERSYSTEEM |
| 2 | Kerninundatiepomp | TE RESERVENAKOELSYSTEEM |
| 3 | Kerninundatiebuffertank | |
| 4 | Nakoelpomp | Geb.01 Veiligheidsomhulling |
| 5 | Nakoeler | Geb.02 Ringruimte |
| 6 | Afvoerput reactorgebouw | Geb.03 Reactorhulpgebouw |
| 7 | Sproeipomp | |
| 8 | Sproeiinstallatie reactorgebouw | klep open |
| 9 | Regelstation | klep gesloten |
| 10 | Afsluitklep primair systeem | |

Figuur 6.3/1 Kerninundatie- en nakoelsysteem TJ

- 4 Nakoelpomp TF NUCL. TUSSENKOELWATERSYSTEEM
- 5 Nakoeler
- 9 Regelstation Geb.01 Veiligheidsomhulling
- 10 Afsluitklep primair systeem Geb. 02 Ringruimte

Figuur 6.3/2 Kerninundatie- en nakoelsysteem TJ

- | | | |
|----|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 | Kerninundatievoorraadtank | Geb.01 Veiligheidsomhulling |
| 2 | Kerninundatiepomp | Geb.02 Ringruimte |
| 10 | Afsluitklep primair systeem | Geb. 03 Reactorhulpgebouw |

Figuur 6.3/3 Kerninundatie- en nakoelsysteem TJ

- 4 Nakoelpomp TF NUCL. TUSSENKOELWATERSYSTEEM
- 5 Nakoeler
- 6 Afvoerput reactorgebouw Geb.01 Veiligheidsomhulling
- 9 Regelstation Geb. 02 Ringruimte
- 10 Afsluitklep primair systeem

Figuur 6.3/4 Kerninundatie- en nakoelsysteem TJ

6.4 Primair reservesuppletiesysteem (TW) (tabel 6.4/1; figuur 6.4/1)

6.4.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Bij het uitvallen van bepaalde bedrijfssystemen, te weten het volumeregelsysteem (TA) en het nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB), als gevolg van bijvoorbeeld invloeden van buitenaf, heeft het primair reservesuppletiesysteem (TW) drie functies:

- boorzuurvoeding van het primair systeem
- drukverlaging in het primair systeem door sproeien in de drukhouder
- lekcompensatie in het primair systeem.

Het primair reservesuppletiesysteem is onder meer nodig bij:

- invloeden van buitenaf.

Het ontwerp van het primair reservesuppletiesysteem is gebaseerd op de volgende eisen:

- beheersing van lekkages van het primair systeem, in combinatie met het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ)
- compensatie van lekkages en handhaving van de druk tijdens en na externe invloeden; deze functie kan vervuld worden gedurende tenminste 10 uur zonder dat er van buitenaf moet worden ingegrepen.
- afschakelen en langdurig in een onderkritische toestand brengen van de reactor, wanneer het volumeregelsysteem (TA) en het chemicaliëndoseersysteem (TB) niet beschikbaar zijn; deze functie wordt vervuld in combinatie met de regelementen
- het verlagen van de druk van het primair systeem door sproeien in de drukhouder
- voeding tegen de volle reactordruk in, bijvoorbeeld in het geval van ATWS.

6.4.2 Systeembeschrijving

Het primair reservesuppletiesysteem is in twee strangen uitgevoerd en in afzonderlijke ruimten in het reservesuppletiegebouw (33) ondergebracht.

In overeenstemming met het veiligheidsontwerp van het systeem zijn de twee strangen ruimtelijk gescheiden, zodat storingen in één strang de goede werking van de andere strang niet nadelig kunnen beïnvloeden. Het TW-systeem wordt door het noodstroomnet 2 gevoed.

6.4-1

KOPIE

Een strang bestaat uit:

- een bassin met geboreerd water
- een suppletiepomp
- een terugstroomleiding met overstortventiel en afsluiter voor begrenzing van de druk
- een voedingsleiding naar het primair systeem (via de aansluiting van het volumeregelsysteem) en een zich daarvan afsplitsende sproeileiding naar de drukhouder. Deze twee leidingen zijn elk voorzien van een motorbediende afsluiter waarmee omgeschakeld kan worden op voeding van het primair systeem, respectievelijk sproeien in de drukhouder. Als eerste afsluiting naar het primair systeem toe bevinden zich in de sproei- en voedingsleidingen terugslagkleppen.

Het TW-systeem beschikt over eigen instrumentarium, watervoorraden en stroomverzorging. De verbindingen van het TW-systeem met het primair systeem bevinden zich alleen in de gebouwen 01, 02, 33 en 35. Daarmee is de werking van het systeem beschermd tegen externe invloeden en onafhankelijk van de situatie in de overige gebouwen.

6.4.3 Wijze van bedrijfsvoering

Het TW-systeem wordt automatisch gestart door het reactorbeveiligingssysteem op grond van noodkoelcriteria (suppletie in het reactorkoelsysteem) of hoofdstoomactiviteitsmetingen (sproeien in de drukhouder, in verband met een breuk van U-pijpen van een stoomgenerator).

Een bijschakeling van het TW-systeem kan handmatig plaatsvinden bij ATWS.

Door het signaal "bijschakelen TW", dat door het reactorbeveiligingssysteem wordt afgegeven, worden beide strangen geactiveerd. Door de uitgangspositie van de kleppen behoeven alleen nog maar de in de voedingsleidingen aanwezige motorbediende kleppen opengestuurd en de suppletiepompen ingeschakeld te worden. De druk wordt beperkt door het overstortventiel in de terugstroomleidingen.

Bij het uitblijven van een snelle afschakeling van de reactor (ATWS) kunnen de terugstroomleidingen handmatig gesloten worden vanuit de regelzaal of de reserveregelzaal, zodat er een voeding tegen de volle druk in het primair systeem plaats kan vinden.

Indien bij een geopend primair systeem een invloed van buitenaf optreedt (uitvallen van de "Ultimate Heat Sink") wordt het TW-systeem ingezet voor het afvoeren van de restwarmte door verdamping van hoofdkoelmiddel in de veiligheidsomhulling. Verder kan het TW-systeem tijdens de splijtstofwisselperiode, bij verlaagd waterniveau in het primair systeem, ingezet worden in het kader van accident management (AM) voor compensatie van eventuele lekkages.

6.4-2

KOPIE

Tabel 6.4/1 Primair reservesuppletiesysteem (TW)

Boorzouurbassin			
aantal	2		
inhoud	circa 250	m3	
Suppletiepomp			
aantal	2		
type	zuigerpomp		
capaciteit	19	m3/h	
maximale persdruk		185	bar
Overstortventiel			
aantal	2		
ingestelde voordruk		140	bar

6.4-3

KOPIE

- | | | |
|----|------------------|--------------------------------|
| 1 | Reactor | TA VOLUMEREGELSYSTEEM |
| 2. | Drukhouder | YA HOOFDKOELMIDDELLEIDING |
| 3. | Boorzuerbassin | |
| 4. | Suppletiepomp | Geb. 01 Veiligheidsomhulling |
| 5 | Overstortventiel | Geb. 02 Ringruimte |
| | | Geb. 33 Reservesuppletiegebouw |

Figuur 6.4/1 Primair reserve suppletiesysteem TW - principeschema -

6.4-4

KOPIE

6.5 Reservekoelketen (TE/TG080/VE) (tabel 6.5/1 en figuur 6.5.1)

6.5.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

De reservekoelketen wordt in bedrijf genomen als de normale nakoelketen via het nucleair tussenkoelwatersysteem (TF) en het nood-en nevenkoelwatersysteem (VF) langdurig niet beschikbaar is door invloeden van buitenaf, of doordat deze systemen anderszins niet beschikbaar zijn. Via de reservekoelketen kan langdurig de vervalwarmte uit de kern en het splijtstofopslagbassin afgevoerd worden. Daarnaast kan de keten de koeling van de dieselaggregaten en de ruimten van het reservesuppletiegebouw en van het reserveregelzaalgebouw verzorgen via de koeling van de RS-bassins.

De reservekoelketen bestaat uit de volgende systemen:

- reserve nakoelsysteem (TE)
- reserve bassinkoelsysteem (TG080)
- reserve noodkoelwatersysteem (VE).

De door het noodstroomnet 2 gevoede reservekoelketen, die vanuit de reserve-regelzaal (en deels ter plaatse) in bedrijf kan worden genomen, is volledig tegen invloeden van buitenaf beschermd. De systemen betreffen een aanvullende veiligheidsvoorziening en zijn daarom éénstrangig opgebouwd.

6.5.2 Systeembeschrijving

Het VE-systeem bestaat uit een broninstallatie met pompen en pijpleidingen die het bronwater uit de grond opzuigen en naar de koelers leiden.

Het TE-systeem is direct aangesloten op het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) en bestaat uit twee reservenakoelpompen en een expansievat. Het systeem voert de vervalwarmte van de kern via een warmtewisselaar af naar het VE-systeem. Hiervoor is het functioneren van één reservenakoelpomp voldoende. De tweede pomp is voorzien als onderhoudsreserve. In het kader van accident management (AM) kan deze pomp gebruikt worden als redundantie.

Het TG080-systeem voert de vervalwarmte uit het splijtstofopslagbassin af naar het VE-systeem. Het systeem bestaat uit de reserve-SOB-koeler en twee afsluiters.

Het VE-systeem levert koelwater aan:

- de reservenakoeler;
- de motorkoelers van de reserve-nakoelpompen;
- de reserve-SOB-koeler;
- de RS-reservetussenkoelers.

Omdat het bronwater chloor bevat, zijn de koelers van het systeem uitgevoerd met titaan; pijpleidingen, pompen en afsluiters zijn eveneens corrosievast.

6.5-1

KOPIE

Het aantal bronnen respectievelijk bronpompen is toereikend voor het geval dat één pomp niet beschikbaar is als gevolg van bijvoorbeeld onderhoud.

De inbedrijfname van de reservekoelketen vindt plaats in de reserveregelzaal (aansturing van pompen) en ter plaatste (bedienen van armaturen).

Teneinde vast te kunnen stellen of er een lekkage is opgetreden van de reservenkoeler of de reserve-SOB-koeler is er een activiteitsmeting in het VE-systeem opgenomen.

Nadat het bronwater op eventuele radioactiviteit is gecontroleerd wordt het afgevoerd via de afvoerleiding van het hoofdkoelwatersysteem (VC) naar de Westerschelde. Als deze afvoer niet beschikbaar is wordt gebruik gemaakt van een vrije uitloop, waarbij het bronwater op het centraleterrein wordt geloosd.

6.5-2

KOPIE

Tabel 6.5/1 Reservekoelketen (TE/TG080/VE)

Reservenakoelsysteem (TE)

reservenakoeler

aantal	1	
warmte-afvoercapaciteit		circa 9,7 MW

Reserve-nakoelpomp

aantal	2	
nominale capaciteit		circa 50 kg/s

Reserve-bassinkoelsysteem (TG080)

reserve-SOB-koeler

aantal	1	
warmte-afvoercapaciteit		circa 5,2 MW

Reservenoodkoelwatersysteem (VE)

broninstallatie

nominaal debiet		circa 300 m ³ /h
-----------------	--	-----------------------------

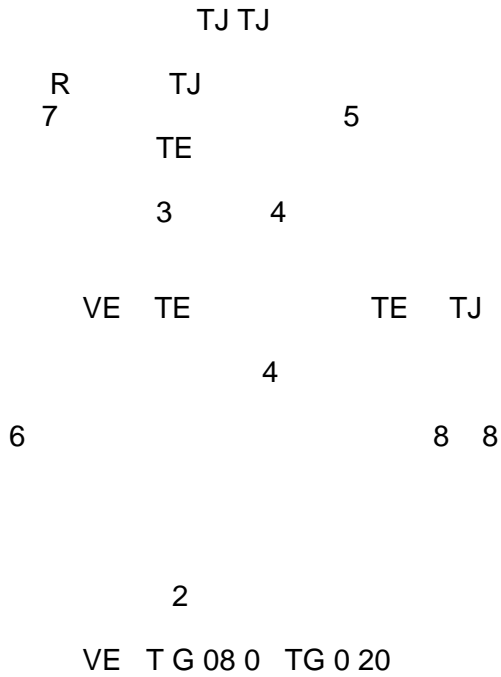
RS-reservetussenkoeler

aantal	2	
warmte-afvoercapaciteit		circa 800 kW

6.5-3

KOPIE

Vrije
uitloop VC



Geb.33
Red.1

Geb.33
Red.2

Geb.02

- | | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|---|---|---|-------|-------|---------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | Bron met reserve-noodkoel- | | | | | SOB | SPLIJTOPSLAGBASSIN | |
| | waterpomp (VE) | | | | TE | | RESERVE NAKOELSYSTEEM | |
| 2 | Reserve SOB-koeler (TG080) | | | | | TG020 | SOB-KOELSYSTEEM | |
| 3 | Reserve nakoeler (TE) | | | | TG080 | | RESERVE SOB-KOELSYSTEEM | |
| 4 | Reserve nakloepomp (TE) | | | | TJ | | KERNINUNDATIE- EN NAKOELSYSTEEM | |
| 5 | Expansievat (TE) | | | | VE | | RESERVE NOODKOELWATERSYSTEEM | |
| 6 | Koeler van de reserve nakoelpomp | | | | | VC | HOOFDKOELWATERSYSTEEM | |
| 7 | Activiteitsmeting | | | | | | | |
| 8 | RS-reservetussenkoeler | | | | | | | Geb.02 Ringruimte |
| | | | | | | | | Geb.33 Reservesuppletiegebouw |

Figuur 6.5/1 Reservekoelketen (TE, TG080, VE)

6.6 Hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem (RL) (tabel 6.6/1; figuur 6.6/1)

6.6.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Het hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem (RL) heeft tot taak de stoomgeneratoren te voorzien van een aan het reactorvermogen aangepaste hoeveelheid voedingswater. In het vermogensgebied van 3 - 100 % is het hoofdvoedingswatersysteem in bedrijf (zie ook hoofdstuk 10), beneden een vermogen van 3 % en bij het in en uit bedrijf nemen van de installatie is dat het noodvoedingswatersysteem.

Als het hoofdvoedingswatersysteem uitvalt wordt de voeding van de stoomgeneratoren overgenomen door het noodvoedingswatersysteem. Het hiervoor benodigde water wordt betrokken uit de voedingswatertank of uit het deminwatersuppletiesysteem (RZ). Met behulp hiervan kan de installatie in een veilige toestand gehouden worden waarbij de afvoer van restwarmte plaats vindt via de secundaire zijde. Indien het primair systeem voldoende afgekoeld is kan het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) de koeling overnemen.

De capaciteit van de noodvoedingswaterpompen is gebaseerd op het uit bedrijf nemen van de installatie met een gradiënt van 100 K/h na een klein lek in het reactorakoelsysteem, waarbij met enkelvoudig falen rekening is gehouden.

Na een breuk in de leidingen van het hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem blijven zowel de afvoer van de restwarmte via de stoomgeneratoren alsook de mogelijkheid tot voeding via het reservesuppletiesysteem (RS) gehandhaafd.

6.6.2 Systeembeschrijving

Hoofdvoedingswatersysteem

De voedingswaterpompen zuigen aan uit de voedingswatertank naar een verzamelleiding van waaruit de verdeling over beide HD-voorwarmstraten volgt. Tijdens normaal bedrijf zijn twee van de drie voedingswaterpompen voldoende, de derde wordt automatisch bijgeschakeld als een pomp uitvalt.

Na de voorwarmers worden de leidingen weer samengevoegd. Voordat de leiding het machinegebouw, waar zich ook de voedingswaterregel- en afsluitkleppen bevinden, verlaat splitst hij zich in twee takken naar beide stoomgeneratoren.

In de ringruimte worden de voedingswaterleidingen door mantelbuizen geleid, om nadelige gevolgen voor de ringruimte in geval van een lekkage te vermijden.

Om bij storingen van de zich in het machinegebouw (04) bevindende appendages de stoomgeneratoren te beschermen tegen een te grote watertoevoer, zijn er binnen de veiligheidsomhulling vóór de terugslagkleppen extra afsluiters aangebracht.

6.6-1

KOPIE

Noodvoedingswatersysteem

Voor het in- en afschakelen van de installatie in het vermogensgebied onder de 3 % worden de noodvoedingswaterpompen gebruikt. Daarbij worden bij voorkeur de twee door elektromotoren aangedreven noodvoedingswaterpompen gebruikt, om het bij het gebruik van de door een turbine aangedreven pomp optredende verlies van deminwater door het produceren van afvoerstoom te vermijden. De elektrisch aangedreven pompen worden door het noodstroomnet 1 gevoed.

Bij ongevallen waarbij het noodvoedingswatersysteem wordt geactiveerd door het reactorbeveiligingssysteem, worden alle drie noodvoedingswaterpompen gestart. De noodvoedingswaterpompen zijn zo geschakeld, dat elk van de drie pompen elke stoomgenerator kan voeden. De regel- en afsluitkleppen bevinden zich eveneens in het machinegebouw. In iedere noodvoedingswaterleiding bevindt zich binnen de veiligheidsomhulling vóór de terugslagklep een afsluiter.

6.6-2

KOPIE

Tabel 6.6/1 Hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem RL

Ontwerpdruk (tot afsluitklep geb. 01)	110	bar
Ontwerp temperatuur (tot afsluitklep geb. 01)	250	EC

Hoofdvoedingswatersysteem

voedingswatertank watervolume (vol vermogen)	circa 250	m3
---	-----------	----

hoofdvoedingswaterpomp

- aantal	3	
- capaciteit / druk	circa 380 kg/s/	66 bar
	circa 410 kg/s/	60 bar

Noodvoedingswatersysteem

noodvoedingswaterpomp

- pompen met elektromotoraandrijving		
aantal	2	
capaciteit / druk	circa 24 kg/s /	102 bar
	circa 39 kg/s /	98 bar

- pomp met turbine-aandrijving

aantal	1	
capaciteit / druk	circa 24 kg/s/	102 bar
	circa 39 kg/s/	98 bar

deminwaterreservoirs (RZ)

- nuttige inhoud	374	m3
------------------	-----	----

6.6-3

KOPIE

1 Hoofdvoedingswaterpompen	RM HOOFDCONENSAATSYSTEEM
2 Noodvoedingswaterpompen	RS SECUNDAIR RESERVE
SUPPLETIESYSTEEM	
3 HD-voorwarmerstraat	RZ DEMINWATERSUPPLETIESYSTEEM
4 Voedingswaterverdeelstation	
5 Afsluitklep	Geb.01 Veiligheidsomhulling
	Geb. 02 Ringruimte
	Geb. 03 Reactorhulpgebouw
	Geb. 04 Machinegebouw

Figuur 6.6/1 Hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem RL
- principeschema -

6.6-4

KOPIE

6.7 Secundair reservesuppletiesysteem (RS) (tabel 6.7/1; figuur 6.7/1)

6.7.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Het secundair reservesuppletiesysteem (RS) heeft tot taak bij het uitvallen van het noodvoedingswatersysteem (RL) automatisch de voeding van de stoomgeneratoren over te nemen waardoor de geproduceerde energie alsnog via de stoomgeneratoren afgevoerd wordt. Uitvoering van deze taak is ook mogelijk na het optreden van externe invloeden.

De voeding is voor een autonoom bedrijf van circa 10 uur gewaarborgd. De door de dieselaggregaten van het noodstroomnet 2 geproduceerde warmte wordt evenals de via de ventilatiesystemen opgenomen warmte tijdens autonoom bedrijf afgegeven aan het water van het deminwaterbassin.

De capaciteit van de secundaire reservesuppletiepompen is gebaseerd op een breuk in een hoofdstoomleiding in het machinegebouw in combinatie met het uitvallen van het hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem (RL) waarbij rekening is gehouden met enkelvoudig falen.

6.7.2 Systeembeschrijving

Het RS-systeem bestaat uit twee ruimtelijk gescheiden voedingsstrangen, die elk aan een stoomgenerator zijn toegewezen. In principe bestaat elke strang uit:

- deminwaterbassin;
- centrifugaalpomp met nullastklep;
- drukregelklep;
- stoomgenerator-niveauregelklep;
- afsluiter vóór de stoomgenerator (in de ringruimte).

Beide centrifugaalpompstrangen zijn drukzijdig met elkaar verbonden door een verbindingsleiding, die indien nodig met de hand geopend kan worden.

Het RS-systeem beschikt over eigen instrumentarium, watervoorraden en stroomverzorging. De verbindingen van het RS-systeem met de stoomgeneratoren zijn beperkt tot de gebouwen 01, 02, 33 en 35. Daarmee is de werking van het systeem beschermd tegen externe invloeden en onafhankelijk van de situatie in de overige gebouwen.

Er bestaat een mogelijkheid om de beide bassins te verbinden in het kader van accident management (AM, zie paragraaf 20.4.7). Om de strangenscheiding te verzekeren is deze verbinding normaal losgekoppeld.

6.7-1

KOPIE

Verder bestaat de mogelijkheid om van buitenaf, via de drukzijdige verbindingleiding tussen beide RS-strangen, water naar de stoomgeneratoren te voeren, eveneens in het kader van accident management (AM, zie paragraaf 20.4.8). Deze aansluiting is tijdens normaal bedrijf en ontwerpongevallen altijd met twee in serie geschakelde afsluiters van de persleidingen afgesloten zodat de normale veiligheidsfunctie van het RS-systeem, ook in het geval van enkelvoudig falen, hierdoor niet wordt belemmerd.

Voor de koeling van de electronicarumten van het reactorbeveiligingssysteem (YZ) en de afvoer van de tijdens het bedrijf van de dieselaggregaten van het noodstroomnet 2 geproduceerde warmte is er per strang een eigen koelketen aanwezig, die de warmte aan het water van het deminwaterbassin afgeeft. Elke koelketen heeft twee circulatiepompen waarvan er slechts één benodigd is. Voor de koeling van de electronicarumten is continu één pomp per strang in bedrijf.

In de koelketen is in de stromingsrichting vóór de koelers van de elektronicarumten een extra warmtewisselaar aangebracht. Deze warmtewisselaar wordt door het reservenoodkoelwatersysteem (VE) gevoed en waarborgt na het bereiken van de maximale temperatuur in het deminwaterbassin een langdurige bedrijf van het dieselaggregaat van het noodstroomnet 2. De bijschakeling van deze warmtewisselaar gebeurt met de hand.

6.7.3 Wijze van bedrijfsvoering

Het RS-systeem staat altijd stand-by als het bij gesloten primaire kringloop mogelijk is om de warmte af te voeren via de stoomgeneratoren. Inschakelcriterium is een laag waterniveau in de stoomgenerator.

De bijschakeling geschiedt per stoomgenerator. Bij lage tegendrukken van de stoomgenerator voorkomt de achter de pomp aangebrachte drukregelklep dat de pomp en de aandrijfmotor overbelast worden. Deze regelklep wordt pas geopend als de pomp haar werkdruk heeft bereikt.

Als het ingestelde niveau in de stoomgenerator is bereikt, neemt de bijbehorende niveauregelklep de aanpassing aan de voedingswaterbehoefte van de stoomgenerator over.

Zolang de pomp van een strang van het RS-systeem op volle capaciteit werkt, wordt het door de eigen koelketen van het systeem verwarmde water direct naar de stoomgenerator getransporteerd.

6.7-2

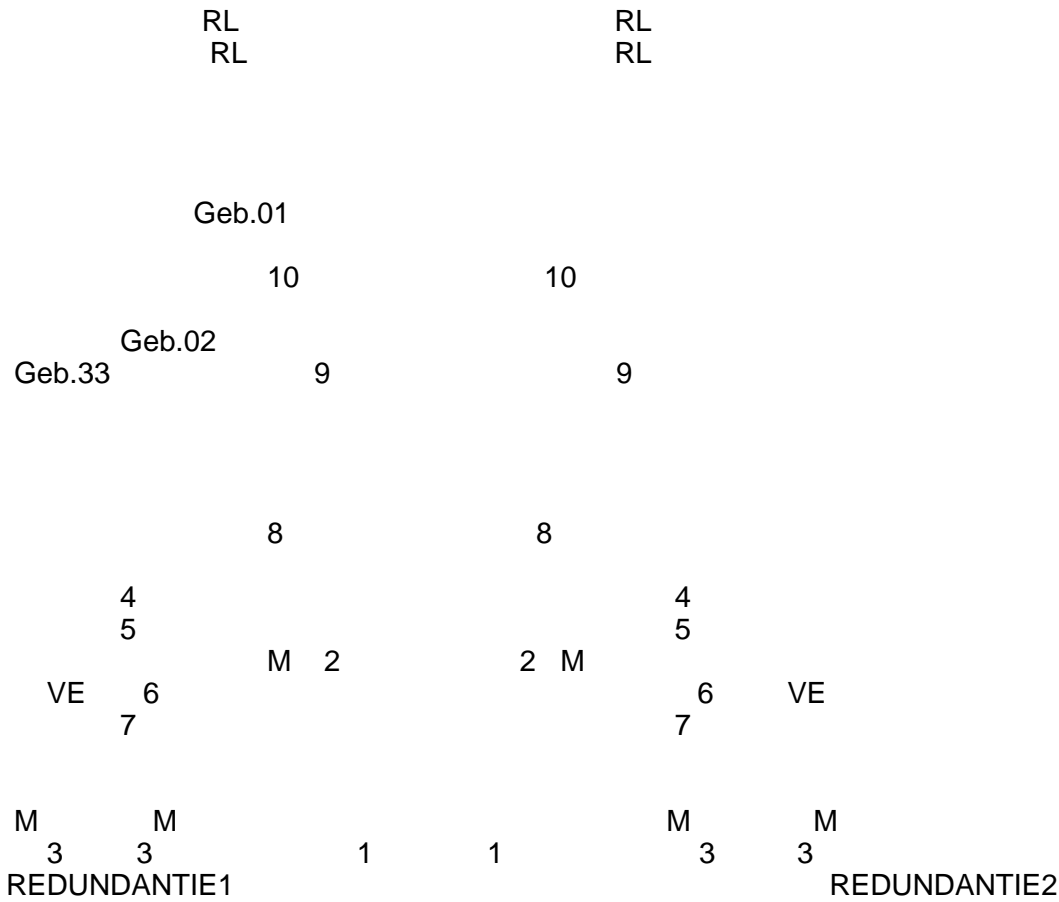
KOPIE

Tabel 6.7/1 Secundair reservesuppletiesysteem RS

Ontwerpdruk	120	bar
Ontwerp temperatuur	60	EC
deminwaterbassin		
- aantal	2	
- inhoud	circa 469	m3
centrifugaalpomp		
- aantal	2	
- capaciteit/druk	circa 14 kg/s/	80 bar
	circa 17 kg/s/	2 bar
circulatiepomp		
- aantal	4	
- capaciteit	60	m3/h
Warmtewisselaar		
- reserve tussenkoeler aantal	2	
benodigde capaciteit	837	kW
- dieselruimtekoeler aantal	2	
benodigde capaciteit	124	kW
- dieselkoeler aantal	2	
benodigde capaciteit	550	kW
- luchtkoeler elektronaruimten aantal	2	
benodigde capaciteit	100	kW

6.7-3

KOPIE



- | | | |
|----|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | Deminwaterbassin | RL HOOFD- EN NOODVOEDINGSWATERSYSTEEM |
| 2 | Reservesuppletiepomp | VE RESERVENOODKOELWATERSYSTEEM |
| 3 | Circulatiepomp | |
| 4 | Dieselkoeler | Geb.01 Veiligheidsomhulling |
| 5 | Dieselruimtekoeler | Geb.02 Ringruimte |
| 6 | Luchtkoeler elektronicaruimte | Geb.33 Reservesuppletiegebouw |
| 7 | Reservetussenkoeler | |
| 8 | Drukregelventiel | |
| 9 | Stoomgenerator-niveauregelventiel | |
| 10 | Afsluitklep | |

Figuur 6.7/1 Secundair reservesuppletiesysteem RS
- Principeschema -

6.8 Hoofdstoomafblaasstation (figuur 6.8/1)

6.8.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Het hoofdstoomsysteem (RA) heeft tot taak de in de stoomgeneratoren geproduceerde stoom af te geven. Tijdens normaal bedrijf is dit aan de turbine en de turbinecondensator of, als deze laatste niet beschikbaar is, aan de atmosfeer.

Verder worden verschillende verbruikers van hulpstoom voorzien, zoals bijvoorbeeld de noodvoedingswaterpomp met turbine-aandrijving van het RL-systeem.

Het hoofdstoomafblaasstation is onderdeel van het hoofdstoomsysteem. De bedrijfs- en technische gegevens van het hoofdstoomafblaasstation worden in hoofdstuk 10 beschreven.

De voor de veiligheid belangrijke functies zijn:

- het na ongevallen afvoeren van de warmte via de afblaasregelkleppen;
- de drukbeveiliging van de stoomgeneratoren via de veiligheidskleppen;
- het afsluiten van de betreffende stoomgenerator bij een breuk van U-pijpen in de stoomgenerator;
- het scheiden van de stoomgeneratoren bij een lekkage in een hoofdstoomleiding.

De capaciteit van de afblaasregelkleppen is gebaseerd op het uit bedrijf nemen van de installatie met een gradiënt van 100 K/h na een klein lek in het reactorkoelsysteem, waarbij rekening gehouden wordt met enkelvoudig falen.

6.8.2 Systeembeschrijving

De hoofdstoom wordt door de stoomgeneratoren in twee strangen naar het machinegebouw geleid. Elke strang is voorzien van 10 veiligheidskleppen, twee afblaasstrangen met elk een afblaasklep en een afblaasregelklep, een hoofdstoomafsluiter en de verwarmingsappendages (een verwarmingsklep en een verwarmingsregelklep). De afblaasregelkleppen en de per hoofdstoomleiding ten aanzien van de druk laagst ingestelde veiligheidsklep zijn voorzien van een geluiddemper. De vertakkingen van de hoofdstoomleidingen naar de turbine-omloopleiding zijn voorzien van een breukbeveiligingsklep (deze kleppen zijn geen onderdeel van het hoofdstoomafblaasstation maar van de turbine-omloop, zie hoofdstuk 10).

De appendages van het hoofdstoomafblaasstation hebben de volgende functies:

- de hoofdstoomafsluiter heeft tot taak tijdens bepaalde ongevallen de hoofdstoomleiding af te sluiten. Het stoompad naar de afblaasstrangen respectievelijk naar de veiligheidskleppen blijft geopend. De hoofd-stoomafsluiters zijn uitgevoerd als schuifafsluiters die indien nodig binnen 1 minuut sluiten. Zij zijn geschikt om te functioneren bij het volledige druk-verschil over de afsluiters dat in het geval van ongevallen kan optreden.

- de afblaasklep is vóór de afblaasregelklep geschakeld. Een foutief openstaande afblaasregelklep kan door de voorgeschakelde afblaasklep individueel geïsoleerd worden.
- de afblaasregelklep is achter de afblaasklep geschakeld en tijdens normaal bedrijf gesloten. Voor het beheersen van bepaalde ongevallen is een automatische drukverlaging van de stoom/water-kringloop noodzakelijk. Deze functie wordt vervuld door de afblaasregelklep.
- de veiligheidskleppen hebben tot taak de hoofdstoomdruk in de bijbehorende stoomgenerator met het daarop aangesloten hoofdstoomleidingsysteem te beperken. De bij het afvoeren van de restwarmte ontstane hoofdstoom wordt naar de atmosfeer afgevoerd.
Tijdens normaal bedrijf zijn de veiligheidskleppen gesloten.
- de verwarmingsappendages zijn in een bypass van de hoofdstoomafsluiter gemonteerd. Met de verwarmingsregelkleppen wordt de stoomhoeveelheid voor het opwarmen van de hoofdstoomleiding bij het opstarten van de installatie geregeld.
- de breukbeveiligingskleppen hebben tot taak de stoomgeneratoren van elkaar te scheiden in het geval van een lekkage van een hoofdstoomleiding. De kleppen worden door de reactorbeveiliging bij een snelle drukdaling in het hoofdstoomsysteem automatisch gesloten.
Daardoor wordt voorkomen dat de installatie snel afkoelt via het lek in de hoofdstoomleiding.

De hoofdstoomappendages, de afblaaskleppen en de afblaasregelkleppen worden door het noodstroomnet 2 gevoed. De breukbeveiligingskleppen zijn mediumgestuurd.

De hoofdstoomleidingen vanaf het reactorgebouw tot aan de bovenste machinegebouwwvloer zijn gekwalificeerd en worden onderworpen aan een inspectieprogramma op basis van ASME. Het gedeelte van de hoofdstoomleidingen vanaf de hoofdstoomafsluiter tot aan de bovenste machinegebouwwvloer is zodanig uitgevoerd dat de kans op het optreden van een rondgaande scheur (de zogenaamde 2F-breuk) zeer gering is. Voor het hoofdstoomsysteem buiten het reactorgebouw worden geen belastingen als gevolg van externe invloeden verondersteld.

Om de krachten op de hoofdstoomleidingen in het geval van eventuele lekkages op te vangen, zijn deze leidingen vlak onder de bovenste machinegebouwwvloer gefixeerd. Verder zijn de hoofdstoomleidingen direct achter de hoofdstoomafsluiters zodanig bevestigd dat eventuele radiale krachten worden opgevangen.

6.8-2

KOPIE

Bij ongevallen waarbij de turbine of de condensor uitvalt, worden de afblaasregelkleppen door het reactorbeveiligingssysteem geactiveerd zodra de maximale hoofdstoomdruk wordt overschreden. De afblaasregelkleppen van een stoomgenerator worden getrapt aangestuurd. De instelwaarde is lager dan de aanspreekwaarde van de veiligheidskleppen, zodat een frequent openen van de veiligheidskleppen wordt voorkomen. Per hoofdstoomleiding zijn de aanspreekdrukken van de veiligheidskleppen getrapt ingesteld zodat de kleppen (indien nodig) na elkaar aanspreken.

Bij het uit bedrijf nemen met een gradiënt van 100 K/h na een geringe lekkage van het reactorkoelsysteem, wordt de instelwaarde van de turbine-omloop ten opzichte van de afblaasregeling met ongeveer 3 bar gereduceerd waardoor, wanneer de condensor beschikbaar is, het niet nodig is de afblaasregelkleppen te openen. Bij het niet beschikbaar zijn van de turbine-omloop is de afblaascapaciteit van één afblaasregelklep voldoende om de vervalwarmte af te voeren (om met 100 K/h af te koelen zijn twee afblaasregelkleppen nodig).

| De twee strangen van het hoofdstoomafblaasstation zijn ruimtelijk gescheiden door een
| scheidingswand. Hierdoor wordt voorkomen dat bij lekkage van één van de strangen de
| andere negatief beïnvloed wordt als gevolg van de belastingen die worden veroorzaakt
| door de dan heersende druk, temperatuur en vochtigheid.

6.8-3

KOPIE

- | | | | |
|---|--------------------------|--------|----------------------|
| 1 | Veiligheidsklep | Geb.01 | Veiligheidsomhulling |
| 2 | Hoofdstoomafsluiter | Geb.02 | Ringruimte |
| 3 | Opwarmarmaturen | Geb.03 | Reactorhulpgebouw |
| 4 | Afblaasregelklep | Geb.04 | Machinegebouw |
| 6 | Geluidsdemper | | |
| 7 | Breukbeveiligingskleppen | | |
| 8 | Turbine-omloopafsluiters | | |
| 9 | Scheidingswand | | |

Figuur 6.8/1 Hoofdstoomafblaasstation RA

6.8-4

KOPIE

7	MEET- EN REGELTECHNIEK	7.1-1
7.1	Overzicht van het meet- en regelsysteem	7.1-1
7.2	Meettechniek	7.2-1
7.2.1	Nucleaire meettechniek	7.2-1
7.2.1.1	Neutronenfluxdichtheidsmeting buiten de kern	7.2-1
7.2.1.2	Kerninstrumentatie	7.2-2
7.2.2	Conventionele meettechniek	7.2-4
7.2.3	Positie van de regelementen	7.2-6
7.2.4	Ongevalsinstrumentatie	7.2-7
7.3	Besturings- en regelinrichtingen	7.3-1
7.3.1	Vermogensregeling	7.3-1
7.3.2	Reactorbegrenzing (grenswaarderegeling)	7.3-2
7.3.2.1	Reactorvermogensbegrenzing	7.3-3
7.3.2.2	Regelementinworp	7.3-4
7.3.2.3	Hoofdstoom-minimumdrukregeling	7.3-4
7.3.2.4	Hoofdstoom-maximumdrukregeling	7.3-4
7.3.2.5	Toerentalbegrenzing van de turbogenerator	7.3-5
7.3.3	Druk- en waterniveauregelingen	7.3-5
7.3.3.1	Hoofdkoelmiddeldrukregeling	7.3-5
7.3.3.2	Waterniveauregeling van de drukhouder	7.3-5
7.3.3.3	Waterniveauregeling van de volumeregeltank	7.3-6
7.3.3.4	Waterniveauregeling van de stoomgenerator	7.3-6
7.3.4	Reactorvermogensbegrenzing bij het uitvallen van de Hoofdvoedingswatervoorziening	7.3-7
7.3.5	Reactorvermogensreductie tijdens bedrijfstransiënten bij een Hypothetische uitval van het systeem voor reactor- snelafschakeling(Atws)	7.3-7
7.3.6	Overige regelingen	7.3-8
7.3.7	Redundantie van de schakelingen	7.3-9
7.4	Storingsmeldingssysteem	7.4-1
7.5	Reactorbeveiligingssysteem (yz)	7.5-1
7.5.1	Taak	7.5-1
7.5.2	Samenstelling van het systeem	7.5-1
7.5.2.1	Analoge verwerking	7.5-2
7.5.2.2	Digitale verwerking	7.5-3
7.5.2.3	Activeringsschakeling	7.5-4
7.5.3	Activeringssignalen	7.5-5
7.5.3.1	Afschakeling van de reactor en de turbine	7.5-5
7.5.3.2	Activeren van veiligheidssystemen	7.5-8
7.5.4	Reactorbeveiligingspaneel	7.5-12
7.5.5	Beveiligingsacties bij karakteristieke ongevallen	7.5-12

KOPIE

7.6	Regelzaal, reserve-regelzaal, lokale bedieningspanelen	7.6-1
7.6.1	Algemeen	7.6-1
7.6.2	Regelzaal	7.6-1
7.6.3	Reserve-regelzaal	7.6-2
7.6.4	Lokale bedieningspanelen	7.6-3
7.7	Informatiesystemen	7.7-1
7.7.1	Proces presentatie systeem	7.7-1
7.7.2	Dosimetriesysteem	7.7-2
7.7.3	Toegangscontrolesysteem	7.7-3
7.7.4	Chemie automatiseringssysteem	7.7-3
7.7.5	Telefonisch oproep systeem	7.7-3

KOPIE

7 MEET- EN REGELTECHNIEK

In dit hoofdstuk wordt de meet- en regeltechniek behandeld. In de eerste paragraaf wordt een algemeen overzicht gegeven. In de tweede paragraaf wordt de meettechniek besproken en in de derde de inrichtingen voor de besturing en regeling. In paragraaf vier wordt het storingsmeldingssysteem behandeld. Paragraaf vijf handelt over het reactorbeveiligingssysteem en paragraaf zes over de bedieningsfaciliteiten zoals de regelzaal, de reserve-regelzaal en de lokale bedieningspanelen. De laatste paragraaf behandelt verschillende informatiesystemen.

7.1 Overzicht van het meet- en regelsysteem (figuur 7.1/1)

Het meet- en regelsysteem heeft tot taak de voortgang van processen te bewaken en te controleren. Dit betreft met name:

- registratie van meetwaarden en schakelposities;
- besturing en regeling van bedrijfsprocessen;
- bewaking van veiligheidstechnisch belangrijke procesvariabelen;
- vaststelling van storingen en ongevallen alsmede initiatie van automatische tegenmaatregelen;
- de mogelijkheid bieden om te observeren en bedienen vanuit de regelzaal, de reserve-regelzaal en de lokale bedieningspanelen;
- documentatie van geselecteerde meetwaarden.

Voor de betrouwbare uitvoering van deze taken zijn meet- en regeltechnische voorzieningen beschikbaar (figuur 7.1/1), die alle overeenkomstig het veiligheidstechnische belang en de aan de beschikbaarheid te stellen eisen zijn ontworpen.

Met de meet- en regeltechniek worden verschillende niveaus van beveiliging tegen ontoelaatbare situaties gerealiseerd:

- besturing en regeling;
- begrenzing;
- beveiliging.

7.1-1

KOPIE

De benodigde meetvoorzieningen zijn samenvattend in paragraaf 7.2 beschreven. Het deel van deze meetvoorzieningen dat bij ongevallen essentiële informatie aan het wachtpersoneel verschaft (ongevalsinstrumentatie) is in paragraaf 7.2.4 samengevat. De besturing en regeling van de bedrijfsprocessen tijdens normaal bedrijf, waaronder met name het automatisch bereiken en aanhouden van instelwaarden valt, worden door diverse besturings- en regelinrichtingen (paragraaf 7.3) uitgevoerd. Deze inrichtingen kunnen aan complete installatiedelen (bijvoorbeeld de vermogensregeling), afzonderlijke systemen (bijvoorbeeld drukregelingen) of componenten (bijvoorbeeld klepstandregelingen) zijn toegewezen. Tot de besturings- en regelinrichtingen behoort eveneens de beveiliging van aggregaten, die voorkomt dat ontoelaatbare bedrijfstoestanden of foutieve handelingen door het bedieningspersoneel tot schade of storingen aan deze aggregaten leiden.

Het reactorbeveiligingssysteem (YZ) en de reactorbegrenzing zorgen voor de automatische bewaking van veiligheidstechnische procesvariabelen, het vaststellen van storingen en ongevallen, en het nemen van tegenmaatregelen.

De reactorbegrenzing (paragraaf 7.3.2) voert beschermende acties (grenswaarderegeling) uit, teneinde bewaakte veiligheidsvariabelen tot hun normale bedrijfswaarde terug te brengen. De reactorbegrenzing heeft bovendien tot taak, de procesvariabelen zodanig te begrenzen, dat het reactorbeveiligingssysteem niet hoeft in te grijpen, waardoor de installatie wordt ontzien en tevens de beschikbaarheid wordt verhoogd. Zo wordt de reactorinstallatie bij storingen, zoals lastafschakeling en overgang op eigen bedrijf, uitval van hoofdkoelmiddelpompen of foutieve inworp van regelementen, automatisch door de reactorbegrenzing bij gereduceerd vermogen in bedrijf gehouden. Overschrijding van de reactorbegrenzing leidt tot het in werking treden van het reactorbeveiligingssysteem.

Om de reactorbegrenzing in staat te stellen in te grijpen voordat het reactorbeveiligingssysteem in actie komt, wordt in de reactorbegrenzing gedeeltelijk ook gebruik gemaakt van signalen die in het reactorbeveiligingssysteem zijn ontstaan (bijvoorbeeld een glijdende grenswaarde voor het toelaatbare reactorvermogen die afhankelijk is van de bedrijfssituatie).

Een deel van de reactorbegrenzing beïnvloedt ook de instelwaarde van het generatorvermogen of haar begrenzing, teneinde de toestand van de installatie na het optreden van een storing te stabiliseren.

Het reactorbeveiligingssysteem (paragraaf 7.5) treft met name voor de beheersing van ongevallen automatisch alle maatregelen die voor de instandhouding van de veiligheid noodzakelijk zijn (bijvoorbeeld reactorsnelafschakeling, noodvoeding van de stoomgeneratoren, kernnoodkoeling, afsluiting van gebouwen).

Voorzieningen voor het observeren en bedienen van de installatie of van installatiedelen, zijn met name in de regelzaal ondergebracht, maar gedeeltelijk ook in een reserve-regelzaal en op lokale bedieningspanelen (paragraaf 7.6).

7.1-2

KOPIE

Om een betrouwbare informatievoorziening aan het wachtpersoneel in de regelzaal te waarborgen, worden de gegevens van de onderstaande voorzieningen speciaal bewerkt en afzonderlijk in de regelzaal weergegeven:

- reactorbeveiligingssysteem (paragraaf 7.5);
- ongevalsinstrumentatie (paragraaf 7.2.4);
- activiteitsbewaking (paragraaf 11.6);
- procesinformatiesysteem (paragraaf 7.7);
- storingsmeldingssysteem (paragraaf 7.4);

Via de bedieningsvoorzieningen kan direct, of door verandering van de instelwaarden van de bedrijfsregelingen indirect, op de bedrijfsvoering van de reactorinstallatie, de systemen of de componenten invloed worden uitgeoefend.

De centrale wordt met behulp van de bovengenoemde meet- en regelinrichtingen (inclusief regelzalen) bedreven door het aansturen van componenten (bijvoorbeeld pompen, appendages). Bij de aansturing van componenten wordt via een prioriteitsstelling gewaarborgd, dat aansturingssignalen met groter veiligheidstechnisch belang een hogere prioriteit krijgen. Zo heeft bijvoorbeeld de aansturing door het reactorbeveiligingssysteem in principe voorrang boven alle andere handmatige en automatische aansturingen. De aansturing door de reactorbegrenzing heeft in principe voorrang boven bedrijfsregelingen en besturingssystemen (uitgezonderd de beveiliging van apparaten), alsmede boven aansturing vanuit de regelzaal.

7.1-3

KOPIE

Figuur 7.1/1 Meet- en regeltechniek, - overzicht

7.2 Meettechniek

7.2.1 Nucleaire meettechniek

De nucleaire meettechniek omvat de onderstaande systemen:

- neutronenfluxdichtheidsmeting buiten de kern (extern kernmeetsysteem)
Dit buiten het reactorvat opgestelde meetsysteem levert de signalen voor de bewaking van het integrale vermogen van de kern. De signalen worden met name in het reactorbeveiligingssysteem en in de reactorbegrenzing verwerkt
- kerninstrumentatie (interne kernmeetsystemen)
Deze meetsystemen in de reactorkern leveren de signalen ter bepaling van de driedimensionale verdeling van de vermogensdichtheid en voor de bewaking daarvan.

7.2.1.1 Neutronenfluxdichtheidsmeting buiten de kern (figuur 7.2/1)

De neutronenfluxdichtheidsmeting bestaat uit de onderstaande groepen meetkanalen:

- meetkanaalgroep voor het impulsbereik;
- meetkanaalgroep voor het middenbereik;
- meetkanaalgroep voor het vermogensbereik.

Deze meetkanaalgroepen bewaken door middel van hun buiten het reactorvat aangebrachte detectoren het kernvermogen vanaf de koud-onderkritische toestand tot ruim boven 120 % van het nominale vermogen. Daartoe dient de fluxdichtheid van thermische neutronen over een bereik van ongeveer 10 decaden te kunnen worden gemeten (zie figuur 7.2/1).

De verwerking van de signalen van de afzonderlijke meetkanaalgroepen geschiedt redundant in meetkasten in het schakelgebouw (05), of voor een middenbereikmeetkanaal in het reservesuppletiegebouw (33).

7.2-1

KOPIE

Impulsbereik

De meetkanaalgroep voor het impulsbereik bewaakt met twee redundante meetkanalen ongeveer de onderste 7 decaden van de neutronenfluxdichtheid.

Als detectoren worden voor elk van de beide meetkanalen een BF₃-telbuis gebruikt. Deze worden bij toename van het vermogen samen met de bijbehorende impulsvoorversterker uit het gebied met een hoge neutronenfluxdichtheid teruggetrokken.

De detectorsignalen (impulsen) worden verder verwerkt in het reactorbeveiligings-systeem alsmede weergegeven/geregistreerd in de regelzaal. Ieder meetkanaal beschikt over bijbehorende stroomvoorzienings-, bewakings- en testelektronica.

Middenbereik

De meetkanaalgroep voor het middenbereik bewaakt met twee redundante meetkanalen circa 6 decaden van de neutronenfluxdichtheid. Als detector wordt voor elk van de beide meetkanalen een gecompenseerde ionisatiekamer gebruikt. De (gelijkstroom) detectorsignalen worden verder verwerkt in het reactorbeveiligings-systeem, alsmede weergegeven/geregistreerd in de regelzaal. Ieder meetkanaal beschikt over bijbehorende stroomvoorzienings-, bewakings- en testelectronica.

Vermogensbereik

De meetkanaalgroep voor het vermogensbereik bewaakt met vier redundante meetkanalen de twee bovenste decaden van de neutronenfluxdichtheid (tot 120 % van het nominaal vermogen).

Als detector wordt voor elk van de vier over de hoogte van de kern verdeelde meetkanalen een niet-gecompenseerde ionisatiekamer gebruikt. De (gelijkstroom) detectorsignalen worden verder verwerkt in het reactorbeveiligingssysteem en in de reactorbegrenzing, alsmede weergegeven/geregistreerd in de regelzaal. Ieder meetkanaal beschikt over bijbehorende stroomvoorzienings-, bewakings- en testelectronica.

7.2.1.2 Kerninstrumentatie

De kerninstrumentatie omvat de volgende meetsystemen:

- vermogensverdelingsmeetsysteem;
- kogelmeetsysteem;
- hoofdkoelmiddeltemperatuurmeetsysteem.

7.2-2

KOPIE

Vermogensverdelingsmeetsysteem

Het vermogensverdelingsmeetsysteem geeft een indicatie van de axiale vermogensverdeling in de kern.

Het systeem bestaat uit twee meetsondes (meervingerige lansen), die elk in een geselecteerd, geen regelement bevattend, splijtstofelement zijn aangebracht. Iedere meetsonde is voor het continu meten van de lokale neutronenfluxdichtheid uitgerust met vijf (n,β)-detectoren met kobalt-stralers, die op twee posities van de actieve hoogte van de kern geplaatst zijn.

Het verwerken van de signalen omvat de bewerking van de detectorsignalen, die zijn uitgerust met correctie-inrichtingen in verband met de opbrand van de detectoren en een

60 Co-achtergrond. Ieder kanaal beschikt over de bijbehorende stroomvoorzienings-, bewakings- en testelektronica. Het vermogensverdelingsmeet-systeem wordt met behulp van het kogelmeetsysteem gekalibreerd.

Kogelmeetsysteem

Het kogelmeetsysteem is een discontinu functionerend bedrijfsmeetsysteem, dat de relatieve axiale en radiale neutronenfluxdichtheidsverdeling in de reactorkern bepaalt. Als indicator wordt een kolom met vanadiumhoudende stalen kogels langs de actieve kernhoogte gebruikt. In 24 geselecteerde splijtstofelementposities is een sondebuis aangebracht, waarin telkens één kogelkolom pneumatisch wordt ingeschoven. Hierdoor worden de kogels in het heersende stralingsveld geactiveerd. Na afloop van de vooraf vastgestelde bestralingstijd worden de kogelkolommen pneumatisch afgevoerd naar een zich nabij de reactor bevindende ruimte.

Daar wordt de activiteitsverdeling over 6 kogelkolommen gelijktijdig automatisch gemeten met behulp van een met halfgeleiderdetectoren uitgerust meetpaneel. De evaluatie en registratie van de gemeten waarden geschiedt via een proces-computer. De gemeten activiteitsverdelingen zijn evenredig met de neutronen-fluxdichtheid en daarmee ook met de verdeling van de vermogensdichtheid op de plaatsen van activering. Een programmabesturing verzorgt de gehele regeling en bewaking van een meting.

Hoofdkoelmiddeltemperatuurmeetsysteem

De belangrijkste taak van het hoofdkoelmiddeltemperatuurmeetsysteem is de bewaking van de reactorkern tijdens normaal bedrijf. Het meetsysteem in het reactorvat omvat de meting van de koelmiddeluitlaattemperatuur en het temperatuursverschil (opwarmmarge) over de splijtstofelementen.

De koelmiddeluitlaattemperatuur wordt gemeten in het gebied van de koppen van de splijtstofelementen. Als opnemers zijn 26 mantelthermokoppels geïnstalleerd, die ter hoogte van de kop van het splijtstofelement alle met de 24 sondes van het kogelmeetsysteem, respectievelijk met de beide meetsondes van het vermogensverdelingsmeetsysteem verbonden zijn. Om het temperatuursverschil te bepalen, is er een temperatuurmeetpunt in de beide hoofdkoelmiddelleidingen tussen het reactorvat en de hoofdkoelmiddelpomp geïnstalleerd.

7.2.2 Conventionele meettechniek

De conventionele meettechniek omvat alle niet nucleaire metingen zoals bijvoorbeeld:

- drukmetingen;
- niveaumetingen;
- debietmetingen;
- temperatuurmetingen;
- toerentalmetingen;
- spanningsmetingen.

Deze metingen geven genormaliseerde en ontkoppelde ingangssignalen aan:

- de besturings- en regelinrichtingen;
- het reactorbeveiligingssysteem en de reactorbegrenzing;
- de bedrijfsbewaking en -registratie van de hele installatie.

Metingen ten behoeve van het reactorbeveiligingssysteem zijn drievoudig redundant uitgevoerd en elke meting wordt tweevoudig redundant, ononderbroken voorzien van energie. De meetomvormers voor de reactorbeveiligingsmetingen zijn geïnstalleerd in tegen invloeden van buitenaf beschermde gebouwen.

Wanneer de metingen voor de reactorbeveiliging ook voor de bedrijfsvoering worden gebruikt, zijn de verschillende uitgangen galvanisch ontkoppeld.

Drukmetingen

In bijna alle processystemen worden drukmetingen verricht. De hier beschreven kenmerken gelden in het bijzonder voor drukmetingen in de hoofdkoelmiddelleidingen, stoomgeneratoren en bij de drukhouder. Via werkdrukleidingen zijn de meetomvormers voor de druk respectievelijk het drukverschil verbonden met de meetstompen op de pijpleidingen en reservoirs. In iedere meetvoorziening zijn twee afsluiters achter elkaar aangebracht in ruimten die tijdens de bedrijfsvoering toegankelijk zijn.

Temperatuurmetingen

In bijna alle processystemen en componenten, zoals bijvoorbeeld het reactorkoelsysteem, de drukhouder, de hoofdkoelmiddelpompen, de stoom/waterkringloop enzovoort, worden temperatuurmetingen uitgevoerd. Als opnemer wordt er al naar gelang de eisen die gesteld worden, gebruik gemaakt van weerstandsthermometers, thermokoppels of een combinatie hiervan.

Niveaumeting in het reactorvat

Het niveau in het reactorvat wordt door twee meetsondes die zich in het reactorvat bevinden, bewaakt.

Deze sondes hebben de volgende bedrijfs- en veiligheidstaken:

- meting van de groei van een dampbel in het reactorvatdeksel;
- meting van de waterhoogte boven de kern ten behoeve van het reactorbeveiligingssysteem.

De twee meetsondes zijn elk in een geleidebuis in het bovenste deel van het reactorvat aangebracht. De meetsondes bestaan elk uit 3 opnemers (grenswaardesensoren). Twee parallelle sensoren zijn ter hoogte van de onderkant van de hoofdkoelmiddelleiding aangebracht en één bevindt zich boven respectievelijk onder aan het bovenste rooster. De meetsignalen van de vier opnemers ter hoogte van de onderkant van de hoofdkoelmiddelleiding worden verwerkt door het reactorbeveiligingssysteem dat ervoor moet zorgen dat de kern met voldoende water bedekt is. De twee bovenste opnemers signaleren het ontstaan en de groei van dampbellen in de ruimte onder het reactorvatdeksel.

De werking van de opnemers van de niveausondes in het reactorvat berust op een elektrothermisch meetprincipe, waarbij gebruik wordt gemaakt van het sterk verschillende warmtegeleidingsvermogen van water en waterdamp. Als het waterniveau daalt tot beneden de opnemers, wordt een signaal gegenereerd (opnemer bedekt door water ja/nee).

De instrumentatie is ongevalsbestendig, dat wil zeggen bestand tegen de omgevingscondities die het gevolg van een ongeval kunnen zijn.

Niveaumeting in de hoofdkoelmiddelleidingen

In elk van de hete benen van de beide hoofdkoelmiddelkringlopen wordt het niveau van het koelmiddel door middel van een drukverschilmeting bepaald. Deze niveaumeting heeft de volgende bedrijfs- en veiligheidstechnische doelen:

- verschaffen van informatie over het niveau in het reactorkoelsysteem tijdens een splijtstofwisseling;
- beveiliging van de nakoelpompen (TJ);
- alarmering;
- niveauregeling;
- blokkeren van het onttrekken van hoofdkoelmiddel;
- informatie verschaffen over het niveau in het reactorkoelsysteem na een koelmiddelverliesongeval.

De meetpunten voor de drukverschilmeting bevinden zich steeds in het bovenste en in het onderste deel van de hoofdkoelmiddelleidingen. De instrumentatie is ongevalsbestendig.

Niveaumetingen in overige systemen

De in diverse systemen toegepaste niveaumetingen berusten primair op het principe van de druk- en drukverschilmeting.

7.2.3 Positie van de regelementen

De positie van de regelementen wordt telkens met een analoog en een digitaal meetprincipe bepaald. De analoge meetwaarden van de posities van de elementen worden afzonderlijk weergegeven op een paneel. De digitale positie-aanwijzing geschiedt afzonderlijk in de regelzaal.

Analoog meetprincipe

Per regelement is een luchtkerntransformator toegepast, die over een lengte van circa 3 meter over de regelstaafaandrijving geschoven is. Al naar gelang de lengte van de aandrijfstang en daarmee de stand van het regelement, verandert de magnetische koppeling in de transformator en daarmee de secundaire spanning (uitgangssignaal).

Digitaal meetprincipe

Een mechanische teller registreert het aantal inschakelsignalen van de hefspool van de regelstaafaandrijving en daarmee de positie van het regelement.

7.2-6

KOPIE

7.2.4 Ongevalsinstrumentatie

De ongevalsinstrumentatie heeft tot doel om tijdens en na een ernstig ongeval onder de dan heersende omgevingscondities informatie te verschaffen ter beoordeling van het verloop van het proces en de toestand en functie van de veiligheidssystemen.

Deze instrumentatie is ontworpen op de tijdens een ongeval in de betreffende omgeving heersende condities van temperatuur, druk, vochtigheid en stralingsdosis. De ongevalsinstrumentatie omvat de volgende soorten metingen:

- bedrijfsmetingen die met ongevalsbestendige apparatuur (OBA) zijn uitgerust zoals,
 - * drukmetingen in de kerninundatiebuffertanks (TJ)
 - * drukmeting in de hoofdstoomleiding (RA)
- OBA-metingen zoals,
 - * drukmeting in het primair systeem
 - * exposietempometingen in het reactor- en reactorhulpgebouw (01,02,03)
- grootbereik OBA-metingen zoals,
 - * exposietempometing binnen de veiligheidsomhulling (01).

| De metingen kunnen zowel in de regelzaal als in de reserve-regelzaal geregistreerd
| worden door het Proces Presentatie Systeem (PPS) op schrijvers en plotters. In de
| reserve-regelzaal worden uitsluitend geselecteerde meetwaarden van de OBA-metingen
| geregistreerd.

7.2-7

KOPIE

Figuur 7.2/1 Neutronenfluxdichtheid buiten de kern;
meetbereik en ruimtelijke opstelling van de detectoren

7.2-8

KOPIE

7.3 Besturings- en regelinrichtingen (figuur 7.3/1)

De besturings- en regelinrichtingen hebben tot taak het proces van de stroomopwekking door nucleaire warmte tijdens normaal bedrijf (in- en afschakelen/vermogensbedrijf) zo te laten verlopen, dat de vooraf instelde procesparameters binnen de vastgestelde tijd bereikt worden. De belangrijkste regelinrichtingen tijdens normaal bedrijf zijn:

- vermogensregeling;
- reactorbegrenzing (grenswaarderegeling);
- druk- en waterniveauregeling.

De meeste van deze regelinrichtingen worden centraal vanuit de regelzaal bediend en bewaakt.

De spanningsvoorziening van de regelinrichtingen wordt door aansluiting op beveiligde noodstroomrails respectievelijk gelijkstroominstallaties gewaarborgd.

7.3.1 Vermogensregeling

Drukwaterreactoren hebben tijdens vermogensbedrijf de eigenschap, de vraag naar vermogen automatisch te volgen doordat een verandering van de vermogensafname resulteert in een verandering van de gemiddelde hoofdkoelmiddeltemperatuur waardoor het reactorvermogen zich vanzelf aanpast. Het betreft een zelfregelende eigenschap van het proces waarop het principe van de vermogensregeling is gebaseerd.

Het veranderen van het gevraagde vermogen geschiedt door de instelwaarden van de generatorvermogensregeling (figuur 7.3/1) te veranderen. Deze regelt de stand van de turbine-inlaatkleppen met als gevolg een verandering van de hoofdstoomdruk en daarmee van de hoofdstoomtemperatuur. Deze laatste staat in een vermogensafhankelijke relatie tot de gemiddelde hoofdkoelmiddeltemperatuur. De hoofdkoelmiddeltemperatuurregeling past het reactorvermogen bij vermogens-veranderingen zo aan, dat de afwijking van de gemiddelde hoofdkoelmiddeltemperatuur van haar instelwaarde volgens het stationair deellastdiagram, binnen een bepaalde marge blijft.

De hoofdkoelmiddeltemperatuurregeling functioneert op grond van de maximale waarde van de hoofdkoelmiddeltemperatuur. Deze maximale waarde wordt bepaald uit de vier aan de primaire stoomgenerator in- en uitlaten gemeten gemiddelde hoofdkoelmiddeltemperaturen (2 metingen per kringloop).

De vermogensbank van de regelementen (L-bank) vormt het verstelmechanisme voor de hoofdkoelmiddeltemperatuurregeling bij snelle en grote vermogensveranderingen; bij kleine of langzame vermogensveranderingen is dit de dopplerbank (D-bank).

7.3-1

KOPIE

Beide banken kunnen gebruikt worden om de gewenste vermogensverandering tot stand te brengen door de totale reactiviteit van de reactorkern te veranderen.

Alleen de D-bank wordt gebruikt om de reactiviteitseffecten van splijtstoftemperatuur (doppler-reactie) en hoofdkoelmiddeltemperatuur te compenseren.

Met behulp van de positierегeling wordt de vermogensregelende L-bank zo gunstig mogelijk ingesteld (regelementen bijna geheel getrokken zodat voldoende afschakelreactiviteit aanwezig is en de opbrand van de kern zoveel mogelijk verdeeld is). De D-bank vormt het verstelmecanisme van deze regeling. De positierегeling van de D-bank zorgt door een gerichte boorzuur- respectievelijk deminwaterdosering in het hoofdkoelmiddel voor het volgen van de vooraf vastgestelde arbeidscurve van de D-bank.

De regelstaaf-instuurbegrenzing waarborgt een van het reactorvermogen afhankelijke, beperkte instuurdiepte van de regelstaven van de L- en D-bank. Hierdoor wordt de voor het snel afschakelen van de reactor noodzakelijke afschakelreactiviteit, ook onder ongunstige uitgangcondities, gewaarborgd.

De regelementen worden bediend met behulp van de regelstaafbesturing, deze maakt de volgende bedrijfswijzen mogelijk:

- handbesturing
Elk regelement kan afzonderlijk of in willekeurig grote groepen handmatig vanuit de regelzaal in- of uitgestuurd worden
- besturing door de regelinrichting
Alle regelementen van de L- en D-bank worden in vastgestelde groepen in- of uitgestuurd.

Bovengenoemde bedrijfswijzen zijn ondergeschikt aan de reactorbegrenzing; deze kan met voorrang het in- en uitsturen van de regelstaven blokkeren of deze zelf insturen. Als het eventueel noodzakelijk mocht zijn om het reactorvermogen snel te laten dalen (bijvoorbeeld bij het uitvallen van een hoofdkoelmiddelpomp), wordt de inworp van regelementen geactiveerd.

Bij een reactorsnelafschakeling (RESA) worden alle regelementen onafhankelijk van de hierboven beschreven aansturingen stroomloos geschakeld en vallen ze door de zwaartekracht in de kern.

7.3.2 Reactorbegrenzing (grenswaarderegeling)

De reactorbegrenzing (grenswaarderegeling) bevat voorzieningen, die verhinderen dat enkele geselecteerde procesvariabelen vooraf ingestelde grenswaarden overschrijden.

7.3-2

KOPIE

Bij het bereiken van deze grenswaarden wordt een verdere stijging van het vermogen als gevolg van het uitsturen van regelementen tegengegaan, en wordt het reactorvermogen door passende maatregelen gereduceerd. De installatie kan op deze manier bij een lager vermogen in bedrijf gehouden worden.

De reactorbegrenzing dient uitsluitend om de beschikbaarheid van de installatie te verhogen en om de onderdelen van de installatie te ontzien. Het werkgebied van de reactorbegrenzing ligt tussen dat van de bedrijfsregelingen en de grenswaarden van het reactorbeveiligingssysteem.

7.3.2.1 Reactorvermogensbegrenzing

Neutronenfluxdichtheidsbegrenzing

Tijdens normaal bedrijf wordt het reactorvermogen vertraagd aangepast aan het generatorvermogen door de hoofdkoelmiddeltemperatuurregeling. Deze regeling kan echter niet constateren of het totale vermogen dat van de reactor verlangd wordt te groot is, omdat er bijvoorbeeld bij een generatorvermogen van 100 % nog extra hoeveelheden stoom worden afgenomen (hulpstoomafname voor de voedingswatertank, uitvallen van voedingswatervoorwarmers, foutief openen van een klep van de turbine-omloopleiding etc).

In deze gevallen wordt een overbelasting door de neutronenfluxdichtheidsbegrenzing voorkomen. Bij het overschrijden van een grenswaarde die gelijk is aan het met 5 % gereduceerde signaal van de "glijdende grenswaarde van het reactorvermogen" (reactorbeveiligingssysteem) wordt de neutronenfluxdichtheidsbegrenzing geactiveerd. Door de neutronenfluxdichtheidsbegrenzing wordt het uitsturen van alle regelementen geblokkeerd en het reactorvermogen op het niveau van de instelwaarde van het generatorvermogen geregeld.

Als hierdoor de hoofdkoelmiddeltemperatuur en daarmee ook de hoofdstoomdruk ontoelaatbaar daalt, zorgt de minimumdrukregeling van de hoofdstoom ervoor dat het generatorvermogen daalt door de turbine-inlaatkleppen te sluiten.

De neutronenfluxbegrenzing is tweevoudig uitgevoerd. Om onterecht aanspreken te voorkomen, wordt pas ingegrepen als beide signalen aanspreken (2 van 2).

Kookmargebegrenzing

Aanspreekcriterium voor de kookmargebegrenzing is het onderschrijden van een druk als grenswaarde, die op een vaste afstand boven de bijbehorende grenswaarde van het reactorbeveiligingssysteem, en boven de dampspanning van de heersende reactortemperatuur is gelegen.

Door de kookmargebegrenzing wordt het reactorvermogen verlaagd tot het niveau van de met 10 % gereduceerde instelwaarde van het generatorvermogen, tegelijkertijd wordt de neutronenfluxdichtheidsbegrenzing geactiveerd.

De kookmargebegrenzing is tweevoudig uitgevoerd. Om onterecht aanspreken te voorkomen, wordt pas ingegrepen als beide signalen aanspreken (2 van 2).

7.3-3

KOPIE

7.3.2.2 Regelelementinworp

Om bij bepaalde transiënten een onnodige reactorsnelafschakeling (RESA) te voorkomen, wordt (naast andere begrenzingen) de inworp van (een aantal) regelelementen geactiveerd.

Voorbeelden van dergelijke transiënten zijn lastafschakeling, snelle reducties van het turbinevermogen, het uitvallen van een hoofdkoelmiddelpomp of te hoge druk in het primair systeem. Het aantal regelelementen dat moet worden ingeworpen, wordt bepaald door de grootte van de voorafgaande vermogenssprong, of bij het uitvallen van een hoofdkoelmiddelpomp door het dan maximaal toelaatbare stationaire reactorvermogen. Bij druktoename in het primair systeem worden dezelfde inworpmaatregelen uitgevoerd als bij het uitvallen van een hoofdkoelmiddelpomp. Bij een elementinworp vanwege het uitvallen van een hoofdkoelmiddelpomp wordt ook de instelwaarde van het generatorvermogen automatisch verlaagd. Om bij een snelle reactorvermogensdaling een te snelle afkoeling van het primair systeem te voorkomen wordt de instelwaarde van het generatorvermogen bij elementinworp verlaagd.

De voorzieningen voor de inworp van regelelementen zijn redundant uitgevoerd.

7.3.2.3 Hoofdstoom-minimumdrukregeling

Bij een ontoelaatbare daling van de hoofdstoomdruk vóór de turbine tot een waarde van circa 3 bar beneden de hoofdstoominstelwaarde (door energiebalansverstoringen tussen secundaire en primaire zijde) zorgt de hoofdstoom-minimumdrukregeling voor een reductie van het generatorvermogen.

Regelparameter is de in de hoofdstoomverzamelleiding gemeten hoofdstoomdruk. De regelwaarde van de hoofdstoom-minimumdrukregeling heeft een reducerend effect op de instelwaarde van de generatorvermogensregelaar en daarmee op de inlaatkleppen van de turbine.

7.3.2.4 Hoofdstoom-maximumdrukregeling

Bij energiebalansverstoringen tussen secundaire en primaire zijde bij een stijgende hoofdstoomdruk (bijvoorbeeld bij een reductie van het turbinevermogen) zorgt de hoofdstoom-maximumdrukregeling ervoor dat de maximaal toelaatbare hoofdstoomdruk niet overschreden wordt.

Regelparameter is de in de hoofdstoomverzamelleiding gemeten hoofdstoomdruk. De regelwaarde van de hoofdstoom-maximumdrukregeling zorgt ervoor dat de turbine-omloopafsluiters geopend worden. Hierdoor wordt de overtollige stoom naar de condensors geleid.

Om de effectiviteit van de hoofdstoom-maximumdrukregeling te vergroten, worden er bij grote vermogensdalingen van de turbine regelelementen ingeworpen.

De hoofdstoom-maximumdrukregeling is redundant uitgevoerd.

7.3.2.5 Toerentalbegrenzing van de turbogenerator

De toerentalbegrenzing van de turbogenerator levert één van de twee instelwaarden van de openingsregelaar van de turbine-inlaatkleppen. De andere instelwaarde wordt geleverd door de vermogensregelaar. De openingsregelaar bepaalt aan de hand van deze instelwaarden de opening van de turbine-inlaatkleppen. Het werkelijke toerental wordt gemeten op de turbine-as. De meting wordt dubbel uitgevoerd, waarbij de gemeten waarden met elkaar worden vergeleken. In het normale werkgebied ligt de toerentalinstelwaarde circa 0,5 % boven het synchrone toerental. Deze regeling vormt bij het in bedrijf nemen en bij eigenbedrijfsverzorging van de generator de normale toerentalregeling door de turbogenerator. De instelwaarde wordt dan handmatig ingesteld.

7.3.3 Druk- en waterniveauregelingen

7.3.3.1 Hoofdkoelmiddeldrukregeling

De hoofdkoelmiddeldrukregeling heeft tot taak om onafhankelijk van temperatuurveranderingen in het reactorkoelsysteem een constante vastgestelde druk te handhaven.

Regelparameter is de hoofdkoelmiddeldruk, die in de hete benen van de beide hoofdkoelmiddelkringlopen dubbel gemeten wordt.

Drie van deze meetwaarden worden voor het bepalen van de grenswaarden gebruikt. Aan de hand van deze grenswaarden stuurt de hoofdkoelmiddel-drukregeling het verwarmingselement (voor het verhogen van de druk) en de sproeikleppen (voor het verlagen van de druk) in de drukhouder aan. Hierdoor wordt de water- en stoominhoud van de drukhouder dusdanig beïnvloed dat de regel-parameter "hoofdkoelmiddeldruk" zoveel mogelijk overeenkomt met de instelwaarde.

Tijdens het in- respectievelijk uitbedrijf nemen van de reactor volgt de hoofdkoelmiddeldrukregeling een van tevoren in de regelzaal vastgestelde curve.

7.3.3.2 Waterniveauregeling van de drukhouder

Als gevolg van temperatuursveranderingen respectievelijk lekkages wijzigt het hoofdkoelmiddelvolume in het reactorkoelsysteem en daarmee het niveau in de drukhouder. Afwijkingen van korte duur van de instelwaarde, die veroorzaakt worden door een verandering in de hoofdkoelmiddeltemperatuur, worden gecompenseerd door de hoofdkoelmiddeltemperatuurregeling.

7.3-5

KOPIE

Afwijkingen van de instelwaarde, die veroorzaakt worden door een verschil tussen afname en voeding van het volumeregelsysteem (TA), worden door de waterniveauregeling van de drukhouder gecompenseerd. Regelparameter is het in de drukhouder gemeten waterniveau, dat afhankelijk is van het debiet in de hoofdkoelmiddelaftap- en de hoofdkoelmiddeltoevoerleidingen.

Het waterniveau in de drukhouder wordt geregeld met behulp van de HD-reduceerkleppen in de hoofdkoelmiddelaftapleiding. Bij een te sterk dalend waterniveau in de drukhouder (bijvoorbeeld bij een kleine lekkage), wordt een tweede volumeregelomp ingeschakeld.

7.3.3.3 Waterniveauregeling van de volumeregeltank

Tijdens normaal bedrijf wordt het aan het reactorkoelsysteem onttrokken en gezuiverd hoofdkoelmiddel naar de volumeregeltank geleid. Van hieruit wordt het door middel van de volumeregelpompen weer teruggevoerd naar het reactorkoelsysteem. Het waterniveau in de volumeregeltank is dan constant.

Als er lekkages in het reactorkoelsysteem moeten worden gecompenseerd, of als door de positierегeling van de regelementen de boorzuur- en deminwatertoevoer geactiveerd is, treedt er een verandering op in het waterniveau van de volumeregeltank.

Bij het bereiken van de grenswaarde voor het minimum-waterniveau in de volumeregeltank, wordt door de waterniveauregeling suppletiewater (deminwater) toegevoerd, en via de genoemde positierегeling wordt de juiste hoeveelheid boorzuur toegevoegd.

Bij het bereiken van de grenswaarde voor het maximum-waterniveau in het regeltank, wordt het overtollige water door de waterniveauregeling naar het hoofdkoelmiddelreservoir gevoerd.

De waterniveauregeling maakt gebruik van bepaalde marges om een te frequent aanspreken te voorkomen.

7.3.3.4 Waterniveauregeling van de stoomgenerator

Elk van beide stoomgeneratoren heeft zijn eigen autonome waterniveauregeling. Deze zorgt ervoor dat tijdens normaal bedrijf, de stoomgeneratorpijpen altijd onder water staan. Regelparameter is het gemeten niveau in de betreffende stoomgenerator. Dit niveau is afhankelijk van het voedingswater- en hoofdstoomdebiet. Het waterniveau in de stoomgenerator wordt geregeld met de hoofdregelkleppen van de voedingswatertoevoer.

Om veiligheidstechnische redenen beschikt elke stoomgenerator bovendien over een noodvoeding met een bijbehorende regelinrichting. Deze regelinrichting waarborgt een betrouwbare waterniveauregeling bij een voedingswaterdebiet van minder dan 10 % van de voeding bij vollast (zoals bijvoorbeeld bij het afvoeren van de restwarmte na een reactorafschakeling).

Het in de betreffende stoomgenerator gemeten niveau is de regelparameter van de noodvoedingsregelinrichting. De noodvoedingswatertoevoer wordt geregeld met behulp van de aan de bovengenoemde hoofdregelkleppen parallel geschakelde noodvoedingskleppen.

7.3.4 Reactorvermogensbegrenzing bij het uitvallen van de hoofdvoedingswatervoorziening

De reactorvermogensbegrenzing heeft tot taak het uitvallen van de totale hoofdvoedingswatervoorziening door passende maatregelen de installatie nog vóór het bereiken van de relevante afschakelcriteria van het reactorbeveiligingssysteem ("te laag niveau in de stoomgenerator") af te schakelen.

Met deze vroegtijdige afschakeling wordt bereikt dat het niveau in de stoomgeneratoren niet te ver kan dalen, waardoor de stoomproductietijd van de stoomgeneratoren wordt verlengd.

De aanspreekcriteria van deze begrenzing worden gevormd door het voedingswaterdebiet vóór de stoomgeneratoren en het verschil tussen de reactor in- en uittredetemperatuur van het hoofdkoelmiddel.

Wanneer binnen een redelijke wachttijd na het constateren van deze storing de hoofdvoedingswatervoorziening niet weer op gang komt, worden alle regelementen ingebracht en wordt tegelijkertijd de afschakeling van de turbine geactiveerd.

7.3.5 Reactorvermogensreductie tijdens bedrijfstransiënten bij een hypothetische uitval van het systeem voor reactorsnelafschakeling (ATWS)

Bij bedrijfstransiënten waarbij de reactor niet snel afschakelt, past het reactorvermogen zich onder de invloed van de hoofdkoelmiddeltemperatuur in de kern, aan de mogelijke warmte-afvoer aan.

Om langdurig een onderkritische toestand van de reactor te waarborgen, is de toevoer van borium in het reactorkoelsysteem noodzakelijk. Hiertoe wordt een extra signaal voor het snel afschakelen van de reactor gevormd, wanneer tijdens vermogensbedrijf een snelle afschakeling van de reactor moet plaatsvinden en als na een wachttijd (> valtijd van de staven) niet tenminste circa 50 % van de staven ingeworpen is.

Door dit signaal worden automatisch het volumeregelsysteem (TA) en het nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB) bijgeschakeld, waardoor koelmiddel met een hoge boriumconcentratie toegevoerd wordt aan het reactorkoelsysteem.

7.3-7

KOPIE

7.3.6 Overige regelingen

Aftapregelinstallaties

Om een goede afvoer van de in de verschillende reservoirs (voorwarmers, tussenoververhitters, waterafscheiders etc.) gevormde condens te waarborgen, worden er automatische aftapregelinstallaties toegepast.

Drukreducerregelinstallaties

Voor het bedrijf van een aantal hulpinstallaties wordt voor de drukregeling gebruik gemaakt van stoom- en waterdrukreducertoestellen. Het gaat hierbij om regelinstallaties voor de stoomgeneratorspui en voor de suppletiewatertoevoer en stoomdrukreducertoestellen voor het verwarmingsstoomreservoir.

Ontgasserdrukregeling

De ontgassing van het voedingswater geschiedt bij een glijdende druk. Bij deellast is een daling van de voorwarm-eindtemperatuur toegestaan. Om een afdoende ontgassing van het voedingswater ook bij geringe vermogens te waarborgen, is er een hulpstoomaftapleiding vanaf de hoofdstoomverzamelleiding aanwezig. Een reduceerklep zorgt ervoor dat de ontgasserdruk overeenkomt met de verzadigingstemperatuur van het voedingswater.

7.3-8

KOPIE

7.3.7 Redundantie van de schakelingen

Om een onnodige snelle afschakeling van de reactor te voorkomen, zijn bij alle regelsystemen waarvan het uitvallen op korte termijn een snelle afschakeling van de reactor tot gevolg zou hebben, de volgende voorzorgsmaatregelen ten aanzien van de ruimtelijke opstelling, schakeling en voeding genomen:

- uitvoeren van meervoudige metingen (redundante metingen) waarbij de uitkomsten onderling vergeleken worden. Hierbij kan de meetwaarde van een defect kanaal uitgezonderd worden zodat de bepaling van het gemiddelde of de keuze van de maximale waarde plaatsvindt op basis van correcte meetwaarden;
- bij regelsystemen waarbij snel reageren van de regeling niet noodzakelijk is wordt een kanaal met een te grote afwijking buiten gebruik gesteld. Dit wordt kenbaar gemaakt door een beveiligd alarm en de regeling wordt overgeschakeld op handbedrijf;
- mogelijkheid om over te schakelen op reserve regelingen of regelsystemen die standby staan;
- aan de boven- en onderzijde van het bereik van de normale continue regeling, staat een in/uit-regeling standby;
- digitalisering van enkelvoudige regelingen of van regelingen die van veel bijkomende voorwaarden afhankelijk zijn;
- ruimtelijke scheiding en gescheiden stroomvoorziening van handmatige en geautomatiseerde functies;
- back-up stroomvoorziening door middel van accu's;
- functievergrendelingen en automatische startvoorzieningen.

7.3-9

KOPIE

Figuur 7.3/1 Besturing en regeling, - overzicht

7.4 Storingsmeldingssysteem

Het storingsmeldingssysteem omvat alle inrichtingen voor het verwerken en weergeven van storingssignalen uit de gehele reactorinstallatie.

De taak van het storingsmeldingssysteem bestaat uit het in de regelzaal, in de reserve-regelzaal en op lokale bedieningspanelen optisch en akoestisch signaleren van storingen.

De signalering en registratie van de optredende bedrijfs- en veiligheidstechnische meldingen vindt met behulp van de volgende voorzieningen plaats:

- conventioneel meldingssysteem
Door dit systeem worden alarmen afgegeven, die het bedieningspersoneel oproepen om de volgende maatregelen door te voeren:
 - * handmatige maatregelen in geval van functionele storingen
 - * maatregelen om storingen in de apparatuur te verhelpen
- procescomputerinstallatie
De procescomputer registreert belangrijke meldingen uit de bedrijfs- en veiligheidssystemen
- reactorbeveiligingspaneel
Dit paneel geeft het wachtpersoneel bij storingen en ongevallen op ieder moment een overzicht van de toestand van het reactorbeveiligingssysteem en de actieve veiligheidsvoorzieningen.

7.4-1

KOPIE

7.5 Reactorbeveiligingssysteem (YZ) (figuur 7.5/1 tot en met 3)

7.5.1 Taak

Het reactorbeveiligingssysteem heeft tot taak, de voor de veiligheid van de reactorinstallatie en de omgeving relevante procesvariabelen voor het constateren van storingen te bewaken en te verwerken. Beschermende acties om de toestand van de reactorinstallatie binnen veilige grenzen te houden worden automatisch gestart. De keuze van de bewaakte procesvariabelen, het formuleren van geschikte activeringscriteria en de bundeling tot signalen voor het starten van beschermende acties, vinden plaats op basis van de ongevalsanalyses (hoofdstuk 15).

7.5.2 Samenstelling van het systeem

Figuur 7.5/1 geeft een overzicht van de opbouw van het reactorbeveiligingssysteem. Het actieve gedeelte van het reactorbeveiligingssysteem bestaat uit:

- de opnemers en meetwaarde-omvormers;
- het analoge gedeelte van de reactorbeveiliging;
- het digitale gedeelte van de reactorbeveiliging;
- het prioriteitsstelling.

Ter bescherming tegen invloeden van buitenaf is het reactorbeveiligingssysteem grotendeels ondergebracht in het reservesuppletiegebouw (33) en een klein deel in het reserveregelzaalgebouw (35). In het schakelgebouw (05) dat niet tegen deze invloeden van buitenaf is beveiligd, is slechts dat gedeelte van het reactorbeveiligingssysteem ondergebracht, dat in geval van reactiviteitsstoringen of het uitvallen van hoofdkoelmiddelpompen de snelle afschakeling van de reactor activeert.

De lokale meetwaarde-omvormers zetten de procesvariabelen, die door opnemers in de installatie worden gemeten, om in analoge stroomsignalen en geven deze door aan het analoge gedeelte van de reactorbeveiliging.

Het analoge gedeelte van de reactorbeveiliging in het schakelgebouw (AT1-4) is, verdeeld over een aantal separate kasten, in een gemeenschappelijke ruimte opgesteld.

Het analoge gedeelte van de reactorbeveiliging in het reservesuppletiegebouw (ATI-III) is drievoudig redundant uitgevoerd en in gescheiden ruimten geplaatst.

7.5-1

KOPIE

Het digitale gedeelte van de reactorbeveiliging in het schakelgebouw (LT0) is in kasten ondergebracht, die zich in één ruimte bevinden. Dit digitale gedeelte is op activering gericht - dat wil zeggen veilig falend - opgebouwd.

Het digitale gedeelte van de reactorbeveiliging in het reservesuppletiegebouw (LT I-II) is tweevoudig redundant uitgevoerd en in gescheiden ruimten geplaatst.

De reactorsnelafschakeling (RESA) wordt geactiveerd door het digitale gedeelte LT0 in het schakelgebouw, respectievelijk door de digitale gedeeltes LT I-II in het reservesuppletiegebouw. De aansturing van actieve componenten van veiligheidsvoorzieningen wordt geactiveerd door de digitale gedeeltes LT I-II in het gebouw 33.

De reactorbeveiligingscommando's hebben te allen tijde prioriteit boven bedrijfscommando's. De prioriteitsstelling is tweevoudig redundant uitgevoerd en in gescheiden ruimten in het reserveregelzaalgebouw geplaatst.

Al naar gelang de aan te sturen componenten slechts maatregelen ter beheersing van storingen door invloeden van binnenuit dienen uit te voeren, en/of ter beheersing van storingen door invloeden van buitenaf nodig zijn, bevindt zich de bijbehorende prioriteitsstelling in verschillende zones van het reserveregelzaalgebouw.

Stroomvoorziening

Alle meet- en regelkasten in respectievelijk het schakelgebouw, het reservesuppletiegebouw en het reserveregelzaalgebouw worden groepsgewijs diode-ontkoppeld door twee van de vier onafhankelijke, ononderbroken 24 V-gelijkspanningsrails gevoed.

7.5.2.1 Analoge verwerking

Het activeringsniveau van het reactorbeveiligingssysteem omvat de analoge meetwaarde-acquisitie, vanaf de opnemers tot en met de grenssignaalopnemers.

Door opnemers en lokale meetwaarde-omvormers in de installatie worden alle voor het reactorbeveiligingssysteem relevante procesvariabelen drievoudig gemeten en in genormaliseerde stroomsignalen omgezet.

Een uitzondering hierop vormt de procesvariabele "neutronenfluxdichtheid", die in het impuls bereik tweemaal en in het vermogens bereik viermaal wordt vastgesteld.

De stroomsignalen worden voor verdere verwerking geleid naar de elektroniekasten van het analoge gedeelte AT 1-4 (onbeveiligde zone) respectievelijk het analoge gedeelte AT I-III (beveiligde zone).

Hier vindt via stroom/spanningsomvormers (I/U) de omzetting van de genormaliseerde stroomsignalen in genormaliseerde spanningssignalen plaats.

De spanningssignalen worden direct of deels na voorafgaande verwerking in analoge computerschakelingen, doorgeschakeld naar de toegewezen grenssignaalopnemers in het digitale gedeelte LT0 (onbeveiligde zone) respectievelijk LT I-II (beveiligde zone).

Door meetwaardevergelijkers in de digitale gedeeltes is een continue bewaking van de meetkanalen gewaarborgd. Fouten op opnemerniveau worden derhalve automatisch gemeld.

Ten behoeve van de meetwaardeverwerking van analoge signalen van het reactorbeveiligingssysteem buiten de reactorbeveiligingskasten, bijvoorbeeld voor registratie, worden bovendien de hiervoor noodzakelijke analoge signalen - via scheidingsversterkers - galvanisch ontkoppeld beschikbaar gesteld.

7.5.2.2 Digitale verwerking

De verwerking van de op het analoge niveau tot stand gekomen spanningssignalen vindt plaats op het digitale niveau.

Digitaal gedeelte LT0

In geval van reactiviteitsstoringen of het uitvallen van de hoofdkoelmiddelpompen, worden in het digitale gedeelte LT0 de signalen gevormd en vergeleken met criteria voor het activeren van een reactorsnelafschakeling (RESA). Tevens worden de redundante grenssignalen ten opzichte van elkaar geëvalueerd. Deze evaluatie vindt in drie redundante schakelketens plaats.

Aan het einde van iedere schakelketen geeft een afsluitelement (RA) bij activering een continu signaal.

In het relaisdeel RT 1-3 worden deze signalen opgeslagen en doorgegeven aan de beide 6-contactsysteem (volgens het ruststroomprincipe). Met zo'n systeem wordt bereikt dat met 2 van de 3 positieve signalen RESA geactiveerd wordt.

Digitale gedeeltes LT I-II

Ten behoeve van de activering van zowel RESA als TUSA en de besturing van componenten van systemen die uit veiligheidstechnisch oogpunt van belang zijn, worden in de digitale gedeeltes LT I-II activeringssignalen gevormd.

Na het vormen van de grenssignalen en de vergelijking met de activeringscriteria worden de redundante grenssignalen ten opzichte van elkaar geëvalueerd in twee redundanties. Iedere redundantie geeft een activeringssignaal voor acties ter beveiliging van de reactor.

Voor het aansturen van de prioriteitsstelling geven de afsluitelementen (RAG) aan het einde van de schakelketens bij activering een continue activeringssignaal.

7.5.2.3 Activeringingsschakeling

De activeringssignalen van het reactorbeveiligingssysteem zijn voornamelijk nodig voor:

- het activeren van RESA;
- de besturing van actieve componenten in veiligheidssystemen.

Voor het in werking stellen van de RESA worden activeringsschakelingen gebaseerd op het ruststroomprincipe (fail-safe) gebruikt. Voor het activeren van componenten in de veiligheidssystemen (bijvoorbeeld de inundatie naar het reactorkoelsysteem of de noodvoeding in de stoomgeneratoren) worden schakelingen volgens het arbeidsstroomprincipe toegepast. Door middel van periodieke handmatige controles worden eventuele fouten hierin opgespoord.

Het systeem is zelfmeldend ten aanzien van diverse storingsen zoals spanningsuitval. Er wordt mede een hoge beschikbaarheid verkregen door toepassing van redundantie in de signaalverwerking, de sturing en de voeding.

Activeringingsschakelingen volgens het ruststroomprincipe

De drie RESA-activeringssignalen sturen 2 x 3 beveiligingsrelais aan volgens het ruststroomprincipe (fail safe) in de 220 V-gelijkstroominstallatie in het schakelgebouw. De contacten van 3 beveiligingsrelais zijn tot een dubbel 6-contactsysteem geschakeld. De werkspanning voor de grijp-, houd- en hefspoelen van de regelementen wordt tweepolig door de 6-contactsysteem onderbroken, waardoor de regelementen in de reactorkern vallen.

Activeringingsschakelingen volgens het arbeidsstroomprincipe

Voor de beveiliging van de reactor worden redundante actieve componenten zoals pompen en appendages gebruikt.

De aansturing van deze componenten vindt plaats door de redundante activeringssignalen uit de digitale gedeelten van het reactorbeveiligingssysteem. De ontkoppelde activeringssignalen worden voor iedere component op de prioriteitsstelling (AV) zodanig aan de bij de bedrijfsvoering horende besturingscommando's gekoppeld, dat de reactorbeveiligingssignalen altijd voorrang hebben.

De prioriteitsstelling voor de componenten ter bescherming tegen invloeden van binnenuit is ondergebracht in brandvrije ruimten van het reserveregelzaalgebouw; de prioriteitsstelling voor de componenten ter bescherming tegen invloeden van buitenaf is in de beveiligde zone van dit gebouw ondergebracht.

7.5.3 Activeringssignalen

7.5.3.1 Afschakeling van de reactor en de turbine

Reactorsnelafschakeling (RESA)

Het systeem voor een reactorsnelafschakeling (RESA) heeft tot taak, de reactor in geval van storingen en ongevallen die gevaar voor de installatie of de omgeving zouden kunnen opleveren, door inworp van alle regelementen voldoende snel onderkritisch te maken. Het systeem treedt in werking, wanneer op grond van één of meerdere activeringscriteria een RESA wordt verlangd. Onderstaand zijn de activeringscriteria voor de RESA gespecificeerd:

- neutronenfluxdichtheid in het impulsbereik
Wanneer de neutronenfluxdichtheid in het impulsbereik het meetbereik overschrijdt, en er tegelijkertijd geen minimale flux in het middenbereik gemeten wordt, of wanneer er geen minimale flux in het mpuls- en het middenbereik gemeten wordt en tegelijkertijd de elektronische overbrugging niet gereset is, vindt RESA plaats;
- neutronenfluxdichtheid in het middenbereik
Wanneer een te hoge neutronenfluxdichtheid in het middenbereik het meetbereik overschrijdt terwijl tegelijkertijd de elektronische overbrugging niet gereset is en een bepaalde druk en temperatuur aanwezig zijn, wordt RESA geactiveerd;
- reciproque periode middenbereik
Een RESA vindt plaats wanneer er sprake is van een te korte periode ten aanzien van de neutronenfluxdichtheid.

Dit beveiligingskanaal kan handmatig door middel van een elektronische schakeling worden overbrugd. De vrijgave hiertoe vindt plaats wanneer aan de voorwaarden voor primaire druk, hoofdkoelmiddeltemperatuur en neutronenfluxdichtheid is voldaan;

- neutronenfluxdichtheid in het vermogensbereik
RESA vindt plaats, wanneer de neutronenfluxdichtheid $> \max 1(*)$ is en er nog geen vrijgave voor het vermogensbedrijf heeft plaatsgevonden.
De vrijgave voor het vermogensbedrijf geschiedt handmatig vanaf de lessenaar in de regelzaal, indien er is voldaan aan de voorwaarden voor primaire druk, hoofdkoelmiddeltemperatuur en neutronenflux. Hierdoor wordt verzekerd, dat pas bij een gedefinieerde systeemtoestand van het reactorkoelsysteem op vermogensbedrijf kan worden overgegaan.

(*)

Van de grootheden die in de verschillende criteria genoemd worden, zijn niet de grenswaarden gegeven maar slechts een aanduiding of het een bovengrens betreft (max) of een ondergrens (min). De grenswaarde is voorzien van een cijfer (in dit geval "max 1") indien bij een bepaalde grootte meerdere grenswaarden mogelijk zijn. Hierbij ligt max. 2 respectievelijk min. 2 verder buiten de normale condities dan max. 1 respectievelijk min. 1. De grenswaarden liggen vast in de bij de installatie behorende Technische Specificaties.

- variabele grenswaarde van het reactorvermogen
Een RESA wordt door een variabele grenswaarde van het reactorvermogen geactiveerd. Deze variabele grenswaarde dient te voorkomen, dat bij reactiviteitsstoringen met te snelle vermogensveranderingen in het deellastgebied, niet eerst het totale vermogensbereik wordt afgelegd voordat de RESA wordt geactiveerd;
- gecorrigeerde neutronenfluxdichtheid
Bij een gecorrigeerde neutronenfluxdichtheid $> \max 3$ (wanneer beide hoofdkoelmiddelpompen in bedrijf zijn), wordt een RESA geactiveerd;
- toerental van de hoofdkoelmiddelpompen
Wanneer van één hoofdkoelmiddelpomp het toerental $< \min 1$ is, worden regelementen ingeworpen, om het vermogen gericht te reduceren (zie paragraaf 7.3.2.2).
Wanneer het toerental van één hoofdkoelmiddelpomp sterk afneemt (toerental $< \min 2$) en het reactorvermogen nog $> \max 2$ is, vindt RESA plaats. Als beide hoofdkoelmiddelpompen uitvallen vindt er, ongeacht het reactorvermogen, vanaf een toerentalgrenswaarde $< \min 1$ RESA plaats;
- te geringe kookpuntsmarge
Om de splijstofelementen tegen filmkoken te beschermen, wordt een RESA geactiveerd wanneer de marge ten opzichte van het kookpunt $< \min$;
- druk in het reactorkoelsysteem
Indien de druk in het reactorkoelsysteem oploopt tot een waarde $> \max 1$, vindt RESA plaats. Daalt de druk tijdens vermogensbedrijf tot een waarde $< \min 1$, dan vindt eveneens RESA plaats;
- niveau in de drukhouder
Wanneer het niveau in de drukhouder stijgt, vindt bij het bereiken van de waarde $> \max 2$ RESA plaats.
Wanneer het niveau in de drukhouder daalt, wordt bij het bereiken van een waarde $< \min$ eveneens RESA plaats;

7.5-6

KOPIE

- druk in de veiligheidsomhulling
Als tijdens een ongeval waarbij lekkage optreedt, de druk in de installatie-/bedrijfsruimte oploopt tot een waarde $> \max 2$, vindt RESA plaats;
- niveau in de stoomgenerator
Bij het bereiken van een waarde $< \min 1$, bijvoorbeeld tengevolge van een lek in het hoofdstoomsysteem, vindt RESA plaats;
- druk in de hoofdstoomleiding
Wanneer de druk in een van de beide hoofdstoomleidingen toeneemt (bijvoorbeeld door een gestoorde warmte-afvoer aan secundaire zijde), vindt RESA plaats als de hoofdstoomdruk $> \max$ wordt;
- hoofdstoomdrukgradiënt
Wanneer de hoofdstoomdruk snel daalt, bijvoorbeeld als gevolg van een lek in de hoofdstoomleiding, vindt RESA plaats op grond van het criterium drukdaling $> \max$;
- niveau in de voedingswatertank
Om een voldoende voorraad aan voedingswater te garanderen, wordt een RESA geactiveerd bij het bereiken van het niveau $< \min 1$;
- radioactieve contaminatie van de hoofdstoom
Bij een lek in een pijp van een stoomgenerator vindt op grond van het criterium "radioactieve contaminatie van de hoofdstoom in een stoomgenerator $> \max$ " RESA plaats en wordt een snelle turbineafschakeling (TUSA) vertraagd geactiveerd;
- handmatige RESA
RESA kan handmatig geactiveerd worden met behulp van een drukknop in de regelzaal of in de reserve-regelzaal. Door middel van een kap wordt de knop beschermd tegen een ongewilde bediening.

Turbinesnelafschakeling (TUSA)

Als de regelementrails spanningsloos worden vindt turbinesnelafschakeling (TUSA) plaats. Daarmee treedt TUSA op grond van dezelfde criteria op als voor RESA gelden.

- TUSA (direct); spanning regelementrails $< \min$;
- TUSA (vertraagd); radioactieve contaminatie van de hoofdstoom $> \max$.

7.5-7

KOPIE

7.5.3.2 Activeren van veiligheidssystemen

Naast het activeren van RESA, zorgen componenten van verscheidene veiligheidssystemen voor verdere acties ter beveiliging van de reactor. Het gaat hierbij hoofdzakelijk om pompen en appendages die door activeringssignalen van het reactorbeveiligingssysteem worden aangestuurd. Deze veiligheidssystemen zijn geheel of gedeeltelijk redundant (tenminste tweevoudig) uitgevoerd. Voor zover hiervan sprake is, is ook bij de prioriteitsstelling een overeenkomstige scheiding van de redundanties aangehouden. Redundante aandrijvingen of verstelmechanismen worden daarom door van elkaar onafhankelijke activeringssignalen uit het digitale gedeelte van het reactorbeveiligingssysteem aangestuurd.

Onderstaand worden de essentiële activeringscriteria voor deze beveiligingsacties gespecificeerd.

Kerninundatie en afsluiting van de reactorveiligheidsomhulling

- Kerninundatievoorbereiding
 - * druk in het reactorkoelsysteem < min 2
 - EN niveau in de drukhouder < min
 - OF
 - * druk in het reactorkoelsysteem < min 2
 - EN druk in de installatie-/bedrijfsruimte > max 2

- HD-kerninundatie
 - * noodkoelcriteria:
 - (- druk in het reactorkoelsysteem < min 3
 - EN niveau in de drukhouder < min
 - OF
 - druk in het reactorkoelsysteem < min 3
 - EN druk in de installatie-/bedrijfsruimte > max 2)
 - OF
 - * niveau in het reactorvat < min 3

- LD-kerninundatie
 - * druk in het reactorkoelsysteem < min 5
 - EN niveau in de drukhouder < min
 - OF
 - * druk in het reactorkoelsysteem < min 5
 - EN druk in de installatie-/bedrijfsruimte > max 2

- Inundatiesignaal
 - * noodkoelcriteria
 - EN niveau in de kerninundatievoorraadtank NIET < min

- Putsignaal
 - * noodkoelcriteria
 - EN niveau in de kerninundatievoorraadtank < min)
- Gebouwafsluiting (algemeen en t.a.v. ventilatiesysteem) en ringruimteafzuiging
 - * noodkoelcriteria
 - OF
 - * druk in de installatie-/bedrijfsruimte > max 2
- Gebouwafsluiting (t.a.v. volumeregelsysteem)
 - * noodkoelcriteria
- Afschakelsignaal hoofdkoelmiddelpompen
 - * noodkoelcriteria
 - OF
 - * niveau in een stoomgenerator < min 3
- Afschakelen van de kerninundatiepompen
 - * niveau in een stoomgenerator > max 2
 - EN niveau in het reactorvat NIET < min 3
 - OF
 - * niveau in een stoomgenerator > max 2
 - EN druk in installatie-/bedrijfsruimte NIET > max 2
- Onderdrukbeveiliging van de veiligheidsomhulling (onderdruk verbreken/instandhouden)
 - * onderdruk in de installatie-/bedrijfsruimte < min
 - onderdruk in de installatie-/bedrijfsruimte > max 1

Reservesuppletie aan primaire zijde (TW)

- Primaire reservesuppletie en afsluiting reactorkoelsysteem
 - * noodkoelcriteria
 - OF
 - * bij splijtstofelementwisseling reactor-uitlaattemperatuur > max

Drukbeveiliging aan primaire zijde

- Veiligheidsklep van de drukhouder openen
 - * druk in het reactorkoelsysteem > max 2
 - OF
 - * marge ten opzichte van brosse breuk < min
 - EN GEEN noodkoelcriteria
- Veiligheidsklep van de drukhouder sluiten
 - * kookpuntsmarge < min
 - OF
 - * drukdaling na automatisch opensturen veiligheidsklep > max

Sproeien in drukhouder bij stoomgeneratorpijplekkage

- Sproeien in drukhouder bij stoomgeneratorpijplekkage
 - * radioactieve besmetting van de hoofdstoom in een stoomgenerator > max
 - EN GEEN signaal sproeien in drukhouder beëindigen
- Sproeien in de drukhouder beëindigen
 - * druk in het reactorkoelsysteem < min 4
 - EN sproeien in drukhouder bij stoomgeneratorpijplekkage
- OF
 - * niveau in de drukhouder > max 1
 - EN sproeien in drukhouder bij stoomgeneratorpijplekkage
- OF
 - * noodkoelcriteria

Noodvoedingswatertoevoer (RL) en isolatie van de stoomgeneratoren

- Sluiten hoofdvoedingswatertoevoer
 - * niveau in de stoomgeneratoren > max 1
 - OF
 - * niveau in de stoomgeneratoren < min 1
 - OF
 - * drukdaling in een hoofdstoomleiding > max
 - OF
 - * criterium "groot lek":
(- druk in het reactorkoelsysteem binnen 200 seconden na het intreden van de noodkoelcriteria < min 5)
- Afschakelen van de hoofdvoedingswaterpompen
 - * niveau in een stoomgenerator < min 1
 - OF
 - * drukdaling in een hoofdstoomleiding > max
 - OF
 - * criterium "groot lek"
- Toevoeren van deminwater
 - * niveau in de voedingswatertank < min 1
- Openen noodvoedingswatertoevoer voor één stoomgenerator
 - * niveau in de stoomgenerator < min 1
 - EN GEEN sluitingscriteria:
(- drukverschil tussen de voedingswaterleidingen > max
 - EN niveau in de stoomgenerator < min 1
 - OF
 - niveau in de stoomgenerator > max 1)

- Bijschakelen van noodvoedingswaterpompen
 - * niveau in een stoomgenerator < min 1
- Sluiten van de noodvoedingswatertoevoer voor één stoomgenerator
 - * sluitingscriteria

Reservesuppletie aan secundaire zijde (RS)

- Toevoeren van reservesuppletie
 - * niveau in een stoomgenerator < min 2
- Stoppen van reservesuppletie
 - * niveau in een stoomgenerator > max 1

Afblazen van hoofdstoom

- afblaasregeling
 - * hoofdstoomdruk > max
- 100 K/h uit bedrijf nemen
 - * druk in de installatie-/bedrijfsruimte > max 2
 - EN druk in het reactorkoelsysteem < min 2
- Sluiten hoofdstoomtoevoer en breukbeveiligingskleppen
 - * drukdaling in een hoofdstoomleiding > max
- OF
 - * criterium "groot lek"

Noodstroomvoorziening

- Bijschakelen van het noodstroomnet 1
 - * spanning aan de rail van noodstroomnet 1 < min
- OF
 - * frequentie aan de rail van noodstroomnet 1 < min
- Bijschakelen noodstroomgenerator en afschakelen noodstroomverbruikers in het noodstroomnet 1
 - * spanning aan de rail van noodstroomnet 1 < min
- OF
 - * frequentie aan de rail van noodstroomnet 1 < min
- Bijschakelen beveiligde nood- en nevenkoelpompen
 - * frequentie aan de rail van noodstroomnet 1 < min
- OF
 - * spanning aan de rail van noodstroomnet 1 < min
- OF
 - * noodkoelcriteria

- Bijschakelen van het noodstroomnet 2
 - * spanning aan de rail van noodstroomnet 2 < min
 - OF
 - *f requentie aan de rail van noodstroomnet 2 < min.

7.5.4 Reactorbeveiligingspaneel

De centrale plaats voor meldingen of controles van het reactorbeveiligingssysteem (zowel voor het niet tegen invloeden van buitenaf beveiligde alsook voor het wèl daartegen beveiligde gedeelte) is het reactorbeveiligingspaneel.

Dit paneel bevindt zich in de regelzaal en geeft de toestand van het reactorbeveiligingssysteem tijdens normaal bedrijf en bij ongevallen weer. Ook worden vanaf het paneel periodieke beproevingen uitgevoerd.

Het paneel bevat voornamelijk analoge aanwijzingen voor de weergave van procesvariabelen, meldingen van activeringstoestanden van meetkanaalgroepen, activeringssignalen van het reactorbeveiligingssysteem en de bevestiging dat componenten geactiveerd zijn. Daarnaast zijn hier de bedieningselementen voor periodieke beproevingen aangebracht.

| De bij invloeden van buitenaf relevante reactorbeveiligingssignalen met de bijbehorende
| terugmeldingen worden ook in de reserve-regelzaal in gebouw 35 aangegeven.

7.5.5 Beveiligingsacties bij karakteristieke ongevallen

Voor de onderstaand gespecificeerde representatieve categorieën van ongevallen wordt beschreven, hoe de veiligheidsmaatregelen die door het reactorbeveiligingssysteem geïnitieerd worden, ervoor zorgen dat de installatie in een veilige toestand wordt gebracht. In hoofdstuk 15 wordt het verloop van ongevallen gedetailleerd beschreven.

Categorieën van ongevallen:

- reactiviteitsstoringen;
- uitval van hoofdkoelmiddelpompen;
- koelmiddelverliesongevallen;
- stoomgeneratorlekages;
- ongevallen door lekkage in de stoom/waterkringloop;
- verlies van de koeling naar de Westerschelde (bijvoorbeeld in een noodstroomsituatie).

Voor de eerste twee categorieën van ongevallen zijn RESA samen met TUSA de enige maatregelen ter beveiliging van de reactor. Om de andere categorieën van ongevallen te kunnen beheersen dienen verdere en voor het ongeval specifieke veiligheidsmaatregelen te worden geïnitieerd.

Reactiviteitsstoringen en uitval van hoofdkoelmiddelpompen

Bij deze categorieën van ongevallen is als enige reactorbeveiligingsmaatregel - als er geen andere storing is - RESA en TUSA voorzien. Dit is voldoende om de reactorkern te beschermen tegen te hoge temperaturen.

Koelmiddelverliesongevallen

Het verloop van deze ongevallen is in hoofdzaak afhankelijk van de grootte van het lek. Kleine lekkages in het primair systeem worden automatisch met het volumeregelsysteem (TA) gecompenseerd, zonder dat veiligheidstechnische voorzieningen hoeven te worden geactiveerd. Bij middelgrote en grote lekken wordt echter het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) voor de beheersing van het ongeval geactiveerd.

Lekkages aan het primair systeem worden door de volgende criteria (noodkoelcriteria) gekarakteriseerd:

*	druk in het reactorkoelsysteem	< min 3
EN	niveau in de drukhouder	< min
OF		
	druk in het reactorkoelsysteem	< min 3
EN	druk in de installatie-/bedrijfsruimte	> max 2

Deze criteria activeren RESA en TUSA. Afhankelijk van de grenswaarden worden bovendien de gebouwfsluiting en de afsluiting van het primair systeem geactiveerd, alsook die delen van veiligheidssystemen die nodig zijn voor het beheersen van het ongeval.

In geval van lekkages wordt de installatie onmiddellijk automatisch uit bedrijf genomen. Bij kleine lekkages wordt de restwarmte afgevoerd via de secundaire zijde waarbij het primair systeem afgekoeld wordt met een snelheid van 100 K/h.

Teneinde een voldoende kernbedekking te garanderen wordt het vloeistofniveau in het reactorvat bewaakt. Dit wordt bewerkstelligd door dit niveausignaal prioriteit te geven ten opzichte van alle andere signalen. Door het niveausignaal worden de kerninundatiepompen opnieuw geactiveerd, indien zij eerder uitgeschakeld waren.

Een parallelbedrijf van kerninundatiepompen (HD) en nakoelpompen (LD) is mogelijk. Bij grote lekkages voeden zij dan parallel aan elkaar vanuit de kerninundatievoorradetanks. Wanneer deze tanks leeg zijn worden de nakoelpompen omgeschakeld op aanzuiging uit de put van het reactorgebouw. De kerninundatiepompen worden door de reactorbeveiliging uit bedrijf genomen.

De putschakeling van de nakoelpompen blijft bij grote lekkages langdurig gehandhaafd. Bij kleine lekkages wordt handmatig één strang van het TJ-systeem op kringloopkoeling overgeschakeld.

Stoomgeneratorlekkages

Lekkages aan pijpen van een stoomgenerator worden door middel van het criterium "radioactieve contaminatie van de hoofdstoom in een stoomgenerator > max EN druk in de veiligheidsomhulling NIET > max 2" gedetecteerd. Nadat de grenswaarde is overschreden, wordt RESA met vertraagde TUSA geïnitieerd. Tegelijkertijd worden maatregelen genomen om de primaire druk te verlagen en het verlies aan hoofdkoelmiddel te compenseren. De druk in het primair systeem wordt verlaagd door sproeien in de drukhouder met het volumeregelsysteem (TA) en het primair reservesuppletiesysteem (TW) beperkt. De verwarming van de drukhouder wordt uitgeschakeld om de drukverlaging niet te belemmeren. De aanspreekwaarde van de turbine-omloop wordt automatisch naar beneden bijgesteld.

In een noodstroomsituatie kan de afvoer van de hoofdstoom via de turbine-omloop niet plaatsvinden, en wordt de hoofdstoomdruk door de hoofdstoom-afblaasregelkleppen automatisch beperkt. Spreken bovendien de noodkoelcriteria aan, dan worden de kerninundatiepompen bijgeschakeld. De hoofdkoelmiddelpompen worden door het reactorbeveiligingssysteem uit bedrijf genomen.

Wanneer de grenswaarde "stoomgeneratorniveau > max 2" wordt bereikt, schakelt het reactorbeveiligingssysteem de kerninundatiepompen uit. Het opnieuw inschakelen van de kerninundatiepompen wordt op grond van het criterium "reactorvatniveau < min 3" bewerkstelligd.

De defecte stoomgenerator dient te worden geïsoleerd. Na isolatie kan de hoofdkoelmiddelpomp in de intacte kringloop weer bijgeschakeld worden. Aansluitend wordt de installatie uit bedrijf genomen via de turbine-omloop en de intacte stoomgenerator, danwel in geval van een noodstroomsituatie via de hoofdstoom-afblaasregelkleppen van de intacte stoomgenerator.

Ongevallen door lekkage in de stoom/waterkringloop

Ongevallen door lekkage in de stoom/waterkringloop worden via het criterium "drukval in een hoofdstoomleiding > max" gesignaleerd. Door dit criterium worden RESA en TUSA geactiveerd.

Tegelijkertijd worden de hoofdvoedingswaterpompen uitgeschakeld en de hoofdvoedingskleppen gesloten. Dit signaal activeert ook het sluiten van de hoofdstoomafsluiters.

Door middel van getrapte grenswaarden van het stoomgeneratorniveau wordt bereikt, dat na het uitvallen van de hoofdvoeding eerst de noodvoeding uit het hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem (RL) en, wanneer deze niet beschikbaar is, de reservevoeding vanuit het secundair reservesuppletiesysteem (RS) wordt gestart.

Om overvoeding van de stoomgeneratoren te voorkomen, wordt door het criterium "niveau in een stoomgenerator > max 1" het afsluiten van alle voedingswatersystemen voor de stoomgeneratoren geïnitieerd.

Verlies van de koeling naar de Westerschelde

Onafhankelijk van de oorzaak van het wegvallen van de koeling naar de Westerschelde, kan de warmteafvoer in deze situatie niet meer door afblazen van de hoofdstoom in de condensor plaatsvinden. Hierdoor loopt de hoofdstoomdruk op.

Wanneer het criterium "hoofdstoomdruk > max" wordt bereikt, vinden RESA en TUSA plaats. Aanvullend wordt een signaal afgegeven, waardoor het hoofdstoomafblaasstation wordt geactiveerd en de druk automatisch op het aanspreekpunt wordt gehouden.

Wanneer het uitvallen van de eigenbedrijfsvoorziening de oorzaak van het ongeval is, worden de noodstroomdieselaggregaten van het noodstroomnet 1 geactiveerd en de corresponderende verbruikers trapsgewijs bijgeschakeld. Dit gebeurt op grond van de criteria "spanning aan de rail van noodstroomnet 1 < min" of "frequentie aan de rail van noodstroomnet 1 < min".

7.5-15

KOPIE

AT Analooġ gedeelte
LT Digitaal gedeelte
RT Relais gedeelte
SA Schakelgedeelte

Figuur 7.5/1 Opbouw van het reactorbeveiligingssysteem

7.5-16

KOPIE

AT Analoog gedeelte
LT Digitaal gedeelte
RAG Afsluit gedeelte
AV Prioriteitsstelling

Figuur 7.5/2 Opbouw van het RESA-sigitaal in de beveiligde zone

7.5-17

KOPIE

AT Analoog gedeelte
LT Digitaal gedeelte
RA Afsluit gedeelte
RT Relais gedeelte

Figuur 7.5/3 Opbouw van het RESA-sigitaal in de onbeveiligde zone

7.5-18

KOPIE

7.6 Regelzaal, reserve-regelzaal, lokale bedieningspanelen

7.6.1 Algemeen

De taken met betrekking tot de bedrijfsvoering, in het bijzonder die van de procesbesturing, worden vanuit de regelzaal uitgevoerd.

Van hieruit wordt het procesverloop bewaakt en gestuurd en wordt de communicatie met het personeel en met externe instanties gerealiseerd.

Wanneer de regelzaal niet ter beschikking staat, kan de installatie vanaf een reserve-regelzaal in een veilige toestand worden gebracht en gehouden.

Naast de regelzaal en de reserve-regelzaal zijn er lokale bedieningspanelen en besturingsposities aanwezig voor taken, die uit hoofde van de bedrijfsvoering of de veiligheid, ter plaatse of onafhankelijk van de regelzaal respectievelijk de reserve-regelzaal dienen te worden uitgevoerd.

In het navolgende worden van deze werkplekken de uitgangspunten van het ontwerp alsook de doelstellingen en de technische uitvoering beschreven.

7.6.2 Regelzaal

De regelzaal is uitgerust met de benodigde voorzieningen om met de installatie veilig bedrijf te voeren. Verder kan de installatie vanuit de regelzaal in een veilige toestand gebracht en gehouden worden in geval van storingen en ontwerpongevallen.

De regelzaal en de bijbehorende nevenvertrekken zijn gesitueerd in het schakelgebouw (05) en kunnen slechts via een bewaakte ingang worden betreden.

In de regelzaal bevinden zich de bedienings- en informatievoorzieningen voor het regelen en bewaken van de installatie. Van hieruit vinden, voorzover noodzakelijk, de handmatige besturing, het invoeren van de instelwaarden en de bewaking van het primair systeem, de stoom/waterkringloop, de turbine/generator-set en de eigenbedrijfsinstallaties plaats.

De inrichting van de regelzaal wordt bepaald door de functionele verdeling van de belangrijkste bedrijfsvoeringstaken in vier werkgebieden. Deze vier werkgebieden betreffen:

- (operator)taken ten behoeve van het nucleaire deel van het proces;
- (operator)taken ten behoeve van het conventionele deel van het proces;
- taken van de wachtingenieur;
- taken van de plaatsvervangend wachtingenieur.

De werkgebieden ten behoeve van het nucleaire en het conventionele deel van het proces zijn beide onder te verdelen in een hoofdregelgebied en een systeemregelgebied. De werkgebieden ten behoeve van taken van de wachtingenieur en de plaatsvervangend wachtingenieur zijn opgenomen in het ploegleidings- en communicatiegebied.

7.6-1

KOPIE

Vanuit het hoofdregelgebied wordt de installatie opgestart vanuit de standby-toestand, wordt vermogensbedrijf gevoerd en wordt de installatie uit bedrijf genomen en weer in de standby-toestand gebracht. Het betreft de systemen die vermogensafhankelijk geregeld dienen te worden. De in het hoofdregelgebied benodigde informatie- en bedieningselementen zijn samengebracht op de bedieningslessenaar en de daarbij behorende wandpanelen.

Vanuit het systeemregelgebied worden de functies opstarten, uit bedrijf nemen en bedrijven aangestuurd. Het betreft die systemen van primaire en secundaire zijde, van het eigenbedrijf en van de ventilatie, die niet vermogensafhankelijk dienen te worden geregeld. De in het systeemregelgebied benodigde informatie- en bedieningselementen zijn samengebracht op de bedieningslessenaar.

Naast de genoemde regelgebieden voor taken op het gebied van de bedrijfsvoering, bevindt zich in de regelzaal het reactorbeveiligingspaneel. Dit paneel zorgt ervoor, dat het wachtpersoneel bij storingen en ongevallen te allen tijde de toestand van het reactorbeveiligingssysteem en van de actieve veiligheidsvoorzieningen kan overzien. Alarmmeldingen attenderen het wachtpersoneel op noodzakelijke handmatige maatregelen. De effectiviteit van de maatregelen die op beperking van de gevolgen van ongevallen gericht zijn, wordt met behulp van de ongevalsinstrumentatie aan het wachtpersoneel kenbaar gemaakt.

Bedieningselementen voor het uitvoeren van de periodieke beproevingen bevinden zich op het reactorbeveiligingspaneel.

Aanvullende informatievoorzieningen voor de brandmeldinstallatie, de bewaking van de ruimten alsook voor de bewaking van liften en sluizen, zijn bij de regelzaal ondergebracht.

De communicatievoorzieningen (omroepinstallatie, telecommunicatie-apparatuur etc.) zijn op een paneel van de regelzaal ondergebracht.

Het aanwezige procespresentatiesysteem biedt additionele diagnostische hulpmiddelen om het verloop van het proces te kunnen volgen.

| De energievoorziening van de regelzaal en van de reserve-regelzaal is redundant uitgevoerd in twee strangen, zodat het functioneren gegarandeerd blijft als één voedingsstrang uitvalt.

| 7.6.3 Reserve-regelzaal

| De reserve-regelzaal is uitgerust met de benodigde voorzieningen om de installatie in een veilige toestand te brengen en te houden in het geval dat de regelzaal niet beschikbaar is.

7.6-2

KOPIE

De reserve-regelzaal is ondergebracht in het reserveregelzaalgebouw (35) en bedoeld voor het veilig uit bedrijf nemen van de installatie, wanneer

- de regelzaal niet beschikbaar is;
- het nevenkoelwatersysteem (VF) uitvalt;
- invloeden van buitenaf zich doen gelden.

De reserve-regelzaal is dusdanig uitgerust, dat bij een intacte primaire kringloop van hieruit

- de reactor afgeschakeld, in de koude drukloze toestand gebracht en daarin gehouden en hierbij bewaakt kan worden;
- de vervalwarmte van de in het splijtstofopslagbassin opgeslagen, gebruikte splijtstofelementen kan worden afgevoerd.

De uitrusting van de reserve-regelzaal met bedienings-, informatie- en communicatievoorzieningen komt in principe overeen met die van de regelzaal. De hoeveelheid meet-, regel- en besturingselementen is echter afgestemd op de beperkte taak die vanuit de reserve-regelzaal moet worden uitgevoerd. Stuur- en bewakingssystemen die tijdens normaal bedrijf in de regelzaal en in voorkomende gevallen in de reserve-regelzaal nodig zijn, zijn ten opzichte van elkaar ontkoppeld, zodat zij geen invloed op elkaar kunnen uitoefenen. Hierdoor breidt een eventuele storing in de regelzaal zich niet uit naar de reserve-regelzaal. De ont koppeling van de signalen vindt plaats in de tegen invloeden van buitenaf beveiligde zone van het reserveregelzaalgebouw.

Een onafhankelijk deel van het procespresentatiesysteem biedt additionele diagnostische hulpmiddelen om het verloop van het proces te kunnen volgen.

Om de bediening vanuit de reserve-regelzaal te kunnen laten plaatsvinden, is een omschakeling van de bedieningsplaats nodig. Deze omschakeling kan na een invloed van buitenaf, of wanneer de regelzaal niet meer beschikbaar is, vanuit de reserve-regelzaal tot stand gebracht worden.

7.6.4 Lokale bedieningspanelen

Van lokale bedieningspanelen uit worden tijdens normaal bedrijf en, voorzover noodzakelijk, tijdens storingen en ongevallen bepaalde installatiedelen (hulpinstallaties) geregeld en bewaakt. Dit betreft de bedienings- en bewakingsvoorzieningen, die nodig zijn voor een onafhankelijke lokale bedrijfsvoering van installatiedelen (bijvoorbeeld een verdamperinstallatie, de installatie voor de demineralisatie etc).

De bedieningspanelen zijn uitgevoerd als plaatstalen kasten. In een module in het onderste gedeelte aan de voorzijde, bevinden zich de benodigde bedieningselementen. In het bovenste gedeelte aan de voorzijde zijn de weergave- en registreerinrichtingen geïnstalleerd. Informatie uit installatiedelen die centraal voor het beoordelen van de systemen of van de totale installatie nodig is, wordt ontkoppeld naar de regelzaal c.q. de reserve-regelzaal gestuurd.

7.7 Informatiesystemen

7.7.1 Proces Presentatie Systeem

Het Proces Presentatie Systeem is een redundant opgebouwd computersysteem met protocolleringsuitrusting en met grafische werkstations voor procespresentatie in de regelzaal en de reserve-regelzaal, de technische ondersteuningscentra, de afdeling opleidingen en op die punten in de organisatie die voor analytische doeleinden direct het bedrijfsproces volgen.

Met uitzondering van aansturing van het kogelmeetsysteem (nodig voor bepaling van de lokale neutronenfluxdichtheid in de reactorkern) presenteert de computer gegevens. Er vindt geen sturing en/of regeling plaats. Het kogelmeetsysteem staat onder directe sturing van de computer. Dit systeem heeft echter geen invloed op de bedrijfsvoering.

Alle signalen uit het proces die voor de bediening en de beoordeling van het proces noodzakelijk zijn, zijn op het computersysteem (galvanisch gescheiden) aangesloten. Het merendeel van deze signalen is eveneens op normale meetinstrumenten/signaalvelden weergegeven, zodat er sprake is van een dubbeling.

Het Proces Presentatie Systeem presenteert, afhankelijk van soort en/of belangrijkheid (alarm en/of status) informatie op alarmschermen en beeldplaatjes, diagrammen, grafieken respectievelijk tabellen, welke een afspiegeling vormen van het werkelijke proces. De presentatie vindt plaats zowel in de vorm van een totaal overzichtspaneel (Integrated Plant Status Overview) als op detail(signaal)niveau.

Op elke informatiebron (overzichtsscherm, beeldplaatje etc.) is een matrix aangebracht, die de status van de zogenaamde kritische functies aangeeft. Het niet vervuld zijn van een kritische functie leidt tot een alarm, dat een advies geeft over de te volgen acties voor het herstellen van de betreffende functie (Functie Herstel Procedure).

Naast het presenteren van procesgegevens voert de computer cyclisch berekeningen uit zoals de bepaling van het reactorvermogen, controleert op belangrijke regelingen, beschikbaarheid van componenten en procesdelen, secundaire warmtebalans etc.

Alle aangesloten signalen worden gedurende 48 uur zodanig in het computersysteem opgeslagen dat gegevens teruggehaald kunnen worden voor analyse.

Na de genoemde tijd worden de gegevens op een gegevensdrager vastgelegd en indien noodzakelijk bewaard.

Naast deze methode worden alle signalen eenmaal per 5 minuten opgeslagen gedurende een periode van twee weken. Deze trendmatige informatie is eveneens terughaalbaar. Na deze periode worden de gegevens op een gegevensdrager vastgelegd en bewaard.

7.7-1

KOPIE

Het Proces Presentatie Systeem is een redundant uitgevoerd systeem, werkend volgens een standby redundante configuratie. Bij uitval van een der delen volgt een omschakeling waarbij geen gegevens verloren gaan en waarbij de gebruiker ongehinderd zijn werk kan voortzetten. Verder is het systeem aangesloten op een ononderbroken voeding.

De installatie bevindt zich hoofdzakelijk in de omgevings- en toegangsbewaakte computerruimte en het reserveregelzaalgebouw (35).

7.7.2 Dosimetriesysteem

Ten behoeve van persoonlijke stralingsbescherming wordt de opgelopen dosis in een door de persoon gedragen dosimeter opgeslagen. Deze dosimeters hebben een voor de persoon ingestelde grenswaarde voor maximale dosis en dosistempo. De grenswaarden worden middels een computersysteem in de meters geladen zodra een persoon het gecontroleerd gebied betreedt. Bij verlaten van het gecontroleerd gebied wordt de ontvangen dosis uitgelezen en in het computersysteem opgeslagen en bewaard. De ontvangen dosis wordt in het computersysteem bewerkt waarbij de grenswaarden voor een nieuwe entree tot het gecontroleerd gebied automatisch berekend worden. Naast de berekening van de grenzen worden de wettelijk benodigde gegevens berekend. De historie van opgelopen dosis wordt in het systeem of op gegevensdragers bewaard. Afhankelijk van de bedrijfstoestand worden de gegevens wekelijks (normaal bedrijf) of dagelijks (spleetstofwisselperiode) naar een bevoegde instantie (TNO) gezonden voor vergelijking met de gegevens van de door de overheid verplicht gestelde badges. Deze instantie bepaalt uit de gegevens de wettelijke dosis en zendt deze terug naar de dosimetriecomputer, waar deze wettelijke dosis verwerkt wordt.

Het hierboven omschreven computersysteem bestaat uit een, in een netwerk opgebouwd, modulair systeem van diverse gelijksoortige computers. Middels deze modulariteit worden functies als communicatie, leesstationvoorziening en file-afhandeling gescheiden. Het modulaire systeem bevindt zich in de omgevings- en toegangsbewaakte computerruimte. Het systeem is aangesloten op een ononderbroken voeding.

7.7-2

KOPIE

7.7.3 Toegangscontrolesysteem

Het toegangscontrolesysteem is primair een computersysteem dat de toegang van personen tot bepaalde gebieden (centrale terrein of deel hiervan) bewaakt en registreert. De toegang tot deze gebieden kan tijdsafhankelijk geregeld worden. Het systeem biedt de mogelijkheid om in geval van noodzaak snel te kunnen bepalen welke personen zich nog in aan te geven gebieden bevinden.

Het systeem is opgebouwd uit een centrale computer met bij de registratieposten lokale computers. Bij uitval van de centrale computer is de lokale computer in staat een aantal bewakingen en registraties uit te voeren.

Het centrale computersysteem bevindt zich in de omgevings- en toegangsbewaakte computerruimte en is aangesloten op een ononderbroken voeding.

7.7.4 Chemie Automatiseringssysteem

Ten behoeve van het analyseren, administreren en archiveren van radioactieve en chemische stoffen in de diverse systemen is een Laboratorium Informatie Management Systeem aanwezig. Dit systeem is modulair opgebouwd uit computer/meet-opstellingen en een centrale "server"-computer met een "Local area network". Deze "server"-computer staat opgesteld in een daarvoor aanwezige computerruimte. De centrale "server"-computer slaat de gegevens op van uitgevoerde metingen, zodanig dat diverse metingen aan elkaar gerelateerd kunnen worden.

Het systeem is aangesloten op een ononderbroken voeding.

7.7.5 Telefonisch Oproep Systeem

Het telefonisch oproep (computer)systeem kan na initiatie van het regelzaalpersoneel op efficiënte wijze personeelsleden via telefoon en/of semafoon benaderen met de boodschap dat zij direct contact moeten zoeken met de centrale. Deze boodschap wordt pas aan de personeelsleden doorgegeven als zij zich langs elektronische weg hebben geïdentificeerd.

Alle oproepen worden net zolang herhaald tot de gezochte persoon zich gemeld heeft. Handelingen en identificatie worden geprotocolleerd, zodat het regelzaalpersoneel overzicht kan verkrijgen welke personeelsleden de boodschap hebben ontvangen.

Het computersysteem is opgesteld in de omgevings- en toegangsbewaakte computerruimte en is aangesloten op een ononderbroken voeding.

7.7-3

KOPIE

8	ELEKTROTECHNISCHE INSTALLATIE	8.1-1
8.1	Aansluiting op het net	8.1-1
8.2	Stroomvoorziening voor het eigenbedrijf	8.2-1
8.2.1	Algemeen	8.2-1
8.2.2	6 kv-installaties	8.2-1
8.2.3	Laagspanningsinstallaties	8.2-2
8.2.4	Elektronische besturing	8.2-2
8.2.5	Kabels	8.2-3
8.2.6	Hoogspanningsmotoren	8.2-3
8.2.7	Laagspanningsmotoren	8.2-4
8.2.8	Transformatoren	8.2-4
8.2.8.1	Machinetransformator (AT)	8.2-4
8.2.8.2	Eigenbedrijfstransformator (BT)	8.2-4
8.2.8.3	Starttransformatoren (BS)	8.2-5
8.2.8.4	Laagspanningstransformatoren (CT)	8.2-5
8.2.9.	Doorvoeringen door de veiligheidsomhulling	8.2-5
8.3	Noodstroomvoorziening	8.3-
8.3.1	Algemeen	8.3-1
8.3.2	Dieselininstallaties	8.3-2
8.3.3	Omvormers	8.3-3
8.3.4	Accu's en gelijkrichters voor 220 en 24 v	8.3-3
8.4	Verlichting en huisinstallatie	8.4-1
8.4.1	Normaal net 380 v/220 v, 50 hz	8.4-1
8.4.2	Noodverlichtingsinstallatie	8.4-1
8.4.3	Vluchtwegverlichting	8.4-1
8.5	Aarding en bliksembeveiliging	8.5-1

KOPIE

8 ELEKTROTECHNISCHE INSTALLATIE (figuur 8/1)

In hoofdstuk 8 worden de elektrotechnische installaties beschreven. Allereerst wordt in paragraaf 1 de aansluiting op het net beschreven. Paragraaf 2 geeft een beschrijving van de wijze waarop in de stroomvoorziening voor het eigenbedrijf wordt voorzien. In paragraaf 3 wordt ingegaan op de noodstroomvoorziening. De verlichting en huisinstallatie respectievelijk de aarding en bliksembeveiliging worden in de paragrafen 4 en 5 beschreven.

De elektrische schakeling van de belangrijkste rails en schakelinstallaties is in een overzichtschema afgebeeld (figuur 8/1).

8.1 Aansluiting op het net

De hoofdfuncties van de elektrische systemen van de KCB zijn:

- het afvoeren van de opgewekte elektrische energie naar het net;
- de levering van elektrische energie aan de eigen verbruikers, inclusief noodstroomvoorziening.

Het elektrisch vermogen van de kernenergiecentrale wordt geleverd aan het 150 kV-net. De generator, de eigenbedrijfstransformator (BT) en de machinetransformator (AT) zijn in blok geschakeld; zij zijn door een railkokersysteem met elkaar verbonden. De generator wordt met de 150 kV-schakelaar gesynchroniseerd.

Wanneer de generator geen vermogen levert, bijvoorbeeld bij het opstarten of het afschakelen van de installatie wordt de stroombehoefte voor het eigenbedrijf van het 150 kV-net betrokken via de starttransformatoren (BS01 en BS02). Bovendien is er door middel van een directe ondergrondse verbinding met de naburige kolen/gas-gestookte centrale (CCB) voorzien in een alternatieve voeding van de bedrijfs- en noodstroomnetten van de kernenergiecentrale. Deze voeding heeft twee bronnen namelijk het 150 kV-station en een externe spanningsvoorziening met voldoende betrouwbaarheid en capaciteit.

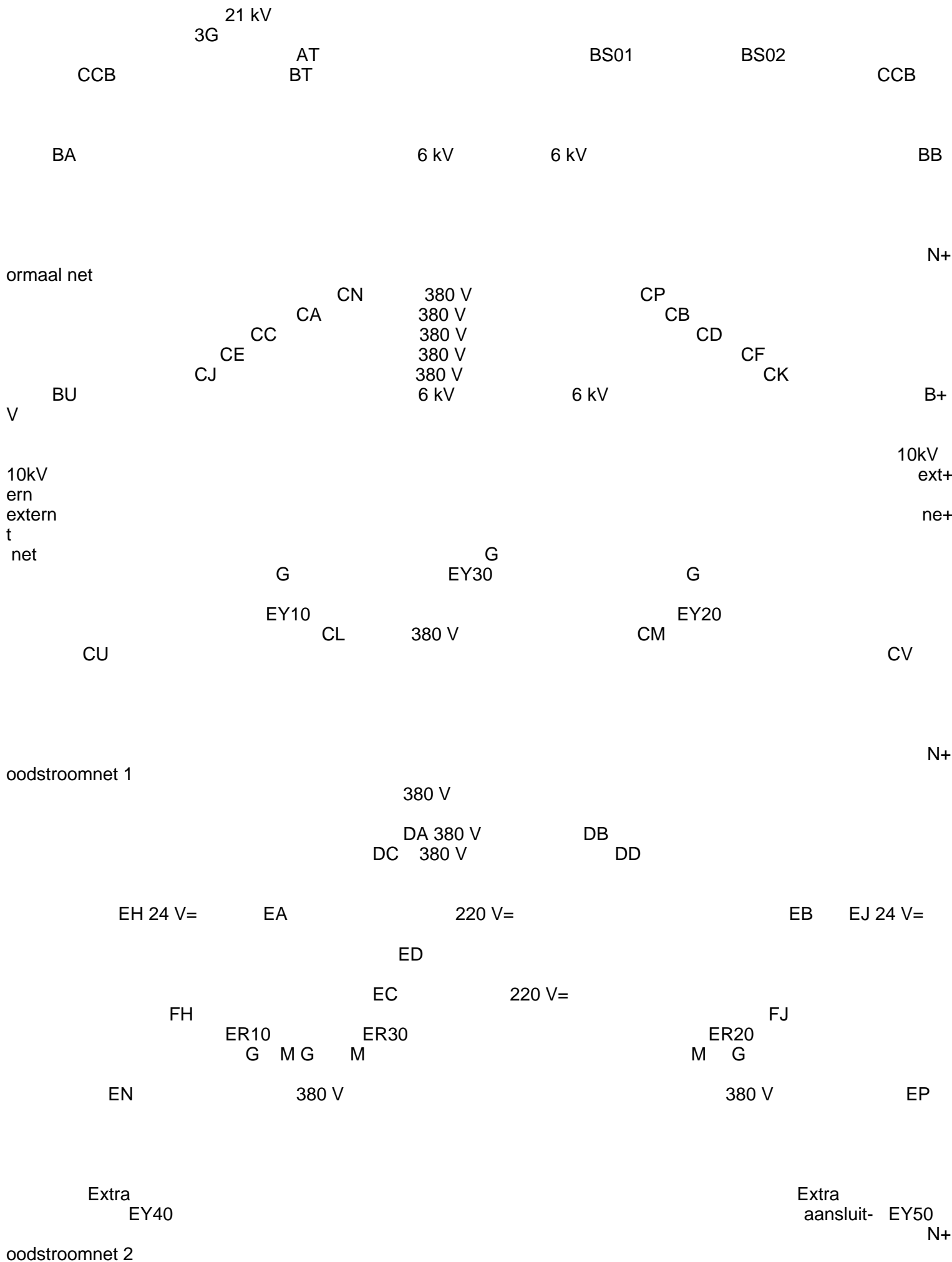
Het 6 kV-net wordt met een vrij sterpunt bedreven, zodat in het geval van een aardlekfout de betreffende aftakking in bedrijf kan blijven. Het 380 V-net is meervoudig geaard met gescheiden veiligheidsaardleiding uitgevoerd.

Bij de kabeltracering tussen de afzonderlijke gebouwen zijn de vermogenskabels en de meet- en regelkabels in afzonderlijke kabelgoten gelegd, waardoor de wederzijdse elektromagnetische beïnvloeding wordt beperkt.

8.1-1

KOPIE

150kVexternnet



aansluit-

punt

G

CY

380 V

punt

380 V

CZ

G

380 V

380 V

X CW

C+

FA 24 V=

FB 24 V=

FC 24 V=

FD 24 V=

Figuur 8/1

Elektrotechnische installaties, - overzicht

8.2 Stroomvoorziening voor het eigenbedrijf

8.2.1 Algemeen

Het stroomvoorzieningsnet voor het eigenbedrijf is over twee rails verdeeld (BA en BB). Het eigenbedrijfsvermogen op een spanningsniveau van 21 kV dat aan de aftakking van de generator beschikbaar is, wordt via de eigenbedrijfstransformator (BT) met drie wikkelingen met een vermogen van 36/20/20 MVA omgezet in 6 kV. Elk van de twee 6 kV-wikkelingen voedt een eigenbedrijfsrail (BA respectievelijk BB).

Bij een niet op volle capaciteit werkende generator, zoals bij het in bedrijf nemen, bij het afschakelen of bij een storing, wordt het eigenbedrijfsvermogen door het 150 kV-net geleverd via de beide starttransformatoren (BS01 en BS02).

Bij uitval van de generatorspanning vindt automatisch omschakelen naar de starttransformatoren plaats door middel van een snelle omschakelaar. Deze laatste bewerkstelligt in het algemeen een nagenoeg ononderbroken spanningsverzorging.

De verbinding met de CCB fungeert als alternatieve voeding voor het eigen bedrijfsnet (bij afgeschakelde reactor).

Wanneer de stroomvoorziening voor het eigenbedrijf op generlei wijze meer beschikbaar is, wordt de voor het uit bedrijf nemen van de installatie benodigde energie betrokken via de noodstroomaggregaten (zie paragraaf 8.3).

8.2.2 6 kV-installaties

De 6 kV-installaties (BA/BB en BU/BV) bestaan uit schakeleenheden die met stalen beplating omsloten zijn. Door compartimentering in een verzamelrailruimte, een schakelruimte, een kabelaanluitingsruimte en een laagspanningsruimte zijn de schakeleenheden onderverdeeld. Hierdoor worden de effecten van vonkontladingsbogen beperkt.

De vermogensschakelaars en de _____ spanningstransformatoren zijn op uitrijdbare schakelwagens geplaatst.

Aan iedere railhelft is een meetveld gekoppeld, dat de noodzakelijke spannings- en aardlekbewakingsapparatuur bevat.

8.2-1

KOPIE

8.2.3 Laagspanningsinstallaties

De 380 V-hoofdverdeelinrichtingen zijn uitgevoerd als laagspanningsverdelers die van een stalen beplating zijn voorzien. De afzonderlijke velden zijn onderverdeeld in uitschuifbare en vast ingebouwde apparatenpanelen.

Ter bescherming is een meervoudige veiligheidsaarding met gescheiden gelegde veiligheidsaardleider toegepast.

De beide rails van elke 380 V-hoofdverdeelinrichting (CN/CP, CA/CB, CC/CD, etc.) worden via motorbediende schakelaars en transformatoren door de bijbehorende helft van de 6 kV-installatie (BA/BB) gevoed. Elk van beide overeenkomstige transformatoren kan de totale stroombehoefte van de op die beide rails (CN/CP, CA/CB, CC/CD, etc.) verzorgen. Bij een spanningsuitval van één van de 6 kV-rails wordt de koppeling door een automatische omschakelaar verbroken en wordt de verbinding met de andere spanningvoerende rail via een koppelschakelaar tot stand gebracht. Uitzonderingen hierop zijn de rails CL en CM, waarvan beide koppelschakelaars met de hand bediend moeten worden.

De voor de afzonderlijke aftakkingen benodigde bewakingsapparatuur en de elektrische sturingen van de motoraandrijvingen zijn in schuifladen ondergebracht. Vergrendelingen voorkomen dat schuifladen met ingeschakelde apparatuur in de verdeelinrichtingen kunnen worden geschoven of daaruit verwijderd kunnen worden.

8.2.4 Elektronische besturing

Voor de bewaking, handbediening op afstand en automatische omschakelingen van de hoog- en laagspanningsapparatuur van de 6 kV-eigenbedrijfs- en noodstroomvoorzieningen is een elektronisch besturingssysteem aanwezig.

De onderdelen van de apparatuur (printplaten) zijn in plaatstalen kasten ondergebracht. Deze kasten zijn door schotten van elkaar gescheiden. De voedingsspanning bedraagt circa 24 V en wordt vanaf gescheiden rails naar elke kast gevoerd via een dubbele stroomingang met ontkoppelingsdiodes.

De automatische 6 kV-omschakelaar is een belangrijk systeemonderdeel binnen de besturing. Hiermee wordt de omschakeling van de stroomvoorziening voor het eigenbedrijf vanaf de starttransformatoren naar de eigenbedrijfstransformator of omgekeerd tot stand gebracht. Deze automatische omschakeling wordt door het reactorbeveiligingssysteem (in het geval van uitval van de generatorspanning) of handmatig vanaf het bedieningspaneel in de regelzaal aangestuurd.

In de 6 kV-installaties wordt iedere aftakking door een overstroomtijdrelais bewaakt; dit zorgt ervoor dat bij overbelasting of kortsluiting het afgaande veld wordt ontkoppeld.

8.2-2

KOPIE

| Alle 380 V-hoofdverdeelinrichtingen (met uitzondering van de rails CL en CM) zijn eveneens voorzien van een automatische omschakelaar, waarmee door het activeren van een koppelschakelaar de verbinding tot stand wordt gebracht tussen de spanningsloze en de spanningsvoerende rail.

Bij de voedingen en koppelingen van de 380 V-hoofdverdeelinrichtingen zorgen overstroomrelais ervoor, dat de ontwerpwaarden niet overschreden worden en dat de automatische schakelaar selectief wordt ingeschakeld als er een storing optreedt.

8.2.5 Kabels

Vermogenskabels zijn voorzien van PVC-isolatie en -buitenmantels. De doorsnede van de aders is voor een zo hoog mogelijke kortsluit- en bedrijfstrom gekozen, waarbij rekening gehouden is met de omgevingstemperatuur en het aantal gebruikte kabels per tracée.

Binnen de veiligheidsomhulling zijn voor de kabels van aandrijvingen, die tijdens en na een ongeval met verlies van koelmiddel moeten blijven functioneren, en de bijhorende meet- en regelkabels isolatie en mantels op siliconenbasis gebruikt. Deze FRNC-kabels (Flame Retardent Non Corrosive) zijn bestand tegen de omstandigheden die kunnen optreden tijdens en na een dergelijk ongeval.

De kabels voor de neutronenflux-instrumentatie zijn in met kunststof geïsoleerde koperen buizen gelegd, waardoor ze effectief beschermd worden tegen externe elektromagnetische storingsvelden.

Voor de veiligheid belangrijke en daarom redundant uitgevoerde elektrische verbruikers worden door ruimtelijk gescheiden schakel- respectievelijk regeltechnische installaties bediend. De voeding geschiedt vanuit gescheiden ruimten, die tot verschillende brandsectoren behoren. Er is ook ruimtelijke scheiding toegepast bij kabelbruggen tussen gebouwen en de kabelkanalen naar het reactorgebouw, of er is voor dit doel gebruik gemaakt van gelijkwaardige brandafscheiding.

8.2.6 Hoogspanningsmotoren

Voor aandrijvingen met een vermogen van meer dan circa 155 kW worden hoogspanningsmotoren gebruikt. Met het oog op de kortsluitbelasting en de nominale stroomsterkte van de hoofdstroomvoedingen van de eigenbedrijfsschakelinstallaties, is gekozen voor een nominale spanning van 6 kV.

8.2-3

KOPIE

Alle hoogspanningsmotoren hebben geïsoleerde statorwikkelingen. Om statische lading ten gevolge van wrijving tegen te gaan, is op het oppervlak van de spoelen aan de groefuitgang een hoogwaardige halfgeleidende laag aangebracht ter beveiliging tegen een corona-ontlading aan de uiteinden.

De isolatie voldoet aan categorie B van de VDE-richtlijn 0530. De wikkelkoppen zijn zodanig versterkt, dat de motoren zonder beperking geschikt zijn voor alle tijdens het bedrijf voorkomende stootbelastingen bij het omschakelen. De motoren zijn gebouwd volgens beschermklasse IP 33.

8.2.7 Laagspanningsmotoren

Als laagspanningsmotoren zijn standaardmotoren van beschermklasse IP 33 toegepast. De wikkelingsisolatie voldoet aan categorie B van de VDE-richtlijn 0530. Aandrijfmotoren die binnen de veiligheidsomhulling gebruikt worden en die bij een eventueel ongeval met verlies van koelmiddel moeten blijven functioneren of in werking moeten treden, zijn conform isolatieklasse H met een verhoogde maximum temperatuur, of met een speciaal isolatiemateriaal uitgevoerd. Dit betekent, dat deze motoren gekwalificeerd zijn voor de dan optredende omgevingscondities.

8.2.8 Transformatoren

8.2.8.1 Machinetransformator (AT)

De machinetransformator (AT) is een draaistroomtransformator met een nominaal vermogen van 570 MVA. Hij moet het koppelnet voeden met de door de generator opgewekte elektrische energie en dient hiervoor het spanningsverschil tussen de generator (21 kV) en het koppelnet (150 kV) te overbruggen.

De hoogspanning van de machinetransformator kan binnen een marge van " 5 % worden aangepast.

Aan de laagspanningszijde is de machinetransformator door middel van doorvoerisolatoren verbonden met de aftakkabels van de generator. De hoogspanningszijde is via condensatordoorvoerisolatoren met het bovengrondse net verbonden. De verlieswarmte wordt via een olie/waterkoelinstallatie afgevoerd.

8.2.8.2 Eigenbedrijfstransformator (BT)

De eigenbedrijfstransformator moet het spanningsverschil overbruggen en het vermogen overbrengen van de generator naar de 6 kV-eigenbedrijfsinstallatie.

Het is een olietransformator met drie wikkelingen met een nominaal vermogen van 36/20/20 MVA. De hoogspanning kan met behulp van een stappenschakelaar in circa 9 stappen tot ongeveer 12 % van de generatorspanning worden aangepast. De doorvoerisolatoren aan hoogspanningszijde zijn van raamflenzen voorzien voor de aansluiting van het fasegescheiden railkokersysteem.

De laagspanning van de transformator bedraagt 2 x 6,3 kV. Beide laagspanningshelften zijn elk via een kabel met een helft van de 6 kV-eigenbedrijfsinstallatie (BA/BB) verbonden.

8.2.8.3 Starttransformatoren (BS)

De beide starttransformatoren BS01 en BS02 hebben elk een vermogen van 20 MVA. Het zijn oliegekoelde transformatoren met een dubbele wikkeling, die 150 kV (" 15 %) omzetten in 6,3 kV.

De stappenschakelaars aan de hoogspanningszijde worden automatisch zo afgesteld, dat de spanning op de eigenbedrijfsrails (BA/BB) constant gehouden wordt.

Als de generator niet beschikbaar is, kunnen de beide starttransformatoren het volledige eigenbedrijfsvermogen vanaf het 150 kV-net naar elk van de 6 kV-eigenbedrijfsrails (BA en BB) verzorgen.

8.2.8.4 Laagspanningstransformatoren (CT)

De laagspanningstransformatoren leveren de voor het eigenbedrijf benodigde 380 V vanaf de 6 kV-eigenbedrijfsrails. Deze transformatoren bevinden zich in gescheiden transformatorruimten in het schakelgebouw (05), met uitzondering van twee transformatoren in het koelwaterinlaatgebouw (21).

De warmteafvoer geschiedt altijd door de eigen koeling van het transformatorhuis. Elke transformator is voorzien van een Buchholzrelais en een temperatuurmeetpunt.

De sterpunten zijn in overeenstemming met het in het laagspanningsnet toegepaste veiligheidsaardingssysteem vast met de aarde verbonden.

8.2.9. Doorvoeringen door de veiligheidsomhulling

Voor de doorvoering van kabels door de veiligheidsomhulling zijn ongevalsbestendige kabeldoorvoerisolatoren van voorgespannen glas toegepast. Deze kabeldoorvoerisolatoren zijn bestand tegen de omgevingscondities die bij een ongeval met verlies van koelmiddel binnen de veiligheidsomhulling kunnen optreden.

8.3 Noodstroomvoorziening

8.3.1 Algemeen

Indien de eigenbedrijfsinstallatie spanningsloos is geworden, worden alle verbruikers die noodzakelijk zijn voor het veilig uit bedrijf nemen en in een veilige toestand houden van de installatie, door de noodstroominstallatie (noodstroomnetten 1 en 2) van spanning voorzien.

Het noodstroomnet 1 is dubbel uitgevoerd en bestaat uit twee onafhankelijke noodstroomrails BU en BV. Deze beide noodstroomrails hebben elk een eigen dieselaggregaat ter beschikking (EY010 respectievelijk EY020). Een reserve dieselaggregaat (EY030) is dusdanig opgesteld dat beide noodstroomrails er door gevoed kunnen worden. Wanneer één van de dieselaggregaten EY010 of EY020 vanwege onderhoudswerkzaamheden niet beschikbaar is of weigert te starten neemt het reserve dieselaggregaat de functie van dit aggregaat over. Vanaf de 6 kV-noodstroomrails BU en BV worden via twee transformatoren van elk 2000 kVA de 380 V-noodstroomrails CU en CV gevoed. Via twee andere transformatoren van elk 800 kVA worden de 380 V-noodstroomrails CL en CM gevoed. De dieselaggregaten worden automatisch gestart wanneer de spanning van de noodstroomrails wegvalt.

De directe verbinding van de naburige kolen-/gasgestookte centrale (CCB) met de 6 kV-eigenbedrijfrails BA respectievelijk BB vormt een alternatieve voeding van de noodstroomvoorziening voor de situatie dat zowel de voeding vanuit het normale net als via de noodstroomdieselaggregaten niet beschikbaar is. Ook zal deze alternatieve voeding gebruikt worden om een langdurig bedrijf van de noodstroomdieselaggregaten te vermijden. De voeding heeft twee mogelijke bronnen namelijk het 150 kV-station en een externe spanningsvoorziening met voldoende betrouwbaarheid en capaciteit.

Het noodstroomnet 2 is eveneens dubbel uitgevoerd en bestaat uit twee onafhankelijke noodstroomrails CW en CX. Deze beide noodstroomrails hebben elk een eigen dieselaggregaat ter beschikking (EY040 respectievelijk EY050). De beide noodstroomrails kunnen worden gevoed vanuit het eigen 6kV-net (vanuit rails BU/BV van noodstroomnet 1), vanuit de dieselaggregaten van noodstroomnet 2 of vanuit het externe 10 kV-net. Tenslotte is elke rail nog voorzien van een extra aansluitpunt voor het aankoppelen van een mobiele noodstroomvoorziening.

Het noodstroomnet 2 is door de situering in het reservesuppletiegebouw beschermd tegen externe invloeden. Alle systemen die na externe invloeden nodig zijn worden daarom door dit noodstroomnet gevoed.

Van elk van beide noodstroomnetten is één rail en één dieselaggregaat voldoende om een redundantie van de veiligheidssystemen gedurende elk ontwerpgeval te voeden.

8.3-1

KOPIE

8.3.2 Dieselininstallaties

De dieselaggregaten EY010 en EY020 van het noodstroomnet 1 zijn met alle hulpsystemen, schakelinstallaties, regelingen en lokale bedieningspanelen in verschillende ruimten ondergebracht in het noodstroomdieselgebouw II (72).

Het reserve dieselaggregaat EY030, dat EY010 of EY020 kan vervangen, bevindt zich in het noodstroomdieselgebouw I (10).

De generatoren van de dieselaggregaten EY010, EY020 en EY030 zijn borstelloze synchroongeneratoren. Zij worden aangedreven door snellopende, watergekoelde viertakdieselmotoren, die met behulp van druklucht gestart worden. Elk aggregaat heeft voor de brandstofvoorziening een eigen dagtank en voorraadtank. Bij de dieselaggregaten EY010 en EY020 wordt de afvalwarmte via de bijbehorende ventilatorkoelers aan de buitenlucht afgegeven. De afvalwarmte van aggregaat EY030 wordt aan het nood- en nevenkoelwatersysteem (VF) afgegeven.

Elk dieselaggregaat beschikt over de benodigde metingen, gevaarmeldingen en beveiligingen. Verder beschikt ieder aggregaat over een lokaal bedieningspaneel. Deze bedieningspanelen zijn ruimtelijk gescheiden van de dieselaggregaten opgesteld. Vanaf deze panelen kunnen de aggregaten handmatig worden bediend onder andere ten behoeve van uit te voeren beproevingen.

Het door elk noodstroomdieselaggregaat geleverde vermogen van 4600 kVA voorziet ruimschoots in de maximaal te verwachten behoefte (circa 3500 kVA).

De dieselaggregaten EY040 en EY050 van het noodstroomnet 2 zijn in verschillende ruimten ondergebracht in het reservesuppletiegebouw (33). Met het door hen opgewekte vermogen worden de pompen van het reservesuppletiesysteem (RS), het primaire suppletiesysteem (TW), het reservenkoelwatersysteem (TE), het reservenoodkoelwatersysteem (VE) en de veiligheidsmeet- en regelsystemen van energie voorzien.

Het door elk noodstroomdieselaggregaat geleverde vermogen van 1780 kVA dekt ruimschoots de maximaal te verwachten behoefte (circa 650 kVA).

8.3-2

KOPIE

8.3.3 Omvormers

De roterende omvormers (ER010, ER020, ER030) voorzien de 380 V-rails EN en EP van spanning. Op deze rails zijn componenten aangesloten die te allen tijde bedienbaar moeten zijn. De beide rails EN en EP hebben elk een eigen omvormer (ER010 respectievelijk ER020). De reserveomvormer ER030 is dusdanig opgesteld dat zowel rail EN als rail EP er door gevoed kan worden, wanneer één van de omvormers ER010 of ER020 niet beschikbaar is. De omvormers ER010 en ER020 zijn met hun besturing in verschillende ruimten van het noodstroomdieselgebouw II (72) ondergebracht. De reserveomvormer ER030 bevindt zich in het schakelgebouw (05). Elke omvormer bestaat uit een 220 V-gelijkstroommotor, die een borstelloze 400 V-draaistroomsynchroongenerator aandrijft. Om de opgewekte spanning en frequentie constant te houden, heeft elke omvormer een spannings- respectievelijk frequentieregeling.

Elke omvormer is uitgevoerd met een eigen synchroniseerapparaat zodat onderbrekingsloos met de omvormers kan worden geschakeld.

8.3.4 Accu's en gelijkrichters voor 220 en 24 V

De gelijkstroommotoren van de generatoren werken op 220 V gelijkstroom. Deze wordt via de laadapparaten met gelijkrichters in parallelbedrijf met loodaccu's opgewekt en aan de 220 V-gelijkstroomrails EA en EB geleverd. Dit is ook het geval bij de 24 V-gelijkstroomrails EH en EJ ten behoeve van de veiligheidsmeet- en regelsystemen en de elektronische besturingssystemen.

De 24 V-voeding van de veiligheidsmeet- en regelsystemen in het reserve suppletiegebouw (33) en het reserveregelzaalgebouw (35) (FA, FB, FC en FD) is over twee redundante systemen verdeeld, elk voorzien van twee gelijkrichters met accu's, die kruislings vanaf CY of CZ kunnen worden gevoed. Hierdoor komt de 24 V-stroomvoorziening van de veiligheidsmeet- en regelsystemen niet in gevaar, ook niet als één van de twee 380 V-rails, CY respectievelijk CZ, uitvalt.

Wanneer de netspanning beschikbaar is, verzorgt het laadapparaat de verbruikersstroom van dat ogenblik en levert tegelijkertijd de laadstroom voor de bijbehorende accu aan. Daardoor beschikt elke accu steeds over zijn volle vermogen zodat bij een ontlaadtijd van tenminste 2 uur de minimaal vereiste voedingsspanning van de verbruikers niet onderschreden wordt.

8.3-3

KOPIE

8.4 Verlichting en huisinstallatie

Voor de verlichting en de huisinstallatie zijn stroomvoorzieningen aanwezig.

8.4.1 Normaal net 380 V/220 V, 50 Hz

De verlichtingsverdeelinrichting bestaat uit de twee railsecties CN en CP, die via twee 630 kVA-transformatoren vanaf de 6 kV-schakelinstallatie (BA, BB) gevoed wordt. Het normale verlichtingsnet wordt hierdoor van stroom voorzien.

Tijdens normaal bedrijf staat de koppelschakelaar open. Als een voedingrail uitvalt of uitgeschakeld moet worden, kan het gehele verlichtingsnet met gesloten koppelschakelaar via de actieve railsectie verder van spanning worden voorzien, aangezien elke transformator berekend is op het totaal benodigde vermogen.

8.4.2 Noodverlichtingsinstallatie

De noodverlichtingsinstallatie vormt één geheel met het normale verlichtingssysteem, met dien verstande dat een deel van de lichtverdeelkasten op de noodstroomrails is aangesloten. Hierdoor is de voeding verzekerd van lichtpunten en wandcontactdozen, die bij het volledig uitvallen van het normale net zowel voor het bedrijf en de bewaking als voor de veiligheid noodzakelijk zijn, zoals bijvoorbeeld de wandcontactdozen voor de activiteitsmeetapparatuur of de verlichting van de lokale bedieningspanelen. Ook de regelzaalverlichting is op de noodstroomrails aangesloten.

Het noodverlichtingsnet wordt gevoed vanaf de noodstroomrails. Dit zijn voor het reservesuppletiegebouw (33) en het reserveregelzaalgebouw (35) de rails CW/CX en voor de andere gebouwen CU/CV.

8.4.3 Vluchtwegverlichting

De stroomvoorziening van het vluchtwegverlichtingsnet van de KCB geschiedt via de ononderbroken (no-break) 380 V-schakelinstallaties vanaf de rails EN/EP en CY/CZ. Deze rails kunnen gevoed worden door accu's met een ontladingstijd van tenminste 2 uur. De ononderbroken verlichting van de vluchtroutes is hierdoor ook bij het volledig wegvallen van het normale net verzekerd.

8.4-1

KOPIE

8.5 Aarding en bliksembeveiliging (figuur 8.5/1)

Bedrijfsaarding

De gebouwen van de kernenergiecentrale zijn voorzien van een binnenaarding die is verbonden met aardingspunten. Alle te aarden onderdelen zijn op deze binnenaarding aangesloten.

Het 6 kV-net en het generatorsterpunt zijn niet geaard. Hierdoor wordt voorkomen dat bij een 1-fase aardsluiting een kortsluiting ontstaat. Het 380 V-net heeft wel een nulaarde, omdat dit net asymmetrisch belast wordt.

Bliksembeveiliging

De gebouwen van de kernenergiecentrale zijn voorzien van bliksemafleiding die is gekoppeld aan de aardingspunten.

Bovendien zijn de belangrijkste gebouwen voorzien van bliksemafscherming door het wapeningsstaal in de daken en wanden op regelmatige afstanden volledig door te lassen. Hierdoor ontstaan zogenaamde "kooien van Faraday", die zijn verbonden met de aardingspunten. Ook rond ondergrondse kabels is een kooi van Faraday aangebracht.

Het bovenstaande is schematisch weergegeven in figuur 8.5/1.

8.5-1

KOPIE

- 01/02 Reactorgebouw
- 03 Reactorhulpgebouw
- 04 Machinegebouw
- 05 Schakelgebouw
- 06 Dienstgebouw
- 10 Noodstroomdieselgebouw I
- 33 Reservesuppletiegebouw
- 35 Reserveregelzaalgebouw
- 72 Noodstroomdieselgebouw II

Figuur 8.5/1 Aarding en bliksembeveiliging
- Pricipeschema -
8.5-2

KOPIE

Veiligheidsrapport
Kernenergie-eenheid centrale Borssele

1993

BAND 2

Oorspronkelijk opgesteld door: N.V. KEMA
Siemens / KWU

Revisie verzorgd door: NRG / EPZ

In opdracht van: N.V. EPZ

VR-KCB93, Rev. 6

Gecontroleerd: Datum: Goedgekeurd: Datum:

K O P I E

Revisie overzichten

Band 2

Revisie-overzicht revisie 6 (juni 2010)

De wijzigingen zijn door middel van arceringen gemarkeerd.

Paragraaf	blz.
	Titelblad
9.1.1	9.1-1
9.1.2	9.1-2
9.1.4	9.1-5
9.3.2	9.3-5 t/m 9.3-6
	Inhoudsopgave H11
11.1	11.1-1 t/m 11.1-4
11.1.2	11.1-5 t/m 11.1-7
11.1.3	11.1-8
11.2.3	11.2-3 t/m 11.2-4
11.3.3	11.3-4 t/m 11.3-5
11.4.3	11.4-2
11.5	11.5-1 t/m 11.5-2
12.2	12.2-1
12.5.1	12.5-2 t/m 12.5-3
12.5.2	12.5-4
13.2-2	13.2-3, 13.2-4
13.2-4	13.2-5
14.2.1	14.2-1
	Inhoudsopgave H15
H15	15.1-1, 15.1-2
15.1.2	15.1-192
15.1.2	15.1-19
15.2.1	15.2-1 t/m 15.2-2
15.2.2	15.2-3
15.2.3	15.2-4 t/m 15.2-8
15.2.4	15.2-9
15.2.4	15.2-14 t/m 15.2-16
15.2.5	15.2-17 t/m 15.2-21
15.2.6	15.2-22
15.2.6	15.2-26 t/m 15.2-28
15.2.7	15.2-29
15.2.7	15.2-32 t/m 15.2-33
15.2.8	15.2-34 t/m 15.2-40
15.2.9	15.2-41 t/m 15.2-45
15.2.10	15.2-46
15.2.10	15.2-49 t/m 15.2-50
15.2.11	15.2-51
15.2.11	15.2-54

K O P I E

15.2.12 15.2-55
15.2.12 15.2-59 t/m 15.2-62
15.2.13 15.2-63 t/m 15.2-67
15.2.14 15.2-68 t/m 15.2-74
15.2.15 15.2-75 t/m 15.2-80
15.2.16 15.2-81 t/m 15.2-83
15.2.17 15.2-84 t/m 15.2-88
15.3.2 15.3.2 t/m 15.3.4
15.3.3 15.3.5
15.3.4 15.3-5 t/m 15.3-15
15.3.5 15.3-16
15.3.6 15.3-17
15.3.7 15.3-17 t/m 15.3-52
15.3.8 15.3-53 t/m 15.3-54
15.3.9 15.3-55

KOPIE

Revisie-overzicht revisie 5 (juli 2005)

De wijzigingen zijn door middel van arceringen gemarkeerd.

Paragraaf	Blz.
-	Titelblad
9.1	9.1-3
	9.1-6
	9.1-7
9.4	9.4-5
20	Inhoudsopgave
20.4.2	20.4-3
20.4.7	20.4-10
20.4.8	20.4-11
20.4.9	20.4-12

K O P I E

Revisie-overzicht revisie 4(februari 2004)

De wijzigingen zijn door middel van arceringen gemarkeerd.

Paragraaf	Blz.
-	Titelblad
9.1.2	9.1-2
11.1.1	11.1-2 t/m 11.1-4
11.7	11.7-1
12.2	12.2-1
12.3.1	12.3-2
12.3.1	12.3-3
12.5.2	12.5-3
12.5.2	12.5-4
15.2-12	15.2-65 t/m 15.2-68
15.2-16	15.2-85 t/m 15.2-89
15.3	15.3-1 t/m 15.3-53
20.4.2	20.4-3

K O P I E

BAND 2

Revisie-overzicht revisie 3(2002)

De wijzigingen zijn door middel van renvooi gemarkeerd.

Paragraaf	Bladzijde
13	Inhoud
13	13.1-2
13.1	13.1-2
13.1.1	13.1-2
13.1.1.1	13.1-2
13.1.1.2	13.1-3
13.1.1.3	13.1-4
13.1.2	13.1-4
13.1.3	13.1-5
13.1.4	13.1-5

K O P I E

BAND 2

Revisie-overzicht revisie 2(1997)

De wijzigingen zijn door middel van renvooi gemarkeerd.

Paragraaf	Bladzijde
-	titelbald
11.1	
13.1	
14.1-1	

K O P I E

9	BEDRIJFS- EN HULPSYSTEMEN	9.1-1
9.1	Het opslaan en hanteren van splijstofelementen	9.1-1
9.1.1	Opslag van nieuwe splijstofelementen	9.1-1
9.1.2	Opslag van gebruikte splijstofelementen	9.1-2
9.1.3	Splijstofopslagbassinkoelsysteem (TG)	9.1-3
9.1.4	Het hanteren van splijstofelementen	9.1-4
9.2	Koelwatersystemen	9.2-1
9.2.1	Hoofdcoolwatersysteem (VC)	9.2-1
9.2.2	Nood- en nevencoolwatersysteem (VF)	9.2-4
9.2.3	Nucleair tussencoolwatersysteem (TF)	9.2-7
9.3	Procestechnische hulpsystemen	9.3-1
9.3.1	Volumeregelsysteem (TA)	9.3-1
9.3.2	Nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB)	9.3-5
9.3.3	Hoofdcoolmiddelreinigings- en ontgassingssysteem (TC)	9.3-8
9.3.4	Hoofdcoolmiddelopslag- en -regeneratiesysteem (TD)	9.3-11
9.3.5	Water- en stoomverzorgingssysteem (TN)	9.3-14
9.3.6	Persluchtsysteem (TP 5-8)	9.3-14
9.3.7	Monsternamesysteem (tv)	9.3-15
9.3.8	Installatieontwaterings- en ontluchtingssysteem (TV)	9.3-15
9.3.9	Nucleair gebouwontwateringssysteem (TZ)	9.3-16
9.3.10	Deminwateraanmaak- en suppletiesysteem (UA, RZ)	9.3-16
9.4	Ventilatiesystemen	9.4-1
9.4.1	Nucleair ventilatiesysteem (TL)	9.4-1
9.4.2	Koelsysteem van het biologisch schild (TM)	9.4-3
9.5	Overige hulpsystemen	9.5-1
9.5.1	Brandblussysteem	9.5-1
9.5.2	Telefoon- en alarminstallaties	9.5-2

K O P I E

9 BEDRIJFS- EN HULPSYSTEMEN

In hoofdstuk 9 wordt een beschrijving gegeven van de bedrijfs- en hulpsystemen. In paragraaf 1 worden de installaties voor het opslaan en hanteren van splijtstofelementen beschreven. Het hoofdkoelwatersysteem, het nood- en nevenkoelwatersysteem en het nucleaire tussenkoelwatersysteem worden in paragraaf 2 besproken. In paragraaf 3 worden procestechnische hulpsystemen, zoals bijvoorbeeld het volumeregelsysteem en het nucleair chemicaliëndoseersysteem beschreven.

De ventilatiesystemen worden in paragraaf 4 behandeld. In de laatste paragraaf worden de overige hulpsystemen zoals onder andere het brandblussysteem besproken.

9.1 Het opslaan en hanteren van splijtstofelementen

9.1.1 Opslag van nieuwe splijtstofelementen

Nieuwe splijtstofelementen worden in principe bij aankomst in de centrale in het splijtstofopslagbassin (SOB, zie paragraaf 9.1.2) geplaatst. De afstand tussen de splijtstofelementen in het SOB is zo gekozen, dat zelfs wanneer alle plaatsen bezet zijn door nieuwe splijtstofelementen, en het water in het bassin ongeboreerd is, ondercriticaliteit gewaarborgd is (keff # 0,95). Normaal is het water geboreerd en is slechts een gedeelte van de beschikbare plaatsen daadwerkelijk door nieuwe splijtstofelementen bezet, zodat in feite de vermenigvuldigingsfactor aanzienlijk lager is.

Ook bestaat de mogelijkheid de nieuwe uranium splijtstofelementen droog op te slaan in een daarvoor geschikte ruimte in het reactorhulpgebouw (03). Deze ruimte is tegen overstroming beveiligd en de opslagrekken zijn zo geconstrueerd, dat zelfs als de splijtstofelementen onder water komen te staan geen criticaliteit kan optreden. Zolang de behoefte aan het droog opslaan van splijtstofelementen niet bestaat, wordt deze ruimte als uitbreiding van de "hete" werkplaats gebruikt ("heet" wil zeggen geschikt voor werkzaamheden aan mogelijk besmette of geactiveerde onderdelen).

Teneinde het aantal handelingen met nieuwe splijtstofelementen zo beperkt mogelijk te houden worden ze normaal in het SOB opgeslagen.

9.1-1

K O P I E

9.1.2 Opslag van gebruikte splijstofelementen

Gebruikte splijstofelementen worden in het SOB bewaard totdat ze afgevoerd worden uit de centrale. Het SOB bevindt zich binnen de veiligheidsomhulling en is zo verbonden met het reactorbassin, dat de splijstofwisselmachine zowel boven het SOB als het reactorbassin kan komen. De bekleding van het SOB en het reactorbassin bestaat uit roestvaste stalen platen. De bekleding kan gecontroleerd worden op lekkage met behulp van het installatieontwaterings- en ontluchtingsstelsel (TY). Het geboreerde water in het SOB dient om de gebruikte splijstofelementen te koelen. Verder dient het ter afscherming van de ioniserende straling van de gebruikte splijstofelementen en eventueel in het bassin opgeslagen geactiveerde of besmette constructiedelen.

De opening die het SOB met het reactorbassin verbindt is door een stalen schuif en betonnen afschermibalken afgesloten wanneer de reactor in bedrijf is. Via deze opening kunnen de splijstofelementen onder water verplaatst worden. Deze opening is voorzien van een drempel die zo hoog is dat ook in het geval van lekkage de stalen schuif of lekkage van het primair stelsel tijdens de splijstofwisseling de splijstofelementen onder water blijven staan zodat de koeling gewaarborgd blijft. Het reactorbassin wordt gevuld met geboreerd water uit de kerninundatievoorraadtanks met behulp van de kerninundatiepompen (TJ) voordat een splijstofwisseling plaats vindt. Op deze wijze wordt de noodzakelijke afscherming tijdens het transport van de splijstofelementen van de reactor naar het SOB verzorgd.

In het SOB bevinden zich compactrekken waarin het vergunde totaal van 500 splijstofelementen kan worden opgeslagen. Deze rekken zijn voorzien van neutronenabsorberend materiaal tussen de posities waar de elementen staan. Tevens zijn een aantal opslagposities afgesloten, volgens een bepaald patroon. De combinatie van deze twee voorzieningen garandeert onder alle omstandigheden de vereiste onderkriticaliteit bij belading met ENU-, (c-)ERU- en/of MOX-splijstofelementen. Tot de opslagrekken behoren ook de 15 posities in een demonteerbare stelling; ter plaatse van deze stelling kan in de periode tussen de splijstofwisselingen de transportcontainer voor de afvoer van splijstofelementen geplaatst worden.

Naast opslagrekken is er ook plaats aanwezig voor de opslag van de aandrijfstukken van de regelementen. Tevens zijn er voorzieningen aanwezig voor het inspecteren en voor het uitvoeren van kleine reparaties aan eventuele defecte splijstofelementen, evenals apparatuur voor het uitvoeren van controles om eventuele lekkage van splijstofstaven te bepalen.

9.1-2

K O P I E

9.1.3 Spleijstofopslagbassinkoelsysteem (TG) (tabel 9.1/1, figuur 9.1/1)

Het SOB moet ongeacht het al of niet in bedrijf zijn van de reactor te allen tijde gekoeld worden om de afvoer van vervalwarmte van de gebruikte spleijstofelementen uit het bassin te bewerkstelligen. De spleijstofelementen bevinden zich zover onder de waterspiegel van het geboreerde water, dat het dosistempo aan de rand van het bassin ruim onder de maximaal toegestane waarde blijft. Om het SOB te koelen heeft men de beschikking over het spleijstofopslagbassinkoelsysteem (TG). Tijdens normaal bedrijf geeft het TG-systeem de warmte af aan het nucleaire tussenkoelwatersysteem (TF). Als dit niet beschikbaar is, bijvoorbeeld bij langdurige uitval van het nood- en nevenkoelwatersysteem (VF), wordt de warmte via het reservebassinkoelsysteem (TG080) naar het reservekoelwatersysteem (VE) afgevoerd.

Daarnaast heeft het TG-systeem ook tot taak het water van het SOB en indien nodig het water van het reactorbassin naar de filterinstallatie te voeren. Hier worden vaste en ionogene verontreinigingen verwijderd zodat het zicht tijdens het wisselen van de spleijstofelementen zo min mogelijk belemmerd wordt. In geval van radioactieve verontreinigingen leidt bovengenoemde reiniging tot een verlaging van het stralingsniveau aan de rand van de bassins.

Het TG-systeem is zo ontworpen dat bij normaal bedrijf één pomp en één koeler voldoende zijn om de warmte-afvoer te verzorgen; een tweede pomp en koeler zijn als reserve aanwezig. De capaciteit van beide koelers en twee pompen samen is voldoende om tijdens een spleijstofwisseling de warmte van een totale kernlading en alle op dat moment in het opslagbassin aanwezige spleijstofelementen af te voeren. Een derde pomp, die op beide koelers kan worden geschakeld, kan worden ingezet bij uitval van een pomp tijdens de spleijstofwisseling. Deze derde pomp dient als onderhoudsreserve.

Met één beschikbare pomp tijdens een spleijstofwisseling kan de warmte via de overgebleven strang worden afgevoerd. Dit gaat gepaard met een hogere temperatuur van het water in het bassin. Om een te hoge temperatuur van het water in het bassin te voorkomen, moeten dan minder belangrijke verbruikers van de betreffende kringloop van het nucleair tussenkoelwatersysteem (TF), zoals bijvoorbeeld de warmtewisselaars van het hoofdkoelmiddelopslag- en regeneratiesysteem (TD) en het radioactief afvalwatersysteem (TR), worden uitgeschakeld.

Eén van de TG-pompen wordt gevoed door het noodstroomnet 1. Twee pompen worden door het noodstroomnet 2 gevoed zodat ook na invloeden van buitenaf de koeling via het reservekoelwatersysteem (VE) is gewaarborgd.

Het SOB wordt van beneden naar boven doorstroomt. De pomp van de bassinkoelkringloop zuigt het verwarmde water aan via de overloopranden, perst het door de bassinkoeler en voert het weer onder in het bassin terug, waarbij een gedeelte van de stroom door de filterinstallatie gereinigd wordt. De te reinigen stroom kan naar keuze eveneens via de overloopgoot of via speciale reinigungsansluitingen in het SOB en het reactorbassin worden aangezogen.

Hierdoor is een gerichte reiniging (bijvoorbeeld met behulp van slangen) mogelijk. De terugvoer hiervan kan naar keuze naar de bassinkoelkringloop of naar de sproeileidingen plaatsvinden. Vooral bij een daling van de waterspiegel worden door de sproeileidingen de bassinwanden nat gehouden om zo het ontsnappen van radioactieve aërosolen en het door droging vasthechten van radioactieve stoffen te voorkomen.

Alle aansluitingen van het SOB zijn zo geplaatst, dat bij een lekkage in het daarop aansluitende leidingsysteem de minimaal vereiste waterhoogte boven de elementen in stand wordt gehouden en het dosistempo in het gebied rondom het SOB beneden de toegestane waarde blijft. Een beluchtungsleiding met terugslagklep beveiligt de naar het onderste deel van het SOB voerende leiding. Zo wordt voorkomen dat bij een lekkage van de leiding buiten het SOB door hevelwerking het bassin leegloopt.

9.1.4 Het hanteren van splijstofelementen

Bij het hanteren van splijstofelementen worden de volgende taken onderscheiden:

- het bij aankomst uit de transportcontainers overnemen van nieuwe splijstof- en regelementen, deze in de centrale vervoeren en opslaan voor later gebruik;
- het voorzien van de reactorkern van nieuwe splijstof- en regelementen, het verplaatsen van splijstofelementen in de kern en het verwijderen van splijstof- en regelementen uit de kern;
- het transporteren van gebruikte splijstofelementen, regelementen en aandrijfstukken van regelementen van de reactorkern naar het SOB en het daar opslaan voor verder transport;
- het omzetten van regelementen en smoolementen uit gebruikte splijstofelementen naar nieuwe en gebruikte splijstofelementen;
- het plaatsen van gebruikte splijstofelementen in een transportcontainer in het SOB (voor verder transport, zie paragraaf 11.7);
- het inspecteren en repareren van splijstof- en regelementen.

In principe worden deze taken door de volgende installaties uitgevoerd:

- splijstofwisselmachine;
- koppelingsgereedschap;
- hefwerktuig voor de bovenste kernondersteuning;
- hulpstuk voor het los/vast draaien van de bouten van het reactorvat;
- polaire kraan in het reactorgebouw;
- overslagstation.

9.1-4

K O P I E

Splijstofwisseling

Voordat begonnen wordt met het hanteren van de elementen is gecontroleerd of de benodigde apparatuur en installaties naar behoren functioneren. Bij de splijstofwisseling dient de installatie zich in de volgende toestand te bevinden:

- de reactor is afgeschakeld;
- het primair systeem is drukloos en in de koude toestand;
- de borium (B10)¹concentratie in het primair systeem heeft de vereiste waarde;
- de stroomvoorziening van de regelstaafaandrijvingen is uitgeschakeld;
- de waterstand is gezakt tot het midden van de aansluitpompen van het reactorvat;
- het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) is in bedrijf;
- de kerninundatievoorradetanks zijn met geboreerd water gevuld;
- het volumeregelsysteem (TA) en het nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB) zijn gereed voor bedrijf;
- de nieuwe splijstofelementen staan gereed in het SOB.

Tijdens de splijstofwisseling wordt de boorzuurconcentratie² in het primair systeem continu gecontroleerd evenals de radioactiviteit van de lucht in het reactorgebouw en de stralingsbelasting voor het personeel.

De belangrijkste onderdelen van de procedure bij de splijstofwisseling zijn achtereenvolgens:

- verwijderen van de afdekbalken en demontage van de kabelbrug;
- losdraaien van alle bouten van het reactorvat;
- loskoppelen van de bekabeling;
- demontage van het deksel van het reactorvat;
- vullen van het reactorbassin en openen van de verbinding met het SOB;
- loskoppelen van de aandrijfstukken van de regelementen
- plaatsen van het hefwerktuig en optrekken van de bovenste kernondersteuning;
- verwijderen van splijstofelementen uit het reactorvat en plaatsen in het SOB;
- vervangen en van plaats verwisselen van splijstofelementen, regelementen en smoolementen volgens een vooraf vastgesteld beladingsplan;
- terugplaatsen van de bovenste kernondersteuning en demonteren van het hefwerktuig;
- koppelen van aandrijfstukken en regelementen;
- afsluiten van de verbinding tussen reactorbassin en SOB en het verlagen van het waterniveau in het reactorbassin;
- terugplaatsen van het deksel van reactorvat;
- aandraaien van de bouten van het reactorvat;
- aankoppelen van de bekabeling;
- terugplaatsen van de kabelbrug en aansluiten van alle toevoerleidingen;
- functionele beproeving van de regelstaafaandrijvingen door het in en uit bedrijf nemen van de afzonderlijke regelementen;
- vullen en ontluichten van het primair systeem (druktest)
- terugplaatsen van de afdekbalken.

9.1-5

1

Bij het gebruik van MOX als splijstof wordt verrijkt borium gebruikt om de vereiste waarde te bereiken

2

Gerelateerd aan de B10 concentratie

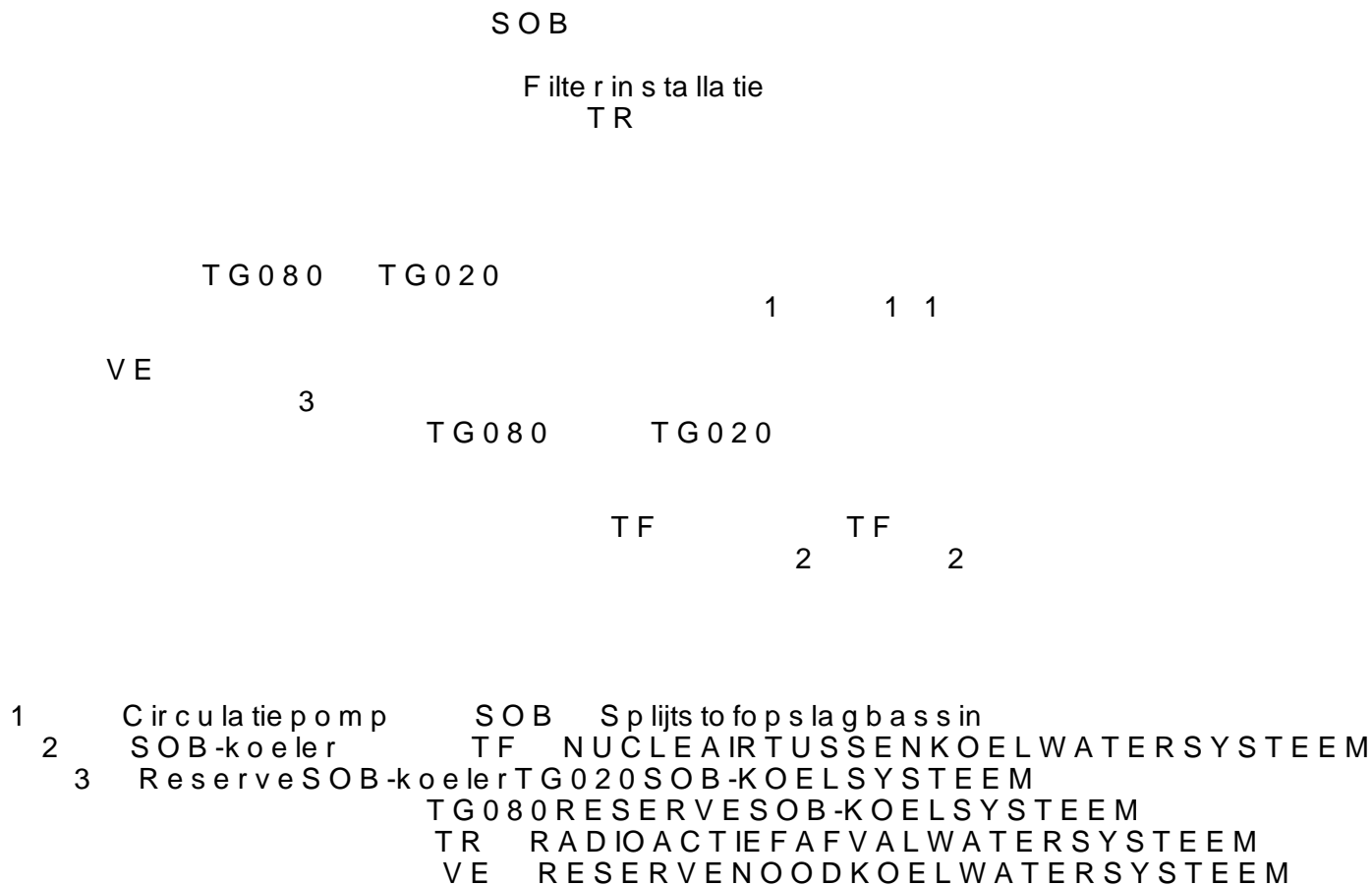
K O P I E

Tabel 9.1/1 Splitsstofopslagbassinkoelsysteem (TG)

Circulatiepomp				
aantal	3			
persdruk	circa 3,4	bar		
debiet	circa 230	m ³ /h		
SOB-koeler				
aantal	2			
warmteafvoercapaciteit	circa 3,3	MW		
reserve-SOB-koeler				
aantal	1			
warmteafvoercapaciteit	circa 5,2	MW		

9.1-6

K O P I E



Figuur 9.1/1 Splijtstofopslagbassin TG
- principeschema -

9.2 KOELWATERSYSTEMEN

9.2.1 Hoofdkoelwatersysteem (VC) (tabel 9.2.1/1; figuur 9.2.1/1)

In de condensors wordt de stoom afkomstig van de turbine gecondenseerd tot water. De condensatiewarmte van de afgewerkte stoom wordt voor een belangrijk deel door het hoofdkoelwater afgevoerd naar de Westerschelde. Daartoe wordt het uit de Westerschelde afkomstige koelwater via een koelwatertoevoer naar het koelwaterinlaatgebouw geleid. In het koelwaterinlaatgebouw wordt het in drie parallelle strangen door twee achter elkaar geschakelde trappen mechanisch gereinigd.

Na de reinigingstrappen wordt het koelwater via een dwarskanaal naar de hoofdkoelwaterpompen geleid. Van de vijf opgestelde hoofdkoelwaterpompen hebben drie tot taak de drie turbinecondensors te voeden. De overige twee verzorgen de koeling van de CCB maar kunnen indien noodzakelijk via een normaal gesloten verbinding de KCB van koelwater voorzien.

Het hoofdkoelwater wordt na de condensors in een verzamelbassin opgevangen en stroomt vandaar via een drempel door de koelwaterafvoer in de Westerschelde terug.

Het gehele hoofdkoelwatersysteem is tussen het koelwaterinlaatgebouw en de koelwaterafvoer als een gesloten systeem uitgevoerd.

9.2-1

K O P I E

Tabel 9.2.1/1 Hoofdcoolwatersysteem (VC)

Hoofdcoolwaterpompen

Aantal	KCB	3
	CCB	2
Debiet (3 pompen in bedrijf)	KCB	circa 63.000 m ³ /h

9.2-2

K O P I E

Figuur 9.2.1/1 Hoofdkoelwatersysteem VC
- principeschema -

9.2-3

K O P I E

9.2.2 Nood- en nevenkoelwatersysteem (VF) (tabel 9.2.2/1; figuur 9.2.2/1)

Het nood- en nevenkoelwatersysteem (VF) vormt de laatste schakel in de voor de veiligheid belangrijke nakoelketen. Deze nakoelketen bestaat uit het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ), het nucleair tussenkoelwatersysteem (TF) en het nood- en nevenkoelwatersysteem.

Het VF-systeem heeft tot taak de warmte op te nemen en af te voeren van een groot aantal koelers in het conventionele en het nucleaire gedeelte van de kernenergiecentrale tijdens normaal bedrijf en tijdens ongevallen.

Tijdens vermogensbedrijf wordt de warmte van koudwatermachines (UV), het conventionele tussenkoelwatersysteem (VG) en het nucleaire tussenkoelwatersysteem (TF) door het VF-systeem aan de Westerschelde afgegeven.

Om de installatie na een ongeval in een veilige toestand te brengen en te houden, wordt de restwarmte van de gebruikte splijtstofelementen in het reactorvat en het SOB evenals de afvalwarmte van de koudwatermachine en het reserve noodstroomdieselaggregaat via het VF-systeem afgevoerd naar de Westerschelde.

Het VF-systeem bestaat uit twee strangen. Tijdens normaal bedrijf zijn de beide koelwaterstrangen met een ongeveer gelijke warmtebelasting in bedrijf en is elke strang vast verbonden met twee nevenkoelwaterpompen. De energievoorziening van de pompen in de strangen wordt door verschillende elektrische redundancies van het noodstroomnet 1 verzorgd. De nevenkoelwaterpompen zijn opgesteld in het koelwaterinlaatgebouw.

Door één strang worden een nucleaire tussenkoeler, een koudwatermachine en twee conventionele tussenkoelers van koelwater voorzien. De andere strang voorziet een nucleaire tussenkoeler, twee koudwatermachines en de koeler van het reserve noodstroomdieselaggregaat van koelwater. Een derde nucleaire tussenkoeler kan indien gewenst naar elk van beide strangen worden geschakeld.

De koeler van het reserve noodstroomdieselaggregaat kan eveneens naar keuze aan één van de twee strangen gekoppeld worden. Alle betreffende afsluiters van het VF-systeem zijn zo geschakeld dat de scheiding van de strangen gehandhaafd blijft. Bij verminderde beschikbaarheid van componenten van het VF-systeem kan een koppeling tussen de strangen worden gemaakt teneinde koeling met voldoende zekerheid te waarborgen.

Eén strang kan bovendien van koelwater worden voorzien _____
_____ door middel van
een aansluiting voor mobiele brandweerpompen.

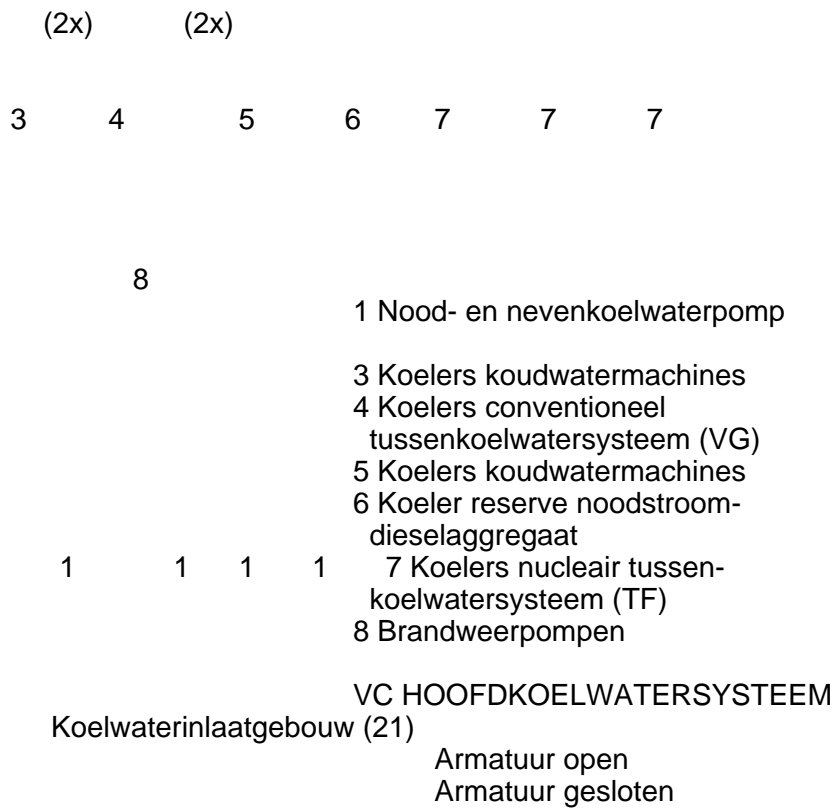
Tabel 9.2.2/1 Nood- en nevenkoelwatersysteem (VF)

Inlaatzijde			
bedrijfsdruk	4,9	bar	
bedrijfstemperatuur	21,6	EC	
Uitlaatzijde			
bedrijfsdruk	2,9	bar	
bedrijfstemperatuur	40	EC	
Nevenkoelwaterpompen			
aantal	4		
persdruk (bij laag water)		2,1	bar
debiet (nominaal)		2.100	m3/h

9.2-5

K O P I E

VC



Figuur 9.2.2/1 Nood- en nevenkoelwatersysteem VF
- principeschema

9.2.3 Nucleair tussenkoelwatersysteem (TF) (tabel 9.2.3/1 en figuur 9.2.3/1)

Het nucleair tussenkoelwatersysteem (TF) heeft tot taak de tijdens het bedrijf en bij ongevallen vrijkomende warmte op te nemen van koelers in het gecontroleerd gebied en af te geven aan het nood- en nevenkoelwatersysteem (VF). Met name van belang is de warmte-afvoer vanuit de veiligheidstechnisch relevante verbruikers, de nakoelers (TJ) en de SOB-koelers (TG). Verder vormt het TF-systeem een barrière tussen de Westerschelde en de nucleaire systemen.

Het TF-systeem bestaat uit twee gescheiden strangen. Per strang zijn twee nucleaire tussenkoelpompen beschikbaar, die door verschillende elektrische redundanties van het noodstroomnet 1 van energie worden voorzien.

De koelers van de ene redundantie van de veiligheidssystemen zijn aangesloten op één van beide TF-strangen. Verder zijn hierop de koelers van het reactorgebouw (01/02) en een groot deel van de koelers van het reactorhulpgebouw (03) aangesloten.

De koelers van de andere redundantie van de veiligheidssystemen zijn aangesloten op de andere TF-strang. Tevens zijn op deze strang de koelers van de koelmiddelontgassing (TC), het radioactief afvalwatersysteem (TR) en de koelmiddelopslag- en regeneratie (TD) aangesloten. Door deze verdeling wordt bereikt dat de warmtebelasting per TF-strang, bij vermogensbedrijf en het in bedrijf zijn van alle koelers, ongeveer gelijk is.

Aan de inlaatzijde van de nucleaire tussenkoelers is een verzamelleiding geïnstalleerd, die het mogelijk maakt de derde nucleaire tussenkoeler op elk van de twee strangen aan te sluiten. Hierdoor kan voor onderhoud altijd één nucleaire tussenkoeler uit bedrijf genomen worden. De in een vaste stand staande afsluiters rond de nucleaire tussenkoelpompen en rond de koelers van de veiligheidsrelevante verbruikers zijn door middel van een ketting en een slot in deze stand vergrendeld. Bij verminderde beschikbaarheid van componenten van het TF-systeem kan een koppeling tussen de strangen worden gemaakt teneinde koeling met voldoende zekerheid te waarborgen.

Beide strangen zijn voorzien van een bypass om de tussenkoelers. Hiermee kan de watertemperatuur ingesteld worden. In het geval van een ongeval worden deze bypass-leidingen met twee in serie staande afsluiters gesloten.

Om eventuele lekkage van een nucleair systeem naar het TF-systeem te kunnen onderkennen wordt de activiteit in beide kringlopen gemeten.

9.2-7

K O P I E

Tabel 9.2.3/1 Nucleaire tussenkoelkringloop (TF)

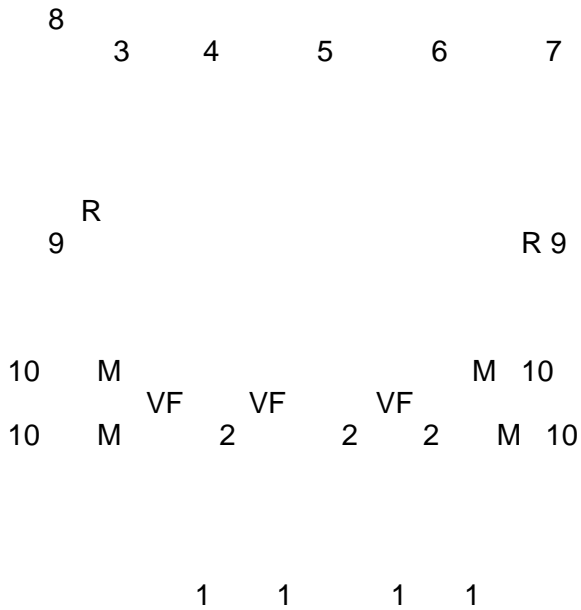
ontwerpdruk	10	bar
ontwerptemperatuur	70	EC
nucleaire tussenkoelpomp aantal	4	
nominale persdruk	3,4	bar
nominaal debiet	1200	m ³ /h

9.2-8

K O P I E

Geb.03

Geb.
01/02



- | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 Nucleaire tussenkoelpomp | TC HOOFDKOELMIDDELREINIGINGS- EN |
| 2 Nucleaire tussenkoeler | ONTGASSINGSSYSTEEM |
| 3 Koelers bedrijfssystemen geb.03 | TD HOOFDKOELMIDDELOPSLAG- EN |
| 4 Koelers bedrijfssystemen geb.01/02 | REGENERATIESYSTEEM |
| 5 Koelers veiligheidssystemen red.1 | TR RADIOACTIEF AFVALWATERSYSTEEM |
| 6 Koelers veiligheidssystemen red.2 | VF NOOD- EN NEVENKOELWATERSYSTEEM |
| 7 Koelers systemen TC, TD, TR | |
| 8 Filter | Geb.01/02 Reactorgebouw |
| 9 Activiteitsmeting | Geb.03 Reactorhulpgebouw |
| 10 Bypass-regelklep | |

Figuur 9.2.3/1 Nucleair tussenkoelwatersysteem TF
- principeschema -
9.2-9

K O P I E

9.3 Procestechnische hulpsystemen

9.3.1 Volumeregelsysteem (TA) (tabel 9.3.1/1; figuur 9.3.1/1)

Het volumeregelsysteem (TA) vormt de schakel tussen het hete, onder hoge druk staande primair systeem en de lagedruksystemen van de reactorhulpinstallaties. Het heeft tot taak:

- de optredende volumeveranderingen in het primair systeem als gevolg van veranderingen van temperatuur en druk van het hoofdkoelmiddel op te heffen;
- voortdurend een gedeelte van het hoofdkoelmiddel te onttrekken voor reiniging en dit vervolgens weer terug te voeren;
- als schakel tussen het chemicaliëndoseersysteem (TB) en het primair systeem de toevoer van boorzuur- respectievelijk deminwaterhoeveelheden en gelijktijdige onttrekking van de corresponderende hoeveelheden hoofdkoelmiddel te verzorgen;
- kleinere lekkages in het primair systeem te compenseren;
- hoofdkoelmiddel te leveren voor het sproeien in de drukhouder;
- tijdens een ATWS hoofdkoelmiddel met een hoge boriumconcentratie toe te voeren;
- de hoge-drukasafdichting van de hoofdkoelmiddelpompen te voorzien van sperwater;
- het hoofdkoelmiddel te ontluchten;
- met behulp van een volumeregelpomp druktesten uit te voeren in het primair systeem.

Op elk van de twee kringlopen van het primair systeem is tussen het reactorvat en de stoomgenerator de aftapleiding van het volumeregelsysteem aangesloten.

Binnen de veiligheidsomhulling voert de aftapleiding respectievelijk naar een recuperatieve warmtewisselaar, een HD-koeler en een HD-reduceerstation. Voorbij het HD-reduceerstation worden beide strangen weer samengevoegd tot één gemeenschappelijke pijpleiding.

9.3-1

K O P I E

Vervolgens is in de ringruimte (02) via het LD-reduceerstation een voedingsaansluiting op het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) gerealiseerd. Deze aansluiting dient om het hoofdkoelmiddel ook tijdens het nakoelbedrijf te kunnen reinigen en ontgassen. In het reactorhulpgebouw (03) wordt het hoofdkoelmiddel via het hoofdkoelmiddelreinigings- en ontgassingsstelsel (TC) en de volumeregeltank verder geleid. Voorts bevinden zich in dit gebouw ook de aftap- en/of toevoeraansluitingen van het nucleair chemicaliëndoseersstelsel (TB), het hoofdkoelmiddelopslag- en regeneratiesstelsel (TD) en het nucleair monsternamesstelsel (TV).

In de volumeregeltank wordt het overschot aan hoofdkoelmiddel opgeslagen, dat ontstaat als gevolg van door de temperatuur veroorzaakte veranderingen in de specifieke massa. Bij een te hoge waterstand in de tank wordt hoofdkoelmiddel naar de hoofdkoelmiddelbereidingsinstallatie (TD) afgevoerd. Vanuit het TD-stelsel wordt bij een te lage waterstand geboreerd hoofdkoelmiddel naar de volumeregeltank gevoerd, teneinde geringe hoofdkoelmiddeltekorten in het primair stelsel te kunnen compenseren.

Vanuit de volumeregeltank voeren maximaal twee van de drie parallel geschakelde volumeregelpompen via de beide recuperatieve warmtewisselaars hoofdkoelmiddel naar de hoofdkoelmiddelleidingen tussen hoofdkoelmiddeelpomp en reactor. Aansluitingen voor de sproeiers van de drukhouder en voor de smering en koeling van de afdichtingen van de hoofdkoelmiddeelpompen (sperwater) bevinden zich aan de perszijde van de volumeregelpompen.

Het volumeregelsstelsel wordt door het noodstroomnet 1 gevoed.

Tijdens normaal bedrijf is één van de drie volumeregelpompen toereikend voor de terugvoer van hoofdkoelmiddel naar het primair stelsel en de sperwatervoorziening van de hoofdkoelmiddeelpompen. De tweede en derde volumeregelpomp worden in bedrijf genomen om:

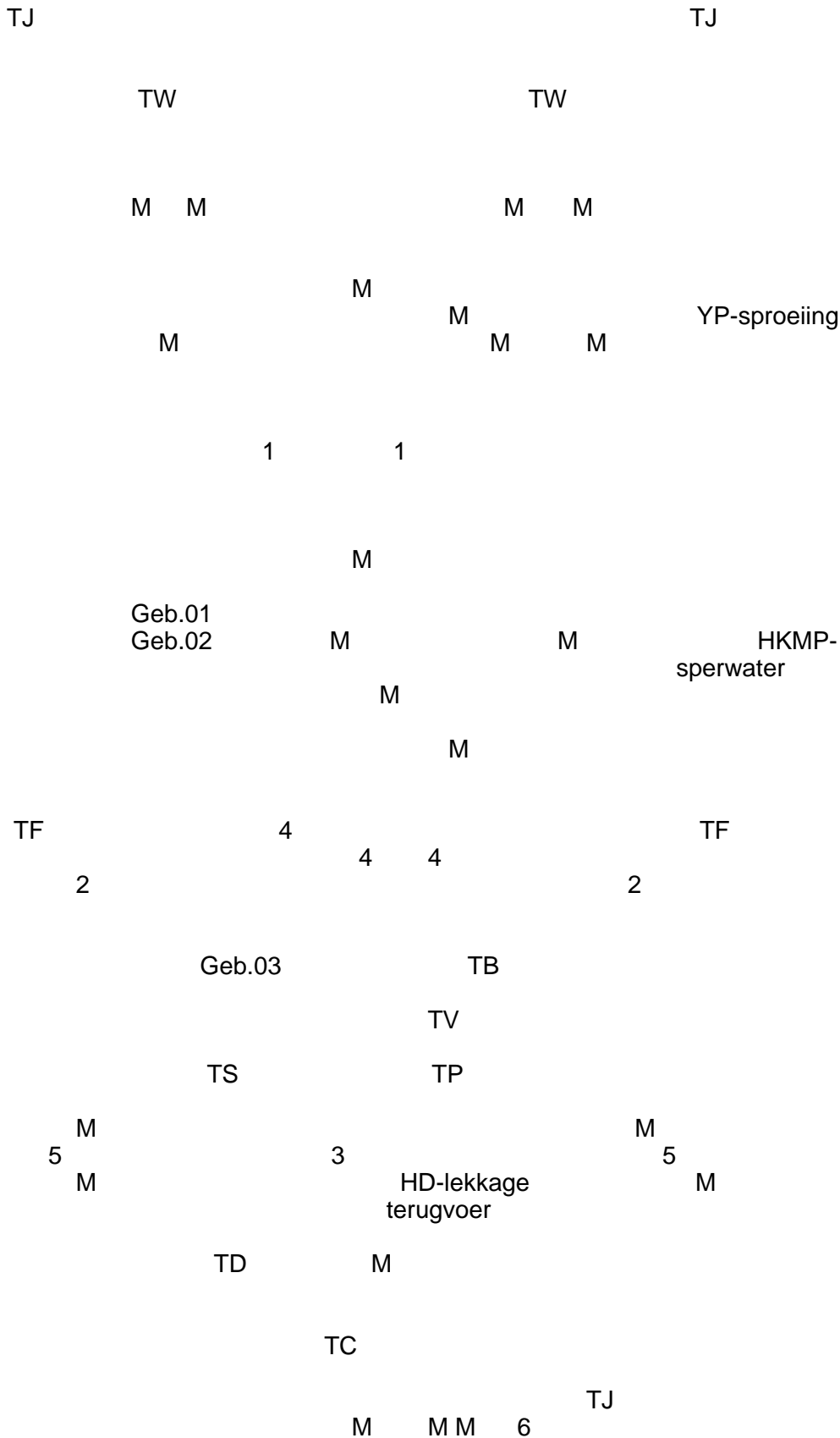
- na een lek in een U-pijp van een stoomgenerator door sproeien in de drukhouder de primaire druk zo snel mogelijk omlaag te brengen;
- bij ATWS koelmiddel met een hoge boriumconcentratie snel aan het primair stelsel toe te voeren;
- hoofdkoelmiddel vanuit de hoofdkoelmiddelbereidingsinstallatie (TD) toe te voeren aan het primair stelsel om kleine lekkages te compenseren;
- na kleine reparaties waarbij het deksel niet is verwijderd, de reactor ook bij een vergaand gebruikte kern (tot 1000 uur voor het cycluseinde) te kunnen opstarten door het boriumgehalte van het hoofdkoelmiddel snel te reduceren.

Tabel 9.3.1/1 Volumeregelsysteem (TA)

volumeregelpomp			
aantal	3		
debiet	circa 16	m3/h	
volumeregeltank			
aantal	1		
volume	circa 15	m3	
recuperatieve warmtewisselaar			
aantal	2		
vermogen (maximaal)	circa 3,2	MW	
koelmiddeltemperatuur inlaat/uitlaat	circa 295/120	EC	
HD-koeler			
aantal	2		
vermogen (maximaal)	circa 2,6	MW	
koelmiddeltemperatuur inlaat/uitlaat	circa 120/50	EC	
reducerstation			
aantal HD	2		
aantal LD	1		

9.3-3

K O P I E



- 1 Recuperatieve warmte-wisselaars
- 2 HD-koeler
- 3 Volumeregeltank
- 4 Volumeregelpompen
- 5 HD-reduceerstation
- 6 LD-reduceerstation
- TA VOLUMEREGELSYSTEEM
- TB NUCLEAIR CHEMICALIENDOSEERSYSTEEM
- TC HOOFDKOELMIDDELREINIGINGS- EN ONTGASSINGSSYSTEEM
- TD HOOFDKOELMIDDELOPSLAG- EN REGENERATIESYSTEEM
- TJ KERNINUNDATIE- EN NAKOELSYSTEEM
- TP GAS- EN LUCHTVERZORGINGSSYSTEEM
- TS RADIOCTIEF AFGASSYSTEEM

Geb.01 Veiligheidsomhulling

TV NUCLEAIR MONSTERNAME SYSTEEM

Geb.02 Ringruimte

TW PRIMAIR RESERVE SUPPLETIESYSTEEM

Geb.03 Reactorhulpgebouw

YP DRUKHOUDSYSTEEM

Figuur 9.3.1/1 Volumeregelsysteem TA, - principeschema -
9.3-4

K O P I E

9.3.2 Nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB) (tabel 9.3.2/1; figuur 9.3.2/1)

Dit systeem heeft tot taak door boorzuur en deminwater toe te voeren, geleidelijke reactiviteitsveranderingen te compenseren en tevens het primair systeem, het splijststofopslagbassin (SOB) en diverse tanks/vaten te vullen.

In detail gaat het hierbij om de volgende taken:

- het opslaan en gereedhouden van boorzuur (het tijdens de hoofdkoelmiddelbereiding teruggewonnen boorzuur, respectievelijk het nieuw aangemaakte boorzuur);
- het toevoeren naar het volumeregelsysteem (TA) van boorzuur uit de eigen boorzurttanks of deminwater of hoofdkoelmiddel uit de hoofdkoelmiddelopslag (TD). Dit gebeurt als er hoofdkoelmiddel gesuppleerd moet worden, of als de boriumconcentratie in het primair systeem veranderd moet worden;
- het toevoeren van boorzuur of geboreerd water naar de kerninundatievoorraadtanks en de kerninundatiebuffertanks van het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) en het SOB;
- het toevoegen van corrosieremmende middelen en het instellen van de pH-waarde.

De boorzuurvoorraad is groot genoeg om aan het eind van een cyclus de boorzuurconcentratie van het hoofdkoelmiddel te verhogen tot de voor een splijststofwisseling vereiste boriumconcentratie³. Het systeem betreft boorzuur uit het hoofdkoelmiddelopslag- en regeneratiesysteem (TD). Dit boorzuur wordt opgeslagen en samen met het deminwater teruggevoerd via het TA-systeem naar het primair systeem. Voor dit doel zijn er twee parallelle doseertrajecten voorhanden, elk met een doseercapaciteit van 100 %, die de volumeregelpompen (TA) aan de zuigzijde voeden.

Vanuit de boorzuraanmaaktank voedt de boorzurtoevoerpomp het TJ-systeem. Tevens wordt de aanvulling van verliezen en compensatie van de 10B-versplijting, alsook de toevoer van niet-radioactief boorzuur (bijvoorbeeld om het SOB te vullen) op deze wijze verzorgd.

Om kristallisatie van boorzuur te voorkomen, zijn alle koude, met boorzuur in contact komende, leidingen en onderdelen voorzien van een door noodstroom gevoede verwarming (tracing). Indien er daarnaast als extra bescherming tegen kristallisatie geen circulatiemogelijkheden binnen het systeem aanwezig zijn, dan is de tracing dubbel uitgevoerd.

Corrosieremmende middelen en middelen om de pH-waarde te regelen worden in de chemicaliënaanmaaktank gemengd en door de chemicaliëndoseerpomp naar het TA-systeem geleid.

9.3-5

3

Bij het gebruik van MOX als splijststof wordt verrijkt borium gebruikt om de vereiste waarde te bereiken

K O P I E

Tabel 9.3.2/1 Nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB)

concentratie van het opgeslagen boorzuur	12	%
samenstelling van het toegepaste borium		
natuurlijk borium	19,78	% B10
	80,22	% B11
verrijkt borium	32	% B10
	68	% B11
kristallisatietemperatuur (globaal)	58	°C
boreertempo in het primair systeem (één boorzuurvoedingsstrang in bedrijf)	400	ppm/h
booronttrekkingstempo (één deminwaterafvoerpomp in bedrijf)	60	ppm/h
boorzuurtank		
aantal	2	
netto inhoud	16	m3
ontwerp overdruk	2,9	bar
boorzuuraanmaaktank		
aantal	1	
netto-inhoud	3,5	m3
chemicaliënaanmaaktank		
aantal	1	
netto-inhoud	0,2	m3
boorzuurpomp		
aanta	2	
nominale capaciteit	2,2	kg/s
boorzuurtoevoerpomp		
aantal	1	
nominale capaciteit	3,3	kg/s
deminwaterterugvoerpomp		
aantal	2	
nominale capaciteit	6,7	kg/s
chemicaliëndoseerpomp		
aantal	1	
nominale capaciteit	0,06	kg/s

9.3-6

K O P I E

- 1 Deminwaterterugvoerpomp TA VOLUMEREGELSYSTEEM
 - 2 Boorzuurtank TD HOOFDKOELMIDDELOPSLAG- EN REGENERATIESYSTEEM
 - 3 Boorzuurpomp TJ KERNINUNDATIE- EN NAKOELSYSTEEM
 - 4 Boorzuraanmaaktank TN WATER- EN STOOMVERZORGINGSSYSTEEM
 - 5 Chemicaliënaanmaaktank TV NUCLEAIR MONSTERNAMESYSTEEM
 - 6 Chemicaliëndosseerpomp
 - 7 Boorzuurtoevoerpomp
- Geb. 02 Ringruimte
Geb. 03 Reactorhulpgebouw

Figuur 9.3.2/1 Nucleair chemicaliëndoseersysteem TB
- principeschema -

9.3-7

K O P I E

9.3.3 Hoofdkoelmiddelreinigings- en ontgassingssysteem (TC) (tabel 9.3.3/1; figuur 9.3.3/1)

De door corrosie veroorzaakte verontreiniging van het hoofdkoelmiddel in de vorm van vaste stoffen en ionen, en de vrijkomende splijtings- en activeringsprodukten worden door het hoofdkoelmiddelreinigings- en ontgassingssysteem (TC) verwijderd om de activiteit van het hoofdkoelmiddel zo laag mogelijk te houden.

Bovendien kan door ontgassing de activiteit van het splijtingsgas uit het hoofdkoelmiddel op een laag niveau gebracht worden. Hiermee wordt voorkomen dat de gasvormige splijtingsprodukten vrijkomen wanneer het primair systeem geopend wordt (bijvoorbeeld tijdens een splijtstofwisseling of bij reparaties).

Het hoofdkoelmiddel wordt aan het volumeregelsysteem (TA) onttrokken, en na reiniging weer teruggevoerd. De reiniging geschiedt door twee, afwisselend in serie of parallel geschakelde mengbedfilters waarin de verontreinigingen van het hoofdkoelmiddel worden tegenhouden. Om afgesleten harsdeeltjes uit de mengbedfilters af te vangen zijn twee harsvangers geplaatst.

Verzadigde hars uit de mengbedfilters wordt door de harsspoelpomp naar de harsafvalopslagtank gevoerd en daar opgeslagen. Van daaruit vindt afvoer naar het radioactief vast afvalstelsel (TT) plaats.

Nieuwe hars voor de mengbedfilters wordt direct via de harsvulopening ingebracht en door het inblazen van stikstof vermengd.

Na de mengbedfilters wordt het hoofdkoelmiddel desgewenst thermisch ontgast in een door stoom verwarmde ontgasser, die uit een voorwarmer en een ontgasserkolom bestaat. De gassen die vrijkomen worden naar het radioactief afgassysteem (TS) gevoerd. Na de ontgassing wordt het hoofdkoelmiddel door de ontgasserafvoerpomp naar de nakoeler en tenslotte naar het volumeregelsysteem (TA) geleid.

9.3-8

K O P I E

Tabel 9.3.3/1 Hoofdkoelmiddelreinigings- en ontgassingsysteem (TC)

Zuiveringstempo van het hoofdkoelmiddel			
maximaal	32		Mg/h
normaal	16		Mg/h
Mengbedfilters			
aantal	2		
volume	1,4	m3	
Harsvangers			
aantal	2		
filterfijnheid	5	µm	
Ontgasser			
doorstroomhoeveelheid (max.)		32	Mg/h
ontwerpdruk	12	bar	
ontwerptemperatuur	200	EC	

9.3-9

K O P I E

Koelmiddelreiniging	TA VOLUMEREGELSYSTEEM
1 Mengbedfilter	TD HOOFDKOELMIDDELOPSLAG- EN
2 Harsvanger	REGENRATIESYSTEEM
3 Harsafvalopslagtank	TF NUCLEAIR TUSSENKOELWATERSYSTEEM
4 Harsspoelpomp	TL NUCLEAIR VENTILATIESYSTEEM
5 Overloopvat	TN WATER- EN STOOMVERZORGINGSSYSTEEM
6 Buffervat	TS RADIOACTIEF AFGASSYSTEEM
Koelmiddelontgassing	TT RADIOACTIEF VAST AFVALSYSTEEM
7 Voorwarmer	TY INSTALLATIEONTWATERINGS- EN
8 Ontgasserkolom	ONTLUCHTINGSSYSTEEM
9 Ontgasserafvoerpomp	
10 Nakoeler	Harspoelleiding
11 Condensator	
12 Gaskoeler	Gasvormige splijtingsproducten, H ₂ , N ₂

Figuur 9.3.3/1 Hoofdkoelmiddelreinigings- en ontgassingssysteem (TC)
- principeschema
9.3-10

K O P I E

9.3.4 Hoofdkoelmiddelopslag- en -regeneratiesysteem (TD) (tabel 9.3.4/1, figuur 9.3.4/1)

Het hoofdkoelmiddelopslag- en -regeneratiesysteem (TD) heeft tot taak:

- het hoofdkoelmiddel dat tijdens het opstarten, bij belastingsveranderingen, door compensatie van de versplijting, bij het aftappen van de installatie of door het aanspreken van veiligheidskleppen vrijkomt, tijdelijk op te slaan;
- het hoofdkoelmiddel te scheiden in deminwater en boorzuur;
- het deminwater tijdelijk op te slaan;
- het hoofdkoelmiddel en het deminwater te ontgassen.

Het TD-systeem wordt door het volumeregelsysteem (TA) gevoed en slaat het hoofdkoelmiddel tijdelijk op in hoofdkoelmiddelreservoirs. Van hieruit wordt het door de verdampervoedingspompen via de mengbedfilters en de harsvangers naar de verdamper geleid en daar gescheiden in deminwater en boorzuur. Na het bereiken van een bepaalde concentratie wordt het boorzuur na afkoeling in de nakoelers door de boorzurdoseerpompen aan het nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB) afgegeven. Het deminwater wordt òf opgeslagen in de hoofdkoelmiddelreservoirs tot het weer gebruikt moet worden, òf het wordt na ontgassing afgevoerd naar het radioactief afvalwatersysteem (TR).

9.3-11

K O P I E

Tabel 9.3.4/1 Koelmiddelopslag- en -regeneratiesysteem (TD)

hoofdkoelmiddelreservoir			
aantal	4		
volume	140	m3	
ontwerpdruk	6	bar	
ontwerptemperatuur	90	EC	
verdampervoedingspomp			
aantal	2		
debiet	16	m3/h	
verdampereenheid			
aantal	2		
capaciteit	4	m3/h	
bedrijfstemperatuur		100-108	EC

9.3-12

K O P I E

1	Hoofdkoelmiddelreservoir	TA	VOLUMEREGELSYSTEEM
2	Verdampervoedingspomp	TB	NUCLEAIR CHEMICALIENDOSEERSYSTEEM
3	Mengbedfilter	TC	HKM-REINIGINGS- EN ONTGASSINGSSYSTEEM
4	Harsvanger	TF	NUCLEAIR TUSSENKOELWATERSYSTEEM
5	Voorwarmer	TN	WATER- EN STOOMVERZORGINGSSYSTEEM
6	Verdamper	TR	RADIOACTIEF AFVALWATERSYSTEEM
7	Condensator	TS	RADIOACTIEF AFGASSYSTEEM
8	Condensaatpomp	TV	NUCLEAIR MONTERSNAMESSYSTEEM
9	Ontgasser	TY	INSTALLATIEONTWATERINGS- EN
10	Ontgasserafvoerpomp		ONTLUCHTINGSSYSTEEM
11	Boorzuurdoseerpomp		
12	Nakoeler		

Figuur 9.3.4/1 Koelmiddelopslag- en regeneratiesysteem TD
- principeschema -
9.3-13

K O P I E

9.3.5 Water- en stoomverzorgingssysteem (TN)

Het water- en stoomverzorgingssysteem (TN) heeft tot taak verschillende systemen te voorzien van water en/of stoom. Het systeem bestaat uit een vijftal onderdelen.

Deminwatersysteem (TN010-020)

Het deminwatersysteem heeft als taak om systemen in het gecontroleerd gebied te voorzien van gedemineraliseerd water. Dit water wordt gebruikt voor het (bij)vullen van leidingen en tanks, het spoelen van filters, tanks en pompen, het decontamineren van gereedschappen en delen van de installatie en als sperwater voor verscheidene pompen. Het deminwater wordt betrokken uit de deminwatersuppletiebassins (RZ).

Koudwatersysteem (TN030-040)

Het koudwatersysteem heeft als taak de luchtkoelers van het nucleair ventilatiesysteem (TL), het radioactief afgassysteem (TS) en verscheidene hulpsystemen te voorzien van koelwater.

Warmwatersysteem (TN050)

Het warmwatersysteem heeft als taak de luchtverhitters van het TL-systeem en de gasverhitter van het TS-systeem te voorzien van warm water.

Activiteitsmeting stoomgeneratorspui (TN060)

De activiteitsmeting van het water van de stoomgeneratorspui (RY) heeft als taak een lekkage van een stoomgeneratorpijp te detecteren. Bij overschrijding van een grenswaarde van de activiteit in het spuiwater wordt de stoomgeneratorspui automatisch afgesloten.

Stoomverwarmingssysteem (TN070-TN090)

Het stoomverwarmingssysteem heeft als taak om verwarmingsstoom aan verschillende hulpsystemen toe te voeren en daarbij het gevormde condensaat af te voeren, het bevochtigen van toevoerlucht van de laboratoria met behulp van stoom en het toevoeren van stoom voor decontaminatie in de daarvoor bestemde ruimten.

9.3.6 Persluchtsysteem (TP 5-8)

Het persluchtsysteem (TP 5-8) heeft tot taak het persluchtnet van de centrale te voeden en de perslucht te leveren die nodig is voor de bediening van kleppen van de ventilatiesystemen, pneumatische ventielen en regelkleppen van de reactorinstallatie.

De twee hoofdcompressoren bevinden zich in het noodstroomdieselgebouw I (10). Eén compressor dekt via de nullastregeling de basisbelasting, terwijl de andere via een volautomatische regeling de piekbelasting opvangt.

Aangezien de hoofdcompressoren geen noodstroomvoorziening hebben, maar verschillende verbruikers wèl altijd moeten kunnen beschikken over perslucht, is er nog een noodcompressor in de ringruimte (02) opgesteld, die door het noodstroomnet 1 wordt gevoed.

Wanneer vanuit het reactorbeveiligingssysteem (YZ) het signaal "Algemene gebouwfsluiting" gegeven wordt dan sluit automatisch de afsluiter van het persluchtsysteem in de ingaande leiding naar de veiligheidsomhulling. _____

9.3.7 Monsternamesysteem (TV)

Het monsternamesysteem (TV) maakt het nemen van watermonsters voor de controle van het hoofdkoelmiddel mogelijk en het neemt gasmonsters uit de afgassenstroom. De watermonsters uit het primair systeem, het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) het hoofdkoelmiddelreinigings- en ontgassingssysteem (TC) en het volumeregelsysteem (TA) worden centraal in de monsternameruimte in het reactorhulpgebouw (03) genomen. Voor andere hulpsystemen zijn lokale monsternamepunten aanwezig.

Achter de vertragingsstraat van het radioactief afgassysteem (TS) worden monsters genomen van de afgassen. Deze worden op activiteit en samenstelling gecontroleerd.

9.3.8 Installatieontwaterings- en ontluchtingssysteem (TY)

Het installatieontwaterings- en ontluchtingssysteem (TY) heeft binnen het gecontroleerd gebied de volgende taken:

- het opvangen van koud en warm lekwater;
- het opnemen van koelmiddel bij het ontwateren van componenten en pijpleidingen;
- het ontluchten van componenten en pijpleidingen.

Het afvalwater wordt indien nodig gekoeld of ontlucht, verzameld en via het nucleair gebouwontwateringssysteem (TZ) naar het radioactief afvalwatersysteem (TR) of het hoofdkoelmiddelopslag- en regeneratiesysteem (TD) gevoerd.

9.3.9 Nucleair gebouwontwateringssysteem (TZ)

Het nucleair gebouwontwateringssysteem (TZ) verzamelt het bij de afwatering van de vloeren in het gecontroleerd gebied vrijkomende afvalwater en geeft dit samen met het afvalwater uit het installatieontwaterings- en ontluchtingssysteem (TY) af aan het radioactief afvalwatersysteem (TR).

9.3.10 Deminwateraanmaak- en suppletiesysteem (UA, RZ)

In het deminwateraanmaaksysteem (UA) wordt het kringloopwater voor het vullen van de installaties van de centrale en het voortdurend benodigde suppletiewater ontzilt, van silicium ontdaan en opgeslagen in het deminwaterbassin. Als ruw water wordt water uit het industriewaternet gebruikt.

De installatie bestaat uit twee identieke filterstraten met kationenfilters, CO₂-ontgassers, boosterpompen en anionen- en mengbedfilters.

Het deminwater wordt in het deminwatersuppletiesysteem (RZ) in twee in de buitenlucht opgestelde deminwatervoorraadtanks opgeslagen en van daaruit aan het deminwaterbassin in het machinegebouw afgegeven. Vanuit dit bassin volgt de verdere verdeling met behulp van de deminwatertoevoerpompen.

9.3-16

K O P I E

9.4 Ventilatiesystemen (tabel 9.4/1; figuur 9.4/1)

9.4.1 Nucleair ventilatiesysteem (TL)

De taken van het nucleair ventilatiesysteem (TL) zijn:

- het in stand houden van gerichte luchtstromen om het via de lucht verspreiden van radioactieve stoffen te voorkomen en een ongecontroleerde afgifte daarvan aan de omgeving te verhinderen;
- het verlagen van de in de ruimten aanwezige hoeveelheid radioactiviteit in de lucht door òf de afgevoerde lucht te filteren, òf de lucht te verversen;
- het tegenhouden van radioactieve stoffen door de lucht te filteren voordat deze naar de ventilatieschacht wordt afgevoerd;
- het tot stand brengen en in stand houden van bepaalde luchtcondities in de ruimten;
- het afvoeren van de door delen van de installatie en de verlichting geproduceerde warmte;
- het bewaken van het primair systeem op lekkages, door meting van de hoeveelheid condenswater die in de circulatieluchtkoelers van de installatieruimte geproduceerd wordt.

In de veiligheidsomhulling (01), de ringruimte (02) en het reactorhulpgebouw (03) heerst een onderdruk ten opzichte van de buitenlucht. Daarbij wordt de druk in de veiligheidsomhulling lager gehouden dan die in de ringruimte, welke weer lager is dan de druk in het reactorhulpgebouw. In de veiligheidsomhulling is de druk in de installatieruimte lager dan die in de bedrijfsruimte. Binnen een gebouw vindt er door deze luchtregeling een gerichte luchtstroom plaats van ruimten met een geringe activiteit naar ruimten met een hogere activiteit.

Luchttoevoer

Via het luchttoevoersysteem (TL 00) wordt verwarmde respectievelijk gekoelde en gefilterde buitenlucht aangevoerd, waarbij het volume van de luchtstroom afhankelijk van het drukverschil tussen een referentieruimte en de buitenlucht geregeld wordt. De lucht wordt toegevoerd in de bedrijfsruimte van de veiligheidsomhulling, de ringruimte en het reactorhulpgebouw.

Luchtafvoer

De hoeveelheid afgevoerde lucht is constant. Dit constante afvoerdebiet wordt door het luchtafvoersysteem (TL 010/02) via aërosolfilters en de ventilatieschacht afgevoerd naar de omgeving. Het TL010-systeem voert de lucht uit de veiligheidsomhulling via filters af naar het TL002-systeem. Naast deze lucht voert het TL002-systeem ook lucht uit de ringruimte en het reactorhulpgebouw af.

Om de installatieruimte op onderdruk te houden worden de door het drukverschil onvermijdelijke lekkages naar binnen toe vanuit de bedrijfsruimte door het onderdrukhoudsysteem van de installatieruimte (TL 075) afgevoerd. Ook is het mogelijk om lucht uit de turbinecondensatorafzuiging (SD, zie paragraaf 10.3) via het TL075-systeem af te voeren. De lucht wordt via aërosol- en actiefkoolfilters geleid en samen met de overige uit de gebouwen afgevoerde lucht via de ventilatieschacht aan de omgeving afgegeven.

Evenals het TL002-systeem kan de ringruimteafzuiging (TL070) lucht afvoeren vanuit de ringruimte via filters naar de ventilatieschacht. Dit laatste gebeurt alleen tijdens ongevallen (zie paragraaf 6.2).

Luchtcirculatie

In de installatieruimte wordt door het luchtventilatiesysteem van de installatieruimte (TL003) de lucht gecirculeerd om zo min mogelijk lucht die radioactieve stoffen kan bevatten aan de omgeving af te geven. De circulerende lucht wordt gekoeld. Een deel van de luchtstroom kan door middel van andere ventilatoren via aërosol- en actiefkoolfilters worden geleid om de aërosol- en jodiumactiviteit in de lucht van de installatieruimte te verlagen.

Om de installatieruimte met lucht te spoelen wordt lucht uit de bedrijfsruimte gebruikt.

Voor de koeling van de bedrijfsruimte is het luchtkoelsysteem bedrijfsruimte (TL004) beschikbaar. Dit systeem circuleert de lucht door een aantal luchtkoelers. Het systeem wordt bij een verhoogde temperatuur in de bedrijfsruimte automatisch ingeschakeld.

Tijdens het bedrijf van de kerninundatiepompen (TJ), de nakoelpompen (TJ), de volumeregelpompen (TA) en de SOB-koelpompen (TG) wordt de ringruimte door het luchtkoelsysteem ringruimte (TL 05/06) gekoeld. Hierdoor wordt de afvalwarmte van de aandrijfmotoren afgevoerd.

Beveiliging en bewaking

De afgevoerde lucht uit alle ruimten in het reactorgebouw, het reactorhulpgebouw en de ringruimte alsmede de luchtafvoer door de ventilatieschacht worden bewaakt door deelstromen af te takken en langs radioactiviteitsmetingen (TL080) te voeren. Tevens wordt in de ventilatieschacht het debiet gemeten.

Plooiën van de stalen veiligheidsomhulling wordt verhinderd door een onderdrukbeveiliging, die door het automatisch openen van afsluiters lucht uit de ringruimte in de veiligheidsomhulling binnenlaat.

Alle delen van de ventilatiesystemen waarvan een gedeeltelijk of geheel uitvallen nadelig zou zijn voor de veiligheid van de gehele installatie, zijn redundant uitgevoerd en op het noodstroomnet 1 aangesloten.

Ten behoeve van de brandbeveiliging sluiten de rookgasafsluitkleppen automatisch en worden de ventilatiesystemen automatisch uitgeschakeld in geval van brand.

Bij een toename van de activiteit in de lucht van de veiligheidsomhulling, wordt de toe- en afvoer van de lucht bij de doorvoeringen van de veiligheidsomhulling afgesloten. Voor dat doel is aan de binnen- en buitenkant een snelsluitklep aangebracht; deze kleppen kunnen zich zonder dat daar ondersteunende energie voor nodig is, binnen 3 seconden sluiten. Ze zijn bestand tegen dynamische belastingen bij de te verwachten omgevingscondities en hebben dubbele afdichtingen.

De kanalen die door de ringruimte voeren, zijn tegen de ontwerpdruk van de veiligheidsomhulling bestand.

9.4.2 Koelsysteem van het biologisch schild (TM)

Het koelsysteem van het biologisch schild (TM) zorgt voor de afvoer van de door de reactor in het biologisch schild door thermische-, neutronen- en gammastraling opgewekte warmte, om zo het verhitten van het beton en de door hoge temperatuur veroorzaakte spanningen in het beton binnen de toelaatbare grenzen te houden.

Het reactorvat is omgeven door het biologisch schild van gewapend beton. De lucht in de ringvormige ruimte tussen het reactorvat en het biologisch schild wordt door het TM-systeem voortdurend rondgepompt en gekoeld. Daartoe wordt de verwarmde lucht boven uit de tussenruimte afgezogen, door een luchtkoeler geleid en onder in het reactorvat weer door een ventilator in de tussenruimte geblazen. Er zijn twee ventilatoren en twee koelers aanwezig. Eén ventilator en de bijbehorende luchtkoeler dienen als reserve en worden indien nodig automatisch ingeschakeld. De installaties zijn aangesloten op het noodstroomnet 1. Alle afzonderlijke delen van het TM-systeem van het biologisch schild zijn gelast of met schroeven luchtdicht aan elkaar bevestigd.

9.4-3

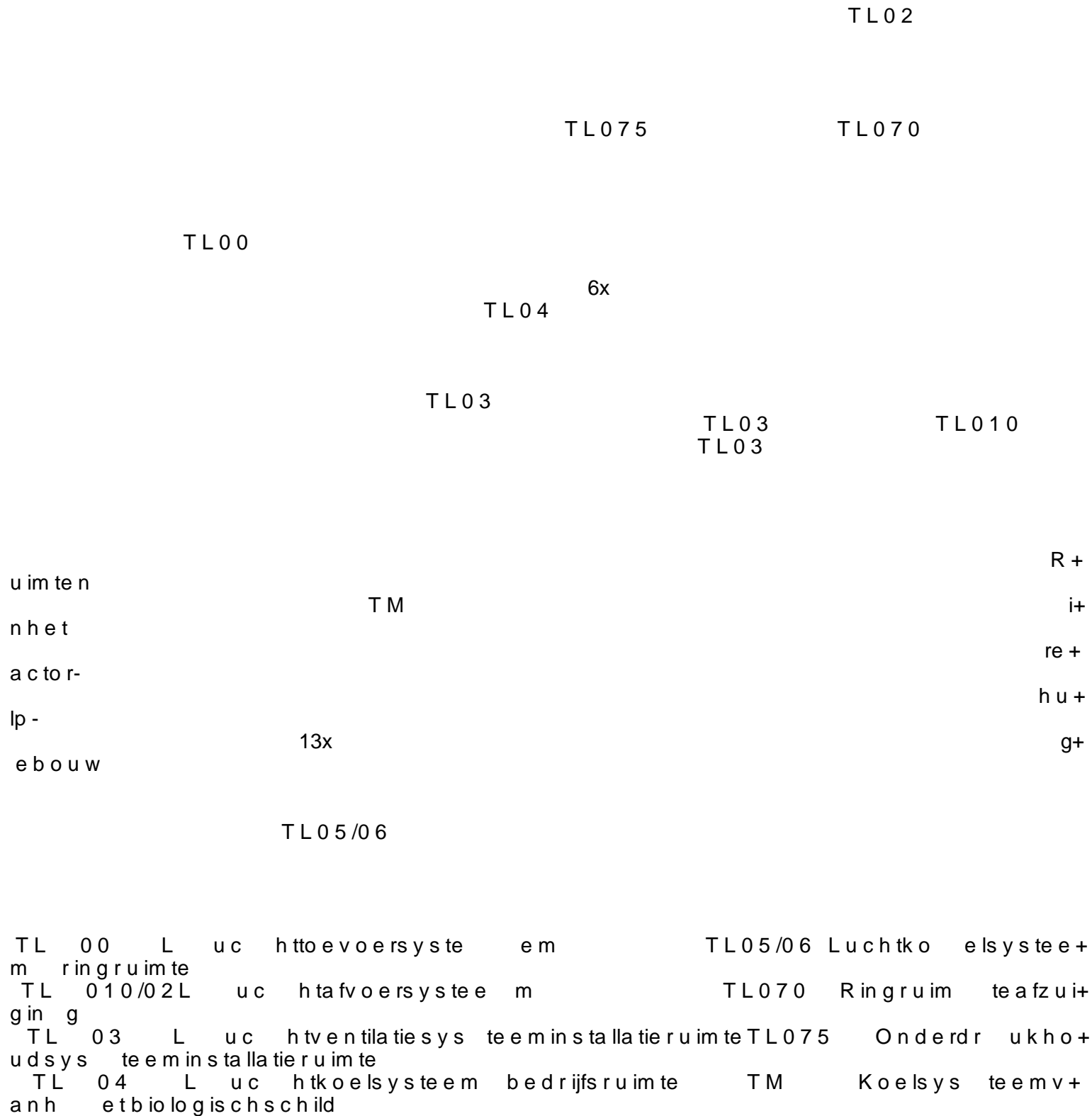
K O P I E

Tabel 9.4/1 Nucleair ventilatiesysteem (TL) en koelsysteem van het biologisch schild (TM)

Luchttoevoersysteem (TL000)		
Ventilatoren	2 x 100	%
capaciteit bedrijfsruimte	10 000	m3/h
capaciteit ringruimte	30 000	m3/h
capaciteit reactorhulpgebouw	80 000	m3/h
Luchtafvoersystemen		
capaciteit ventilatieschacht (TL010/02)1	20 000	m3/h
ventilatoren (TL002)	3 x 50	%
capaciteit installatieruimte (TL075)	500-1000	m3/h
capaciteit turbinecondensors (TL075)	300	m3/h
ventilatoren (TL075)	2 x 100	%
capaciteit ringruimte-afzuiging (TL070)	3000	m3/h
ventilatoren (TL070)	2 x 100	%
Luchtcirculatiesystemen		
capaciteit installatieruimte (TL003)1	40 000	m3/h
ventilatoren	3x 50%	
capaciteit bedrijfsruimte (TL004)	21 000	m3/h
ventilatoren	6 x 25	%
capaciteit ringruimte (TL005/TL006)	25 000	m3/h
ventilatoren TL005; kerninundatiepompen	4 x 50	%
TL005; nakoelpompen	4 x 50	%
TL006; volumeregelpompen	3 x 33	%
TL006; SOB-koelpompen	2 x 50	%
Koelsysteem van het biologisch schild (TM)		
Capaciteit	20 000	m3/h
ventilatoren	2 x 100	%

9.4-4

K O P I E



Figuur 9.4/1

Nucleair ventilatiesysteem (TL) en koelsysteem van het biologisch schild (TM), -principeschema- 9.4-5

9.5 Overige hulpsystemen (figuur 9.5/1)

9.5.1 Brandblussysteem

Voor de brandbestrijding zijn vier brandblussystemen aanwezig:

- HD-brandblussysteem (UF);
- LD-brandblussysteem (UJ);
- brandblussysteem transformatoren (UG);
- CO₂- en halonblusinstallatie (UX).

Het HD-brandblussysteem (UF) voert het water uit het bedrijfswatersysteem (UK) (of als het UK-systeem niet beschikbaar is uit het UJ-systeem) via twee HD-pompen en een LD-drukhoudpomp naar de brandkranen in de gebouwen 01, 02, 03, 04, 33 en naar de sprinklerinstallatie bij de hoofdkoelmiddelpompen (figuur 9.5/1).

Het LD-brandblussysteem (UJ) wordt van water voorzien uit een reservoir door drie pompen van de CCB-installatie. Dit water wordt naar de ringleiding met de hydranten en naar de aftakkingen voor de overige gebouwen gevoerd. Het LD-brandblussysteem verzorgt tevens de sprinklerinstallaties bij de volgende installatiedelen:

- kerninundatiepompen (TJ);
- brandstofvoorraadtank in noodstroomdieselgebouw I ;
- brandstofvoorraadtank in noodstroomdieselgebouw II;
- ruimte met turbine-olietank in het machinegebouw;
- olieleiding van de turbine in het machinegebouw;
- HD-gedeelte van de turbine in het machinegebouw;
- dichtingsolie generator;
- kabelkanalen gebouw 03;
- kabelkelders gebouw 05.

De mistblusinstallaties zijn automatische blusinstallaties die geactiveerd worden door het branddetectiesysteem. Ze kunnen ook handmatig vanuit een veilige plaats in de buurt van de bluszone ingeschakeld worden.

De sprinklerinstallatie van het brandblussysteem transformatoren (UG) is ingericht voor automatische brandbestrijding bij de machinetransformator (AT), de eigenbedrijfstransformator (BT) en de beide starttransformatoren (BS). Het bluswater wordt door middel van perslucht uit een bij het systeem behorende watervoorraadtank naar de betreffende bluszone gevoerd.

De CO₂- en halonblusinstallatie (UX) dienen eveneens voor de automatische brandbestrijding. Dit gebeurt door middel van CO₂ in de smeeroliecompartimenten van de hoofdkoelmiddelpompen en door middel van halon in de verschillende ruimten met elektrotechnische installaties.

Daarnaast zijn er op alle etages en in de trappenhuizen van alle gebouwen voldoende handblusapparaten aanwezig.

9.5-1

K O P I E

9.5.2 Telefoon- en alarminstallaties

Alle telefoon- en alarminstallaties beschikken òf over een eigen accu, òf ze zijn aangesloten op het ononderbroken noodstroomsysteem.

Telefooninstallatie

Voor de algemene communicatie is er een telefooninstallatie geïnstalleerd. Deze bestaat uit een huiscentrale waarmee de verbinding met het openbare telefoonnet tot stand wordt gebracht en een bedrijfs gedeelte, dat voor de communicatie binnen de kernenergiecentrale zelf wordt gebruikt.

Telefoonsysteem bij de bedieningspanelen

Naast de telefooninstallatie is er een afzonderlijk telefoonsysteem voor de bedieningspanelen. Dit wordt gebruikt voor de directe communicatie tussen de regelzaal, de reserve-regelzaal en de lokale bedieningspanelen.

Alarm- en omroepinstallatie

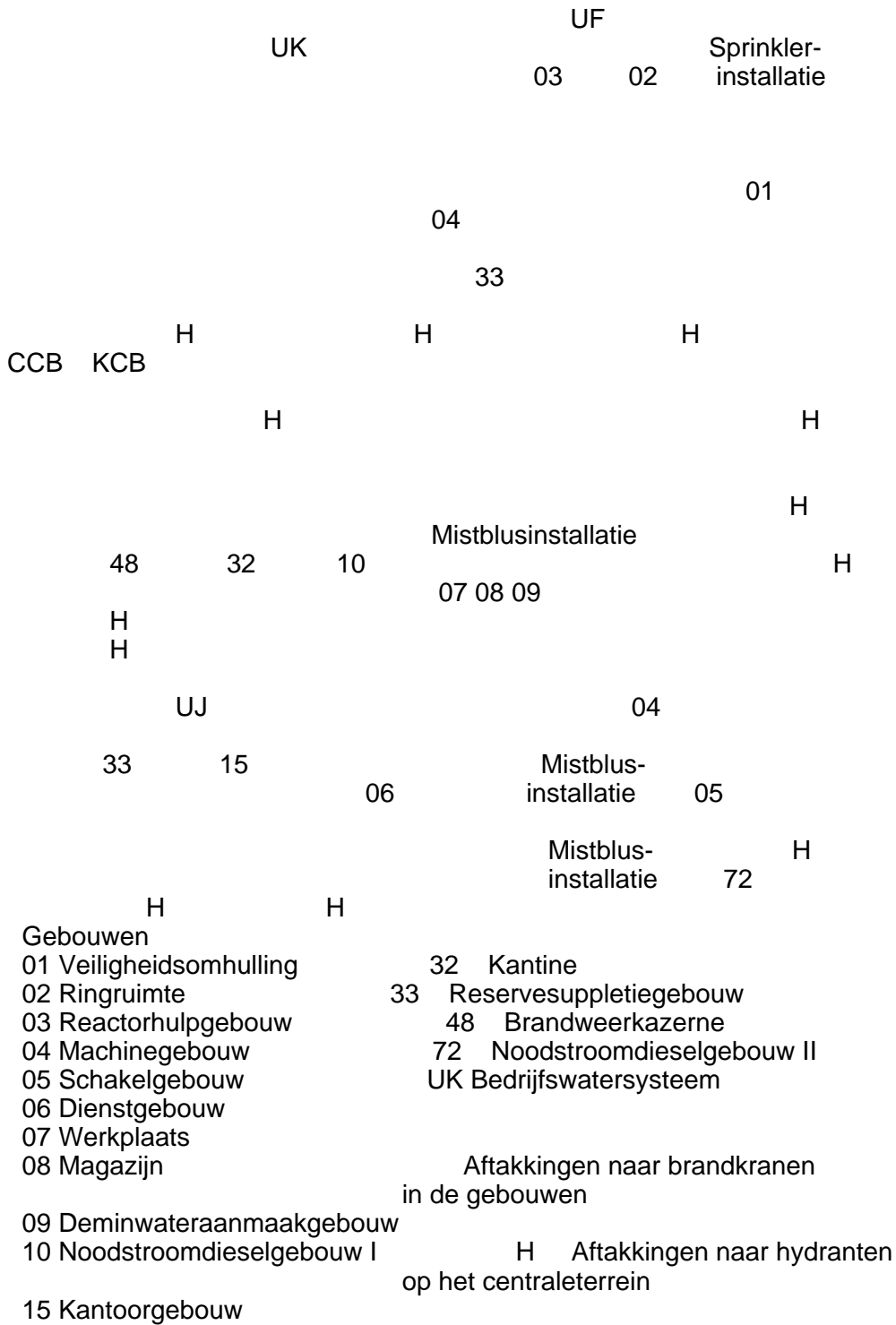
Een het gehele terrein van de centrale en het gebouwencomplex omvattende luidsprekerinstallatie wordt gebruikt voor de weergave van alarmsignalen en het omroepen van mededelingen. Er is een voorrangsschakeling, die het omroepen van mededelingen automatisch onderbreekt als er een alarmsignaal moet worden doorgegeven.

Brandmeldinstallatie

Om branden vroegtijdig te kunnen ontdekken is er in en rondom de diverse gebouwen een brandmeldinstallatie geïnstalleerd. Naast de automatisch werkende melders zijn ook handmelders geïnstalleerd. Brandmelding vindt lokaal op een nevenpaneel en centraal in de regelzaal plaats. Bij een melding wordt de locatie van de aangesproken melder gegeven alsmede instructies voor de bestrijding van de brand. Door een onderverdeling en weergave op het brandbeveiligingspaneel in de regelzaal is een snel detecteren, lokaliseren en bestrijden van een gemelde brand gewaarborgd.

05

06



Figuur 9.5/1 HD-Brandblussysteem (UF). LD-Brandblussysteem (UJ)
- principeschema

10	CONVENTIONEEL SYSTEEM		10.1-1
10.1	Algemeen		10.1-1
10.2	Hoofdstoomsysteem (RA)		10.2-1
10.2.1	Functie		10.2-1
10.2.2	Systeembeschrijving		10.2-2
10.3	Turbogenerator (SA-SZ)		10.3-1
10.3.1	Functie		10.3-1
10.3.2	Systeembeschrijving		10.3-1
10.4	Hoofdcondensaatsysteem (RM)		10.4-1
10.4.1	Functie		10.4-1
10.4.2	Systeembeschrijving		10.4-1
10.5	Hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem (RL)		10.5-1
10.5.1	Functie		10.5-1
10.5.2	Systeembeschrijving		10.5-1
10.6	Stoomgeneratorspuisysteem (RY)		10.6-1

KOPIE

10 CONVENTIONEEL SYSTEEM (tabel 10/1)

In dit hoofdstuk wordt het conventioneel systeem behandeld. In de eerste paragraaf wordt het systeem globaal besproken. In de daarop volgende vier paragrafen wordt een beschrijving gegeven van respectievelijk het hoofdstoomsysteem, de turbogeneratorset, het hoofdcondensaat- en het hoofdvoedingswatersysteem. In de laatste paragraaf wordt het stoomgeneratorspuisysteem behandeld.

10.1 Algemeen (figuur 10.1/1)

Het conventioneel systeem (secundair systeem) heeft als doel de warmte die in het primair systeem wordt opgewekt af te voeren uit het nucleaire deel van de installatie en deze om te zetten in elektriciteit.

Het conventioneel systeem bestaat achtereenvolgens uit de volgende onderdelen (zie figuur 10.1/1):

- hoofdstoomsysteem (RA);
- turbogenerator (SA-SZ);
- hoofdcondensaatsysteem (RM);
- hoofdvoedingswatersysteem (RL);
- stoomgeneratorspuisysteem (RY).

In het hoofdstoomsysteem wordt de stoom, die in de stoomgeneratoren door de warmte van het primair systeem is opgewekt, vervoerd. De stoom drijft de turbine aan met als gevolg dat in de aan de turbine gekoppelde generator elektriciteit opgewekt wordt. Na de turbine komt de stoom in de condensor waar deze gecondenseerd wordt tot water met behulp van koelwater uit de Westerschelde. Het condenswater wordt door het hoofdcondensaatsysteem verzameld en naar de voedingswatertank geleid. Van de voedingswatertank wordt het water door het hoofdvoedingswatersysteem weer teruggevoerd naar de stoomgeneratoren waar het verhit wordt tot stoom. Om verontreiniging in de stoomgeneratoren te voorkomen worden verontreinigingen verwijderd door het stoomgeneratorspuisysteem.

Het conventioneel systeem vormt op deze wijze een gesloten circuit dat het nucleaire deel van de installatie scheidt van de Westerschelde. Hierdoor wordt bereikt dat overdracht van radioactiviteit door een lekkage tussen het primair en het secundair systeem niet leidt tot besmetting van het Westerscheldewater.

De karakteristieke gegevens van het conventioneel systeem zijn gegeven in tabel 10/1.

10.1-1

KOPIE

Figuur 10.1/1 Conventioneel systeem
10.1-2

KOPIE

10.2 Hoofdstoomsysteem (RA) (figuur 10.2/1)

10.2.1 Functie

Het hoofdstoomsysteem (RA) vormt de verbinding tussen de beide stoomgeneratoren en de turbine. In de stoomgeneratoren wordt de energie uit het primair systeem (de hoofdkoelmiddelkringloop) overgedragen aan het secundair systeem (de stoom/water kringloop). Door strikte scheiding van primair en secundair systeem is de stoom in het hoofdstoomsysteem schoon (niet-radioactief). Via de twee hoofdstoomleidingen wordt de stoom naar de turbogenerator gevoerd. Daarin wordt de in de stoom opgenomen energie omgezet in elektriciteit.

Aangezien de stoom in het hoofdstoomsysteem onder druk staat is beveiliging tegen overdruk vereist. Hiertoe zijn veiligheidskleppen toegepast.

Teneinde in- en uitbedrijfname van de installatie mogelijk te maken kan de stoom via het turbine-omloopsysteem (SF) rechtstreeks naar de condensors worden gevoerd. In geval van storingen aan de turbinekant kan eveneens van deze mogelijkheid gebruik gemaakt worden. De omloopleiding kan indien dat nodig is de volledige hoeveelheid stoom naar de condensors voeren.

Indien de condensors als gevolg van een storing niet beschikbaar zijn kan de stoom eveneens via de zogenaamde afblaasregelkleppen worden afgevoerd naar de omgeving. Hiermee kan de volledige warmteproductie na afschakeling van de reactor worden afgevoerd.

Tenslotte kan de stoom worden gebruikt voor de aandrijving van één van de drie opgestelde noodvoedingswaterpompen (RL, de beide andere worden door een elektromotor aangedreven).

Bovenstaande leidt tot de volgende taken van het hoofdstoomsysteem:

- afvoer van de in het primair systeem opgewekte energie:
 - * via de turbine naar de condensors;
 - * via het omloopsysteem rechtstreeks naar de condensors bij in- en uitbedrijfname en bij storingen en ongevallen;
 - * via afblaasregelkleppen en/of veiligheidskleppen naar de omgeving bij bepaalde storingen en ongevallen.
- toevoer van stoom voor de aandrijving van één noodvoedingswaterpomp.

10.2-1

KOPIE

10.2.2 Systeembeschrijving

De hoofdstoomleidingen zijn gelast aan de daarvoor op de stoomgeneratoren aangebrachte stomp. Vandaar lopen de pijpleidingen via doorvoeringen in de stalen veiligheidsomhulling en de betonnen secundaire afscherming door de ringruimte naar het hoofdstoomafblaasstation en van daar naar de turbine (zie figuur 10.2/1). Het gedeelte van de hoofdstoomleidingen binnen de veiligheidsomhulling is zodanig uitgevoerd dat het optreden van een rondgaande scheur (de zogenaamde 2F-brek) uitgesloten is (zie paragraaf 3.4.2). De hoofdstoomleidingen worden in de ringruimte door mantelbuizen geleid, om nadelige gevolgen voor de installaties in de ringruimte in het geval van een hoofdstoomleidingbreuk te voorkomen.

Bij de overgang van het reactorgebouw naar het reactorhulpgebouw bevinden zich in de hoofdstoomleidingen doorstroombegrenzers om de gevolgen van een eventuele lekkage of breuk buiten het reactorgebouw te beperken. In het hoofdstoomafblaasstation bevinden zich de veiligheidskleppen (tien per hoofdstoomleiding) en de afblaasregelkleppen (twee per hoofdstoomleiding).

De veiligheidskleppen zijn ontworpen op de afvoer van de maximale stoomhoeveelheid die bij turbinesnelafschakeling (TUSA) bij vol vermogen geproduceerd wordt. De kleppen zijn veerbelast en worden door de hoofdstoomdruk geopend bij het bereiken van de ingestelde aanspreekdruk. Iedere klep heeft een eigen afvoerleiding door het dak naar buiten waarbij die van de veiligheidskleppen met de laagste aanspreekdruk (één per hoofdstoomleiding) zijn voorzien van geluiddempers. Direct na de aftakking ten behoeve van de veiligheidskleppen heeft elke hoofdstoomleiding een aftakking naar twee afblaasregelkleppen. Via deze kleppen kan bij uitval van de turbine en het turbine-omloopsysteem de in het primair systeem opgewekte energie naar de omgeving worden afgevoerd. Alle vier afvoerleidingen zijn voorzien van geluiddempers. In tegenstelling tot de veiligheidskleppen, die "mediumgestuurd" zijn, worden de afblaasregelkleppen door het reactorbeveiligingssysteem (YZ) geactiveerd zodra de maximale hoofdstoomdruk wordt overschreden. De motoren van de afblaasregelkleppen zijn aangesloten op het noodstroomnet 2. De aanspreekdrukken van de afblaasregelkleppen liggen lager dan die van de veiligheidskleppen. Bovendien bevinden zich in het hoofdstoomafblaasstation ook de beide hoofdstoomafsluiters waarmee de turbine en de condensors kunnen worden geïsoleerd. Meer functionele informatie ten aanzien van de veiligheidsfunctie van het hoofdstoomafblaasstation is gegeven in paragraaf 6.8.

De beide hoofdstoomleidingen lopen na het hoofdstoomafblaasstation met een ruime expansiebocht over het dak van het reactorhulpgebouw (03) naar het machinegebouw (04). Het gedeelte tussen de hoofdstoomafsluiter en de bovenste machinegebouwwvloer is zodanig uitgevoerd dat de kans op het optreden van een rondgaande scheur zeer gering is (zie paragraaf 6.8.2). Hier vertakken de beide hoofdstoomleidingen zich in twee toevoeren naar de hogedruktrap van de turbine. In deze toevoeren bevinden zich snelsluitkleppen (zie paragraaf 10.3.2). Tussen stoomzeef en splitsing worden beide leidingen afgetakt tot één hoge druk turbine-omloopleiding, welke zich uiteindelijk splitst in drie leidingen die uitmonden in de condensors.

De turbine-omloopleiding is tijdens normaal bedrijf afgesloten behalve bij de in- en uitbedrijfname en bij bepaalde storingen en ongevallen. De omloopleiding is in staat de volledige hoeveelheid stoom af te voeren naar de condensors. In de aftakleidingen van de beide hoofdstoomleidingen naar de omloopleiding zijn twee mediumgestuurde breukbeveiligingskleppen geplaatst. Deze kleppen zorgen ervoor dat in het geval van een hoofdstoomleidingbreuk de hoofdstoomleidingen van elkaar worden geïsoleerd (zie paragraaf 6.8). Tussen de aftak in de hoofdstoomleiding voor de turbine-omloop en de plaats waar de hoofdstoomleiding zich in twee leidingen splitst zit tenslotte de aansluiting voor het toevoeren van stoom naar de turbinegedreven noodvoedingswaterpomp. In het hoofdstoomsysteem worden een aantal karakteristieke grootheden gemeten om de veilige werking van het systeem zeker te stellen. Dit betreft de 16N-activiteit (om eventuele lekkage uit het primair systeem snel te detecteren, zie paragraaf 11.6.1) alsmede de druk, de temperatuur en het debiet van de hoofdstoom.

10.2-3

KOPIE

10.2-4
KOPIE

10.3 Turbogenerator (SA-SZ) (figuur 10.3/1)

10.3.1 Functie

De turbine wordt aangedreven door de stoom uit het hoofdstoomsysteem. Het thermisch vermogen, dat in het primair systeem is opgewekt, wordt aldus omgezet in de rotatie van de turbine-as. De generator, waarvan de rotor vast verbonden is met deze as, zet vervolgens de rotatie-energie om in elektrische energie. Na de turbine wordt de stoom afgevoerd naar de condensoren en afgekoeld tot water.

10.3.2 Systeembeschrijving

De turbogenerator bestaat uit een vierhuizige, éénassige turbine, met direct daaraan gekoppeld de generator. De turbine bestaat uit één HD-trap met twee uitlaten en drie LD-trappen met in totaal zes uitlaten. De stoom wordt eerst door de HD-trap gevoerd en daarna door de verschillende LD-trappen. Tussen het HD- en LD-deel wordt de stoom gedroogd in twee waterafscheiders en in twee maal twee oververhitters herverhit (zie figuur 10.3/1). Deze herverhitting gebeurt met behulp van condenserende aftapstoom van de HD-trap en verse stoom uit de hoofdstoomleiding. Ieder paar uitlaten van de LD-trappen wordt samengevoegd en de stoom wordt naar condensoren gevoerd. Hierin condenseert de stoom als gevolg van de koeling met het koude Westerscheldewater dat door het hoofdkoelwatersysteem (VC) wordt aangevoerd. Om corrosie door zeewater te voorkomen zijn de pijpen van de condensoren uitgevoerd in titanium. De condensoren zijn gedimensioneerd op de bij vol vermogen uit de turbine komende stoomhoeveelheid. Ze kunnen echter de gehele stoomhoeveelheid opnemen die na een vollastafschakeling van de turbine in de stoomgeneratoren wordt geproduceerd. In de condensoren wordt door middel van pompen een vacuüm gehandhaafd. De condensorafzuiging wordt normaal over het dak van het machinegebouw afgeblazen. Indien er in de afzuiging bepaalde activiteit gemeten wordt, dan worden de gassen afgevoerd naar het nucleair ventilatiesysteem (TL). Bij een eventuele lekkage van een stoomgeneratorpijp kan nu geen radioactiviteit ongecontroleerd naar de omgeving afgegeven worden (zie paragraaf 11.6.1).

De turbine is aan de inlaatzijde voorzien van vier snelsluitkleppen en vier regelkleppen. De functie van de snelsluitkleppen bestaat uit het ogenblikkelijk onderbreken van de stoomtoevoer naar de turbine, wanneer deze snel afgeschakeld moet worden (TUSA). Het stoomdebiet door de turbine wordt door regelkleppen bepaald welke door de hydraulische turbineregeling aangestuurd worden. Hierdoor kan tijdens in-of uitbedrijfname van de turbine het toerental en tijdens vermogensbedrijf de belasting aangepast worden.

10.3-1

KOPIE

De turbine is voorzien van beveiligingsinrichtingen die, onafhankelijk van de turbineregeling, de snelsluit- en regelkleppen kunnen sluiten. Deze beveiligingsinrichtingen spreken onder meer aan bij de volgende afschakelcriteria:

- toerental te hoog;
- lageroliedruk te laag;
- vacuüm onvoldoende;
- axiale uitzetting te groot.

Bij één van deze signalen wordt de oliedruk voor de kleppen weggenomen waardoor deze door middel van veren automatisch sluiten.

Bij in- en uitbedrijfname zorgt de hydraulische torninstallatie ervoor dat de rotoren van de turbine gedurende een bepaalde tijd met een voldoende hoog toerental draaien. Hierdoor wordt voorkomen dat de rotoren door ongelijkmatige opwarming of afkoeling kromtrekken, waardoor een onbalans ontstaat die trillingen kan veroorzaken.

De generator zet de kinetische energie van de turbine om in elektrische energie. De generator heeft een klemspanning van 21 kV en bij vol vermogen bedraagt de stroomsterkte 13 kA. De werkelijk optredende stroom is evenredig met het opgewekte vermogen. De toelaatbare stroom wordt bepaald door de warmtebalans in de generator. De in de tweepolige generator opgewekte elektrische energie wordt via de machinetransformator (AT) afgegeven aan het koppelnet. De beveiligingen van de generator spreken aan op basis van stroommetingen.

De generator wordt gekoeld met water en waterstofgas. Het waterstofgas wordt toegepast vanwege het gunstige warmteafvoerend vermogen. Eventuele lekkages in het waterstofsysteem worden gedetecteerd met als gevolg dat de waterstoftoevoer direct afgesloten wordt.

Figuur 10/3/1 Turbine-generator set (SA-SZ)

10.3-3

KOPIE

10.4 Hoofdcondensaatsysteem (RM) (figuur 10.4/1)

10.4.1 Functie

Het hoofdcondensaatsysteem (RM) zorgt ervoor dat het condensaat continu uit de condensators naar de voedingswatertank wordt afgevoerd. Van de totale hoeveelheid hoofdstoom wordt ruim de helft verwerkt in de condensators en afgevoerd door het RM-systeem. De rest wordt, voor het de condensators bereikt, afgetapt en gebruikt als voorwarmstoom.

Hoofdcondensaat kan voortdurend aangevuld worden door toevoeging van deminwater in de condensators. Bij een eventueel tekort aan hoofdcondensaat kan in de hoofdcondensaatleiding, vlak voor de voedingswatertank, deminwater worden gevoerd met behulp van het deminwatersuppletiesysteem (RZ).

Het koude hoofdcondensaat wordt gebruikt voor koeling van de generatorkoelers, de stoomgeneratorspuikoelers en enkele andere componenten. Tevens wordt het RM-systeem gebruikt voor de sperwaterverzorging en het vullen van bepaalde tanks met condensaat. Voordat het hoofdcondensaat aan de voedingswatertank wordt afgegeven wordt het voorverwarmd.

Ter bescherming van de condensaatleidingen, voorverwarmers en condensaatkoelers tegen corrosie wordt in het condensaat hydrazine (N_2H_4) gedoseerd.

10.4.2 Systeembeschrijving

Het hoofdcondensaat wordt uit elk van de drie condensators verzameld in twee zuigleidingen (zie figuur 10.4/1). Parallel aan elk paar zuigleidingen vindt een geleidbaarheidsmeting plaats ten behoeve van de bewaking van pijpbreuk in de condensor. De zes hoofdcondensaatzuigleidingen zijn aangesloten op een verzamelleiding. Vanaf deze verzamelleiding gaan drie leidingen naar de drie hoofdcondensaatpompen. Deze hoofdcondensaatpompen zijn als vijftrapspompen uitgevoerd, waarvan de eerste trap als hoofdcondensaatvoorpomp dienst doet en de tweede tot en met de vijfde trap als hoofdcondensaathoofdpomp. De persleidingen van de voerpompen zijn aangesloten op een verzamelleiding. Op deze verzamelleiding zijn verschillende aftappen en toevoeren aangebracht voor de sperwaterverzorging, het vulsysteem, de chemicaliëndosering en de generatorkoeling.

Het condensaat wordt nu verder gepompt door de drie hoofdcondensaathoofdpompen. Tijdens normaal bedrijf zijn twee van deze pompen in bedrijf. De persleidingen van de hoofdpompen zijn aangesloten op een verzamelleiding. Deze verzamelleiding splitst zich later weer in drie strangen welke naar de drie zes-traps voorwarmstraten leiden.

10.4-1

KOPIE

Het hoofdcondensaat wordt hierin opgewarmd door aftapstoom van de LD-turbines. Iedere turbine voorziet zijn eigen voorwarmstraat van verwarmingsstoom. Na de voorwarmers wordt het condensaat in een verzamelleiding gevoerd. In deze leiding wordt opgewarmd condensaat uit de stoomgeneratorspuikoelers toegevoegd aan het hoofdcondensaat. Tevens is op deze leiding een aansluiting van het deminwatersuppletiesysteem (RZ) gemaakt zodat in het geval er te weinig condensaat aan de voedingswatertank wordt toegevoerd dit aangevuld kan worden met deminwater. Ook kan hier hydrazine aan het condensaat worden toegevoegd.

Voor de voedingswatertank splitst de verzamelleiding zich in drie leidingen. Elk van deze leidingen is voorzien van een zeef. Het condensaat wordt nu met behulp van sproeikoppen in de voedingswatertank gespreid om een goede ontgassing te realiseren.

10.4-2

KOPIE

Figuur 10.4/1 Hoofdcondensaatsysteem (RM)

10.4-3

KOPIE

10.5 Hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem (RL) (figuur 10.5/1)

10.5.1 Functie

Het hoofdvoedingswatersysteem heeft tot taak voedingswater naar de stoomgeneratoren te voeren, zodat de in het primair systeem aanwezige warmte te allen tijde afgevoerd kan worden.

Het noodvoedingswatersysteem heeft tot taak voedingswater naar de stoomgeneratoren te voeren om bij uitval van het hoofdvoedingswatersysteem of na afschakelen van de reactorinstallatie de restwarmte af te voeren, totdat het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) deze taak overneemt.

Voor een beschrijving van de veiligheidsfuncties van het RL-systeem wordt verwezen naar paragraaf 6.6.

10.5.2 Systeembeschrijving

Voedingswatertank

Het hoofdcondensaat wordt in de voedingswatertank gespreid waardoor het onder invloed van toegevoerde verwarmingsstoom ontgast wordt. Vanaf dat moment wordt het hoofdcondensaat, voedingswater genoemd (zie figuur 10.5/1).

Ten behoeve van het afvoeren van niet-condenseerbare gassen zijn op de voedingswatertank diverse ontgassingsleidingen aangebracht. Deze gassen worden via de afvoer van de condensorafzuiging afgevoerd (zie paragraaf 10.3).

De voedingswatertank is van twee hoofdveiligheidskleppen voorzien die opengaan bij een te hoge druk. De stoom wordt daarbij via het dak afgeblazen totdat de druk voldoende gedaald is. Het mogelijke afblaasdebiet komt overeen met het maximale stoomdebiet dat toegevoerd kan worden aan de voedingswatertank.

Het voedingswater wordt verwarmd met behulp van aftapstoom, afkomstig van de waterafscheider van de turbine. Deze stoom wordt via een verdeelbalk onder het vloeistofniveau in de voedingswatertank gevoerd. Na een stilstandperiode wordt de verwarmingsstoom geleverd door het hulpstoomsysteem (RQ) dat de stoom in eerste instantie betreft van de hulpketels van de conventionele centrale (CCB) en tijdens het opstarten van de eigen stoomgeneratoren.

10.5-1

KOPIE

Hoofdvoedingswatersysteem

Het voedingswater wordt via drie parallelle leidingen door de drie hoofdvoedingswaterpompen aangezogen uit de voedingswatertank. De voorraad voedingswater in de voedingswatertank is voldoende voor ongeveer 6 minuten bedrijf bij vol vermogen indien geen water toegevoerd wordt. Elk van de hoofdvoedingswaterpompen bestaat uit een ééntraps voerpomp en een viertraps hoofdpomp. De voerpomp is via een tandwieloverbrenging en de hoofdpomp direct aan de aandrijfmotor gekoppeld. In de persleidingen van de hoofdpompen zijn debietmeters aangebracht. De drie persleidingen zijn via afsluiters aangesloten op een voedingswaterverzamelleiding. Deze splitst zich in twee leidingen naar de twee voorwarmerstraten, waarin het hoofdvoedingswater wordt opgewarmd met aftapstoom van de HD-trap van de turbine.

Na de voorwarmerstraten komen de leidingen samen in een verzamelleiding. Deze voert het voedingswater naar het voedingswaterverdeelstation. Vanuit het voedingswaterverdeelstation wordt het voedingswater naar de stoomgeneratoren geleid. De voedingswaterleidingen lopen over het dak van het reactorhulpgebouw naar het reactorgebouw. In de ringruimte worden de voedingswaterleidingen door mantelbuizen geleid, om nadelige gevolgen in geval van een lekkage te vermijden. Het gedeelte van de voedingswaterleidingen binnen de veiligheidsomhulling is zodanig uitgevoerd dat het optreden van een rondgaande scheur (de zogenaamde 2F-breuk) uitgesloten is (zie paragraaf 3.4.2).

Om te waarborgen dat de voedingswaterleidingen te allen tijde gevuld zijn met water zijn voor beide stoomgeneratoren watersloten aangebracht. De noodvoedingswaterleidingen zijn tussen de watersloten en de stoomgeneratoren aangesloten.

Noodvoedingswatersysteem

Daar na een reactorafschakeling het debiet van de hoofdvoedingswaterpompen te groot is voor het afvoeren van de restwarmte van de reactorinstallatie worden hiervoor de noodvoedingswaterpompen ingezet. Twee van de drie pompen worden aangedreven door elektromotoren die op het noodstroomnet 1 zijn aangesloten, terwijl de derde pomp een turbine-aandrijving heeft met behulp van stoom uit het RA-systeem. De afgewerkte stoom wordt afgevoerd naar de buitenlucht. De noodvoedingswaterpompen halen het benodigde water uit de voedingswatertank. Indien noodzakelijk kunnen ze rechtstreeks vanuit het deminwatersuppletiesysteem (RZ) gevoed worden. De _____ noodvoedingswaterleidingen zijn aangesloten op de hoofdvoedingswaterleidingen tussen de watersloten en de stoomgeneratoren. Bij de aansluiting van de noodvoedingswaterleidingen op de hoofdvoedingswaterleidingen is ook het secundair reservesuppletiesysteem (RS) op de hoofdvoedingswaterleidingen aangesloten.

Figuur 10.5/1 Hoofd- en noodvoedingswatersysteem (RL)

10.5-3

KOPIE

10.6 Stoomgeneratorspuisysteem (RY)

Bij verdamping van water in de stoomgeneratoren blijven zouten en vaste verontreinigingen in het water achter. Om te voorkomen dat het water in de stoomgeneratoren verontreinigd raakt door de achtergebleven stoffen uit het verdampende water en dat deze verontreinigingen gaan uitkristalliseren in de stoomgeneratoren, wordt dit water gereinigd door het stoomgeneratorspuisysteem (RY).

Het water wordt onderin de stoomgeneratoren afgetapt waarna het afgekoeld en in druk gereduceerd wordt. Vervolgens wordt het water door een elektromagnetisch filter en een mengbedfilter gezuiverd. Het gereinigde water wordt teruggevoerd naar het hoofdcondensaatsysteem (RM).

Het spuiwater wordt gecontroleerd op activiteit door een activiteitsmeting (TN060) om een lekkage van een stoomgeneratorpijp te detecteren. Bij overschrijding van een grenswaarde van de activiteit in het spuiwater wordt de stoomgeneratorspui automatisch afgesloten om verspreiding van de activiteit te voorkomen.

10.6-1
KOPIE

Tabel 10/1 Conventioneel systeem

hoofdstoomsysteem				
debiet (vol vermogen)		739	kg/s	
bedrijfsdruk	55		bar	
stoomtemperatuur		270	EC	
veiligheidsklep				
aantal	2 x 10			
capaciteit (94,4 bar)		39	kg/s	
afblaasregelklep				
aantal	2x 2			
capaciteit (82,4 bar)		170	kg/s	
turbine-generator				
toerental	3000		min-1	
elektrisch vermogen		477	MW	
hoofdcondensaatsysteem				
debiet (vol vermogen)		420	kg/s	
hoofdcondensaatpomp				
aantal	3			
capaciteit/druk		circa 260 kg/s /	22bar	
		circa 360 kg/s /	15bar	
hoofdvoedingswater- en noodvoedingswatersysteem				
debiet (vol vermogen)		742	kg/s	
hoofdvoedingswaterpomp				
aantal	3			
capaciteit/druk		circa 380 kg/s /	66bar	
		circa 410 kg/s /	60bar	
noodvoedingswaterpomp				
aantal	3			
capaciteit/druk		circa 24 kg/s /	102	
		circa 39 kg/s /	98bar	
watervolume voedingswatertank				
maximaal	370		m3	
vol vermogen	250		m3	
eindtemperatuur hoofdvoedingswater			216	EC
stoomgeneratorspuisysteem				
capaciteit	3		kg/s	

10/1-1

KOPIE

11	RADIOACTIEF AFVAL	11.1-1
11.1	Bronnen van radioactief afval	11.1-1
11.1.1	Inventaris van de reactorkern	11.1-1
11.1.2	Activiteit van het hoofdkoelmiddel	11.1-5
11.1.3	Activiteit in de lucht van de gebouwen	11.1-8
11.2	Radioactief afvalwatersysteem (TR)	11.2-1
11.2.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	11.2-1
11.2.2	Systeembeschrijving	11.2-2
11.2.3	Lozing van vloeibaar radioactief afval	11.2-3
11.3	Behandeling van gasvormig radioactief afval (TS,TL)	11.3-1
11.3.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	11.3-1
11.3.2	Systeembeschrijving	11.3-2
11.3.3	Lozing van gasvormig radioactief afval	11.3-4
11.4	Radioactief vast afvalstelsel (tt)	11.4-1
11.4.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	11.4-1
11.4.2	Systeembeschrijving	11.4-1
11.4.3	Afgifte van vast radioactief afval	11.4-2
11.5	Vergelijking van de lozingen met de vergunningslimieten	11.5-1
11.6	Activiteitsbewaking	11.6-1
11.6.1	Bewaking van de activiteit in gebouwen en systemen	11.6-1
11.6.2	Bewaking van de afgegeven activiteit	11.6-1
11.7	Afvoer van gebruikte splijtstofelementen	11.7.1

K O P I E

11 RADIOACTIEF AFVAL

In dit hoofdstuk wordt de oorsprong en de verwerking van het in de kernenergiecentrale geproduceerde radioactief afval behandeld. In de eerste paragraaf worden de bronnen van radioactief afval besproken.

In de tweede tot en met de vierde paragraaf de verwerkingssystemen van respectievelijk het vloeibare, het gasvormige en het vaste afval.

In de vijfde paragraaf wordt de vergelijking gemaakt tussen de ervaring met de jaarlijkse lozingen en de vergunningslimieten. In de zesde paragraaf wordt de bewaking van de radioactiviteit behandeld en in de laatste paragraaf de afvoer van de gebruikte splijtstofelementen. In dit hoofdstuk worden voor verscheidene lozingsgegevens voor zowel vloeibaar, gasvormig als vast afval gepresenteerd. Indien de lozingsgegevens direct gebruikt zijn voor het bepalen van de maximale individuele dosis (hoofdstuk 12) zijn de lozingen gemeten voor de periode 1998-2007 gepresenteerd. Deze lozingen zijn voor de huidige bedrijfsvoering representatief. De overige gepresenteerde lozingen zijn gemeten tot en met 2009.

11.1 Bronnen van radioactief afval (tabel 11.1/1 t/m 5, figuur 11.1/1)

De radioactieve stoffen die afgevoerd worden als radioactief afval hebben hun oorsprong in en rond het primair systeem. De verschillende wijzen van ontstaan en de hoeveelheden van de verschillende nucliden worden hier besproken. De bronnen van radioactiviteit en de verwerking van het daaruit voortkomende afval zijn schematisch weergegeven in het activiteitsstroomschema in figuur 11.1/1.

11.1.1 Inventaris van de reactorkern

De grootste hoeveelheid in de installatie aanwezige radioactiviteit bevindt zich in de reactorkern. De gebruikte splijtstofelementen vormen daardoor een bron van radioactief afval met de hoogste activiteit.

De onbestraalde splijtstof bevat relatief gezien slechts een geringe hoeveelheid radioactiviteit. Tijdens het bedrijf van de reactor wordt in de splijtstof een grote hoeveelheid radioactiviteit gevormd. Het betreft splijttingsprodukten met massagetallen onder circa 160 en activeringsprodukten, die door neutroneninvangst gevormd worden, met massagetallen boven circa 230. Deze produkten blijven in principe binnen de splijtstofelementen opgesloten. Daarnaast bevinden zich in de constructiematerialen van de kern activeringsproducten van in deze constructiematerialen aanwezige stoffen.

In tabel 11.1/1 is een overzicht gegeven van de belangrijkste nucliden (meer dan 99% van de doses en risico

Tabel 11.1/1 Activiteit van de kerninventaris aan het einde van de cyclus (EOC) en na 0 dagen verval

Nuclide	ENU	c-ERU	MOX (40%)
KR- 83M	1,55E+17	1,57E+17	1,36E+17
KR- 85M	3,74E+17	3,82E+17	3,2E+17
KR- 85	1,81E+16	1,95E+16	1,61E+16
KR- 87	6,41E+17	6,54E+17	5,42E+17
KR- 88	8,70E+17	8,88E+17	7,33E+17
RB- 86	2,68E+15	2,84E+15	2,36E+15
RB- 88	8,95E+17	9,12E+17	7,56E+17
RB- 89	1,22E+18	1,25E+18	1,02E+18
SR- 89	1,29E+18	1,32E+18	1,07E+18
SR- 90	1,33E+17	1,44E+17	1,16E+17
SR- 91	1,58E+18	1,62E+18	1,35E+18
SR- 92	1,68E+18	1,71E+18	1,47E+18
SR- 93	1,86E +18	1,88E+18	1,67E+18
Y - 90M	1,12E+14	1,12E+14	9,41E+13
Y			

SB-124	1,25E+15	1,27E+15	1,59E+15
SB-125	1,97E+16	2,01E+16	2,64E+16
SB-126	9,95E+14	9,76E+14	1,15E+15
SB-127	1,14E+17	1,12E+17	1,31E+17
SB-128L	170E+16	1,67E+16	1,86E+16
SB-129	3,66E+17	3,64E+17	3,83E+17
SB-130L	4,45E+17	4,46E+17	4,41E+17
SB-131	1,06E+18	1,06E+18	1,04E+18
TE-125M	4,17E+15	4,27E+15	5,66E+15
TE-127M	8,74E+15	9,06E+15	1,2E+16
TE-127	1,02E+17	1,01E+17	1,19E+17
TE-129M	6,67E+16	6,63E+16	6,98E+16
TE-129	3,93E+17	3,91E+17	4,13E+17
TE-131M	1,83E+17	1,82E+17	1,88E+17
TE-131	1,13E+18	1,13E+18	1,13E+18
TE-132	1,78E+18	1,78E+18	1,75E+18
TE-133M	1,33E+18	1,34E+18	1,3E+18
TE-133	1,28E+18	1,28E+18	1,23E+18
TE-134	2,28E+18	2,30E+18	2,17E+18
I-129	5,19E+10	5,53E+10	5,87E+10
I-130	3,82E+16	3,76E+16	3,66E+16
I-131	1,28E+18	1,28E+18	1,28E+18
I-132	1,81E+18	1,81E+18	1,78E+18
I-133	2,57E+18	2,58E+18	2,51E+18
I-134	2,79E+18	2,81E+18	2,71E+18
I-135	2,46E+18	2,47E+18	2,41E+18
XE-131M	1,38E+16	1,38E+16	1,38E+16
XE-133M	7,77E+16	7,80E+16	7,63E+16
XE-133	2,60E+18	2,60E+18	2,54E+18
XE-135M	5,36E+17	5,36E+17	5,39E+17
XE-135	5,98E+17	6,48E+17	7,68E+17
XE-138	2,26E+18	2,28E+18	2,16E+18
CS-134M	6,39E+16	6,41E+16	6,05E+16
CS-134	2,60E+17	2,73E+17	2,62E+17
CS-135	6,46E+11	7,43E+11	8,38E+11
CS-136	6,06E+16	6,54E+16	7,04E+16
CS-137	1,83E+17	1,95E+17	1,86E+17
CS-138	2,47E+18	2,48E+18	2,37E+18
BA-139	2,30E+18	2,32E+18	2,18E+18
BA-140	2,26E+18	2,27E+18	2,15E+18
LA-140	2,34E+18	2,35E+18	2,23E+18
LA-141	2,08E+18	2,09E+18	1,99E+18
LA-142	2,03E+18	2,04E+18	1,94E+18
CE-141	2,16E+18	2,17E+18	2,06E+18
CE-143	2,00E+18	2,02E+18	1,87E+18
CE-144	1,73E+18	1,78E+18	1,60E+18
PR-143	2,01E+18	2,02E+18	1,87E+18

11.1-3

K O P I E

PR-145	1,36E+18	1,37E+18	1,29E+18
ND-147	8,48E+17	8,53E+17	8,22E+17
PM-147	2,79E+17	3,15E+17	2,79E+17
PM-148M	4,58E+16	4,52E+16	5,19E+16
PM-148	2,23E+17	2,09E+17	2,15E+17
PM-149	6,79E+17	6,62E+17	6,58E+17
PM-151	2,40E+17	2,39E+17	2,54E+17
EU-152M	1,22E+14	1,35E+14	1,89E+14
EU-152	1,63E+12	2,02E+12	5,22E+12
EU-154	1,43E+16	1,52E+16	1,66E+16
EU-155	6,54E+15	6,98E+15	8,90E+15
EU-156	2,90E+17	2,85E+17	3,04E+17
PO-210	1,00E+03	1,23E+04	9,49E+02
RA-226	3,52E+04	2,06E+05	2,99E+04
U -234	2,06E+12	1,09E+13	1,57E+12
U -235	3,95E+10	4,52E+10	2,83E+10
U -238	4,50E+11	4,39E+11	4,43E+11
NP-237	4,27E+11	1,32E+12	3,59E+11
NP-238	4,33E+17	1,24E+18	3,47E+17
NP-239	2,33E+19	2,20E+19	2,17E+19
PU-236	3,32E+11	1,19E+12	3,18E+11
PU-238	3,74E+15	1,21E+16	1,69E+16
PU-239	4,53E+14	4,76E+14	9,33E+14
PU-240	6,02E+14	6,11E+14	2,13E+15
PU-241	1,46E+17	1,52E+17	4,50E+17
PU-242	2,71E+12	2,69E+12	1,36E+13
AM-241	1,67E+14	1,86E+14	1,63E+15
AM-242M	5,76E+12	6,49E+12	7,93E+13
AM-242	9,14E+16	9,35E+16	4,00E+17
AM-243	2,71E+13	2,76E+13	1,24E+14
CM-242	5,49E+16	5,69E+16	2,95E+17
CM-243	2,04E+13	2,15E+13	1,50E+14
CM-244	4,14E+15	4,29E+15	2,21E+16
CM-245	3,68E+11	4,06E+11	3,14E+12
CM-246	1,41E+11	1,52E+11	8,23E+11
CM-247	4,93E+05	5,47E+05	3,68E+06
CM-248	1,98E+06	2,27E+06	1,43E+07

11.1-4

K O P I E

11.1.2 Activiteit van het hoofdkoelmiddel

De activiteit van het hoofdkoelmiddel heeft drie verschillende oorzaken:

- activering van het water en de daarin opgeloste stoffen;
- activering van corrosieproducten;
- ontsnapte splijtingsproducten.

Activering van het water en de daarin opgeloste stoffen

Onder invloed van snelle neutronen wordt uit het zuurstofisotoop ^{16}O het stikstofisotoop ^{16}N opgebouwd. Dit stikstof vervalst met een halveringstijd van 7,13 seconden onder uitzending van zeer harde gammastraling naar het stabiele zuurstofisotoop ^{16}O . Uit de andere aanwezige zuurstofisotopen wordt ook stikstof aangemaakt. De activiteit in het hoofdkoelmiddel die hierdoor wordt veroorzaakt is echter te verwaarlozen. Uit ^{18}O wordt het fluorisotoop ^{18}F opgebouwd. Dit geeft ook een bijdrage aan de activiteit in het hoofdkoelmiddel. In het water bevindt zich ook een geringe verontreiniging van natrium. Dit veroorzaakt enige ^{24}Na -activiteit.

Afhankelijk van de bedrijfstoestand bevat het primaire water een bepaalde hoeveelheid borium. Voor de inzet van ENU- en (c-)ERU-elementen kan worden volstaan met natuurlijk borium. Natuurlijk borium heeft een ^{10}B concentratie van 19,78%. Voor de inzet van MOX-elementen kan vanwege de verzwakking van de boorzuurwerkzaamheid niet worden volstaan met natuurlijk borium en dient verrijkt borium aan het primaire water toegevoegd te worden. Het verrijkte borium heeft een ^{10}B concentratie van 32%.

Het boriumisotoop ^{10}B valt na invangst van een snel neutron in de atoomkern uiteen in twee

Tabel 11.1/2 Volumieke activiteit van de corrosieproducten gemeten in de periode 2003-2009

Nuclide	Halveringstijd (d)	Volumieke Activiteit (Bq/m ³)*
51Cr	27,7	1,6.107
54Mn	312	1,0.107
56Mn	0,108	9,3.106
59Fe	45	5,7.105
58Co	71	3,9.107
60Co	1940	3,3.107
99mTc	0,251	1,0.107
99Mo	2,8	2,4.107
110mAg	250	4,7.106
122Sb	2,7	1,1.108
124Sb	60,3	1,1.108

Totaal

* Tot op heden is alleen ENU/ERU splijtstof toegepast. Het gebruik van c-ERU en MOX splijtstoffen zal naar verwachting echter niet leiden tot veranderingen in de volumieke activiteiten van de corrosieproducten.

Ontsnapte splijtingsprodukten

De in de splijtstofelementen van de reactorkern aangemaakte splijtingsprodukten worden voor het allergrootste deel door de splijtstof en door de splijtstofomhulling vastgehouden. Als gevolg van twee oorzaken kan een klein deel van de splijtingsprodukten in het hoofdkoelmiddel terecht komen:

- één of meerdere splijtstofstaven kunnen door kleine defecten bepaalde hoeveelheden splijtingsprodukten doorlaten zonder dat daardoor het normale bedrijf in gevaar hoeft te komen;
- bij de fabricage van splijtstofstaven kan niet voorkomen worden dat een zeer geringe verontreiniging van de brandstof op het oppervlak achterblijft. Tijdens het bedrijf kan hierdoor een zeer geringe hoeveelheid splijtingsprodukten in het hoofdkoelmiddel terecht komen.

De belangrijkste radioactieve splijtingsprodukten die in het hoofdkoelmiddel terecht kunnen komen als gevolg van bovengenoemde redenen zijn gegeven in tabel 11.1/3. De gegeven nucliden zijn gekozen op basis van hun fysisch-chemische eigenschappen en hun radiotoxiciteit. Nucliden met een kortere halveringstijd dan 2 uur zijn niet vermeld vanwege hun geringe bijdrage ten aanzien van het radioactief afval. Tabel 11.1/3 is gebaseerd op de gemiddelde volumieke activiteiten van de splijtingsprodukten in het hoofdkoelmiddel zoals gemeten in de periode 2003-2009. De in tabel 11.1/3 genoemde volumieke activiteiten liggen ver beneden de toegestane waarden zoals vermeld in de Technische Specificaties (zie hoofdstuk 16).

Indien de grenswaarden uit de Technische Specificaties overschreden dreigen te worden, dient de reinigingscapaciteit en/of de ontgassing van het hoofdkoelmiddel (zie paragraaf 9.3.3) verhoogd respectievelijk continu in bedrijf genomen te worden.

11.1-6

K O P I E

Tabel 11.1/3 Volumieke activiteit van de splijtingsproducten in het hoofdkoelmiddel gemeten in de periode 2003-2009

Nuclide	Halveringstijd (d)	Volumieke Activiteit (Bq/m ³)*
85mKr	0,187	2,5.108
87Kr	0,053	4,7.108
88Kr	0,117	5,8.108
133Xe	5,28	1,3.109
135Xe	0,382	1,5.109
41Ar	0,075	8,0.107
Totaal edelgassen		4,6.109
134Cs	750	4,6.107
137Cs	11000	3,7.106
138Cs	0,022	6,4.107
Totaal cesium		1,1.108
131I	8,04	2,1.108
132I	0,096	1,3.109
133I	0,866	7,7.108
134I	0,036	2,3.109
135I	0,275	1,3.109

Totaal jodiden 5,9.109

* Tot op heden is alleen ENU/ERU splijststof toegepast. Bij gebruik van c-ERU en MOX

splijststoffen zal de totale volumieke activiteit van de splijtingsproducten in het hoofdkoelmiddel naar verwachting niet wijzigen.

Van de in de splijststof door drievoudige splijting ontstane tritium diffundeert slechts een klein deel uit de splijststof. De tritiumactiviteit als gevolg van de uraniumverontreiniging op de buitenkant van de splijststofstaven is te verwaarlozen. De totale tritiumproductie in het hoofdkoelmiddel als gevolg van de verschillende in deze paragraaf genoemde processen is gegeven in tabel 11.1/4. Dit is een gemiddelde over de periode 2003-2009.

Tabel 11.1/4 Jaarlijkse tritiumproductie in het hoofdkoelmiddel gemeten over de periode 2003-2009

Nuclide	Halveringstijd (d)	Activiteit (Bq/a)
3H	4500	7,3.1012*

* Tot op heden is alleen ENU/ERU splijststof toegepast. Bij gebruik van c-ERU splijststof zal de jaarlijkse productie van tritium naar verwachting met 10% toenemen, terwijl bij het gebruik van MOX splijststof de tritiumproductie naar verwachting zal afnemen.

11.1.3 Activiteit in de lucht van de gebouwen

De radioactieve verontreiniging van de lucht in de gebouwen kan drie oorzaken hebben:

- activering van de lucht in de buurt van het reactorvat;
- lekkage van radioactieve stoffen uit het primair systeem;
- lekkage van radioactieve stoffen uit nucleaire hulpsystemen buiten de installatieruimte.

Als gevolg van de eerste twee oorzaken wordt alleen de lucht in de installatieruimte van het reactorgebouw verontreinigd met radioactiviteit. Omdat de gebouwen op onderdruk worden gehouden met de laagste druk in de installatieruimte zal deze radioactiviteit zich niet buiten deze ruimte verspreiden.

In tegenstelling tot lekkages in de installatieruimte zijn lekkages daarbuiten bereikbaar zodat bij een geconstateerde lekkage direct maatregelen genomen kunnen worden om besmetting van de lucht te voorkomen.

Merkbare activering van de lucht vindt alleen plaats in de luchtspleet tussen het reactorvat en het biologisch schild, waarbij voornamelijk het nuclide ^{41}Ar gevormd wordt. Omdat deze lucht afgezogen wordt door het koelsysteem van het biologisch schild zal slechts een klein deel van deze activiteit door lekkage in de gebouwlucht komen. Bij het deksel van het reactorvat is de neutronenfluxdichtheid zo gering dat activering van de lucht in het reactorbekken te verwaarlozen is.

In tabel 11.1/5 is de gemiddelde volumieke activiteit zoals gemeten in de periode 2003-2009 gegeven. Hierbij worden onderscheiden: edelgassen, jodium en stofgedragen activiteit (aërosolen).

Tabel 11.1/5 Volumieke activiteit in de lucht van de installatieruimte gemeten in de periode 2003-2009

Nuclidegroep	Volumieke activiteit (Bq/m ³)*
Edelgassen	2,2.10 ⁵
Jodium	7,8.10 ⁻²
Aërosolen	3,6.10 ⁻³

* Tot op heden is alleen ENU/ERU splijtstof toegepast. Bij gebruik van c-ERU en MOX splijtstoffen zal de volumieke activiteit in de lucht van de installatieruimte naar verwachting niet noemenswaardig wijzigen.

Figuur 11.1/1 Activiteitsstroomschema radioactief afval

11.1-9

K O P I E

11.2 Radioactief afvalwatersysteem (TR)
(tabel 11.2/1 en 11.2/2, figuur 11.2/1)

11.2.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Het radioactief afvalwatersysteem (TR) dient voor het gecontroleerd lozen van afvalwater in de Westerschelde overeenkomstig de geldende wettelijke regelingen. Uitgangspunt van het ontwerp van het systeem is het zo laag mogelijk houden van de lozing van radioactieve stoffen als redelijkerwijs mogelijk is. Hiertoe wordt een zodanig gebruik gemaakt van de aanwezige technische middelen dat een optimale zuivering van het radioactieve afvalwater wordt gerealiseerd. Door bovengenoemde optimale zuivering wordt ervoor gezorgd dat de lozingen onder de in de vergunning gestelde limieten blijven. De in de vergunning voor het in werking brengen en in werking houden van de kernenergiecentrale gestelde limieten voor maximaal toegestane vloeibare radioactieve lozingen zijn:

11.2.2 Systeembeschrijving

Het radioactief afvalwatersysteem is schematisch weergegeven in figuur 11.2/1. Aan de inlaatkant van het systeem bevinden zich vier verzameltanks. Enerzijds via de verdamperinstallatie en anderzijds rechtstreeks staan deze in verbinding met twee controletanks. De uitlaat van de controletanks voert via de afgiftepomp naar de uitlaat van het nood- en nevenkoelwatersysteem (VF) welke weer uitkomt in het hoofdkoelwaterkanaal (VC). De verdamperinstallatie bestaat uit een verdamper met destillatiekolom en een condensor. De verdamper wordt verwarmd door het water- en stoomverzorgingssysteem (TN) en de condensor wordt gekoeld met het nucleair tussenkoelwatersysteem (TF). De ontluchting van de condensor voert naar het nucleair ventilatiesysteem (TL). Twee vaten met zuur respectievelijk loog staan in verbinding met de destillatiekolom.

Het afvalwater doorloopt het systeem op de volgende wijze. Het afvalwater uit het gecontroleerd gebied wordt verzameld in de verzameltanks. Op grond van de activiteit en samenstelling van een monster uit een tank wordt het water van die tank hetzij direct, hetzij via de verdamper in een van de controletanks gepompt. Het douche- en waswater is over het algemeen niet verontreinigd en kan in dat geval direct in een controletank gepompt worden. Om deze reden wordt dit water in een aparte verzameltank opgeslagen. Na de verdamper is de activiteit met een factor van globaal 104 afgenomen. Het water uit het hoofdkoelmiddelopslag en -regeneratiesysteem (TD) wordt rechtstreeks naar de controletanks gevoerd. Dit water is namelijk al in het TD-systeem behandeld in een verdamper en gecontroleerd op activiteit (zie paragraaf 9.3.4). Van het water in een controletank wordt een monster genomen en gecontroleerd op activiteit waarna, indien de activiteit laag genoeg is, het water via het koelwaterkanaal geloosd wordt. Indien de aangetroffen activiteit te hoog is wordt het water teruggepompt naar de verzameltanks voor verdere behandeling. De activiteit van het te lozen afvalwater en het koelwaterdebiet bepalen de snelheid waarmee geloosd wordt, zodanig dat de volumieke activiteit van het uittredende koelwater binnen de vergunningslimieten blijft. Tijdens het lozen vindt als extra controle een activiteitsmeting in de waterafgifteinstallatie plaats. Geeft deze meting een te hoge waarde dan wordt de lozing automatisch en direct gestopt.

Alvorens een monster uit de verzamel- of de controletanks te nemen wordt de inhoud gedurende enige tijd met een circulatiepomp rondgepompt om inhomogeniteiten te voorkomen. Naast de activiteit wordt ook de zuurgraad bepaald en indien nodig in de destillatiekolom op een neutrale waarde gebracht.

Naast bovenstaande behandelingsmethoden voor het radioactieve afvalwater bestaat de mogelijkheid om tussen de verzameltanks en de controletanks zonodig filters aan te sluiten.

11.2-2

K O P I E

Om ervoor te zorgen dat tijdens de lozing uit een controletank geen nieuw ongecontroleerd water de tank in kan stromen, wordt de afgiftepomp automatisch uitgeschakeld wanneer een van de toevoerleidingen van de desbetreffende controletank niet voor 100 % gesloten is.

Tijdens normaal bedrijf wordt ervoor gezorgd dat altijd een bijna lege verzameltank beschikbaar is. Mochten alle vier tanks toch vol zijn dan wordt het afvalwater naar het nucleair gebouwtwateringssysteem (TZ) geleid en daarin tijdelijk opgeslagen. In de 20 jaar dat de centrale in bedrijf is, heeft dit echter nog nooit plaatsgevonden.

De achtergebleven verontreinigingen uit het afvalwater in het verdamperconcentraat worden in eerste instantie naar een tussenopslag gevoerd. De capaciteit hiervan is voldoende voor circa 1,5 jaar bedrijf. Het afval wordt na deze tussenopslag verwerkt door het radioactief vast afvalstelsel (TT).

11.2.3 Lozing van vloeibaar radioactief afval

Vloeibaar radioactief afval wordt batchgewijs (in batches van ± 40 m³) geloosd. Jaarlijks vinden enkele tientallen van deze lozingen plaats. De hoeveelheden geloosd vloeibaar radioactief afval zijn per lozing gegeven in de tabel 11.2/1. In deze tabel zijn de herkomsten de gemiddelde volumieke activiteit per lozing in de periode 2002

De totale jaarlijkse lozing gemiddeld over de periode 1998-2007, is gegeven in tabel 11.2/2. Omdat tritium een halveringstijd van 12,3 jaar heeft, en niet met technische voorzieningen uit het water is te verwijderen, wordt de totale gedurende het jaar geproduceerde hoeveelheid geloosd.

Tabel 11.2/2 Jaarlijkse lozing van vloeibaar radioactief afval

Nuclidegroep	Activiteit (Bq/a)
Tritium*	7,0.1012
Beta/gammastralers	3,3.108
Alfastralers	3,4.105

* Tot op heden is alleen ENU/ERU splijtstof toegepast. Bij gebruik van c-ERU zal de jaarlijkse tritium lozing vloeibaar afval naar verwachting met maximaal 10% toenemen, terwijl bij het gebruik van MOX splijtstof de tritium lozing afneemt.

De categorie "beta/gammastralers" uit tabel 11.2/2 bestond globaal uit 79 % ^{60}Co , 8 % ^{58}Co , 4 % ^{110m}Ag , 4 % ^{137}Cs , 3 % ^{124}Sb , 1 % ^{51}Cr en 1 % ^{54}Mn .

11.2-4

K O P I E

Figuur 11.2/1 Radioactief afvalwatersysteem (TR)
- principe schema -

11.2-5

K O P I E

11.3 Behandeling van gasvormig radioactief afval (TS, TL) (tabel 11.3/1 t/m 11.3/3, figuur 11.3/1)

11.3.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Radioactieve gasvormige stoffen en luchtstofgedragen activiteit kunnen op vier manieren vrij komen casu quo in de installatie gevormd worden:

- in de vorm van edelgassen (Xe, Kr) in alle tanks en toestellen waarin zich primair water bevindt;
- in de vorm van tritium, edelgassen, halogenen en aërosolen als gevolg van lekkage van primair water naar de installatieruimte ;
- in de vorm van tritium, edelgassen, halogenen en aërosolen als gevolg van lekkage van nucleaire hulpsystemen buiten de installatieruimte;
- in de vorm van edelgas (Ar) door activering van de lucht in de luchtspleet tussen het reactorvat en het biologisch schild.

In het eerstgenoemde geval worden de verontreinigingen afgevoerd door het radioactief afgassysteem (TS) en in de andere gevallen door het nucleair ventilatiesysteem (TL). Deze systemen hebben tot doel de vrijkomende radioactieve gassen gecontroleerd af te voeren zodat de geloosde activiteit zo laag als redelijkerwijs mogelijk is. Hierbij wordt ervoor gezorgd dat de lozingen onder de in de vergunning gestelde limieten blijven.

Er wordt in de tanks, toestellen en de ruimten waarin gasvormige radioactieve stoffen vrij kunnen komen een onderdruk ten opzichte van de buitenlucht gehandhaafd zodat de gassen niet naar de omgeving kunnen ontsnappen. Daarnaast moet worden voorkomen dat knalgas gevormd kan worden door het door radiolyse uit het primaire water gevormde waterstof en zuurstof.

De in de vergunning voor het in werking brengen en in werking houden van de kernenergiecentrale gestelde lozingslimieten zijn weergegeven in tabel 11.3/1.

11.3-1

K O P I E

Tabel 11.3/1 Vergunningslimieten gasvormig radioactief afval

Nuclidegroep	Lozingslimiet (Bq/jaar)
Edelgassen:	500.1012
Halogenen:	50.109
waarvan ten hoogste 131 I:	5.109
Aërosolen:	500.106
HTO:	2.1012
Koolstof-14:	300.109

11.3.2 Systeembeschrijving

De systeembeschrijving van het gehele nucleair ventilatiesysteem (TL) wordt gegeven in paragraaf 9.4.1. In de onderhavige paragraaf worden alleen die delen besproken die van belang zijn voor de lozing van gasvormige radioactieve stoffen.

Het TL-systeem onderhoudt een luchtstroming van ruimten met een geringe activiteit naar ruimten met een hogere activiteit. De druk in alle ruimten wordt daarbij onder de atmosferische druk gehouden. Hierdoor wordt voorkomen dat de activiteit zich verspreidt en weglekt naar de omgeving. De af te voeren lucht wordt door een aërosolfilter geleid waarna deze via de ventilatieschacht het gebouw verlaat. De lucht uit de installatieruimte wordt bovendien door een koolfilter geleid (zie figuur 11.3/1). De vangstrendementen van de afgiftefilters worden periodiek gecontroleerd. In de figuur is het werkingsprincipe van het systeem aangegeven. In de ventilatieschacht worden de activiteiten en het ventilatiedebiet gemeten. Om de afgifte van de activiteit beperkt te houden wordt uit de installatieruimte slechts een beperkte hoeveelheid lucht afgezogen. Hierdoor is de gemiddelde verblijftijd van de lucht in deze ruimten ongeveer 20 uur. De kortlevende edelgassen en de stikstof zijn dan al voor een groot deel respectievelijk zo goed als geheel vervallen. Naast afzuigen is het mogelijk een veel grotere hoeveelheid lucht over aërosol- en koolfilters te circuleren. Hierdoor wordt een groot deel van de filterbare nucliden afgevangen (zie tabel 11.3/2).

11.3-2

K O P I E

Tabel 11.3/2 Nucleair ventilatiesysteem (TL)

Luchtafgifte uit installatieruimte	500-1000	m3/h
Circulatiedebiet installatieruimte over filter	5000	m3/h
Luchtafgifte ventilatieschacht	120000	m3/h
Werking afgiftfilters installatieruimte		
halogenen (organisch)	\$ 99	%
halogenen (anorganisch)	\$ 99,90	%
aërosolen	\$ 99,90	%
Werking circulatiefilters installatieruimte		
Halogenen	\$ 90	%
aërosolen	\$ 99	%
Werking afgiftfilters luchtafvoersysteem gebouw 01, 02 en 03		
aërosolen (gebouw 01, 02 en 03)	\$ 99,90	%
Werking circulatiefilters gebouw 01		
halogenen (indien toegeschakeld)	\$ 90	%

Het radioactief afgassysteem (TS) bestaat uit een kringloop waarin stikstof ten behoeve van de spoeling van bepaalde tanks en toestellen wordt rondgepompt (zie figuur 11.3/1). De belangrijkste componenten van de kringloop zijn achtereenvolgens:

- 1 recombinator;
- 2 vlamdoovers;
- 2 waterringcompressoren;
- 3 gel-drogers;
- 2 vertragingstraten elk bestaande uit 5 koolfilters;
- 1 gasfilter;
- verschillende drukreducertoestellen.

Het systeem bestaat uit een hoge druk (HD) en een lage druk (LD) gedeelte. Het HD-deel is het gedeelte tussen de perszijde van de compressoren en de drukreducertoestellen, het LD-deel is het overige gedeelte. Op het LD-deel zijn de tanks en de toestellen aangesloten waarin waterstofgas en gasvormige splijtingsprodukten vrij kunnen komen. Dit deel wordt op een onderdruk gehouden zodat lekkage van radioactieve gassen naar voor personen toegankelijke ruimten wordt voorkomen. Door de constante spoeling wordt verhinderd dat explosieve mengsels van zuurstof en waterstof (knalgas) kunnen ontstaan en worden hoge concentraties van gasvormige splijtingsprodukten vermeden. In de recombinator wordt het aanwezige zuurstof- en waterstofgas gecontroleerd aan elkaar gebonden. De vlamdoovers zorgen ervoor dat eventueel in de recombinator optredende vlammen zich niet kunnen verspreiden.

De concentraties zuurstof en waterstof worden voortdurend gecontroleerd. De compressor verhoogt de druk en stuurt het gas via een droger naar de vertragingstraat. De verblijfsduur van de gasvormige splijtingsproducten in de vertragingstraat is respectievelijk:

Xenon : 60 dagen minimaal
Krypton : 2,5 dagen minimaal

Het draaggas N₂ wordt niet geabsorbeerd in de koolfilters. Als de edelgassen de koolfilters gepasseerd zijn is hun activiteit zodanig gereduceerd dat de gassen via de ventilatieschacht, waarin de activiteit en het debiet gemeten worden door het TL-systeem, naar de buitenlucht kunnen worden afgevoerd. Het grootste deel van het gasmengsel wordt niet via de ventilatieschacht afgevoerd, maar wordt in druk gereduceerd en naar het LD-deel teruggevoerd.

11.3.3 Lozing van gasvormig radioactief afval

Zoals in paragraaf 11.3.2 besproken zijn er bij normaal bedrijf twee gasvormige afvalstromen. Eén van het nucleair ventilatiesysteem (TL) en één van het radioactief afgassysteem (TS).

Lozing van gebouw lucht

Van de installatieruimte wordt een hoeveelheid lucht gefilterd afgevoerd via de ventilatieschacht. Daarnaast wordt een veel grotere hoeveelheid lucht uit de bedrijfsruimte, de ringruimte en het reactorhulpgebouw afgevoerd (zie figuur 11.3/1). Door menging van deze luchtstromen wordt bereikt dat de volumieke activiteit van de lucht voldoende laag is.

Lozing vanuit het radioactief afgassysteem

De aan het radioactief afgassysteem toegevoerde gasvormige splijtingsproducten worden na een vertragingstijd naar de ventilatieschacht geleid en verdund aan de omgeving afgegeven. Door de vertragingstijden zijn de kortlevende xenon- en kryptonisotopen bijna volledig vervallen. De activiteit van het nuclide ¹³³Xe is sterk gereduceerd, terwijl de activiteit van het relatief lang levende ⁸⁵Kr nog bijna volledig aanwezig is. De totale activiteit wordt door de vertragingstijd met een factor van ruim 100 verminderd. De lozing vindt uiteindelijk plaats via het TL-systeem.

De jaarlijkse lozing van de verschillende categorieën van radioactieve stoffen via de ventilatieschacht naar de omgeving gemiddeld over de periode 1998-2007 zijn gegeven in tabel 11.3/3.

11.3-4

K O P I E

Tabel 11.3/3 Gemiddelde jaarlijkse lozing (1998-2007) via de ventilatieschacht

Nuclidegroep	Activiteit (Bq/a)*
Edelgassen	4,1.10 ¹²
Aërosolen	2,4.10 ⁴
131I	4,1.10 ⁷
Overige halogenen	2,7.10 ⁷
Tritium (als HTO)	2,5.10 ¹¹
14C (als 14CO ₂)*	1,1.10 ¹¹

* Tot

op heden is alleen ENU/ERU splijtstof toegepast. Het gebruik van c-ERU splijtstof zal naar verwachting echter niet leiden tot noemenswaardige veranderingen in de geloosde activiteit. Bij de inzet van MOX splijtstof neemt de geloosde activiteit naar verwachting af. De verwachte dosisreductie bedraagt ongeveer 10%.

In geval van stoomgeneratorlekkage komt er hoofdkoelmiddel in het secundair systeem en kan dit leiden tot lozing van edelgassen en tritium via de afzuiging van de condensoren (zie paragraaf 10.3.2). Zodra echter in de afgezogen lucht activiteit gemeten wordt, dan worden de gassen, in plaats van over het dak, naar het nucleair ventilatiesysteem (TL) afgevoerd, zodat ook bij stoomgeneratorlekkage geen radioactiviteit ongecontroleerd naar de omgeving wordt geloosd.

11.3-5

K O P I E

- | | |
|---------------------|------------------------|
| 1 Tanks | 10 Vertragingstraat |
| 2 Reactorhulpgebouw | 11 Gasfilter |
| 3 Ringruimte | 12 Drukreduceertoestel |
| 4 Bedrijfsruimte | 13 Aerosolfilter |
| 5 Installatieruimte | 14 Koolfilter |
| 6 Recombinator | 15 Ventilator |
| 7 Vlamdoover | 16 Debietmeting |
| 8 Compressor (2x) | 17 Activiteitsmeting |
| 9 Gel-droger (3x) | 18 Ventilatieschacht |

Figuur 11.3/1 Radioactief gas behandelingsysteem (TL, TS)
- principeschema -
11.3-6

K O P I E

11.4 Radioactief vast afvalstelsysteem (TT) (tabel 11.4/1)

11.4.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

Het radioactief vast afvalstelsysteem (TT) heeft als doel het vaste radioactief afval en het vloeibare radioactief afval dat niet door het radioactief afvalwatersysteem (TR) verwerkt kan worden, te verwerken en af te voeren. Het betreft voornamelijk het volgende afval:

- verdamperconcentraat;
- ionenwisselaarhars;
- poetslappen, kledingstukken e.d.;
- luchtfilters;
- filterresidu;
- besmette of geactiveerde constructiedelen;
- overig vloeibaar afval (oplosmiddelen, oliën e.d.).

Dit afval moet geschikt gemaakt worden voor eventuele tijdelijke opslag in daarvoor bestemde ruimten in de ringruimte (02), het afvalopslaggebouw (34) en uiteindelijke afvoer naar COVRA (Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval). Voor dit laatste dient het afval ondermeer te voldoen aan de geldende wettelijke vervoersnormen. Bij de verwerking en het transport van het afval dienen de kans op besmetting en het ontvangen van stralingsdoses zoveel als redelijkerwijs mogelijk beperkt te worden.

11.4.2 Systeembeschrijving

Het stelsysteem verwerkt de verschillende soorten afval conform de huidige inzichten op dit terrein op de hieronder beschreven wijze.

Het laag actieve vaste afval wordt gesorteerd en eventueel verschromt tot hanteerbare delen waarna het in stalen vaten geperst wordt. Deze vaten kunnen later door COVRA verder verwerkt worden. Het vaste afval met een hogere activiteit wordt in stalen vaten en/of in grotere betonnen vaten gedaan waarna het vat opgevuld wordt met cement. Het vloeibare afval (verdamperconcentraat) wordt in een geautomatiseerde cementeringsinstallatie vermengd met cement en in metalen vaten gedaan. De luchtfilters worden in pakketten in plastic verpakt.

Bij het opvullen van de vaten wordt de activiteit en de nuclidenamenstelling van het afval bepaald. Na het afsluiten van de vaten worden deze gecontroleerd op uitwendige besmetting en het dosistempo aan het oppervlak. Na eventuele reiniging worden de vaten geregistreerd en voorzien van de benodigde wettelijk voorgeschreven stickers met opschrift.

11.4-1

K O P I E

Indien nodig worden de vaten naar het afvalopslaggebouw getransporteerd in een betonnen container. Voor overdracht aan COVRA moet aangetoond worden dat de vaten voldoen aan de geldende wettelijke vervoersvoorschriften.

11.4.3 Afgifte van vast radioactief afval

Het vast radioactief afval wordt niet afgegeven aan de omgeving zoals dat het geval is met een deel van het vloeibaar en gasvormig afval. Het vast afval wordt zoals hiervoor beschreven verwerkt en opgeslagen en in een later stadium overgedragen aan COVRA voor langdurige opslag.

De hoeveelheid en activiteit van het belangrijkste vast radioactief afval is gegeven in tabel 11.4/1. De gegeven getallen zijn globale gemiddelden over periode 2000-2009. Bij de in de tabel gegeven activiteiten is niet gecorrigeerd voor verval van de nucliden.

Tabel 11.4/1 Vast radioactief afval

Soort afval	Activiteit*	Jaarlijkse hoeveelheid*
Ionenwisselaarhars	Middel	0,9 m3
Verdamper-concentraat	Middel	6,2 m3
Filterkaarsen	Middel	1 à 2 stuks
Persbaar afval	Laag	150 vaten (100 L)
Vloeibaar afval (organisch)	Laag	60 L
LuchtfILTER pakketten	Laag	1 pakket

* Tot op heden is alleen ENU/ERU splijtstof toegepast. Bij gebruik van c-ERU en MOX splijtstof zal de activiteit en de hoeveelheid van het vast afval naar verwachting niet wijzigen.

11.4-2

K O P I E

11.5 Vergelijking van de lozingen met de vergunningslimieten (tabel 11.5/1)

Sinds de kernenergiecentrale Borssele in bedrijf is, is ervaring opgedaan met de lozing van radioactief afval. Te allen tijde is door toepassing van het ALARA-principe iedere lozing zo laag als redelijkerwijs mogelijk gehouden. In deze paragraaf worden de gemiddelden over de periode 1998-2007 vergeleken met de in de vergunning voor het in werking brengen en in werking houden van de kernenergiecentrale gestelde lozingslimieten. Deze gemiddelden geven een representatief beeld van de actuele situatie.

In het algemeen bedragen de vloeibare radioactieve lozingen slechts enkele procenten van de vergunningslimieten en de gasvormige zelfs minder dan 2 %. Uitzondering hierop vormt tritium waar voor beide categorieën afval ongeveer 20 % van de vergunningslimieten wordt geloosd. Gemiddeld eens in de 2 à 3 jaar treedt een kleine splijfstoflekkage op waardoor met name de geloosde hoeveelheid gasvormige radioactieve stoffen kan toenemen tot ongeveer 10 % van de vergunningslimieten. Incidenteel is een grotere splijfstoflekkage mogelijk waarbij de lozing kan toenemen tot 50 % van de vergunningslimieten. Dit laatste is tot op heden slechts in de beginjaren van de bedrijfsvoering opgetreden.

Bovenstaande beschouwing geldt niet voor lozingen van tritium. De hoeveelheden daarvan bedragen circa 20 % van de vergunningslimieten maar waarden van circa 50 % zijn in het verleden ook opgetreden.

Als gevolg van reparaties en storingen hebben in het verleden kortstondige gasvormige lozingen plaatsgevonden die hoger waren dan normaal gebruikelijk. Deze lozingen bleven altijd onder de vergunningslimieten.

In tabel 11.5/1 zijn de jaarlijkse lozingen weergegeven als gemiddelde en als maximum over de periode 1998-2007. De waarden zijn uitgedrukt in een percentage van de vergunning voor het in werking brengen en in werking houden van de kernenergiecentrale.

11.5-1

K O P I E

Tabel 11.5/1 Gemiddelde en maximale jaarlijkse lozingen als percentage van de vergunningslimieten*

Lozingsvorm	Nuclide groep	Gemiddelde over periode van 1998-2007 (%)	Maximum over periode van 1998-2007 (%)
Vloeibaar	Tritium	24	30
Vloeibaar	Beta/gammastralers	0,1	0,2
Vloeibaar	Alfastralers	0,2	0,4
Gasvormig	Tritium	13	17
Gasvormig	Edelgassen	1	2
Gasvormig	Aërosolen	0,005	0,04
Gasvormig	¹³¹ I	0,8	4
Gasvormig	Overige halogenen	0,06	0,3

* Tot op heden is alleen ENU/ERU splijtstof toegepast. Bij gebruik van c-ERU splijtstof zal naar verwachting de gemiddelde en maximale jaarlijkse lozing enigszins hoger zijn. Bij het gebruik van MOX splijtstof zal de gemiddelde en maximale activiteit daarentegen naar verwachting lager zijn.

De bedrijfsvoering is er op gericht om, conform het ALARA-principe, de lozingen tot het uiterste te beperken. Ten behoeve van de flexibiliteit van de bedrijfsvoering is echter enige reserve in de vergunningslimieten ten opzichte van de werkelijke lozingen noodzakelijk.

11.5-2

K O P I E

11.6 Activiteitsbewaking

11.6.1 Bewaking van de activiteit in gebouwen en systemen

De activiteit in de installatie is in te delen in twee afzonderlijke groepen:

- activiteit van de lucht in de gebouwen
- activiteit in de systeemkringlopen.

Bewaking van de activiteit van de lucht in de gebouwen

De activiteit van de lucht in de gebouwen wordt bepaald door middel van meting aan de afgevoerde ventilatielucht. De ventilatielucht van de volgende ruimten wordt op activiteit gecontroleerd:

- installatieruimte (01);
- bedrijfsruimte (01);
- ringruimte (02);
- reactorhulpgebouw (03).

De meting van de volumieke activiteit van edelgassen in deze ruimten geschiedt volgens een meetmethode waarbij de in de lucht aanwezige β -straling gedetecteerd wordt. Daarnaast wordt de lucht met behulp van meetfilters op aërosolen en jodium gecontroleerd.

Bewaking van de activiteit in de systeemkringlopen

Om verspreiding van radioactieve stoffen binnen de centrale naar niet-actieve kringlopen ten gevolge van lekkages te onderkennen en te kunnen beperken, wordt in enkele kringlopen de activiteit gemeten:

- bewaking van de stoom/waterkringloop door middel van een activiteitsmeting in de afzuiging van de condensoren. Daarnaast worden bij de stoomgeneratoren 16N-metingen uitgevoerd om een eventuele stoomgeneratorlekkage snel te kunnen detecteren;
- bewaking van de stoomgeneratorspui (RY);
- bewaking van het nucleair tussenkoelwatersysteem (TF);
- bewaking van het condensaat van het stoomverzorgingssysteem (TN).

11.6.2 Bewaking van de afgegeven activiteit

De afgifte van de activiteit vindt plaats via drie afzonderlijke wegen:

- via de ventilatieschacht aan de lucht;
- via het afvalwatersysteem aan het koelwater;
- via het vast afvalstelsel naar een faciliteit voor langdurige opslag.

11.6-1

K O P I E

Hierbij wordt erop toegezien dat de vergunningslimieten niet worden overschreden.

Bij de bepaling van de afgifte aan de lucht van edelgassen, jodium en aërosolen en de afgifte van vloeibare radioactieve stoffen aan het koelwater wordt onderscheid gemaakt tussen bewaking (monitoring) en kwantificering per nuclide.

Onder bewaking wordt verstaan: een gecontroleerde registratie van bijvoorbeeld de activiteitsconcentratie (Bq/m³) waarbij de gemeten waarden worden vergeleken met vooraf ingestelde grenswaarden.

Onder kwantificering per nuclide wordt verstaan: identificering en vaststelling van de activiteit van de verschillende nucliden die worden afgegeven.

De afgifte van de hoeveelheid activiteit aan de buitenlucht wordt gemeten in de ventilatieschacht. Hierbij wordt de afgifte van edelgassen, jodium (en overige halogenen) en aërosolen continu (in de regelzaal) bewaakt en geregistreerd. Naast meting van de activiteit wordt eveneens het ventilatiedebiet gemeten en geregistreerd.

De kwantificering per nuclide van edelgassen, ¹³¹I, overige halogenen en aërosolen vindt periodiek plaats.

Ten behoeve van de bewaking van de afgifte van tritium (als HTO), strontium,

11.7 Afvoer van gebruikte splijtstofelementen

De gebruikte splijtstofelementen worden gedurende een bepaalde tijd waarin de activiteit van de elementen door natuurlijk verval afneemt opgeslagen in het splijtstofopslagbassin (zie paragraaf 9.1.2). Na deze opslag worden ze afgevoerd voor verwerking en/of opslag elders. Het transport vindt plaats in speciaal voor dit doel ontworpen splijtstoftransportcontainers. Deze containers zijn op basis van internationale normen gekeurd. Tijdens het transport komen op geen enkele wijze radioactieve stoffen vrij en het stralingsniveau van de containers voldoet aan de daarvoor geldende wettelijke normen.

In het kader van de uitvoering van transporten, mogelijk met meerdere transportcontainers tegelijk, worden deze containers soms tijdelijk geplaatst in het afvalopslaggebouw, in het machinehuis of in de open lucht op het terrein van de centrale. De werkwijze en voorwaarden voor deze tijdelijke opslag zijn vastgelegd in procedures en werkinstructies.

In het kader van het Verdrag inzake de niet-verspreiding van kernwapens vinden bij de kernenergiecentrale Borssele regelmatig inspecties van de splijtstofinventaris plaats door het Internationale Atoom Energie Agentschap te Wenen in samenwerking met Euratom.

11.7-1

K O P I E

12	STRALINGSBESCHERMING	12.1-1
12.1	Algemeen	12.1-1
12.2	Stralingsbronnen	12.2-1
12.3	Ontwerpaspecten ten aanzien van de stralingsbescherming	12.3-1
12.3.1	Ontwerpbasis	12.3-1
12.3.2	Afscherming	12.3-1
12.3.3	Ventilatie	12.3-3
12.3.4	Instrumentatie ten behoeve van de stralingsbescherming	12.3-4
12.3.5	Zonering	12.3-4
12.4	Dosis van het personeel	12.4-1
12.5	Dosis van omwonenden	12.5-1
12.5.1	Maximale individuele dosis	12.5-1
12.5.2	Effecten	12.5-3

K O P I E

12 STRALINGSBESCHERMING

Dit hoofdstuk behandelt de stralingsbescherming binnen en buiten de centrale. In de eerste paragraaf worden de algemene uitgangspunten besproken. De tweede paragraaf behandelt de stralingsbronnen die in de installatie aanwezig zijn en de derde de ontwerpaspecten ten aanzien van de stralingsbescherming. De laatste twee paragrafen behandelen de doses van het personeel respectievelijk van omwonenden.

12.1 Algemeen

De stralingsbescherming bij de KCB is gebaseerd op de Nederlandse wetgeving die mede gebaseerd is op de aanbevelingen van de ICRP (International Commission on Radiological Protection) en de Europese basisnormen. De ICRP hanteert de volgende uitgangspunten:

- een activiteit die een zekere stralingsbelasting tot gevolg heeft is alleen gerechtvaardigd als het nut van deze activiteit opweegt tegen het risico dat verbonden is aan deze stralingsbelasting (rechtvaardiging);
- alle stralingsdoses dienen zo laag als redelijkerwijs mogelijk te worden gehouden, rekening houdend met zowel sociale als economische overwegingen (optimalisatie, ALARA-principe: As Low As Reasonably Achievable);
- de ontvangen stralingsdoses mogen de geldende wettelijke limieten niet overschrijden (limitering).

Bovenstaande uitgangspunten vormen dus ook de basis voor de stralingsbescherming bij de KCB en zijn, waar van toepassing, terug te vinden in procedures en instructies. Zo dient o.a. bij een wijziging aan of onderhoud van de installatie waarbij een significante stralingsbelasting op zal treden, de te investeren dosis beargumenteerd te worden (rechtvaardiging). Deze argumentatie heeft tevens tot doel een optimale keuze te kunnen maken uit de mogelijke technische alternatieven voor de voorgenomen wijziging of bij het voorgenomen onderhoud (optimalisatie). Voor kleinere werkzaamheden wordt vooraf een schatting gemaakt van de stralingsdosis aan de hand waarvan vastgesteld wordt hoelang de werkzaamheden mogen duren en of bepaalde voorzieningen getroffen moeten worden.

Bij het ontwerp van de centrale is eveneens rekening gehouden met minimalisering van de stralingsbelasting. Hiertoe zijn nucleaire en conventionele installaties zoveel mogelijk gescheiden gehouden, is voor afscherming gezorgd en wordt voldoende geventileerd. Verder worden daar waar nodig de installaties, de ruimten, het personeel en de omgeving voortdurend gecontroleerd op aanwezige ioniserende straling. In de volgende paragrafen worden deze onderwerpen behandeld.

12.1-1

K O P I E

12.2 Stralingsbronnen

De belangrijkste stralingsbron wordt gevormd door de reactorkern (zie paragraaf 11.1.1). Deze zendt, voor zover van belang voor de stralingsbescherming, voornamelijk snelle neutronen en gammastraling uit. De neutronen komen vrij bij de splijting van uranium of plutonium kernen. De gammastraling is afkomstig van de door splijting gevormde vervalproducten en ontstaat daarnaast als gevolg van het invangen van neutronen in de reactorkern, het water en de afschermingmaterialen. De activering van het beton rond het reactorvat kan bij een afgeschakelde reactor een grotere bijdrage leveren aan het ter plaatse heersende stralingsniveau.

Het hoofdkoelmiddel is eveneens een belangrijke stralingsbron (zie paragraaf 11.1.2). Het stikstofisotoop ^{16}N levert tijdens bedrijf de belangrijkste bijdrage aan de uitgezonden straling. Na afschakeling vervalt dit nuclide snel waarna de overige in het primair systeem aanwezige radioactiviteit van belang is. Het hoofdkoelmiddel veroorzaakt tevens radioactiviteit in de verschillende andere nucleaire systemen waardoor deze ook als stralingsbron beschouwd moeten worden.

De splijtstofelementen die in het splijtstofopslagbassin zijn opgeslagen gelden als een belangrijke stralingsbron. Dit geldt vooral voor de gebruikte elementen die kort geleden uit de reactorkern verwijderd zijn.

De lucht in het reactorgebouw (01/02) en het reactorhulpgebouw (03) kan eveneens radioactiviteit bevatten (zie paragraaf 11.1.3), waardoor enige stralingsbelasting veroorzaakt kan worden.

In het afvalopslaggebouw (34) worden radioactieve stoffen opgeslagen. Het betreft vaten met afval en eventueel met geactiveerde constructiedelen. Deze dienen eveneens als stralingsbron beschouwd te worden.

In verband met transport bevinden zich soms splijtstoftransportcontainers (zowel voor nieuwe als voor bestraalde splijtstof), op het terrein van de kerncentrale die gedurende enige tijd geplaatst kunnen worden in het reactorgebouw (1), het afvalopslaggebouw (34), de transportgang van het machinehuis (4) of op geschikte plaatsen in de open lucht. Deze containers kunnen ook enige stralingsbelasting veroorzaken.

12.2-1

K O P I E

De temperatuur van het biologisch schild wordt laag gehouden dooreen koelsysteem van het biologisch schild (TM) om optredende spanningen in het beton te beperken. Boven de kern wordt de afscherming tijdens vermogensbedrijf gevormd door het koelmiddel, het vatdeksel en afdekbalken van beton. Door de relatief grote hoeveelheid water boven de kern is de activering van het vatdeksel en de afdekbalken als gevolg van invangst van neutronen gering. De afdekbalken dienen daarom vooral voor het afschermen van de gammastraling.

Het primair systeem is verder afgeschermd door betonnen wanden die de bedrijfsruimte scheiden van de installatieruimte. De volledige installatie- en bedrijfsruimte is geplaatst in de secundaire afscherming van gewapend beton, voor verdere afscherming naar de omgeving (de stalen veiligheidsomhulling is voor de afscherming niet van wezenlijk belang).

De andere nucleaire systemen zijn voor zover noodzakelijk voorzien van een betonnen afscherming.

De splijtstofelementen die in het splijtstofopslagbassin zijn opgeslagen worden naar boven toe afgeschermd door een laag water. Het bassin zelf bestaat uit betonnen wanden die de afscherming naar beneden en opzij waarborgen. Tijdens een splijtstofwisseling zijn het vatdeksel en de betonnen afdekbalken verwijderd. De afscherming wordt dan gewaarborgd door een extra laag water boven het reactorvat. De splijtstofelementen die gewisseld worden blijven tijdens het wisselen onder een ruime hoeveelheid water. De stralingsbelasting voor het personeel en de splijtstofwisselmachine blijft hierdoor laag.

De afscherming van het afval in het afvalopslaggebouw wordt gevormd door de vaten met cement waarin het radioactief afval is opgeslagen, door de betonnen wanden en door afdekbalken van beton. Het betreft binnenmuren voor de afscherming van de directe omgeving van het gebouw.

Wanneer zich in verband met transport splijtstofelementen op het terrein van de kerncentrale bevinden, dan zijn deze altijd verpakt in containers die van adequate afscherming en afdichting zijn voorzien.

In geval van containers voor afgewerkte splijtstofelementen hebben deze bijvoorbeeld een stalen wand van 32 cm dik. Afhankelijk van technische ontwikkelingen kan het ontwerp van deze containers van tijd tot tijd wijzigen. Uitsluitend containers die, via een aparte vergunningsprocedure, goedgekeurd zijn door het bevoegd gezag mogen voor transport van splijtstoffen ingezet worden.

De belangrijkste afschermingen en de toegepaste materiaaldiktes zijn gegeven in tabel 12.3/1.

12.3-2

K O P I E

Tabel 12.3/1 Belangrijkste afschermingen

Onderdeel	Materiaal	Dikte [cm]
Biologisch schild	Beton	200
Afdekbalken reactorbassin	Beton	100
Afscherming primair systeem	beton	100-150
Secundaire afscherming	Beton	60
Afscherming van:		
ionenwisselaars	Beton	90
opslagplaats ionenwisselaarhars	Beton	100
volumevereffeningstank (TA)	Beton	120
volumeregelpompen (TA)	Beton	60
hoofdkoelmiddelreservoirs (TD)	Beton	80
verdampinstallatie (TD)	Beton	80
verdampconcentraattanks (TT)	Beton	70
kern bij splijstofwisseling	Water	1100
element bij splijstofwisseling	Water	350
elementen in splijstofopslagbassin	Water	800
Wanden splijstofopslagbassin	Beton	140-180
Bodem splijstofopslagbassin	Beton	200
Binnenmuren afvalopslaggebouw	Beton	50-60
Buitenmuren afvalopslaggebouw	Beton	100

12.3.3 Ventilatie

De ventilatie heeft ten aanzien van de stralingsbescherming tot doel de stralingsbelasting van het personeel en de omgeving zo laag mogelijk te houden. Dit wordt bereikt door de verspreiding van eventuele activiteit in de lucht te voorkomen, door het wegnemen van eventuele activiteit door middel van filtering en door afvoer van mogelijke besmette lucht. Dit wordt verzorgd door het nucleair ventilatiesysteem (TL).

Het voorkomen van de verspreiding van eventuele activiteit in de lucht wordt gewaarborgd door het in stand houden van een bepaald drukverloop binnen de gebouwen. De delen met de hoogste eventuele activiteit hebben de laagste druk zodat daar vandaan geen lucht kan weglekken. Daarnaast worden alle nucleaire delen van de centrale op een onderdruk ten opzichte van de buitenlucht gehouden, zodat ook geen activiteit ongecontroleerd naar de omgeving kan lekken. Bij de afvoer van lucht door de ventilatieschacht wordt de hoeveelheid afgevoerde activiteit bewaakt.

12.3-3

K O P I E

12.3.4 Instrumentatie ten behoeve van de stralingsbescherming

De instrumentatie ten behoeve van de stralingsbescherming heeft een viertal doelen:

- bewaking van de activiteit in de systeemkringlopen;
- bewaking van de activiteit in de lucht in de gebouwen;
- bewaking van het stralingsniveau in de diverse ruimten;
- bewaking van de naar de omgeving afgegeven activiteit.

Om verspreiding van radioactieve stoffen binnen de centrale naar niet-radioactieve kringlopen ten gevolge van lekkages te onderkennen en te kunnen beperken, wordt in een aantal van deze kringlopen de activiteit gemeten (zie paragraaf 11.6.1).

De activiteit van de lucht in de gebouwen wordt bepaald door middel van metingen aan de afvoerlucht. De aanwezige activiteit van edelgassen, aerosolen en jodium wordt daarbij bepaald (zie paragraaf 11.6.1).

De bewaking van het stralingsniveau in de diverse ruimten gebeurt met het ruimtestralingsmeetsysteem (XQ). Dit systeem heeft tot taak het controleren van de verschillende ruimten op aanwezige straling teneinde het bedrijfspersoneel te beschermen tegen een te hoge stralingsbelasting. Het XQ-systeem is opgesteld in die ruimten welke, gedurende normaal bedrijf en storingsen door het bedrijfspersoneel regelmatig betreden worden. Een overschrijding van een bepaald toelaatbaar dosistempo kan een beperking van de verblijfsduur noodzakelijk maken. Voor de bewaking hiervan is in de ruimten alarmeringsapparatuur aangebracht. In het gecontroleerd gebied zijn verschillende meetopstellingen uitgevoerd met een ongevalsbestendige ionisatiekamer. Deze meetopstellingen kunnen na een ongeval uitsluitel geven over het toegankelijk zijn van de verschillende delen van het gecontroleerd gebied.

Ten behoeve van de bescherming van de omgeving tegen straling wordt de aan de omgeving afgegeven activiteit bewaakt. Dit gebeurt door middel van meting van de via de ventilatieschacht afgegeven lucht en door middel van metingen in het radioactief afvalwatersysteem (zie paragraaf 11.6.2).

12.3.5 Zonering

Elke ruimte of zone binnen het gecontroleerd gebied is voorzien van een bord waarop het dosistempo, de oppervlaktebesmetting en de luchtbesmetting zijn aangegeven. Tevens is aangegeven of de ruimte respectievelijk vrij toegankelijk is of dat toestemming of speciale begeleiding en/of voorzieningen nodig zijn voordat de ruimte betreden mag worden.

12.3-4

K O P I E

12.4 Dosis van het personeel

De controle van het personeel op de opgelopen stralingsdosis en eventuele besmetting wordt gedaan met behulp van het personenstralingsmeetsysteem (XR). Dit systeem bestaat uit vier delen:

- Ambtelijke dosimeters en bedrijfsdosimeters die binnen het gecontroleerd gebied en in het afvalopslaggebouw (afhankelijk van het heersende dosistempo) op het lichaam gedragen moeten worden. Op deze manier wordt de dosis die een persoon heeft opgelopen gecontroleerd en geregistreerd
- Personenmonitoren die opgesteld staan bij de hoofdtoegangscontrole van het gecontroleerd gebied. Hiermee worden alle personen die het gecontroleerd gebied verlaten gecontroleerd op een eventuele radioactieve besmetting (uitwendig en/of inwendig)
- Draagbare besmettingsmonitoren waarmee een eventuele uitwendige besmetting vastgesteld kan worden. Deze instrumenten worden ook in de ehbo-post gebruikt voor het vaststellen van eventuele besmetting van wonden;
- Totale gammameting van de borst. Deze wordt jaarlijks bij het vaste personeel en bij binnenkomst en vertrek van tijdelijk personeel uitgevoerd. Indien nodig bestaat de mogelijkheid een nuclide-specifieke totale lichaamstelling (tt) uit te voeren.

Verder wordt in de bewakingsloge (14) eenieder die het centrale terrein betreedt of verlaat door middel van personenmonitoren op besmetting gecontroleerd. Hierdoor wordt een eventuele besmetting zo vlug mogelijk ontdekt en wordt een ongecontroleerde verspreiding van radioactiviteit vermeden.

Voor het personeel dat binnen het gecontroleerd gebied bepaalde werkzaamheden moet uitvoeren gelden speciale gedragsregels en voorschriften. Uitvoering hiervan voorkomt of beperkt de stralingsbelasting of besmetting van het personeel.

Indien een besmetting wordt geconstateerd zijn er voorzieningen aanwezig waarmee de besmetting zo goed mogelijk verwijderd kan worden. Hierbij wordt gewerkt volgens voorgeschreven procedures.

Door de weloverwogen inzet van het personeel en de uitgevoerde controles is het mogelijk gebleken de stralingsbelasting van het personeel ruim onder de wettelijk voorgeschreven normen te houden.

12.4-1

K O P I E

12.5 DOSIS VAN OMWONENDEN (tabel 12.5/1, figuur 12.5/1 en 12.5/2)

12.5.1 Maximale individuele dosis

Bij normaal bedrijf van de kernenergiecentrale kan de bevolking op twee manieren in aanraking komen met ioniserende straling afkomstig uit de centrale:

- directe straling uit de gebouwen. Deze straling beperkt zich tot de onmiddellijke omgeving van bepaalde gebouwen en is op de terreingrens te verwaarlozen;
- lozingen van radioactieve stoffen. De stralingsdoses ten gevolge van deze lozingen zijn eveneens zeer gering maar strekken zich uit over een groter gebied.

Om bovenstaande stralingsbelasting te bewaken worden op en rond het centraleterrein en in de omgeving van de centrale metingen uitgevoerd. Het betreft exposiemetingen en activiteitsmetingen aan lucht, water, slib, wier, gras en melk (zie figuren 12.5/1 en 12.5/2). Bij de bepaling van de plaats en het aantal van de meetpunten is gelet op de verdeling over de windroos, de bereikbaarheid voor snelle gegevensverwerking onder noodsituaties en bescherming tegen vandalisme. Op grond van deze overwegingen kunnen de plaats en het aantal van de meetpunten aan wijziging onderhevig zijn.

Uit metingen van de directe straling afkomstig van de centrale blijkt dat de stralingsniveaus rond de centrale ten gevolge van het centralebedrijf niet meetbaar zijn toegenomen.

Omdat de concentraties van geloosde radioactieve stoffen in de omgeving van de kernenergiecentrale zeer laag zijn, kunnen dosisschattingen niet uit directe metingen van radionucliden in lucht, water, bodem en voedingsmiddelen afgeleid worden. Ze moeten daarom gebaseerd worden op modelberekeningen voor verspreiding in de omgeving en voor blootstelling van de mens aan verspreide radioactieve stoffen.

De in de atmosfeer geloosde radioactieve stoffen worden in de omgeving verspreid. Met uitzondering van de edelgassen zullen zij na korte of langere tijd op de bodem en het wateroppervlak neerslaan. Voor het bepalen van de concentraties van de radioactieve stoffen in de lucht en op het bodemoppervlak is gebruik gemaakt van het korte termijn model STACKS. In dit model wordt uitgegaan van een continue lozing en wordt een Gaussisch pluimmodel toegepast. Met het model wordt de concentratie in de lucht en de neerslag op de bodem van radioactiviteit berekend voor een historische tijdreeks van uurlijkse meteogegevens waaruit jaargemiddelde waarden worden afgeleid. Hierdoor geschiedt de schatting van de bijdrage van de bron(nen) aan bestaande niveaus op een realistische wijze.

12.5-1

K O P I E

Het model maakt gebruik van een voor de regio Vlissingen specifiek databestand met exacte weersgegevens op uurbasis. Met behulp van transportmodellen zijn de concentraties van de radioactieve stoffen in voedsel en drinkwater berekend. Uit de zo verkregen gegevens over de hoeveelheden en concentraties van radioactieve stoffen op de bodem en in lucht, water en voedingsmiddelen zijn de maximale individuele doses berekend.

Met behulp van modellen voor de verspreiding in water zijn de concentraties van de radioactieve stoffen in het mariene milieu berekend als gevolg van de lozingen in het oppervlaktewater. Daarbij is met behulp van concentratiefactoren uit de berekende concentraties in het water de concentraties in vissen en in schelp- en schaaldieren afgeleid. De maximale individuele dosis als gevolg van de lozingen zijn berekend op grond van veronderstelde consumpties van visserijproducten conform de nationale beleidsstandpunten ten aanzien van de stralingshygiëne.

Ten aanzien van de doses als gevolg van de lozing van radioactieve stoffen zijn berekeningen uitgevoerd op basis van de lozingen met de omvang van de vergunningslimieten en van de werkelijke lozingen gemiddeld over de periode 1998-2007. De beschouwde blootstellingswegen omvatten uitwendige bestraling door radioactieve stoffen in de lucht en op de bodem, inademing (inhalatie) van radioactieve stoffen en de opname via de slokdarm (ingestie) daarvan via consumptie van landbouw- en visserijproducten en van drinkwater. Maximale individuele doses zijn met behulp van boven beschreven modellen berekend voor een referentiepersoon. Dit is een volwassen persoon uit de bevolking die de hoogste individuele dosis ontvangt als gevolg van de lucht- en waterlozingen door de kernenergiecentrale Borssele. In tabel 12.5/1 is de bijdrage via de diverse blootstellingswegen aan de individuele dosis ten gevolge van gemiddelde lozingen over de periode 1998-2007 en lozingen met de omvang van de vergunningslimieten gegeven.

Voor de dosis als gevolg van de inname van een bepaalde hoeveelheid radioactiviteit in het lichaam in relatie tot de leeftijd geldt voor de radioactieve stoffen die bij de lozingen van de kernenergiecentrale bij normaal bedrijf een rol kunnen spelen, een aantal globale regels. Doses als gevolg van de inname van eenzelfde hoeveelheid radioactiviteit in het lichaam, via inhalatie of ingestie, zijn bij kinderen en jonge volwassenen in het algemeen tweemaal zo groot als bij de referentiepersoon. Een uitzondering hierop vormen de kortlevende jodium-isotopen (o.a. 131I) waar de doses voor kinderen en jong volwassenen, afhankelijk van de leeftijd, ongeveer acht keer de dosis voor de referentiepersoon kan bedragen. Doses ten gevolge van uitwendige bestraling zijn voor alle beschouwde groepen vrijwel gelijk.

12.5-2

K O P I E

Tabel 12.5/1 Dosisbijdragen via diverse blootstellingswegen als gevolg van gemiddelde lozingen gedurende de periode 1998-2007 en lozingen met de omvang van de vergunninglimieten

Blootstellingspad	Dosis (10 ⁻⁶ mSv/a)		Vergunning- nucliden	Meest belastende
	Gemiddelde lozing 1998-2007+	Maximale lozing 1998-2007+		
A LUCHTLOZINGEN				
Extern pluim	3,1	8,4	3,8•10 ²	Edelgassen
Extern bodem	2,1•10 ⁻¹	1,4	2,0•10 ³	60Co
Inwendig inhalatie	7,1•10 ⁻¹	1,1	1,5•10 ¹	3H, 131I
Inwendig ingestie	1,8•10 ¹	2,5•10 ¹	7,2•10 ¹	14C
B WATERLOZINGEN				
Inwendig ingestie	2,1•10 ⁻²	3,4•10 ⁻²	1,4•10 ¹	60Co
TOTAAL (afgerond)	2,2•10 ¹	3,6•10 ¹	2,5•10 ³	

*waarde o.b.v. vergunninglimiet

+ In

de periode 1998-2007 werd alleen ENU/ERU splijtstof toegepast. De dosisbijdrage zal door de inzet van c-ERU en MOX splijtstoffen niet of nauwelijks wijzigen.

12.5.2 Effecten

Ioniserende straling geeft zijn energie af door middel van ionisaties in de absorberende materie. Wanneer dit gebeurt in een weefselcel en in het bijzonder in een DNA-molecuul, kan dit chromosoombeschadiging, resulterend in celdood of een gemuteerde cel, tot gevolg hebben. Schade aan de gezondheid treedt pas op indien in korte tijd als gevolg van een hoge dosis zeer veel cellen sterven. De afgestorven cellen kunnen dan namelijk niet snel genoeg vervangen worden via celdeling van nog gezonde cellen. Hierdoor ontstaat een tekort aan cellen, waardoor het orgaan of weefsel niet goed meer kan functioneren. Dergelijke effecten noemt men acute of deterministische effecten. Deze effecten treden slechts op bij doses van meer dan 500 mSv, wanneer deze in korte tijd (enkele dagen of korter) worden ontvangen.

Bij de lage doses en lage dosistempi waarvan bij normaal bedrijf sprake is, treden geen acute effecten op. Er kunnen echter wel gemuteerde cellen ontstaan, die later kunnen uitgroeien tot een tumor. De kans van optreden wordt gegeven door de risicofactor. Internationaal wordt aangenomen dat de kans op overlijden aan een door straling geïnduceerde tumor 0,05 per sievert effectieve dosis bedraagt (ICRP, 1990). Deze risicofactor is afgeleid voor relatief hoge doses en dosistempi, maar wordt veiligheidshalve ook in het lage dosisgebied gehanteerd.

De dosislimiet voor leden van de bevolking bedraagt 1 mSv/a. In Nederland wordt de

Figuur 12.5/1 Meetpunten nabij de KCB anno 1993

12.5-5

K O P I E

Figuur 12.5/2 Meetpunten in de omgeving van de KCB anno 1993

12.5-6

K O P I E

13	NORMAAL BEDRIJF	13.1-2
13.1	Bestuur en beheer	13.1-2
13.1.1	Bedrijfsorganisatie	13.1-2
13.1.1.1	Organisatie N.V.	13.1-2
13.1.1.2	Organisatie van de stralingsbescherming	13.1-3
13.1.1.3	Organisatie van de milieuzorg	13.1-4
13.1.2	Opleidingen	13.1-4
13.1.3	Bewaking en beveiliging	13.1-5
13.1.4	Alarmplan	13.1-5
13.2	Bedrijfsvoering	13.2-1
13.2.1	Geplande bedrijfswijzen	13.2-1
13.2.2	Opstarten en inbedrijfname	13.2-2
13.2.3	Vermogensbedrijf	13.2-3
13.2.4	Uitbedrijfname	13.2-4
13.2.5	Afschakeling	13.2-6

K O P I E

13 NORMAAL BEDRIJF

Dit hoofdstuk beschrijft het normale bedrijf van de installatie en is onderverdeeld in twee paragrafen. De eerste behandelt de organisatie van de centrale. Naast de bedrijfsorganisatie komen opleidingen, bewaking en beveiliging en het alarmplan ter sprake. De tweede paragraaf behandelt de bedrijfsvoering. Hierbij worden de geplande bedrijfswijzen besproken. Verder uitgewerkt worden de inbedrijfname, het vermogensbedrijf, de uitbedrijfname en de afschakeling van de installatie.

13.1 Bestuur en beheer

13.1.1 Bedrijfsorganisatie

13.1.1.1 Organisatie N.V. EPZ

De exploitant van de kernenergiecentrale Borssele heeft zich ten doel gesteld op veilige, en daarna efficiënte, wijze elektriciteit te produceren met behulp van kernenergie. Hiertoe dient voldoende deskundig personeel in een geschikt organisatorisch verband volgens vaste procedures te werken.

De kernenergiecentrale Borssele is onderdeel van de N.V. Elektriciteits-Produktiemaatschappij Zuid-Nederland EPZ.

Alle medewerkers van de N.V. EPZ zijn ondergebracht in (hoofd)afdelingen die gezamenlijk de bedrijfsorganisatie vormen. Iedere afdeling is verantwoordelijk voor de uitvoering van een of meer taken. De taakomschrijvingen en de bedrijfsorganisatie, voor zover van belang voor het bedrijven van de kernenergiecentrale, zijn vastgelegd in de bedrijfsvoorschriften. De bedrijfsvoorschriften is de verzameling van alle bedrijfstechnische gegevens en voorschriften volgens welke de installatie bedreven dient te worden onder alle mogelijke bedrijfssituaties. Deze omvangrijke hoeveelheid informatie is vanwege het grote belang voor het veilig en efficiënt bedrijven van de installatie onderworpen aan strakke beheersregels ten aanzien van autorisatie, distributie, wijzigingen en dergelijke.

Opm.:Organisatiestructuren zijn zelden permanent, vandaar dat op deze plaats geen organogram wordt weergegeven. Aangezien de opbouw van de organisatie echter invloed kan hebben op het veilig bedrijven van de kernenergiecentrale vindt bij een voorgenomen relevante organisatiewijziging vooraf overleg met het toezichthoudend gezag plaats en wordt de wijziging pas geïmplementeerd nadat het toezichthoudend gezag hiermee heeft ingestemd.

De organisatie van de kernenergiecentrale moet voldoen aan de uitgangspunten van de NVR-1.2 "Safety Code For Nuclear Plant Operation" hoofdstuk 5, welke meer in detail is uitgewerkt in NVR-2.2.1 "Staffing of Nuclear Power Plants and Recruitment, Training and Authorization of Operating Personnel" en de NVR-1.3 " Hoofdregeel Kwaliteitsborging voor de Veiligheid van Kerncentrales".

De leiding van het bedrijf EPZ berust bij de directie. De directie is behalve voor de kernenergiecentrale ook verantwoordelijk voor andere activiteiten van het bedrijf EPZ. De verantwoordelijkheid voor het bedrijven van de kernenergiecentrale, inclusief de nucleaire

13.1-2

K O P I E

veiligheid en stralingsbescherming, berust bij het hoofd kernenergiecentrale (HKCB). Om praktische redenen kan besloten worden de functies statutair directeur en hoofd kernenergiecentrale te combineren. In de NVR-2.2.1 wordt de HKCB "plant manager" genoemd. Volgens deze laatste richtlijn moet een aantal organisatorische functies aangestuurd worden door de plant manager. Dit betreft de functies:

- Bedrijfsvoering
- Onderhoud
- Technische Ondersteuning, waaronder chemie, stralingsbescherming en fysica
- Kwaliteitsborging
- Terreinbeveiliging
- Administratieve ondersteuning
- Opleiding

Meer details over de organisatie zijn te vinden in de Technische Specificaties.

13.1.1.2 Organisatie van de stralingsbescherming

Voor de stralingsbeschermingsaspecten is de stralingsdeskundige verantwoordelijk. Hij geeft aanwijzingen en houdt toezicht voor wat betreft het in radiologische zin veilig werken in de centrale. Hij kan het werk doen onderbreken of de centrale laten stilzetten wanneer dat zijns inziens op grond van de veiligheid voor het personeel of de omgeving noodzakelijk is.

De stralingsdeskundige heeft de bevoegdheid zich in zaken die de stralingsbescherming betreffen rechtstreeks tot de directie te wenden. Tevens kan hij, wanneer hij dit noodzakelijk acht, andere deskundigen op het gebied van de stralingshygiëne raadplegen.

De globale taken van de stralingscontrolegroep omvatten alle te treffen voorzorgen en maatregelen die nodig zijn om er voor te zorgen dat:

- de stralingsdosis van de werkers binnen de kernenergiecentrale Borssele zo laag als redelijkerwijs mogelijk is, in elk geval beneden de wettelijk toegestane limieten;
- het milieu zo min mogelijk met radioactieve stoffen wordt belast als redelijkerwijs mogelijk is en de lozingen in elk geval beneden de wettelijke toegestane limieten blijven;
- rapportage van de verplichte gegevens aan de betreffende overheden plaatsvindt.

De stralingscontrolegroep heeft een rapportageplicht en -recht aan de stralingsdeskundige.

Voor de uitvoering van onder andere bovengenoemde taken is de stralingscontrolegroep qua aantal en kennis voldoende uitgerust. Tijdens de splijtstofwisseling wordt afhankelijk van de geplande werkzaamheden de bezetting van de stralingscontrolegroep uitgebreid.

13.1.1.3 Organisatie van de milieuzorg

De milieuzorg wordt door EPZ beschouwd als één van de facetten van kwaliteitszorg.

De directeur is verantwoordelijk voor de milieuzorg. De verantwoordelijkheid voor de uitvoering van het milieubeleid ligt in de lijnorganisatie die daarbij ondersteund en gecontroleerd wordt door een zo onafhankelijk mogelijke milieucoördinator.

De lijnfunctionaris is binnen zijn (hoofd)afdeling verantwoordelijk voor de zorg van een zo goed mogelijke bescherming van het milieu. Dit houdt onder meer in dat al die maatregelen dienen te worden getroffen, welke bevorderen dat verontreiniging van grondwater, oppervlaktewateren, luchtverontreiniging, bodemverontreiniging, geluidhinder en meer in het algemeen alle gevaar, schade of hinder veroorzaakt door de bedrijfsactiviteiten worden voorkomen of beperkt. Tevens dient ervoor gezorgd te worden dat de afvalstoffen en chemische afvalstoffen op een juiste wijze verzameld en afgevoerd worden.

De lijnfunctionaris dient de voorschriften en de vergunningsvoorwaarden, welke krachtens de milieuwetten voor de kernenergiecentrale Borssele gelden, strikt na te leven. Bij storingen, die milieuverontreiniging tot gevolg hebben, dient terstond met voorrang te worden onderzocht of de oorzaak van de verontreiniging binnen zijn verantwoordelijkheidsgebied valt. Als dit het geval is dienen maatregelen te worden genomen teneinde de verontreiniging of de hinder te beëindigen. Iedere storing dient te worden gemeld overeenkomstig de van toepassing zijnde vergunning(en) en richtlijnen in de bedrijfsvoorschriften.

13.1.2 Opleidingen

Voor het veilig bedrijven van de kernenergiecentrale is naast persoonlijke betrokkenheid van de medewerkers ook deskundigheid vereist.

De bedrijfsvoorschriften bevatten daartoe een opleidingsplan; hierin is voor iedere functie het vereiste niveau vastgelegd en is aangegeven hoe dit niveau kan worden bereikt en in stand kan worden gehouden. Het opleidingsplan is van toepassing op nieuwe medewerkers, waarbij overigens rekening wordt gehouden met aanwezige kennis en ervaring, en op het heropleiden c.q. opfrissen van kennis van de bestaande medewerkers.

In het opleidingsplan wordt onderscheid gemaakt tussen enerzijds algemene kundigheden (management, organisatie, communicatie, attitude, etc.) en anderzijds vakbekwaamheid (kerntechniek, kennis van systemen en processen, stralingsbescherming, kwaliteitszorg, brandbeheersing, EHBO, etc.).

Een belangrijk onderdeel van de opleiding vormt de simulatortraining. Hierbij wordt met name het bedieningspersoneel in een nagebootste regelzaal met behulp van een computersimulatie van de installatie geconfronteerd met mogelijke storingen en ongevallen. Aldus wordt getraind op het juist handelen wanneer dergelijke situaties in werkelijkheid zouden optreden.

13.1-4

K O P I E

Naast de kennis voor het veilig bedienen van de centrale beschikt het wachtpersoneel over deskundigheid op het gebied van brandbestrijding.

Een andere belangrijke deskundigheid is die op het gebied van de stralingsbescherming. Conform de wettelijke voorschriften worden alle medewerkers die aan ioniserende straling kunnen worden blootgesteld voldoende onderricht met betrekking tot de gevaren die hun werkzaamheden met zich mee kunnen brengen.

Het personeel dat specifiek op dit gebied werkzaam is, zoals de stralingsbeschermingsgroep (zie paragraaf 13.1.1.2), heeft, afhankelijk van de functie, de daarvoor wettelijk vereiste opleidingen. De stralingsdeskundige bezit deskundigheid, op het niveau "Deskundigheid Stralingsbescherming niveau 2".

De verantwoordelijkheid voor de naleving van het opleidingsplan ligt bij de chef van de afdeling waartoe een medewerker behoort. Het is de taak van de Opleidingsafdeling de mogelijkheid tot het volgen/doorlopen van de gewenste cursus of scholing te bieden.

13.1.3 Bewaking en beveiliging

De toegang tot de gebouwen en terreinen van de kernenergiecentrale is met het oog op de beveiliging gebonden aan regels. Vanuit de Kernenergiewet en de KEW-vergunning zijn hiertoe regels gesteld, die in het raamwerk "Beveiligingsrichtlijnen Kerninstallaties" terug te vinden zijn.

Algemeen geldt dat slechts toegang wordt verleend indien de Beveiligingsdienst hiervoor toestemming heeft gegeven. Alle op het terrein aanwezige personen hebben of krijgen een pas en moeten zich bij het betreden van het terrein onderwerpen aan controles zoals identificatie, bagageonderzoek, stralingsdetectie en dergelijke. Deze toegangscontrole geldt niet alleen voor personeel, maar ook voor bezoekers (eenmalig, langere tijd, regelmatig), inspecterende ambtenaren, enz. Ook de controle van in/uitgaande voertuigen en de bij transporten benodigde bescheiden behoort tot het werkterrein van de Beveiligingsdienst. Dit betreft ondermeer transporten van radioactieve stoffen en van huisvuil en overig afval afkomstig van de kernenergiecentrale.

Naast de hierboven beschreven beveiliging van gebouwen en terreinen is de installatie ook voorzien van een groot aantal passieve en/of actieve voorzieningen ter voorkoming van ongewenste indringing. De omvang van bewaking en beveiliging is afgestemd met de toezichthoudende overheid.

13.1.4 Alarmplan

De bedrijfsvoering van de kernenergiecentrale Borsssele is gericht op veilige en economische productie van elektriciteit met behulp van kernenergie. Toch kunnen zich in en rondom de centrale ongewenste omstandigheden voordoen variërend van licht persoonlijk letsel tot een ernstige radiologische bedreiging voor de omgeving. Teneinde in dergelijke situaties optimaal te kunnen handelen beschikt de NV EPZ over een alarmplan dat is afgestemd op de alarmregeling van de overheid.

13.1-5

K O P I E

Het alarmplan bevat ondermeer:

- een definiëring van situaties waarin het alarmplan in werking treedt;
- de organisatievorm tijdens alarmsituaties;
- een definiëring van mogelijk te nemen maatregelen;
- een opgave van beschikbare ruimtes en middelen.

Iedere voorkomende alarmsituatie wordt gemeld aan de wachtingenieur, de leider van de wachtploeg in de regelzaal; deze beoordeelt de situatie en bepaalt afhankelijk van de aard van de melding en de status van de centrale welke alarmcategorie van toepassing is.

Alarmsituaties worden als volgt geclassificeerd:

- Emergency stand-by: Een situatie, die in verband met de veiligheid verhoogde waakzaamheid en interne maatregelen noodzakelijk maakt. Er heeft echter geen nucleair ongeval plaatsgevonden en de jaarlozingslimieten krachtens de vergunning worden niet overschreden;
- Plant emergency: Een gebeurtenis, waarbij eventuele radiologische gevolgen beperkt blijven tot (een gedeelte van) de installatie
- Site emergency: Een gebeurtenis, waarbij op grond van de gevolgen eventuele maatregelen op het centraleterrein of de onmiddellijke omgeving getroffen moeten worden;
- Off-site emergency: Een nucleair ongeval, waarbij externe maatregelen overwogen moeten worden.

In feite leidt iedere veiligheidstechnisch relevante afwijking van de normale bedrijfssituatie tot activering van het alarmplan; de alarmcategorie bepaalt vervolgens de omvang van de alarmorganisatie. De achterliggende gedachte is dat kleine interne van de normale bedrijfssituatie afwijkende gebeurtenissen door allerlei oorzaken kunnen uitgroeien tot een groot ongeval met een ernstige bedreiging voor de omgeving. De alarmorganisatie groeit daarbij met de alarmsituatie mee, krimpt weer in bij het onder controle krijgen ervan, en wordt opgeheven nadat de alarmsituatie is beëindigd.

De alarmorganisatie bestaat uit een alarmstaf met als voorzitter het HKCB, of zijn vervanger, een aantal Functionele Eenheden voor beoordeling van de situatie en bepaling van de tactiek bij de bestrijding en een aantal Taakgroepen voor de uitvoering.

Ten behoeve van de uitvoering van de verschillende taken heeft de alarmorganisatie in voorkomende gevallen de beschikking over daartoe geoutilleerde ruimten, onder meer de regelzaal, de reserve-regelzaal, het Technisch Ondersteuningscentrum, het Alarmplan Coördinatiecentrum en het Technisch Informatiecentrum.

Afhankelijk van de vastgestelde alarmcategorie stelt de dienstdoende wachtingenieur de alarmorganisatie in werking door de betreffende medewerkers op te roepen, alle personen op de locatie te waarschuwen en, eventueel, namens het HKCB externe instanties te informeren casu quo te alarmeren. Buiten diensttijd zijn naast de reguliere wachtploeg, personen die van belang zijn voor de alarmorganisatie door middel van een consignatiesysteem snel beschikbaar. Tot de bovengenoemde externe instanties behoren het Alarmcentrum van WVC, de burgemeester van de gemeente Borsele en het Regionaal Alarmcentrum. De voorzitter van de alarmstaf alarmeert de directeur-EPZ bij het optreden van een ongevalssituatie in de alarmcategorie D. Een deskundig vertegenwoordiger van

13.1-6

K O P I E

EPZ begeeft zich in deze alarmsituatie naar het Operationele Centrum in Heinkenszand en adviseert daar het Beleidsteam van de Gemeentelijke Staf en geeft ondersteuning bij de contacten met de media.

De verantwoordelijkheid voor het instandhouden van het Alarmplan en het handhaven van de paraatheid ligt bij een afdeling van de Kernenergiecentrale.

De hiervoor benodigde activiteiten omvatten onder meer:

- opstellen en beheren van het alarmplan en bijbehorende instructies en procedures;
 - het beheren van ruimten en materialen die in een alarmsituatie benodigd kunnen zijn;
 - het verzorgen van opleidingen aan de bij de alarmorganisatie betrokken medewerkers;
 - het geoefend houden van de alarmorganisatie;
- het evalueren en eventueel opnemen in de documentatie van ervaringen die tijdens oefeningen of werkelijk opgetreden alarmsituaties zijn opgedaan.

13.1-7

K O P I E

13.2 Bedrijfsvoering (figuur 13.2/1, 13.2/2)

13.2.1 Geplande bedrijfswijzen

De normale bedrijfsvoering van de installatie is afgestemd op de eisen die een modern elektriciteitsnet stelt aan de daarin opgenomen productie-eenheden. De kernenergiecentrale Borssele kan in basislast eventueel met dag/nacht cycli tussen 100 % en 60 % bedreven worden, maar ook snelle belastingvariaties zijn mogelijk. In figuur 13.2/1 zijn de voorkomende bedrijfstoestanden en onderlinge overgangen schematisch weergegeven.

Ter verduidelijking worden de gebruikte termen hieronder kort toegelicht:

- koud-onderkritisch de reactiviteitsfactor (keff) kleiner is dan 0,99
en in de hoofdkoelmiddelkringloop is de
temperatuur kleiner dan circa 80 EC
- warm-onderkritisch keff kleiner dan 0,99, in de
hoofdkoelmiddelkringloop ligt de temperatuur
tussen circa 80 EC en 180 EC
- bedrijfsgereed keff kleiner dan 0,99, in de
hoofdkoelmiddelkringloop ligt de temperatuur
boven circa 180 EC
- kritisch keff = 1 en vermogens tussen 0 en 110 % zijn
mogelijk
- opstarten in bedrijf nemen van de installatie vanuit
koud- of warm-onderkritische toestand, keff is
groter of gelijk aan 0,99 en het thermische
vermogen is kleiner of gelijk aan 8 %
- vermogensbedrijf het thermische vermogen is > 8 %
- vollastbedrijf het geleverde elektrische vermogen van de
generator is 100 %
- eigen bedrijf het geleverde vermogen is gelijk aan het
benodigde vermogen voor de bedrijfsvoering
van de installatie
- vermogenstoename het volgens een vastgesteld traject
c.q.

- snelle reactorvermogensvermindering het in korte tijd van vol- of deellast naar eigen bedrijf niveau brengen van de installatie
- reactorsnel-afschakeling (RESA) het van vermogensbedrijf vrijwel ogenblikkelijk naar warm-onderkritisch brengen van de installatie.

13.2.2 Opstarten en inbedrijfname

Na een langere stilstandperiode zoals bijvoorbeeld bij splijtstofwisseling bevindt de hele installatie zich in koude toestand. De hoofdkoelmiddelkringloop is dan drukloos en heeft een temperatuur van circa 50 EC. Het opstarten vanuit de koud-onderkritische toestand vindt plaats in vier stappen:

- vullen en ontluichten van het primair systeem;
- verwarmen van het primair en het secundair systeem;
- kritisch maken van de reactor kern en vergroten van het reactorvermogen;
- op toeren brengen van het turbine-aggregaat.

Het primair systeem wordt in drukloze toestand gevuld door middel van de pompen van het volumeregelsysteem (TA) en eventueel die van het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ). Vervolgens wordt met de drukhouderverwarming het water in de drukhouder ontluicht door het te verwarmen. De lucht wordt via ontluichtingsventielen afgevoerd naar het radioactief afgassysteem (TS).

Aan secundaire zijde wordt het hoofdkoelwatersysteem (VC) in bedrijf genomen.

De druk in het primair systeem wordt opgevoerd door de temperatuur in de drukhouder te verhogen. Het primair systeem wordt vervolgens verwarmd door het in bedrijf nemen van de eerste hoofdkoelmiddelpomp.

Tegelijkertijd wordt aan secundaire zijde één hoofdcondensaatpomp (RM) in bedrijf genomen, wordt sperstoom op de turbineafdichtingen geschakeld en wordt in de condensors vacuüm ingesteld.

Door het in bedrijf nemen van de tweede hoofdkoelmiddelpomp wordt de temperatuur van het primair systeem verder verhoogd. Intussen wordt het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) uit bedrijf genomen en wordt de druk in het primair systeem met behulp van de drukhouderverwarming opgevoerd.

De stoomgeneratoren beginnen stoom te produceren waarmee de hoofdstoomleidingen opgewarmd worden. De turbineomloopregeling wordt daarbij in gebruik genomen. Bij een voldoende hoge temperatuur in de hoofdstoomleidingen worden de hoofdstoomafsluiters geopend. De voeding van de stoomgeneratoren wordt tijdelijk verzorgd door één van de twee elektrisch aangedreven noodvoedingswaterpompen (RL). Vervolgens wordt de turbine voorverwarmd.

De reactor wordt kritisch gemaakt door de regelementen gedeeltelijk uit te trekken en aansluitend de borium(B10)concentratie¹ van het hoofdkoelmiddel te verlagen. Met het trekken van de regelementen wordt bereikt dat er altijd voldoende afschakelreactiviteit beschikbaar is als de reactorkern kritisch wordt.

De eerste hoofdvoedingswaterpomp (RL) wordt in bedrijf genomen en neemt de functie van de noodvoedingswaterpomp over.

Bij een bepaalde temperatuur van het hoofdkoelmiddel wordt de hoofdkoelmiddeltemperatuur-regeling ingeschakeld. Met behulp van deze regeling wordt het reactorvermogen in eerste instantie stapsgewijs verhoogd tot circa 10 % en vervolgens tot circa 28 %.

De turbine wordt ingeklonken en op toeren gebracht, waarna de generator na synchronisatie op het net geschakeld wordt. Het generatorvermogen wordt verhoogd, waarna de elektrische voeding van de installatie omgeschakeld wordt van de starttransformator naar de eigenbedrijfstransformator. Bij een generatorvermogen van circa 1/3 van het nominaal vermogen worden een tweede hoofdcondensaat- en hoofdvoedingswaterpomp ingeschakeld. Vervolgens kan het vermogen opgevoerd worden naar het gewenste vermogen.

Het opstarten vanuit de warm-onderkritische toestand kan aanzienlijk vlotter verlopen. De temperatuur in het primair systeem komt namelijk al overeen met die behorend bij het nullastniveau. De tijd die nodig is om in bedrijf te gaan is afhankelijk van de temperatuur van de turbine, welke afhankelijk is van de stilstandtijd van de installatie. Nadat de turbine op temperatuur is gebracht kan de reactor kritisch gemaakt worden en wordt het vermogen zover opgevoerd dat de turbogenerator op toeren gebracht, gesynchroniseerd en verder belast kan worden.

13.2.3 Vermogensbedrijf

Het vergroten van het vermogen volgt op het hiervoor beschreven opstarten. Het turbinevermogen wordt opgevoerd afhankelijk van het gewenste elektrisch vermogen. Het reactorvermogen wordt vervolgens eveneens opgevoerd. Naarmate het reactorvermogen toeneemt wordt het temperatuursverschil tussen het primaire en het secundaire systeem groter. Wanneer het gewenste vermogen is bereikt is de fase van vermogenstoename beëindigd. De installatie wordt dan stationair in vollast of deellast bedreven.

Het verloop van de drukken en temperaturen aan primaire en secundaire zijde zijn in het stationair deellastdiagram (figuur 13.2/2) als functie van het vermogen weergegeven. Bij afnemende belasting neemt de hoofdstoomdruk bij gelijkblijvende gemiddelde hoofdkoelmiddeltemperatuur toe tot ruim 75 bar bij ongeveer 38 % vermogen. Evenzo neemt de aanspreekdruk voor de turbine-omloop overeenkomstig het deellastdiagram toe tot ruim 78 bar en wordt daarna constant gehouden. De insteldrukken van de veiligheidskleppen en de afblaasregelkleppen op de hoofdstoomleidingen liggen ruim boven de aanspreekdruk van de turbine-omloop.

13.2-3

1

Bij het gebruik van MOX als splijtstof wordt verrijkt borium ingezet. Voor ENU en c-ERU volstaat natuurlijk borium, mag ook verrijkt borium worden ingezet.

K O P I E

Het hiervoor beschreven deellastbedrijf geldt voor stationaire vermogens tussen ongeveer 38 % en 100 %. Indien geringere vermogens geleverd moeten worden dan gedraagt de installatie zich enigszins anders. Zo zal bij een deellast van 28 % de turbine-omloop aanspreken met als gevolg dat het reactorvermogen constant blijft. Bij verdere afname van het gewenste vermogen zal de hoofdkoelmiddeltemperatuur handmatig verlaagd worden door vermindering van het reactorvermogen.

Indien afblazen van stoom via de turbine-omloopleiding niet gewenst is, kan de hoofdkoelmiddeltemperatuur reeds bij 38 % verlaagd worden volgens het gestippelde verloop in figuur 13.2/2. De stoomdruk zal dan op een constante waarde, onder de aanspreekwaarde van de turbine-omloopleiding blijven. Dit functioneert tot circa 10 % à 15 % vermogen.

Indien nog kleinere vermogens gewenst zijn moet worden overgegaan op regeling van de neutronenfluxdichtheid; daarbij wordt de stoomdruk constant gehouden en de hoofdkoelmiddeltemperatuur ingesteld op de gestippelde waarden in het deellastdiagram.

Tijdens het stationaire bedrijf wordt de normale hoofdkoelmiddeldruk gehandhaafd. Het waterniveau in de drukhouder wordt door het volumeregelsysteem (TA) op het bij de gemiddelde temperatuur behorende peil gehouden. Voortdurend wordt hoofdkoelmiddel uit het primair systeem afgevoerd en na reiniging weer teruggevoerd. Teneinde gewenste variaties van de boriumconcentratie in het hoofdkoelmiddel te kunnen bewerkstelligen kan ofwel deminwater ofwel geboreerd water worden toegevoerd.

13.2.4 Uitbedrijfname

Een geplande uitbedrijfname verloopt in drie stappen:

- vermogensafname tot nullastniveau;
- warm-onderkritisch maken;
- koud-onderkritisch maken en houden.

De installatie wordt in de toestand warm-onderkritisch gebracht voor een korte stilstand of reparaties waarbij het primair systeem niet geopend hoeft te worden. De toestand onderkritisch, koud en drukloos wordt bereikt in het geval van een langere stilstand (bijvoorbeeld een splijtstofwisselperiode), reparaties waarbij het primair systeem geopend moet worden of bij langdurige uitval van de condensors.

Bij de vermogensafname wordt het turbinevermogen omlaag gebracht. Het reactorvermogen volgt door het automatisch inbrengen van de regelementen tot een vermogensniveau van circa 28 %. Intussen wordt de elektriciteitsvoorziening omgeschakeld van de eigenbedrijfstransformator naar de starttransformator. Tijdens de daling van het vermogen loopt de verse stoomdruk op tot ruim 78 bar. Bij deze waarde openen de turbine-omloopkleppen.

13.2-4

K O P I E

Het generatorvermogen wordt afgeregeld naar nullast. Verdere reductie van het reactorvermogen vindt handmatig plaats door het insturen van regelementen en het doseren van boorzuur. De installatie wordt in de warm-onderkritische toestand gebracht. Het geheel inbrengen van alle regelementen is voldoende om ondercriticaliteit te bewerkstelligen.

Zolang de hoofdkoelmiddeltemperatuur nog overeenkomt met die bij nullast behoeft de vanwege het eerdere vermogensbedrijf ingestelde boriumconcentratie² in eerste instantie niet verhoogd te worden. De vervalwarmte en de in het primair systeem aanwezige warmte worden via de stoomgeneratoren afgedragen naar de secundaire stoomwaterkringloop. De hoofdstoom wordt via de turbineomloop rechtstreeks naar de condensoren gevoerd. De voedingswatertoevoer wordt overgenomen door één van de noodvoedingswaterpompen (RL).

Indien nodig, bijvoorbeeld voor splijtstofwisseling of het uitvoeren van reparaties, kan de installatie verder worden afgekoeld naar de toestand koud-onderkritisch. Bij de start van deze fase liggen druk en temperatuur in het primair systeem ongeveer op het nullastniveau. Voordat de hoofdkoelmiddeltemperatuur wordt verlaagd moet de boriumconcentratie tot het voor de koude toestand vereiste niveau worden verhoogd. De vervalwarmte wordt in eerste instantie via de stoomgeneratoren en de condensoren afgevoerd. Teneinde een gelijkmatige afkoeling van het hele primaire systeem te bewerkstelligen blijven de beide hoofdkoelmiddelpompen nog in werking. De systeemdruk wordt afgebouwd door hoofdkoelmiddel in de drukhouder te sproeien.

Bij daling van de primaire druk worden de kerninundatiebuffertanks geïsoleerd. Bij een verdere daling van de temperatuur en druk neemt het TJ-systeem de nakoeling over en wordt één hoofdkoelmiddelpomp uit bedrijf genomen; tot circa 50 °C blijft één hoofdkoelmiddelpomp in bedrijf.

Ondertussen wordt de turbine afgekoeld en draaiend gehouden door de torninstallatie. Wanneer ook de laatste hoofdkoelmiddelpomp buiten werking is gesteld worden druk en temperatuur verder afgebouwd door sproeien in de drukhouder door het TA-systeem. Het TJ-systeem blijft in werking voor het afvoeren van de vervalwarmte.

Na verdere drukdaling wordt de toestand koud-onderkritisch, drukloos bereikt waarna (indien gewenst) het niveau in het primair systeem verlaagd en het primair systeem geopend kan worden.

13.2-5

2

Bij het gebruik van MOX als splijtstof wordt verrijkt borium ingezet. Voor ENU en c-ERU volstaat natuurlijk borium, mag ook verrijkt borium worden ingezet.

K O P I E

13.2.5 Afschakeling

In hoofdzaak kunnen zich drie situaties voordoen die elk tot een verschillende vorm van afschakeling aanleiding geven:

- a. Storing in het elektriciteitsnet: door het openen van de vermogensschakelaar wordt de generator van het net gescheiden. Onmiddellijk wordt de turbine teruggeregeld tot het eigenbedrijfsniveau en de reactor tot het daarbij behorende niveau door inworp van regelementen (snelle vermogensvermindering). De stroomvoorziening via generator en eigenbedrijfstransformator blijft intact. Zodra het externe net weer beschikbaar is kan de installatie volgens de eerder beschreven procedure weer op vermogen gebracht worden.
- B Storing aan de turbine: in deze situatie volgt de zogenaamde "TUSA" (Turbine snelafschakeling). Hierbij moet onderscheid worden gemaakt tussen storingen aan de turbogenerator (en bijbehorende installaties) en aan de condensorinstallatie. In beide gevallen wordt onmiddellijk een afschakelsignaal aan de turbine gegeven en wordt de stroomvoorziening voor het eigenbedrijf omgeschakeld van de generator naar het net. Indien de condensoren beschikbaar zijn blijft de reactorinstallatie in werking waarbij de hoofdstoom via de turbineomloop rechtstreeks wordt afgevoerd. Het reactorvermogen wordt op een laag niveau gebracht. In geval van storing aan de condensoren wordt de hoofdstoom via de afblaasregelkleppen afgevoerd; de reactor wordt dan afgeschakeld.
- C Reactorsnelafschakeling (RESA): indien zich situaties voordoen waarbij de gedefinieerde veiligheidsgrenswaarden worden overschreden treedt zogenaamde RESA op. Als gevolg van dit signaal vallen de regelementen door hun eigen gewicht in de reactorkern en wordt de reactor warm- onderkritisch. In die situatie neemt het reactorvermogen direct sterk af tot en stelt zich na ongeveer 20 seconden in op het bij de vervalwarmte horende niveau. Tegelijk met het RESA-signaal wordt ook het TUSA-signaal gegeven. Dit voorkomt een te sterke afkoeling van het primair systeem.

13.2-6

K O P I E

A: opstarten vanuit de koud-onderkritische toestand
B: opstarten van uit de warm-onderkritische toestand

C: vermogenstoename
D: vermogensafname
E: uitbedrijfname naar warm-onderkritisch
F: afkoelen en nakoelen

G: snelle reactorvermogensvermindering
H: reactorsnelafschakeling (RESA)

Inbedrijfname : A,B zie 13.2.2
Vermogensbedrijf : C,D zie 13.2.3
Uitbedrijfname : E,F zie 13.2.4
Afschakelingen : G,H zie 13.2.5

Figuur 13.2/1 Bedrijfstoestanden

13.2-7

K O P I E

Figuur 13.2/2 Staionair deellastdiagram

13.2-8

K O P I E

14	INBEDRIJFSTELLING	14.1-1
14.1	Algemeen	14.1-1
14.2	Inbedrijfstellingsprogramma	14.2-1
14.2.1	Kernladen	14.2-1
14.2.2	Onderkritische toestand	14.2-1
14.2.3	Kritisch maken	14.2-2
14.2.4	Beproevingen bij nullastniveau	14.2-3
14.2.5	Beproevingen bij deel- en vollastniveau	14.2-3
14.3	Proefbedrijf	14.3-1

K O P I E

14 INBEDRIJFSTELLING

Dit hoofdstuk behandelt de inbedrijfstelling van de installatie na de oprichting, na omvangrijke wijzigingen en na een _____ slijtstofwisselperiode. De eerste paragraaf geeft een algemene inleiding. Het programma van de inbedrijfstelling wordt in de tweede paragraaf behandeld. De laatste paragraaf beschrijft het na de eerste inbedrijfstelling of na de implementatie van omvangrijke wijzigingen uitgevoerde proefbedrijf.

14.1 Algemeen

Een kernenergiecentrale is een installatie die opgebouwd is uit een groot aantal systemen. De systemen zijn op hun beurt weer opgebouwd uit componenten. Uiteindelijk moet dit geheel op een tevoren vastgelegde wijze samenwerken en functioneren zodat aan de hoofddoelstelling, namelijk het veilig en economisch produceren van elektriciteit met behulp van kernenergie, wordt voldaan. Dit heeft in de praktijk geleid tot de ontwikkeling van doordachte werkwijzen en procedures in alle stadia van de realisatie en de bedrijfsvoering.

Uit de hoofddoelstelling vloeien eisen en randvoorwaarden met betrekking tot de systemen voort die in systeemspecificaties worden vastgelegd. Vervolgens vloeien uit de functie van een systeem eisen en randvoorwaarden aan de componenten van dat systeem voort, die op hun beurt worden vastgelegd in componentspecificaties.

Tijdens de bouw van een installatie wordt een strak regime van kwaliteitscontrole, afnamekeuringen en beproevingen aangehouden. Na fabricage van een component wordt gekeurd of de component voldoet aan de specificaties. Na inbouw van de betreffende component wordt gekeurd of het systeem voldoet aan de specificaties. Nadat is vastgesteld dat alle systemen correct functioneren wordt de eerste kernlading ingebracht en volgt het testen en beproeven van de gehele installatie.

Dit hele proces van geschiktheidsbeoordeling van de elementaire bouwstenen tot en met het testen en beproeven van de gehele installatie behoort tot de inbedrijfstelling.

Het voorlopige veiligheidsrapport van de kernenergiecentrale Borssele (Veiligheidsrapport voor de kernenergiecentrale Borssele I met een drukwaterreactor, mei 1969) waarin het ontwerp en de wijze van functioneren zijn beschreven heeft de overheid destijds beoordeeld en zich ervan overtuigd dat toereikende maatregelen ter bescherming van mensen, dieren, planten en goederen in het ontwerp waren voorzien. Dit heeft in 1972 geresulteerd in de zogenaamde oprichtingsvergunning. Tijdens de uitvoeringsfase heeft de overheid toezicht uitgeoefend en het uiteindelijke resultaat inclusief de toenmalige inbedrijfstelling beoordeeld. Het verstrekken van de vergunning voor het in werking brengen en houden van de inrichting in 1973 weerspiegelde haar goedkeuring.

14.1-1

K O P I E

Op basis van de bedrijfservaringen worden in het algemeen jaarlijks enkele wijzigingen in de installatie tijdens de splijtstofwisselperiode uitgevoerd. Daarnaast worden inspecties en onderhoud uitgevoerd. De wijzigingen en eventuele bevindingen van inspecties en onderhoud worden door de toezichthoudende instanties beoordeeld en goedgekeurd. Tevens worden het

14.2 Inbedrijfstellingsprogramma

14.2.1 Kernladen

Het beladen van de kern vindt plaats in een aantal stappen. In de beginsituatie staan de splijtstofelementen genummerd in vastgelegde posities opgesteld in het splijtstofopslagbassin. Regelementen bevinden zich in de daarvoor bestemde splijtstofelementen. Het splijtstofopslagbassin is gevuld met geboreerd¹ water. De boriumconcentratie is zodanig, dat ondercriticaliteit te allen tijde gewaarborgd is. Ook in het geopende reactorvat, het primair systeem, en het reactorbassin (de ruimte boven het reactorvat) bevindt zich geboreerd water tot hetzelfde niveau als in het splijtstofopslagbassin. De pompen van het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) pompen het water voortdurend rond teneinde een homogene boriumconcentratie te handhaven; dit wordt gecontroleerd door middel van monsters die op verschillende diepten worden genomen. Alle afsluiters waardoor eventueel ongeboerd water in het primair systeem kan stromen worden gesloten en vergrendeld.

De elementen worden volgens een tevoren vastgesteld beladingsplan met behulp van de splijtstofwisselmachine één voor één uit de opslagrekken in het splijtstofopslagbassin genomen en in het reactorvat geplaatst. Ook tijdens het beladen wordt het water voortdurend rondgepompt en de boriumconcentratie bewaakt.

De uitwendige meetkanalen meten de dichtheid van de thermische neutronen waaruit de neutronenvermenigvuldiging afgeleid kan worden. Door een zorgvuldig gekozen beladingsvolgorde zijn de telsnelheden reeds in het onderkritische stadium een goede maat voor de neutronenvermenigvuldiging. Tijdens het laden van de kern wordt met behulp van deze meetkanalen de ondercriticaliteit bewaakt.

14.2.2 Onderkritische toestand

Nadat de bovenste kernondersteuning is geplaatst wordt het reactorvat gesloten en het primair systeem geheel met geboreerd water gevuld. De boriumconcentratie wordt op dezelfde hoge waarde als bij het beladen gehandhaafd. Bij deze concentratie blijft de vermenigvuldigingsfactor (keff) zeker beneden 0,95 onafhankelijk van de hoofdkoelmiddeltemperatuur en zelfs bij volledig getrokken regelementen.

In deze onderkritische toestand wordt een meetprogramma uitgevoerd. Dit omvat onder andere:

- het in werking stellen van de hoofdkoelmiddelpompen en meting van het debiet bij één respectievelijk twee kringlopen in bedrijf;
- het bepalen van de valtijd van de regelementen mét en zonder hoofdkoelmiddelcirculatie;
- het testen van de regelstaafaandrijvingen;
- het testen van de drukregeling van het primair systeem;
- het bepalen van de uitloopcurven van de hoofdkoelmiddelpompen.

14.2-1

1

Bij het gebruik van MOX als splijtstof wordt verrijkt borium ingezet. Voor ENU en c-ERU volstaat natuurlijk borium, mag ook verrijkt borium worden ingezet.

K O P I E

Deze beproevingen worden zowel in koude als in warme toestand van de reactor uitgevoerd. Het opwarmen van het primair systeem gebeurt door het in bedrijf stellen van de hoofdkoelmiddelpompen.

14.2.3 Kritisch maken

Om van de onderkritische toestand naar de kritische te komen worden de regelementen eerst volledig uit de kern getrokken en wordt daarna de boriumconcentratie verlaagd. Door deze werkwijze kan de reactor op elk tijdstip weer snel onderkritisch gemaakt worden door de regelementen in de kern te brengen.

Voor aanvang van het kritisch maken bevindt de installatie zich in de volgende toestand:

- alle regelementen zijn volledig ingebracht;
- de hoofdkoelmiddelinstrumentatie en de neutronenfluxdichtheidmeters zijn getest en in werking;
- het primair systeem is gevuld en op lekdichtheid getest; de boriumconcentratie in minimaal zo hoog, dat de kern bij getrokken regelementen niet kritisch is; de hoofdkoelmiddeltemperatuur is constant;
- minstens één hoofdkoelmiddelpomp is in bedrijf;
- alle relevante hulpsystemen zijn bedrijfs gereed;
- de grenswaarden van het reactorbeveiligingssysteem zijn ingesteld op waarden die overeenkomen met een vermogenslevering van circa 3 % van het nominale vermogen van de installatie.

Teneinde de reactor kritisch te laten worden, worden eerst de regelementen stap voor stap getrokken; daarna wordt de boriumconcentratie verlaagd. Door middel van chemische analyses van het hoofdkoelmiddel wordt dit proces op de voet gevolgd. Ook de ontwikkeling van de neutronenvermenigvuldiging wordt voortdurend bewaakt. Door herhaaldelijk te extrapoleren op basis van de gemeten neutronenfluxdichtheden kan het moment van kritisch worden steeds beter worden bepaald.

Na het bereiken van de kritische toestand, als de reactiviteit een licht positieve waarde heeft aangenomen, wordt de toename van de neutronenfluxdichtheid door het inbrengen van de regelementen beperkt. Als de fluxdichtheid een vooraf bepaalde waarde heeft bereikt wordt de toename geheel gestopt door de regelementen nog verder in te brengen. Vanaf dit moment wordt de neutronenfluxdichtheid op peil gehouden door regelementmanipulaties, met andere woorden naarmate de boriumconcentratie verder afneemt worden de regelementen verder de kern in bewogen. Het verdunningsproces wordt voortgezet totdat de regelementen in de vooraf bepaalde gewenste posities zijn gekomen.

14.2.4 Beproevingen bij nullastniveau

Na het kritisch worden volgt een bedrijfsfase waarin het reactorvermogen minder dan 1 % van het nominale vermogen bedraagt. De splijtstoftemperatuur is dan vrijwel gelijk aan de temperatuur van het hoofdkoelmiddel.

De neutronenfluxdichtheid-instrumentatie wordt in deze fase opnieuw beproefd en de boriumconcentratie waarbij de kern nog juist kritisch is in de situatie "nullast koud bij getrokken regelementen" wordt bepaald.

Vervolgens wordt het primair systeem met behulp van de door de hoofdkoelmiddelpompen ontwikkelde warmte op de bedrijfstemperatuur gebracht. De eerder genoemde beproevingen worden herhaald en de boriumconcentratie waarbij de kern nog juist kritisch is in de situatie "nullast heet bij getrokken elementen" wordt bepaald.

De vastgestelde boriumconcentraties vormen een maat voor de overreactiviteit en de koelmiddeltemperatuurcoëfficiënt van de reactiviteit.

14.2.5 Beproevingen bij deel- en vollastniveau

Het reactorvermogen wordt opgevoerd tot ongeveer 3 % van het nominale vermogen. Bij dit vermogensniveau worden de meetkanalen gecontroleerd. Het vermogen wordt vervolgens stapsgewijs verhoogd. Bij ieder niveau wordt het gedrag in de tijd van de reactor en van de hele installatie bepaald. Pas nadat op een bepaald vermogensniveau bevredigende resultaten zijn vastgesteld vindt verhoging naar het volgende niveau plaats. Bij tevoren vastgestelde vermogensniveaus worden ook de bedrijfsovergangen als lastafschakeling, turbineafsluiting en storingsen als het uitvallen van pompen gesimuleerd. Tijdens het beproevingsprogramma wordt het gedrag van de installatie nauwkeurig geregistreerd en vergeleken met het berekende gedrag. Ook worden steeds extrapolaties naar het vollastniveau gemaakt.

Uiteindelijk wordt de installatie op vol vermogen gebracht en is het inbedrijfstellingsprogramma beëindigd.

14.2-3

K O P I E

14.3 Proefbedrijf

Naast de veiligheidstechnische acceptatie door de overheid wenst de exploitant van de kernenergiecentrale na de oprichting van de installatie of na omvangrijke wijzigingen aangetoond te zien dat de installatie als geheel in staat is het gespecificeerde vermogen onder de daarbij beschreven condities te leveren. Dit zogenaamde "proefbedrijf" wordt contractueel afgesproken tussen leverancier en exploitant. De functie van het proefbedrijf is daarom van commerciële, niet van veiligheids- c.q. vergunningstechnische aard.

14.3-1

K O P I E

15	ONGEVALSANALYSES	15.1-1
15.1	Inleiding	15.1-1
15.1.1	Veronderstelde begingebourtenissen	15.1-1
15.1.2	Representatieve begingebourtenissen	15.1-4
15.2	Thermohydraulische analyses	15.2-1
15.2.1	Algemeen	15.2-1
15.2.2	Ongevulsverloop	15.2-3
15.2.3	Onbedoeld openen van appendages (bijvoorbeeld omloopafsluiters, afblaasregelkleppen, veiligheidskleppen) (1.4)	15.2-4
15.2.4	Breuk in de hoofdstoomleiding tussen de veiligheidsomhulling en de hoofdstoomafsluiters (1.5.4)	15.2-9
15.2.5	TUSA zonder opening van de turbine-omloopleiding (2.3.2)	15.2-17
15.2.6	Langdurige noodstroomsituatie (> 30 minuten) (2.5.2)	15.2-22
15.2.7	Uitval van de hoofdvoedingswaterpompen (2.6.1)	15.2-29
15.2.8	Blokken van een hoofdkoelmiddelpomp of breuk van een hoofdkoelmiddelpompas (3.2)	15.2-34
15.2.9	Uitworp van het meest effectieve regelement (5.2)	15.2-41
15.2.10	Onbedoeld openen en weer sluiten van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (7.1.1)	15.2-46
15.2.11	Onbedoeld openen en open blijven van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (7.1.2)	15.2-51
15.2.12	Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (7.2.2)	15.2-55
15.2.13	Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding (7.2.3)	15.2-63
15.2.14	Bezwijken van stoomgeneratorpijpen (7.3.2)	15.2-68
15.2.15	Lekkage van hoofdstoomleidingen in geval van een aardbeving (9.1.1)	15.2-75
15.2.16	Overtoerental van een hoofdkoelmiddelpomp tijdens een lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (10.2)	15.2-81
15.2.17	Bedrijfstransiënten waarbij een hypothetisch uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (ATWS) (10.5)	15.2-84

K O P I E

15.3	Radiologische analyses	15.3-1
15.3.1	Definities	15.3-1
15.3.2	Algemeen	15.3-2
15.3.3	De rekencode COSYMA	15.3-5
15.3.4	Invoergegevens	15.3-6
15.3.5	Indeling van weerssituaties	15.3-16
15.3.6	Wijze van berekenen	15.3-17
15.3.7	Resultaten ten aanzien van lozingen	15.3-17
15.3.7.1	Bronterm behorende bij ontwerp ongeval 1.5.1: Langdurige uitval van de secundaire hoofdkoeling bij bedrijfslekkage van stoomgeneratorpijpen	15.3-17
15.3.7.2	Bronterm behorende bij ontwerp ongeval 7.2.2: Lekkage van het primair systeem	15.3-20
15.3.7.3	Bronterm behorende bij ontwerp ongeval 7.2.3: Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding	15.3-26
15.3.7.4	Bronterm behorende bij ontwerp ongeval 7.3.2.2: Bezwijken van stoomgeneratorpijpen met een noodstroomsituatie (kortstondig)	15.3-36
15.3.7.5	Bronterm behorende bij ontwerp ongeval 7.4.2: Lekkage van een meetleiding die hoofdkoelmiddel bevat buiten de veiligheidsomhulling	15.3-40
15.3.7.6	Bronterm behorende bij ontwerp ongeval 8.2: Lekkage van een leiding in het afgassysteem	15.3-44
15.3.7.7	Bronterm behorende bij ontwerp ongeval 8.4.1: Beschadigingen van splijstofelementen tijdens het hanteren	15.3-47

15 ONGEVALSANALYSES

Dit hoofdstuk behandelt de resultaten van die ongevalsanalyse die als afdekkend geldt voor de drie mogelijke splijtstofopties ENU, (c-)ERU en MOX. De eerste paragraaf geeft een inleiding met de veronderstelde begingebourtenissen en de daaruit af te leiden representatieve begingebourtenissen. In de tweede paragraaf worden de resultaten van de thermohydraulische analyses behandeld. De radiologische analyses worden vanwege hun belang voor de omgeving van de kernenergiecentrale afzonderlijk in de derde paragraaf toegelicht en behandeld.

Uitgangspunt voor de afdekkende ongevalsanalyses is dat de minimaal vereiste boriumsamenstelling is genomen. Dit wil zeggen verrijkt borium voor de MOX analyses en natuurlijk borium voor de overige (ENU, c-ERU) analyses. Op grond van het hogere B10 gehalte in verrijkt borium geldt dat relevante ENU en c-ERU analyses met natuurlijk borium afdekkend zijn voor dezelfde situaties met verrijkt borium. De in het vervolg van dit hoofdstuk gebruikte termen als borium, boriumconcentratie, boorzuur, boorzuurconcentratie en geboreerd water hebben dan ook betrekking op de voornoemde vereiste minimale boriumsamenstelling.

15.1 Inleiding (tabel 15.1/1)

15.1.1 Veronderstelde begingebourtenissen

Hoewel bij het ontwerp van de installatie maatregelen zijn getroffen ter voorkoming van ongevallen, dient de installatie berekend te zijn op de beheersing van een aantal veronderstelde begingebourtenissen (PIE: Postulated Initiating Event) die eventueel tot een ongeval zouden kunnen leiden. Om na te gaan of aan deze beschermingsdoelstelling is voldaan, worden er ongevalsanalyses uitgevoerd. De in dit hoofdstuk te bespreken begingebourtenissen vormen een representatieve selectie uit een groot aantal hypothetisch mogelijke situaties. Deze selectie is gebaseerd op internationale normen en installatiespecifieke kenmerken.

Zoals internationaal gebruikelijk, kunnen ook voor de kernenergiecentrale Borssele de veronderstelde begingebourtenissen in de volgende categorieën worden onderverdeeld:

- 1 verhoogde warmte-afvoer door het secundair systeem
- 2 verminderde warmte-afvoer door het secundair systeem
- 3 vermindering van het debiet in het primair systeem
- 4 verandering van de druk in het primair systeem
- 5 onbedoelde verandering van de reactiviteit en de vermogensverdeling
- 6 toename van de hoeveelheid hoofdkoelmiddel
- 7 lekkages van hoofdkoelmiddel
- 8 ontsnappen van radioactieve stoffen uit subsystemen of componenten
- 9 externe invloeden
- 10 diversen.

De voor de KCB relevante begingebourtenissen zijn in tabel 15.1/1 in de bovenstaande categorieën ingedeeld. Uit deze relevante begingebourtenissen is

15.1-1

K O P I E

een aantal begingebourtenissen geselecteerd dat in zijn geheel ten aanzien van de in paragraaf 1.4 genoemde doelstellingen representatief is voor alle in tabel 15.1/1 vermelde begingebourtenissen. De uit de begingebourtenissen voortvloeiende ongevallen kunnen worden onderscheiden in ontwerp- en buiten-ontwerp ongevallen.

Ontwerp ongevallen worden deterministisch bepaald wat wil zeggen dat ze verondersteld worden op te treden. Dit betreft de gevolgen van begingebourtenissen die weliswaar op grond van algemene technische ervaringen niet te verwachten zijn tijdens de bedrijfsduur van de installatie, maar die toch niet uitgesloten kunnen worden. Door aan te tonen dat de ontwerp ongevallen worden beheerst, is realisatie van de beschermingsdoelstellingen aangetoond.

Daarnaast worden begingebourtenissen beschouwd waarvoor, vanwege de geringe waarschijnlijkheid dat zij zullen voorkomen, bij het ontwerp uitsluitend beschouwd wordt hoe met redelijke middelen het resterende risico verminderd kan worden. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen zelden voorkomende gebeurtenissen (bijvoorbeeld ATWS) en gebeurtenissen binnen de installatie die de ontwerp criteria overschrijden (zie ook figuur 1.4/1). De maatregelen die getroffen worden tegen gebeurtenissen binnen de installatie die de ontwerp criteria overschrijden, worden in hoofdstuk 20 beschreven.

Ter vereenvoudiging van de bewijsvoering dat aan de beschermingsdoelstellingen wordt voldaan, worden afdekkende (representatieve) begingebourtenissen geanalyseerd.

Hierbij wordt er vanuit gegaan dat de begingebourtenissen in categorieën, zoals bijvoorbeeld storingen of ongevallen of gebeurtenissen met geringe waarschijnlijkheid (bijvoorbeeld ATWS), ingedeeld kunnen worden op grond van de beschermingsdoelstellingen waaraan bij de betreffende begingebourtenissen dient te worden voldaan.

Zo geldt bijvoorbeeld:

- dat bij de analyses van storingen aangetoond dient te worden dat deze storingen zich niet tot ongevallen zullen uitbreiden. Daarvoor is het nodig dat de beschermingsdoelstellingen waaraan bij storingen voldaan moet worden, voldoende beperkend zijn. In het geval van een storing kan, na het opheffen van de oorzaak en de gevolgen van de storing, de installatie onverwijd zonder beperkingen verder bedreven worden. Bij dergelijke gebeurtenissen is daarom bijvoorbeeld filmkoken slechts in beperkte omvang toelaatbaar terwijl de hoofdkoelmiddeldruk en de hoofdstoomdruk de maximaal toelaatbare waarden (voor beide 1,1 x ontwerp druk) niet mogen overschrijden.
- dat bij ongevallen er vanuit gegaan dient te worden dat de installatie niet zonder meer opnieuw in bedrijf genomen kan worden. Dit houdt in dat de gevolgen voor de installatie groter mogen zijn. Daarom geldt voor deze gebeurtenissen in principe dat bijvoorbeeld filmkoken toelaatbaar is mits de temperatuur van de splijtstofomhulling de toegestane maximale waarde niet overschrijdt, en dat de hoofdkoelmiddeldruk ongeveer 1,3 keer de ontwerp druk mag bedragen.

15.1-2

K O P I E

- dat bij gebeurtenissen met geringe waarschijnlijkheid (zie paragraaf 1.4.2) voldaan moet worden aan minder beperkende beschermingsdoelstellingen dan bij ongevallen. Tot deze categorie gebeurtenissen behoren de Bedrijfstransiënten waarbij het uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling (ATWS) aangenomen wordt. ATWS wordt geanalyseerd ten behoeve van het minimaliseren van het risico.

De hierboven beschreven trapsgewijze indeling wordt internationaal gehanteerd.

Bij de werkwijze met afdekkende begingebuurtenissen wordt zoveel mogelijk voor een groep gebeurtenissen een afdekkende gebeurtenis vastgesteld. Voor deze afdekkende gebeurtenis gelden de strengste beschermingsdoelstellingen van de afgedekte gebeurtenissen. Bovendien worden ten behoeve van een voldoende conservatieve afdekking de ongunstigste randvoorwaarden en uitgangspunten van de afdekkende gebeurtenissen gehanteerd.

In paragraaf 15.1.2 wordt voor de afzonderlijke categorieën de selectie beschreven van de representatieve (afdekkende) begingebuurtenissen waarvan de gevolgen geanalyseerd zijn.

De analyseresultaten van deze representatieve gebeurtenissen worden in de paragrafen 15.2.2 tot en met 15.2.16 behandeld.

Van de veronderstelde begingebuurtenissen behorende tot de categorieën 9 en 10 is slechts een deel relevant voor het nucleaire en thermohydraulische gedrag van de kern. Daarom worden alleen van deze relevante begingebuurtenissen in paragraaf 15.2 de resultaten van de analyses gepresenteerd. De andere begingebuurtenissen uit deze categorieën worden beheerst of verhinderd doordat specifieke maatregelen zijn getroffen zoals bijvoorbeeld het constructieve ontwerp van de installatie met het oog op externe invloeden, maatregelen ten behoeve van de brandpreventie en een storingsvrij ontwerp van de voor de veiligheid belangrijke elektronische en meet- en regeltechnische componenten.

De in de volgende tekst vermelde nummers van de begingebuurtenissen komen overeen met die in tabel 15.1/1. De representatieve begingebuurtenissen hebben in tabel 15.1/1 een "T" of een "R" in de derde kolom waarmee aangegeven is of deze op thermohydraulische danwel radiologische effecten geanalyseerd zijn. De

resultaten van de analyses zijn in de paragrafen 15.2 respectievelijk 15.3

beschreven.

15.1-3

K O P I E

15.1.2 Representatieve begingebourtenissen

CATEGORIE 1: Verhoogde warmte-afvoer door het secundair systeem

a) Begingebourtenissen zonder lekkages respectievelijk leidingbreuken:

- storing in het voedingswatersysteem (RL), die een daling van de voedingswatertemperatuur tot gevolg heeft (1.1)
- storing in het voedingswatersysteem, die een vergroting van het voedingswaterdebiet tot gevolg heeft (1.2)
- storing in de regeling, die een vergroting van het hoofdstoomdebiet tot gevolg heeft (1.3)
- onbedoeld openen van appendages (bijvoorbeeld omloopafsluiters, afblaasregelkleppen, veiligheidskleppen) (1.4).

Representatieve begingebourtenis ten aanzien van de verhoging van het reactorvermogen

Onbedoeld openen van appendages (bijvoorbeeld omloopafsluiters, afblaasregelkleppen, veiligheidskleppen) (1.4).

Toelichting

Het afkoelen van de waterinhoud van de stoomgenerator door een lage temperatuur van het voedingswater (1.1) of een vergroot voedingswaterdebiet (1.2) is een langzaam proces met een beperkte uitwerking. Door een verhoogde stoomafname kan meer vermogen uit de stoomgeneratoren afgevoerd worden dan door het verlagen van de voedingswatertemperatuur. Een storing in de hoofdstoomregeling (1.3) kan in het uiterste geval een volledig openen van de veiligheidskleppen tot gevolg hebben en wordt daarom eveneens door PIE 1.4 afgedekt.

b) Begingebourtenissen met lekkages respectievelijk leidingbreuken in het hoofdstoomsysteem (RA):

- kleine lekkages van het hoofdstoomsysteem (1.5.2);
- breuk in de hoofdstoomleiding tussen de veiligheidsomhulling en de hoofdstoomafsluiters (1.5.4);
- breuk in de hoofdstoomleiding binnen de veiligheidsomhulling (1.5.5);
- lekkage van de hoofdstoomleiding binnen de veiligheidsomhulling (1.5.6);
- lekkage van de hoofdstoomleiding in de ringruimte (1.5.7);
- breuk in een hoofdstoomleiding na de buitenste hoofdstoomafsluiters buiten de veiligheidsomhulling, zonder dat er sprake is van lekkage van een stoomgeneratorpijp (1.5.8).

Representatieve begingebourtenis ten aanzien van de maximale onderkoeling van het primair systeem

Breuk in de hoofdstoomleiding tussen de veiligheidsomhulling en de hoofdstoomafsluiters (1.5.4).

Toelichting

De transiënt zoals beschreven in 1.5.8 heeft een gelijke of geringere afkoeling van het primair systeem tot gevolg, aangezien de lekkage ofwel dezelfde omvang heeft als bij de in 1.5.4 beschreven begingebourtenis ofwel afgesloten kan worden. De transiënt 1.5.5 blijft buiten beschouwing, omdat een breuk in de hoofdstoomleiding binnen de veiligheidsomhulling uitgesloten is op grond van het principe "lek voor breuk" (zie paragraaf 3.4.2); evenzo blijft transiënt 1.5.7 buiten beschouwing vanwege de toepassing van een mantelbuis voor de

hoofdstoomleiding in de ringruimte (zie paragraaf 10.2).

De transiënten 1.5.2 en 1.5.6 betreffen lekkages die met betrekking tot de afkoeling van het primair systeem afgedekt zijn door een breuk in de hoofdstoomleiding (1.5.4), respectievelijk met betrekking tot de reactorvermogensverhoging afgedekt zijn door onbedoeld openen en open blijven van appendages van het secundair systeem (1.4).

c) Begingebourtenissen met radiologisch relevante lekkages respectievelijk leidingbreuken in het hoofdstoomsysteem (RA):

- langdurige uitval van de secundaire hoofdkoeling bij bedrijfslekkage van stoomgeneratorpijpen (1.5.1);
- lekkage van de hoofdstoomleiding buiten de veiligheidsomhulling bij bedrijfslekkage van stoomgeneratorpijpen (1.5.3);
- breuk in de hoofdstoomleiding tussen de veiligheidsomhulling en de hoofdstoomafsluiters (1.5.4).

Representatieve begingebourtenis ten aanzien van de radiologische gevolgen
Langdurige uitval van de secundaire hoofdkoeling bij bedrijfslekkage van stoomgeneratorpijpen (1.5.1).

Toelichting

De begingebourtenissen zoals beschreven in 1.5.1 en 1.5.3 zijn systeemtechnisch gezien niet relevant en worden volledig beheerst door de veiligheidssystemen; zij behoeven daarom niet thermohydraulisch geanalyseerd te worden. Bij transiënt 1.5.1 komt de maximale hoeveelheid radioactief besmette stoom vrij en deze is daarom radiologisch afdekkend voor 1.5.3 en 1.5.4.

15.1-5

K O P I E

CATEGORIE 2: Verminderde warmte-afvoer door het secundair systeem

a) Begingebourtenissen met vermindering van het hoofdstoomdebiet:

- storing in de regeling, die leidt tot een vermindering van het hoofdstoomdebiet (2.1);
- lastafschakeling op eigenbedrijf (2.2);
- turbinesnelafschakeling (TUSA) met opening van de turbine-omloopleiding (2.3.1);
- TUSA zonder opening van de turbine-omloopleiding (2.3.2);
- onbedoeld sluiten van hoofdstoomafsluiters (2.4);
- kortstondige noodstroomsituatie (# 30 minuten) (2.5.1);
- langdurige noodstroomsituatie (> 30 minuten) (2.5.2).

Representatieve begingebourtenissen ten aanzien van de primaire en secundaire drukverhoging door het verminderde hoofdstoomdebiet

- TUSA zonder opening van de turbine-omloopleiding (2.3.2)
- langdurige noodstroomsituatie (2.5.2).

Toelichting

Bij beide representatieve begingebourtenissen is de vermindering van het hoofdstoomdebiet en daardoor ook de stijging van de druk en de temperatuur van de hoofdstoom maximaal. De transiënten 2.1, 2.2, 2.3.1 en 2.4 hebben elk een geringere stijging van de druk en de temperatuur tot gevolg dan de transiënt 2.3.2, omdat bij deze laatste alle hoofdstoom direct via de hoofdstoomafblaasregelkleppen naar de atmosfeer afgevoerd moet worden. De kortstondige noodstroomsituatie (2.5.1) wordt door de langdurige noodstroomsituatie (2.5.2) afgedekt.

b) Begingebourtenissen met vermindering van het voedingswaterdebiet:

- uitval van de hoofd_____voedingswaterpompen (2.6.1);
- onbedoeld sluiten van appendages (2.6.2);
- verlies van de inhoud van de voedingswatertank (2.6.3);
- kleine lekkage in leidingen van het voedingswatersysteem, waarbij normaal afschakelen en uit bedrijf nemen mogelijk blijft (2.7.1);
- breuk in leidingen van het voedingswatersysteem, waarbij normaal afschakelen en uit bedrijf nemen niet mogelijk is (2.7.2);
- rondgaande scheur of scheur in de lengterichting van een voedingswaterleiding binnen het reactorgebouw (2.7.3);
- lekkage van de voedingswaterleiding in de ringruimte (2.7.4);
- uitval van de noodvoedingswaterpompen (2.7.5);
- breuk in een noodvoedingswaterleiding (2.7.6).

Representatieve begingebourtenis ten aanzien van de primaire drukverhoging door het verminderde voedingswaterdebiet

Uitval van de hoofd_____voedingswaterpompen (2.6.1).

Toelichting

De PIE's 2.6.2 en 2.7.1 houden slechts een gedeeltelijk uitvallen van de voedingswatervoorziening in aangezien de noodvoedingswaterpompen nog beschikbaar zijn; zij hebben daarom een geringere uitwerking dan 2.6.1, waarbij uit conservatisme tevens de uitval van de noodvoedingswaterpompen is verondersteld, zie paragraaf 15.2.6.

De PIE's 2.6.3, 2.7.2 en 2.7.6 komen neer op een totale uitval van de hoofdvoedingswatertoevoer en worden daarom ook door 2.6.1 afgedekt, aangezien bij 2.6.1 uit conservatisme wordt uitgegaan van het niet beschikbaar zijn van zowel de hoofdvoedingswaterpompen als de noodvoedingswaterpompen. De afvoer van de restwarmte vindt daarbij plaats door middel van het secundair reservesuppletiesysteem (RS) via de stoomgeneratoren. De transiënten 2.7.3 en 2.7.4 kunnen door het uitsluiten van een breuk in de voedingswaterleiding binnen de veiligheidsomhulling op grond van het principe "lek voor breuk" (zie paragraaf 3.4.2), respectievelijk op grond van de mantelbuizen voor de voedingswaterleidingen in de ringruimte (zie paragraaf 10.5), buiten beschouwing worden gelaten.

De PIE 2.7.5 leidt op zich niet tot een transiënt, maar betreft het uitvallen van een component in een veiligheidssysteem. Dit wordt beschouwd als een enkelvoudige fout (zie paragraaf 1.4) die optreedt naast een storing die het veiligheidssysteem deed aanspreken en wordt als zodanig door het ontwerp beheerst.

CATEGORIE 3: Vermindering van het debiet in het primair systeem

- uitvallen van één of beide hoofdkoelmiddelpompen (3.1);
- blokkeren van een hoofdkoelmiddelpomp of een breuk van een hoofdkoelmiddelpompas (3.2).

Representatieve begingebourtenis ten aanzien van de minimale DNB
Blokkeren van een hoofdkoelmiddelpomp of een breuk van een hoofdkoelmiddelpompas (3.2).

Toelichting

Het uitvallen van de beide hoofdkoelmiddelpompen wordt door de langdurige noodstroomsituatie (PIE 2.5.2) afgedekt, aangezien de hoofdkoelmiddelpompen niet door noodstroom gevoed worden.

Aangezien bij een asbreuk het debiet bijna sprongsgewijs afneemt en door het uitblijven van het reactorbeveiligingssignaal "pomputval" (PUMA) het inwerpen van de regelementen respectievelijk de reactorsnelafschakeling (RESA) vertraagd wordt, ontstaan in dit geval lagere kiemkookgrenswaarden respectievelijk een kleinere kookmarge dan bij de uitval van een hoofdkoelmiddelpomp met aanspreken van het PUMA-signaal.

CATEGORIE 4: Verandering van de druk in het primair systeem

- daling van de druk door onbedoeld sproeien in de drukhouder (4.1);
- stijging van de druk door onbedoeld inschakelen van de drukhouderverwarming (4.2).

Representatieve begingebourtenis
Niet van toepassing.

Toelichting

De drukdaling door sproeien is afgedekt door het onbedoeld openen van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (YP) (7.1.1).

De drukstijging door onbedoeld inschakelen van de drukhouderverwarming leidt niet tot een ontoelaatbare toestand aangezien deze transiënt zeer langzaam verloopt en daardoor beheerst kan worden door in de drukhouder te sproeien met behulp van het volumeregelsysteem (TA) of door de drukhouderverwarming handmatig uit te schakelen.

CATEGORIE 5: Onbedoelde verandering van de reactiviteit en de vermogensverdeling

- onbedoeld uittrekken van regelementen (5.1);
- uitworp van het meest effectieve regelement (5.2);
- onbedoelde verandering van de boorzuurconcentratie van het hoofdkoelmiddel (5.3);
- plaatsing en inbedrijfname van een slijtstofelement in een verkeerde positie (5.4);
- onbedoeld bijschakelen van een hoofdkoelmiddelpomp (5.5);
- toevoer van koud water in het primair systeem vanuit aangrenzende systemen (5.6);
- loslaten van boorzuurhoudende afzetting (5.7);
- onbedoeld laten vallen respectievelijk inbrengen van een regelement (5.8).

Representatieve begingebourtenis ten aanzien van de reactiviteitsverandering en vermogensdichtheidsverdeling

Uitworp van het meest effectieve regelement (5.2).

Toelichting

Onbedoeld uittrekken van regelementen (5.1) is een langzaam verlopend proces, dat door regeltechnische maatregelen wordt gecompenseerd. Dit geldt ook voor onbedoelde veranderingen van de boorzuurconcentratie (5.3).

Het onbedoeld bijschakelen van een hoofdkoelmiddelpomp zonder een voorafgaande vermogensreductie (5.5) heeft bij een te verwachten temperatuuurdualing van ongeveer 10 K een toename van de reactiviteit van ongeveer 0,5 % tot gevolg; echter, in tegenstelling tot het uitwerpen van een regelement, vindt dat niet abrupt plaats.

Hierdoor zijn de effecten geringer dan bij het uitwerpen van een regelement. Dit geldt in nog sterkere mate voor de toevoer van koud water via aangrenzende systemen (5.6), waarbij de reactiviteitstoename nog langzamer gaat.

Het onbedoeld vallen, respectievelijk onbedoeld inbrengen van een regelement (5.8) leidt tot een verlaging van de reactiviteit; het daaropvolgend uittrekken van regelementen of verlagen van de boriumconcentratie wordt door het reactorbeveiligingssysteem verhinderd, zodat ook hier geen ontoelaatbare verhoging van de reactiviteit optreedt.

Het loslaten van boorzuurhoudende afzettingen (5.7) is op grond van de toegepaste koelmiddelchemie uitgesloten.

Het plaatsen en in bedrijf nemen van een splijtstofelement in een verkeerde positie (5.4) kan hoogstens tot bedrijfstechnische beperkingen leiden. Het is uit veiligheidstechnische overwegingen niet nodig dit te analyseren.

CATEGORIE 6: Toename van de hoeveelheid hoofdkoelmiddel

- onbedoeld voeden door de noodkoelsystemen (6.1);
- storing in of onbedoeld bijkomen van het volumeregelsysteem, met als gevolg een toename van de hoeveelheid hoofdkoelmiddel (6.2).

Representatieve begingebourtenis
Niet van toepassing.

Toelichting

Het onbedoeld voeden door het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) is tijdens het vermogensbedrijf van de installatie niet mogelijk door het heersende drukverschil tussen het primair systeem en de opvoerhoogte van de kerninundatiepompen.

Tijdens het afregelen van de installatie en als de installatie afgeschakeld is wordt het onbedoeld voeden verhinderd door procedurele maatregelen.

Bij een onbedoelde voeding door het primair reservesuppletiesysteem (TW) is de druk en daarmee de voeding begrensd.

PIE 6.2 is een transiënt met een gering effect. In het ongunstigste geval wordt het HD-reduceerstation onbedoeld afgesloten. Het verdere voeden door een volumeregelpomp is een langzaam verlopend proces dat handmatig wordt beheerst.

CATEGORIE 7: Lekkages van hoofdkoelmiddel

a) Begingebourtenissen waarbij geen of geringe lekkage van hoofdkoelmiddel optreedt (NON-LOCA):

- onbedoeld openen en weer sluiten van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (7.1.1);
- lekkages van stoomgeneratorpijpen (7.3.1);
- bezwijken van stoomgeneratorpijpen (7.3.2).

Representatieve begingebourtenissen

- onbedoeld openen en weer sluiten van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (7.1.1)
- bezwijken van stoomgeneratorpijpen (7.3.2).

Toelichting

Lekkages van stoomgeneratorpijpen (7.3.1) zijn te beschouwen als bedrijfslekkages. Deze bedrijfslekkages vertonen een gelijkblijvend of een licht stijgend verloop, en worden gedetecteerd door middel van activiteitsmetingen. Zolang de bedrijfsgrenswaarden niet worden bereikt, staat de bedrijfslekkage het in bedrijf houden van de installatie toe. Als de activiteit een vastgestelde waarde overschrijdt wordt de installatie op de normale wijze uit bedrijf genomen. Om die reden is geen thermohydraulische analyse nodig. De bedrijfslekkage van stoomgeneratorpijpen is radiologisch geanalyseerd bij de analyse van PIE 1.5.1. De analyse van het bezwijken van stoomgeneratorpijpen (7.3.2) in het kader van NON-LOCA heeft mede als doel de uitgangswaarden voor de radiologische analyse te bepalen. Ten aanzien van de kernkoeling is de stoomgeneratorpijpbreuk te beschouwen als een te compenseren kleine lekkage van het primair systeem.

b) Begingebourtenissen waarbij grotere lekkage van hoofdkoelmiddel optreedt (LOCA):

- onbedoeld openen en open blijven van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (7.1.2);
- kleine lekkage van het primair systeem waarbij normaal afschakelen en uit bedrijf nemen mogelijk blijft (7.2.1);
- lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidssomhulling (7.2.2);
- breuk van de hoofdkoelmiddelleiding (7.2.3).

Representatieve begingebourtenissen

- onbedoeld openen en open blijven van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (7.1.2)
- lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidssomhulling (7.2.2)
- breuk van de hoofdkoelmiddelleiding (7.2.3).

Toelichting

Kleine lekkages in het primair systeem (7.2.1) behoeven geen analyse omdat ze of door PIE 7.2.2 afgedekt zijn, of door bedrijfssystemen (volumeregelsysteem) beheerst worden.

Alhoewel een rondgaande scheur in de hoofdkoelmiddelleidingen uitgesloten wordt op grond van het principe "lek voor breuk" (zie paragraaf 3.4.2), wordt deze begingebourtenis desondanks geanalyseerd op de thermohydraulische en radiologische consequenties.

c) Begingebourtenissen waarbij lekkage van hoofdkoelmiddel buiten de veiligheidsomhulling optreedt:

- lekkage van het volumeregelsysteem buiten de veiligheidsomhulling (7.4.1);
- lekkage van een meetleiding die hoofdkoelmiddel bevat buiten de veiligheidsomhulling (7.4.2);
- lekkage van het nakoelsysteem op een willekeurige plaats in de ringruimte tijdens de afvoer van restwarmte (7.4.3).

Representatieve begingebourtenis

Niet van toepassing.

Toelichting

De PIE's 7.4.1 en 7.4.2 zijn systeemtechnisch niet relevant. Een lekkage van het nakoelsysteem (TJ) op een willekeurige plaats in de ringruimte tijdens de afvoer van de restwarmte (7.4.3) behoeft wegens de getroffen voorzorgsmaatregelen ten aanzien van de gevolgen van deze lekkage geen analyse (zie paragraaf 3.4.3).

d) Begingebourtenissen met lekkage van hoofdkoelmiddel die radiologische gevolgen hebben:

- onbedoeld openen en open blijven van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (7.1.2);
- lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (7.2.2);
- breuk van de hoofdkoelmiddelleiding (7.2.3);
- bezwijken van stoomgeneratorpijpen met een noodstroomsituatie (kortstondig) (7.3.2.2);
- lekkage van het volumeregelsysteem buiten de veiligheidsomhulling (7.4.1);
- lekkage van een meetleiding die hoofdkoelmiddel bevat buiten de veiligheidsomhulling (7.4.2).

Representatieve begingebourtenissen ten aanzien van de radiologische gevolgen

- lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (7.2.2)
- breuk van de hoofdkoelmiddelleiding (7.2.3);
- bezwijken van stoomgeneratorpijpen met een noodstroomsituatie (kortstondig) (7.3.2.2);
- lekkage van een meetleiding die hoofdkoelmiddel bevat buiten de veiligheidsomhulling (7.4.2).

Toelichting

De radiologische gevolgen van 7.2.2 zijn op grond van de mogelijk grotere hoeveelheid vrijkomende radioactiviteit afdekkend voor 7.1.2.

De radiologische gevolgen van 7.4.2 zijn afdekkend voor 7.4.1 omdat de concentratie en hoeveelheid radioactiviteit bij lekkage van een meetleiding hoger is dan bij lekkage van het volumeregelsysteem.

CATEGORIE 8: Ontsnappen van radioactieve stoffen uit subsystemen of componenten

- storingen in het systeem voor afgassen en afvalwater (8.1);
- lekkage in een leiding van het afgassysteem (8.2);
- lekkage van een reservoir met radioactief besmet water (8.3);
- beschadigingen van splijststofelementen tijdens het hanteren (8.4.1);
- val van een transportcontainer met splijststofelementen buiten de veiligheidsomhulling (8.4.2);
- val van een zware last met inbegrip van een transportcontainer voor splijststofelementen op het splijststofopslagbassin (8.4.3);
- verlies van water uit het splijststofopslagbassin (8.4.4).

Representatieve begingebourtenissen

- lekkage in een leiding van het afgassysteem (8.2);
- beschadigingen van splijststofelementen tijdens het hanteren (8.4.1).

Toelichting

Ten aanzien van PIE 8.1 geldt dat een storing in het radioactief afvalwatersysteem (TR) geen ontwerpongeval is en bovendien radiologisch niet relevant, en dat een storing in het radioactief afgassysteem (TS) wordt afgedekt door 8.2 omdat hierbij een grotere schade is verondersteld.

PIE 8.3 wordt door de gevolgen van een aardbeving (9.1.2) afgedekt omdat daarbij meer radioactiviteit vrij kan komen.

De PIE's 8.4.2, 8.4.3 en 8.4.4 behoeven door de getroffen voorzorgsmaatregelen geen analyse. Deze maatregelen betreffen bij PIE 8.4.2 de periodieke beproevingen van de polaire kraan en de bestendigheid tegen vallen van de transportcontainer. Bij PIE 8.4.3 betreft dit het ontwerp van het hijsgereedschap en de procedures die er voor zorgen dat alleen onder bepaalde voorwaarden zware lasten zich boven het splijststofopslagbassin mogen bevinden. Bij PIE 8.4.4 betreft dit het ontwerp van de aansluitingen aan het splijststofopslagbassin en het lekdetectiesysteem (paragraaf 9.1)

CATEGORIE 9: Externe invloeden

a) Begingebourtenissen van externe oorsprong:

- lekkage van hoofdstoomleidingen in geval van een aardbeving (9.1.1);
- gevolgen van een aardbeving op het reactorhulpgebouw (9.1.2);
- neerstorten van een vliegtuig (9.2);
- explosies (9.3);
- schadelijke chemische stoffen (9.4);
- brand buiten de centrale (9.5);
- hoogwater (9.6);
- blikseminslag (9.7);
- overige door de natuur veroorzaakte invloeden (9.8).

Representatieve begingebourtenis

Lekkage van hoofdstoomleidingen in geval van een aardbeving (9.1.1).

Toelichting

Externe invloeden worden in het kader van de thermohydraulische analyses alleen dan onderzocht, wanneer een effect op de kern te verwachten is. De analyses worden voor PIE 9.1.1 uitgevoerd. Bij deze analyse gaat men ervan uit, dat alleen de systemen die tegen aardbevingen bestand zijn functioneren. Deze systemen bevinden zich in het reactorgebouw (01/02), het reservesuppletiegebouw (33) en het reserveregelzaalgebouw (35). Ook het reserve koelwatersysteem (VE) is bestand tegen aardbeving.

De genoemde gebouwen zijn gekwalificeerd voor externe invloeden zoals het neerstorten van een vliegtuig (PIE 9.2) en een drukgolf als gevolg van een explosie (PIE 9.3). De gevolgen van deze begingebourtenissen hoeven daarom niet thermohydraulisch geanalyseerd te worden.

De overige externe invloeden worden beheerst doordat hiermee bij het ontwerpen van de installatie rekening is gehouden, zie paragrafen 3.5 en 8.5.

b) Begingebourtenissen van externe oorsprong met radiologische gevolgen:

- lekkage van hoofdstoomleidingen in geval van een aardbeving (9.1.1);
- gevolgen van een aardbeving op het reactorhulpgebouw (03) (9.1.2).

Representatieve begingebourtenis ten aanzien van de radiologische gevolgen

Gevolgen van een aardbeving op het reactorhulpgebouw (9.1.2).

Toelichting

Als mogelijke gevolgen van aardbeving wordt bij PIE 9.1.1 de breuk van aansluitleidingen < DN 200 aan beide hoofdstoomleidingen in het machinegebouw verondersteld. Door getroffen voorzieningen is een ongecontroleerde toename van eventueel reeds aanwezige bedrijfslekkage van stoomgeneratorpijpen uitgesloten. De radiologische gevolgen worden daarom afgedekt door PIE 1.5.1.

CATEGORIE 10: Diversen

- gevolgen van een turbinestoring (10.1);
- overtoerental van een hoofdkoelmiddelpomp tijdens een lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (10.2);
- branden en explosies in de centrale (10.3);
- overstroming in veiligheidsrelevante gebouwen (10.4);
- bedrijfstransiënten waarbij een hypothetisch uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (ATWS) (10.5);
- lekkage van de stoomgenerator-spuileiding in de ringruimte (10.6);
- lekkage van reservoirs met een hoogenergetische inhoud in het reactorgebouw (10.7);
- lekkage van reservoirs met een hoogenergetische inhoud in andere gebouwen (bijvoorbeeld het machinegebouw) (10.8);
- lekkage van andere systemen met een hoogenergetische inhoud in veiligheidsrelevante gebouwen (10.9).

Representatieve begingebourtenissen

- overtoerental van een hoofdkoelmiddelpomp tijdens een lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (10.2);
- bedrijfstransiënten waarbij een hypothetisch uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (ATWS) (10.5).

Toelichting

De overige begingebourtenissen van deze categorie worden als hieronder beschreven beheerst en behoeven derhalve geen analyse.

De maatregelen tegen de gevolgen van een turbinestoring (10.1) zijn in paragraaf 3.4.7 beschreven.

De maatregelen tegen branden en explosies (10.3) binnen de installatie zijn in paragraaf 3.4.4 beschreven.

Tegen overstromingen in de voor de veiligheid relevante gebouwen (10.4) als gevolg van het falen van componenten zijn voorzorgsmaatregelen getroffen zoals compartimentering, plaatsing op een hoger niveau en afsluitmaatregelen. Deze zijn in paragraaf 3.4.3 beschreven.

De gevolgen van een lekkage in de spuileiding van een stoomgenerator in de ringruimte (10.6) zijn van belang met het oog op het ontwerpen van die mechanische en elektrotechnische componenten die bestand moeten zijn tegen de omgevingscondities (ongevalsbestendigheid). In paragraaf 3.4.5 is dit beschreven.

15.1-14

K O P I E

Wat PIE 10.7 betreft is in het reactorgebouw vanwege de hoge fabricagekwaliteit en door periodieke inspecties en onderhoud, het barsten van vaten uit te sluiten (zie paragraaf 3.4.7). Bovendien zijn bij de recuperatieve warmtewisselaars en de HD-koelers de voor de veiligheid belangrijke onderdelen door de omringende muren beschermd.

Lekkage uit de kerninundatiebuffertanks heeft door de ruimtelijke opstelling geen nadelige gevolgen.

Ten aanzien van PIE 10.8 behoeft vanwege de getroffen voorzorgsmaatregelen geen falen van een vat te worden verondersteld, of er treden geen ontoelaatbare belastingen op voor installatiedelen die nodig zijn voor de ongevalsbeheersing (zie paragraaf 3.4.7).

Lekkage van andere systemen met een hoogenergetische inhoud in veiligheidsrelevante gebouwen (10.9) en de maatregelen tegen gevolgen van hypothetische lekkages zijn in paragraaf 3.4.6 en 3.4.7 beschreven.

De gevolgen van een ATWS (10.5) worden thermohydraulisch geanalyseerd, hoewel het een gebeurtenis met geringe waarschijnlijkheid betreft.

15.1-15

K O P I E

Tabel 15.1/1: Overzicht van veronderstelde begingebourtenissen (PIE's).

Nr	Veronderstelde begingebourtenis	Analyse
1	Verhoogde warmte-afvoer door het secundair systeem	
1.1	Storing in het voedingswatersysteem (RL) die een daling van de voedingswatertemperatuur tot gevolg heeft	
1.2	Storing in het voedingswatersysteem, die een vergroting van voedingswaterdebiet tot gevolg heeft	
1.3	Storing in de regeling, die een vergroting van het hoofdstroomdebiet tot gevolg heeft	
1.4	Onbedoeld openen van appendages (bijvoorbeeld omloopafsluiters, afblaasregelkleppen, veiligheidskleppen)	T
1.5	Lekkages respectievelijk leidingbreuken in het hoofdstoomsysteem (RA)	
1.5.1	Langdurige uitval van de secundaire hoofdkoeling bij bedrijfslekkage van stoomgeneratorpijpen	R
1.5.2	Kleine lekkages van het hoofdstoomsysteem	
1.5.3	Lekkage van de hoofdstoomleiding buiten de veiligheidsomhulling bij bedrijfslekkage van stoomgeneratorpijpen	
1.5.4	Breuk in de hoofdstoomleiding tussen de veiligheidsomhulling en de hoofdstoomafsluiters	T
1.5.5	Breuk in de hoofdstoomleiding binnen de veiligheidsomhulling	
1.5.6	Lekkage van de hoofdstoomleiding binnen de veiligheidsomhulling	
1.5.7	Lekkage van de hoofdstoomleiding in de ringruimte	
1.5.8	Breuk in een hoofdstoomleiding na de buitenste hoofdstoomafsluiters buiten de veiligheidsomhulling, zonder dat er sprake is van lekkage van een stoomgeneratorpijp	

15.1-16

K O P I E

Tabel 15.1/1: Overzicht van veronderstelde begingebourtenissen (PIE's).

Nr	Veronderstelde begingebourtenis	Analyse
2	Verminderde warmte-afvoer door het secundair systeem	
2.1	Storing in de regeling, die leidt tot een vermindering van het hoofdstoomdebiet	
2.2	Lastafschakeling op eigenbedrijf	
2.3	Turbinesnelafschakeling (TUSA)	
2.3.1	TUSA met opening van de turbine-omloopleiding	
2.3.2	TUSA zonder opening van de turbine-omloopleiding	T
2.4	Onbedoeld sluiten van de hoofdstoomafsluiters	
2.5	Uitval van de stroomvoorziening voor het eigenbedrijf (noodstroomsituatie)	
2.5.1	Kortstondige noodstroomsituatie (# 30 minuten)	
2.5.2	Langdurige noodstroomsituatie (> 30 minuten)	T
2.6	Storing in de voedingswatervoorziening	
2.6.1	Uitval van de hoofd_____voedingswaterpompen	T
2.6.2	Onbedoeld sluiten van appendages	
2.6.3	Verlies van de inhoud van de voedingswatertank	
2.7	Lekkages en breuken in het voedingswatersysteem	
2.7.1	Kleine lekkage in leidingen van het voedingswatersysteem waarbij normaal afschakelen en uit bedrijf nemen mogelijk blijft	
2.7.2	Breuk in leidingen van het voedingswatersysteem waarbij normaal afschakelen en uit bedrijf nemen niet mogelijk is	
2.7.3	Rondgaande scheur of scheur in de lengterichting van een voedingswaterleiding binnen het reactorgebouw	
2.7.4	Lekkage van de voedingswaterleiding in de ringruimte	
2.7.5	Uitval van de noodvoedingswaterpompen	
2.7.6	Breuk in een noodvoedingswaterleiding	

15.1-17

K O P I E

Tabel 15.1/1:Overzicht van veronderstelde begingebourtenissen (PIE's).

Nr	Veronderstelde begingebourtenis	Analyse
3	Vermindering van het debiet in het primair systeem	
3.1	Uitvallen van één of beide hoofdkoelmiddelpompen	
3.2	Blokkeren van een hoofdkoelmiddelpomp of breuk van een hoofdkoelmiddelpompas	T
4	Verandering van de druk in het primair systeem	
4.1	Daling van de druk door onbedoeld sproeien in de drukhouder	
4.2	Stijging van de druk door onbedoeld inschakelen van de drukhouderverwarming	
5	Onbedoelde verandering van de reactiviteit en de vermogensverdeling	
5.1	Onbedoeld uittrekken van regelementen	
5.2	Uitworp van het meest effectieve regelement	T
5.3	Onbedoelde verandering van de boorzuurconcentratie van het hoofdkoelmiddel	
5.4	Plaatsing en inbedrijfname van een splijstofelement in een verkeerde positie	
5.5	Onbedoeld bijschakelen van een hoofdkoelmiddelpomp	
5.6	Toevoer van koud water in het primair systeem vanuit aangrenzende systemen	
5.7	Loslaten van boorzuurhoudende afzetting	
5.8	Onbedoeld laten vallen respectievelijk inbrengen van een regelement	
6	Toename van de hoeveelheid hoofdkoelmiddel	
6.1	Onbedoeld voeden door de noodkoelsystemen	
6.2	Storing in of onbedoeld bijkomen van het volumeregelsysteem met als gevolg een toename van de hoeveelheid hoofdkoelmiddel	

15.1-18

K O P I E

Tabel 15.1/1: Overzicht van veronderstelde begingebourtenissen (PIE's).

Nr	Veronderstelde begingebourtenis	Analyse
7	Lekkages van hoofdkoelmiddel	
7.1	Onbedoeld openen van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder	
7.1.1	Onbedoeld openen en weer sluiten van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder	T
7.1.2	Onbedoeld openen en open blijven van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder	T
7.2	Lekkages en breuken in het primair systeem	
7.2.1	Kleine lekkage van het primair systeem, waarbij normaal afschakelen en uit bedrijf nemen mogelijk blijft	
7.2.2	Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling	T, R
7.2.3	Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding	T,R
7.3	Beschadigingen aan verwarmde oppervlakken van stoomgeneratoren	
7.3.1	Lekkages van stoomgeneratorpijpen	
7.3.2	Bezwijken van stoomgeneratorpijpen	T
7.3.2.1	Bezwijken van stoomgeneratorpijpen zonder dat er sprake is van een noodstroomsituatie	
7.3.2.2	Bezwijken van stoomgeneratorpijpen met een noodstroomsituatie (kortstondig)	R
7.4	Lekkages buiten de veiligheidsomhulling	
7.4.1	Lekkage van het volumeregelsysteem buiten de veiligheidsomhulling	
7.4.2	Lekkage van een meetleiding die hoofdkoelmiddel bevat buiten de veiligheidsomhulling	R
7.4.3	Lekkage van het nakoelsysteem op een willekeurige plaats in de ringruimte tijdens de afvoer van restwarmte	

15.1-19

K O P I E

Tabel 15.1/1: Overzicht van veronderstelde begingebourtenissen (PIE's).

Nr	Veronderstelde begingebourtenis	Analyse
8	Ontsnappen van radioactieve stoffen uit subsystemen of componenten	
8.1	Storingen in het systeem voor afgassen en afvalwater	
8.2	Lekkage in een leiding van het afgassysteem	R
8.3	Lekkage van een reservoir met radioactief besmet water	
8.4	Storingen bij het hanteren en opslaan van splijstofelementen	
8.4.1	Beschadigingen van splijstofelementen tijdens het hanteren	R
8.4.2	Val van een transportcontainer met splijstofelementen buiten de veiligheidsomhulling	
8.4.3	Val van een zware last met inbegrip van een transportcontainer voor splijstofelementen op het splijstofopslagbassin	
8.4.4	Verlies van water uit het splijstofopslagbassin	
9	Externe invloeden	
9.1	Aardbeving (met inbegrip van gevolgschade)	
9.1.1	Lekkage van hoofdstoomleidingen in geval van een aardbeving	T
9.1.2	Gevolgen van een aardbeving op het reactorhulpgebouw	R
9.2	Neerstorten van een vliegtuig	
9.3	Explosies	
9.4	Schadelijke chemische stoffen	
9.5	Brand buiten de centrale	
9.6	Hoogwater	
9.7	Blikseminslag	
9.8	Overige door de natuur veroorzaakte invloeden	

15.1-20

K O P I E

Tabel 15.1/1: Overzicht van veronderstelde begingebourtenissen (PIE's).

Nr	Veronderstelde begingebourtenis	Analyse
10	Diversen	
10.1	Gevolgen van een turbinestoring	
10.2	Overtoerental van een hoofdkoelmiddelpomp tijdens een lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling	T
10.3	Branden en explosies in de centrale	
10.4	Overstroming in veiligheidsrelevante gebouwen	
10.5	Bedrijfstransiënten waarbij een hypothetisch uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (ATWS)	T
10.6	Lekkage van de stoomgenerator-spuileiding in de ringruimte	
10.7	Lekkage van reservoirs met een hoogenergetische inhoud in het reactorgebouw	
10.8	Lekkage van reservoirs met een hoogenergetische inhoud in andere gebouwen (bijvoorbeeld het machinegebouw)	
10.9	Lekkage van andere systemen met een hoogenergetische inhoud in veiligheidsrelevante gebouwen	

T : Thermohydraulische analyse

R : Radiologische analyse

15.1-21

K O P I E

15.2 Thermohydraulische analyses

15.2.1 Algemeen

In deze paragraaf wordt ingegaan op de uitgangspunten en randvoorwaarden van de thermohydraulische analyses van de representatieve te veronderstellen begingebourtenissen en op de handhaving van de beschermingsdoelstellingen.

Door middel van thermohydraulische analyses wordt aangetoond dat bij de inzet van ENU, (c-)ERU en MOX aan de beschermingsdoelstellingen wordt voldaan. De analyses zijn niet specifiek voor ENU, (c-)ERU en MOX uitgevoerd maar met voor deze kernsamenstellingsvarianten afdekkende parameters en per samenstellingsvariant de minimaal vereiste boriumsamenstelling.

De beschermingsdoelstellingen waaraan voldaan moet worden, hangen af van de te beschouwen begingebourtenis en worden bij iedere afzonderlijke ongevalsbeschrijving concreet aangegeven. Het voldoen aan de betreffende beschermingsdoelstellingen waarborgt dat de afgeleide technische beschermingsdoelstellingen worden vervuld (zie paragraaf 1.4.1).

Daar waar relevant, is voor de vermogenstoestand van de installatie (volland, deellast of nullast) die toestand beschouwd die het ongunstigste ongevalsverloop veroorzaakt. Bovendien is stretch-out-bedrijf als bedrijfstoestand mee afgedekt. Analoog is die veiligheidsanalyse beschouwd, die van de drie toe te passen splijtstofopties het ongunstigste ongevalsverloop veroorzaakt.

Bij de thermohydraulische analyses wordt onderscheid gemaakt tussen ongevallen waarbij verlies van hoofdkoelmiddel optreedt (LOCA-analyses) en ongevallen waarbij dit niet het geval is (NON-LOCA-analyses).

Voorafgaand aan de transiëntberekeningen is voor elke analyse allereerst een stationaire begintoestand berekend. Hierbij is naast de bedrijfsparameters tevens rekening gehouden met de specifieke uitgangspunten van de betreffende analyse. Telkens is geverifieerd of deze stationaire begintoestand correct is berekend.

Bij de NON-LOCA-analyses wordt uitgegaan van de nominale bedrijfswaarden, waarbij steeds die vermogens- en opbrandtoestand gebruikt wordt, die voor het ongevalsverloop het ongunstigst is.

Principieel wordt ervan uitgegaan, dat meet- en regeltechnische systemen (reactorbeveiliging, reactorvermogensbegrenzing, regelingen), alsook hulpsystemen, die niet vanwege de te beschouwen gebeurtenis als niet-beschikbaar moeten worden beschouwd, ter beschikking staan. Om tot een voldoende conservatief resultaat te komen, worden aanvullende randvoorwaarden aangenomen, afhankelijk van de te beschouwen gebeurtenis.

Dergelijke conservatieve randvoorwaarden zijn bijvoorbeeld:

- negeren van het eerste RESA-sigitaal respectievelijk het invallen van alle regelementen door RL-RELEB (deze actie als gevolg van verminderd voedingswaterdebiet wordt beschouwd als gelijkwaardig aan RESA);
- meest effectieve regelement blijft in uitgetrokken positie steken (stuck rod);
- verhoogd of verlaagd vervalvermogen;
- falen van systeem of component met de meest gunstige invloed op het ongevalsverloop;
- enkelvoudig falen volgens de in paragraaf 1.4.3.3 genoemde veiligheidstechnische ontwerpgrondslagen.

De analyses van het gedrag van de installatie tijdens transiënten zijn met de rekencode RELAP5/EUMOD uitgevoerd, waarbij via de interface EUMOD de externe FORTRAN subroutine EUMEL aangekoppeld is.

Het geometrische model van de KCB-installatie en de thermohydraulische simulatie zijn geanalyseerd met RELAP5. Het modelleren van de meet- en regeltechnische systemen (aansturing van systemen, reactorbeveiliging, regelingen), is via de subroutine EUMEL-KCB gebeurd. Deze subroutine is, afgezien van het thermohydraulische deel, identiek aan het programma NLOOP.

De heetkanaalanalyses (minimale DNB-verhouding, maximale temperatuur van de splijtstofomhulling) worden, uitgezonderd voor PIE 7.1.1, met de code PANBOX/COBRA uitgevoerd.

Bij de LOCA-analyses is als begintoestand het bedrijf met een verhoogd vermogen aangenomen. Bij koelmiddelverliesongevallen met kleine lekken wordt het heetkanaal met een maximaal "piek boven"-vermogensprofiel beschouwd.

Belangrijke conservatieve randvoorwaarden zijn bijvoorbeeld:

- het niet beschikbaar beschouwen van alle bedrijfssystemen;
- verhoogd of verlaagd vervalvermogen;
- veronderstellen van noodstroomsituatie (begin van voeding door de noodkoelsystemen niet vóór het op toeren komen van de noodstroomdieselaggregaten inclusief bijschakeltijden);
- enkelvoudig falen volgens de in paragraaf 1.4.3.3 genoemde veiligheidstechnische ontwerpgrondslagen.

Om het thermohydraulische gedrag van de installatie te beschrijven is voor de LOCA-analyses met kleine lekken het programma RELAP5/MOD2 gebruikt. Voor de LOCA-analyses met grote lekken zijn de codes S-RELAP5, COCO, CARO-E3 en BETHY-AX toegepast.

15.2-2

K O P I E

Om het gedrag van een splijtstofstaaf beter te kunnen analyseren, is bovendien het programma BETHY gebruikt, dat voor het hele verloop van een ongeval de temperatuurverdeling in de splijtstof en de splijtstofomhulling berekent. De invoergegevens voor het splijtstofstaafmodel ten behoeve van RELAP5, LECK-4 en BETHY zijn gegenereerd met het programma CARO-D.

Voor de kern-transiëntenanalyses is het programmasysteem PANBOX gebruikt dat met behulp van een driedimensionaal berekeningsmodel de reactiviteitseffecten in de kern plaatsafhankelijk berekent.

De in deze paragraaf gepresenteerde analyseresultaten zijn tot stand gekomen met behulp van moderne, voor dat doel geschikte rekenprogramma's. Conservatieve aannames en uitgangspunten alsmede theoretische modellering van de installatie en processen vormen hierbij de basis. Dit impliceert dat als gevolg van wijzigingen van aannames of modellen wegens nieuwe inzichten of gegevens de hier gepresenteerde resultaten aan verandering onderhevig kunnen zijn, waarbij evenwel de veiligheidsgrenzen niet overschreden mogen worden.

15.2.2 Ongevalseverloop

In de volgende paragrafen wordt het aantonen van de handhaving van de beschermingsdoelstellingen en het verloop van het ongeval behandeld. Het verloop van het ongeval is beschreven voor de afdekkende analyse. Het verloop van het ongeval voor de afdekkende analyse hoeft echter niet noodzakelijkerwijs gelijk te zijn voor ENU, (c-)ERU en MOX.

15.2-3

K O P I E

15.2.3 Onbedoeld openen van appendages (bijvoorbeeld omloopafsluiters, afblaasregelkleppen, veiligheidskleppen) (PIE 1.4)

1 Doel van de ongevalsanalyse

Het ten onrechte open gaan van appendages van het hoofdstoomsysteem tijdens vermogensbedrijf kan onder bepaalde omstandigheden leiden tot een verhoging van het reactorvermogen. Deze vermogensverhoging mag niet tot een ontoelaatbare toestand in de reactorkern leiden. Daarom moeten de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de minimale DNB-verhouding respectievelijk de minimale kookmarge mogen slechts in beperkte omvang onder de betreffende grenswaarden komen (DNB-verhouding 1,3; kookmarge 15 bar);
- de splijtstof- en splijtstofomhullingstemperaturen mogen de toelaatbare grenswaarden niet overschrijden. Deze doelstelling wordt vervuld als de DNB-verhouding en de kookmarge niet onder de toelaatbare waarden komen;

2 Begin- en randvoorwaarden

Bij dit ongeval wordt verondersteld, dat tijdens vollast-bedrijf meerdere turbine-omloopafsluiters spontaan sprongsgewijs open gaan. Uit parameterstudies is gebleken, dat maximale vermogensverhoging optreedt bij een openingsgraad van de afsluiters van 66 %. Daarom is bij de analyse van deze waarde uitgegaan.

Het uitvallen van de turbineregeling is aangenomen, omdat deze het ongevalsverloop gunstig zou beïnvloeden.

Als ongunstige uitgangstoestand zijn de berekeningen uitgevoerd voor een kern aan het einde van een cyclus vanwege de sterke terugkoppeling van de temperatuurscoëfficiënt van het hoofdkoelmiddel op de reactiviteit.

Tenslotte is verondersteld, dat het eerste signaal van de reactorvermogensbegrenzing wordt genegeerd.

15.2-4

K O P I E

3 Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Door het spontaan openen van de omloopafsluiters wordt de stoomafname uit de stoomgeneratoren sprongsgewijs verhoogd, hetgeen kortstondig tot een verlaging van de gemiddelde temperatuur van het hoofdkoelmiddel leidt. De grote invloed van de hoofdkoelmiddeltemperatuur op de reactiviteit aan het cycluseinde heeft een verhoging van het reactorvermogen tot gevolg.

Bij een reactorvermogen $> 105\%$ zou normaal gesproken de reactorvermogensbegrenzing aanspreken, echter dit signaal wordt genegeerd. De KMT regeling zorgt ervoor dat de regelstaven worden getrokken, waardoor het reactorvermogen verder toeneemt.

Na 19 seconden is de grenswaarde

4 Resultaat

Uit de analyse blijkt, dat de reactor bij deze gebeurtenis wordt afgeschakeld (RESA). In het verdere verloop wordt de reactor door onderkoeling van het hoofdkoelmiddel opnieuw kritisch (voor dit type ongeval is kortstondige kriticaliteit toegestaan). De onderkoeling wordt door het secundair isoleren van de stoomgeneratoren beëindigd.

De kookmarge zakt bij deze gebeurtenis niet onder de 15 bar, waardoor filmkoken en daarmee ontoelaatbare splijstof- en splijstofomhullingstemperaturen niet optreden. De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden dus gerealiseerd.

15.2-6

K O P I E

Figuur 15.2.3/1 Onbedoeld openen van appendages (bijv. omloopafsluiters, afblaasregelkleppen, veiligheidskleppen) (PIE 1.4)
15.2-7

K O P I E

Figuur 15.2.3/2 Onbedoeld openen van appendages (bijv. omloopafsluiters,
afblaasregelkleppen, veiligheidskleppen) (PIE 1.4)
15.2-8

K O P I E

15.2.4 Breuk in de hoofdstoomleiding tussen de veiligheidsomhulling en de hoofdstoomafsluiters (PIE 1.5.4)

1 Doel van de ongevalsanalyse

Bij dit ongeval ontstaat door het snelle droogkoken van een stoomgenerator een primairzijdige onderkoelingstransiënt. Ter beheersing daarvan moeten de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- handhaving van ondercriticaliteit op lange termijn;
- handhaving van warmteafvoer uit de kern op lange termijn.

Het in stand houden van deze beschermingsdoelstellingen wordt door de volgende veiligheidsrelevante systemen/componenten gewaarborgd:

- primair reservesuppletiesysteem (TW);
- kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ);
- secundair reservesuppletiesysteem (RS);
- hoofdstoomafsluiters en breukbeveiligingskleppen.

2 Begin- en randvoorwaarden

Bij dit ongeval wordt aangenomen dat tijdens de bedrijfstoestand "nullast heet onderkritisch" een hoofdstoomleiding breekt tussen de veiligheidsomhulling en de hoofdstoomafsluiters, met als gevolg dat de bijbehorende stoomgenerator (SG1) vrijwel droogkookt.

De bedrijfstoestand "nullast heet onderkritisch" is afdekkend voor alle andere bedrijfstoestanden, omdat er door de hogere hoofdstoomtemperatuur en de grotere waterinhoud van de stoomgeneratoren een hoger energieniveau heerst met dus een groter effect als gevolg van onderkoeling.

De grootte van de breuk (0,4 F) is zo gekozen, dat enerzijds kritische stroming bij de stromingsbegrenzer van de betreffende stoomgenerator (SG1) ontstaat, en anderzijds het aanspreken van de grenswaarde voor de drukdalingsgradiënt (DAF-sigitaal) zo lang mogelijk uitblijft.

Vanwege de grote invloed op de reactiviteit van de hoofdkoelmiddeltemperatuur, wordt bij de analyse van deze gebeurtenis uitgegaan van een kern aan het einde van een cyclus en geen boorzuur in het hoofdkoelmiddel.

Aangenomen wordt, dat het meest werkzame regelement niet in de kern valt (stuck rod), en dat uit het lek alleen zuivere stoom stroomt. Bovendien wordt verondersteld dat het primair reservesuppletiesysteem (TW) alleen de niet getroffen hoofdkoelmiddelkringloop (SG2) voedt.

3 Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Door de sprongsgewijze toename van het hoofdstoomdebiet bij het ontstaan van het lek, stijgt in de getroffen stoomgenerator (SG1) het waterniveau gedurende korte tijd. Dit heeft tot gevolg dat door de beveiliging tegen overvoeding de hoofd- en noodvoedingswaterafsluiters van deze stoomgenerator worden gesloten. Aansluitend daalt het waterniveau snel.

Door de eveneens snel dalende druk in de hoofdstoomleiding stijgt het drukverschil bij de betreffende breukbeveiligingsklep waardoor deze sluit. Nagenoeg tegelijkertijd spreekt de grenswaarde voor de drukdalingsgradiënt (DAF-sigitaal) aan waardoor de hoofdvoedingswaterverzorging van beide stoomgeneratoren wordt afgesloten, de hoofdstoomafsluiters en de breukbeveiligingskleppen worden gesloten en de hoofdvoedingswaterpompen worden afgeschakeld.

De hoofdstoomdruk in de intacte stoomgenerator (SG2), die door genoemde acties van het lek geïsoleerd is, blijft na aanvankelijke daling op circa 63 bar staan. Door het gestarte noodvoedingswatersysteem (RL) wordt het ongeveer 0,5 m gedaalde waterniveau in de intacte stoomgenerator weer aangevuld totdat de noodvoedingswatertoevoer wordt gestopt door de beveiliging tegen overvoeding.

De getroffen stoomgenerator (SG1) kan niet van het lek gescheiden worden en kookt in het verdere verloop vrijwel droog, waardoor circa 45 s na het begin van het ongeval de noodvoedingswatertoevoer (RL) wordt geactiveerd. Deze voedingswatertoevoer wordt echter als gevolg van de beveiliging tegen overvoeding verhinderd. Door verdere niveaudaling wordt ongeveer 65 s na het begin van het ongeval door het bereiken van de grenswaarde "SG-niveau < min2" het secundair reserve suppletiesysteem (RS) voor deze stoomgenerator bijgeschakeld. Ongeveer 165 s na het begin van het ongeval is de druk in deze stoomgenerator tot atmosferisch gedaald.

Aan de primaire kant ontstaat door de grote warmteafvoer uit de getroffen stoomgenerator (SG1) een snelle afkoeling van het hoofdkoelmiddel, met als gevolg volumeverkleining, die tot een sterke daling van het niveau in de drukhouder en van de hoofdkoelmiddeldruk leidt.

15.2-10

K O P I E

Hierdoor worden in snelle opeenvolging door de reactorbeveiliging ondermeer de volgende maatregelen in werking gesteld:

- voorbereiden op noodkoeling;
- gebouwafsluiting;
- uitschakelen van de hoofdkoelmiddelpompen;
- bijschakelen van het primair reservesuppletiesysteem (TW);
- bijschakelen van de hogedruk-kerninundatie (TJ).

Na de automatische uitschakeling van de hoofdkoelmiddelpompen komt aanvankelijk in beide kringlopen natuurlijke circulatie op gang. In de van het lek geïsoleerde kringloop komt deze echter circa 100 s na het uitschakelen van de pompen tot stilstand, omdat door de geïsoleerde stoomgenerator (SG2) geen warmte meer wordt afgevoerd. Dit heeft een duidelijke invloed op het verdere verloop van de transiënt.

Op grond van het gepostuleerde enkelvoudig falen, namelijk dat het TW-systeem niet naar de getroffen hoofdkoelmiddelkringloop (SG1) voedt, wordt via TW alleen in de niet-circulerende kringloop (SG2) de boorzuurconcentratie opgevoerd, met als gevolg dat de boorzuurconcentratie in de kernzone nauwelijks verandert. De toevoeging van boorzuur door de kerninundatiepompen (TJ) eindigt circa 200 s na de start van de pompen, omdat op dat tijdstip de primaire druk weer boven de maximale persdruk van de pompen gestegen is. Door de kortstondige TJ-suppletie wordt de boorzuurconcentratie in de kern van 0 ppm tot ongeveer 100 ppm verhoogd.

Door de voortschrijdende afkoeling van het primair systeem en de daaraan gekoppelde sterke invloed van de hoofdkoelmiddeltemperatuur op de reactiviteit, in combinatie met de gereduceerde afschakelreactiviteit van de regelementen als gevolg van de "stuck rod"-aannname, wordt de reactor ongeveer 50 s na het begin van het ongeval kritisch.

Daardoor wordt de verdere afkoeling van de primaire kringloop beëindigd en stelt het reactorvermogen zich in op circa 2,5 % overeenkomend met de secundairzijdige RS-voeding, als tenminste binnen de eerste 30 minuten na het ongeval niet handmatig ingegrepen wordt. Onder deze aanname stabiliseert de reactorintredetemperatuur in de doorstroomde kringloop (SG1) zich op circa 180 EC, terwijl de stagnerende kringloop (SG2) op circa 250 EC blijft.

De hoofdkoelmiddeldruk stabiliseert zich bij ongeveer 120 bar, zodat het overstortventiel van het TW-systeem niet aanspreekt.

Omdat het zich in de stagnerende kringloop (SG2) bevindende hooggeboreerde

water slechts zeer langzaam via convectie met het hoofdkoelmiddel in het

reactorvat mengt, vindt er in de eerste 30 minuten na het begin van het ongeval geen noemenswaardige verhoging van de boorzuurconcentratie in de kern plaats. Daardoor komt er voorlopig geen einde aan de vermogensproductie, als tenminste niet handmatig ingegrepen wordt.

Dit is veiligheidstechnisch niet bezwaarlijk, omdat het opgewekte vermogen via het RS-systeem afgevoerd kan worden. Bovendien kan de reactor op ieder moment door handmatige maatregelen in een onderkritische toestand gebracht worden. Om dit te demonstreren is in de analyse verondersteld, dat circa 2000 s na het begin van het ongeval via twee pompen van het volumeregelsysteem (TA) geboreerd water met een concentratie van circa 10000 ppm aan het primair systeem wordt toegevoegd.

Als gevolg van vertraging door transport in het TA-systeem begint de toename van de boorzuurconcentratie in het primair systeem pas na 150 s na het begin van de voeding door het TA-systeem. Ongeveer 200 s na het begin van voeding is de reactor onderkritisch. Dit ondanks het feit dat, als gevolg van het stagnerende hoofdkoelmiddeldebiet in de niet getroffen kringloop, alleen de TA-voeding in de getroffen kringloop bijdraagt aan de toename van de boorzuurconcentratie. In het verdere verloop van het ongeval daalt de hoofdkoelmiddeltemperatuur. De hierdoor toenemende reactiviteit wordt door de toename van de boorzuurconcentratie ruimschoots gecompenseerd zodat de reactor zeker onderkritisch blijft.

Door de voeding in het primair systeem stijgt de hoofdkoelmiddeldruk weer.

Aan het einde van de analyse (circa 1000 s na het begin van TA-voeding) bedraagt de onderkritikaliteit circa 5,5 % bij een boorzuurconcentratie in de kern van circa 750 ppm.

Na het weer kritisch worden van de reactor ontstaat een geringe vermogensproductie (enkele procenten van het nominale vermogen). Vanwege het geringe hoofdkoelmiddeldebiet en de daarmee verbonden beperkte warmteafvoer, en vanwege de relatief hoge vermogensdichtheidsverdelingen als gevolg van de "stuck rod"-conditie, is een aanvullende beschouwing uitgevoerd. Parameters bij deze beschouwing zijn ondermeer het berekende overschot aan reactiviteit bij maximale onderkoeling van de kern dat een overeenkomende vermogensproductie bewerkstelligt, en veiligheidstechnische parameters van de reactor kern. Deze beschouwing is cyclusafhankelijk.

15.2-12

K O P I E

4 Resultaat

De analyse toont aan, dat het ongeval ook onder extreem conservatieve randvoorwaarden door het bijkomen van de veiligheidssystemen beheerst wordt. De afvoer van de restwarmte wordt door voeden met het RS-systeem gegarandeerd.

De onderkriticaliteit op lange duur is door vermenging van het geboreerde water uit het TW-systeem gewaarborgd; dit kan op korte termijn ook door handmatig ingrijpen bereikt worden.

De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.

De restwarmte kan ook door alléén het noodvoedingswatersysteem (RL) via de intacte stoomgenerator afgevoerd worden. Dit scenario is niet geanalyseerd, omdat het hier gaat om een onderkoelingstransiënt, waarbij het primaire systeem door het secundaire systeem zoveel mogelijk gekoeld wordt.

15.2-13

K O P I E

Figuur 15.2.4/1 Breuk in de hoofdstoomleiding tussen de veiligheidsomhulling en
de hoofdstoomafsluiters (PIE 1.5.4)
15.2-14

K O P I E

Figuur 15.2.4/2 Breuk in de hoofdstoomleiding tussen de veiligheidsomhulling en
de hoofdstoomafsluiters (PIE 1.5.4)
15.2-15

K O P I E

Figuur 15.2.4/3 Breuk in de hoofdstoomleiding tussen de veiligheidsomhulling en
de hoofdstoomafsluiters (PIE 1.5.4)
15.2-16

K O P I E

15.2.5 TUSA zonder opening van de turbine-omloopleiding (PIE 2.3.2)

1 Doel van de ongevalsanalyse

In deze ongevalsanalyse moet worden aangetoond dat de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de minimale DNB-verhouding respectievelijk de minimale kookmarge mogen slechts in beperkte omvang onder de betreffende grenswaarden komen (DNB-verhouding 1,3; kookmarge 15 bar);
- de splijtstof- en splijtstofomhullingstemperatuur mogen de toelaatbare grenswaarden niet overschrijden. Deze doelstelling wordt vervuld als de DNB-verhouding en de kookmarge niet onder de toelaatbare waarden komen;
- de hoofdkoelmiddeldruk en de hoofdstoomdruk mogen de maximaal toelaatbare waarden (1,1 x ontwerpdruk) niet overschrijden;

2 Begin- en randvoorwaarden

Bij dit ongeval is de secundairzijdige warmteafgifte door de turbinesnelafschakeling (TUSA) verhinderd, zodat de hoofdkoelmiddeldruk stijgt. Als conservatieve randvoorwaarde is aangenomen dat sproeien in de drukhouder faalt. Bovendien is verondersteld dat het eerste RESA-sigitaal (hoofdkoeldruk > max) wordt genegeerd.

Op grond van de stijgende hoofdkoelmiddeltemperatuur bij het begin van de transiënt is een beschouwing van de kerntoestand bij cyclusbegin ongunstiger voor het ongevalsverloop dan bij cycluseinde. Het ongeval begint daarom bij vollastbedrijf van de installatie. De turbine-omloop staat voor dit ongeval per definitie niet ter beschikking.

3 Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Bij storingen aan de turbine, generator of condensor vindt turbinesnelafschakeling (TUSA) plaats. De hoofdstoom wordt dan via de turbine-omloop rechtstreeks naar de condensor geleid. Als de condensor niet ter beschikking staat, worden de omloopafsluiters vergrendeld en wordt de hoofdstoom via de afblaasregelkleppen en zonodig via de veiligheidskleppen in het afblaasstation over het dak afgeblazen.

Door de TUSA wordt het generatorvermogen zeer snel gereduceerd, zodat op grond van het verschil tussen reactor- en generatorvermogen (> 30 %) automatisch inworp van de regelementen volgt. Het reactorvermogen daalt hierdoor tot circa 50 %.

Door het sluiten van de turbinesnsluitventielen stijgt de druk in de stoomgeneratoren. Deze drukverhoging heeft een verhoging van de primairzijdige uittredetemperatuur van de stoomgeneratoren tot gevolg en daarmee van de intredetemperatuur van de reactor. De gemiddelde hoofdkoelmiddeltemperatuur stijgt, ondanks de vermogensreductie door de inworp van de regelementen. Deze temperatuurverhoging resulteert in een verhoging van het niveau in de drukhouder en daarmee ook van de hoofdkoelmiddeldruk. Omdat het bedrijfsmatig sproeien in de drukhouder wordt geacht te zijn uitgevallen, stijgt de hoofdkoelmiddeldruk tot "Koelmiddeldruk > max". Er volgt echter geen reactorsnelafschakeling (RESA).

De druk in de hoofdstoomleiding neemt zover toe dat 11 seconden na het begin van het ongeval de afblaasregelkleppen openen. Bijna gelijktijdig wordt de grenswaarde

4 Resultaat

De analyse toont aan dat de reactor bij dit ongeval wordt afgeschakeld (RESA). In het verdere verloop wordt de primaire warmte afgevoerd door secundair stoom af te blazen.

De kookmarge zakt tijdens dit ongeval niet onder de 15 bar, waardoor filmkoken en daarmee ontoelaatbare splijtstof- en splijtstofomhullingstemperaturen niet optreden. Ook de aanspreekwaarde voor de drukhouder veiligheidsklep wordt niet bereikt en de toelaatbare hoofdkoelmiddeldruk en hoofdstoomdruk worden niet overschreden. Alle voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden dus gerealiseerd.

15.2-19

K O P I E

Figuur 15.2.5/1 TUSA zonder opening van de turbine-omloopleiding (PIE 2.3.2)
15.2-20

K O P I E

Figuur 15.2.5/2 TUSA zonder opening van de turbine-omloopleiding (PIE 2.3.2)

15.2-21

K O P I E

15.2.6 Langdurige noodstroomsituatie (> 30 minuten) (PIE 2.5.2)

1 Doel van de ongevalsanalyse

In deze ongevalsanalyse moet worden aangetoond dat de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de splijtstofomhulling moet dicht blijven (integriteit);
- de hoofdkoelmiddeldruk mag de maximaal toelaatbare waarde (1,3 x ontwerpdruk) niet overschrijden;
- de hoofdstoomdruk mag de maximaal toelaatbare waarde (1,1 x ontwerpdruk) niet overschrijden.

Het in stand houden van deze beschermingsdoelstellingen wordt gewaarborgd door:

- de drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder aan de primaire zijde;
- het afblaasstation voor de drukbeveiliging van de secundaire zijde en warmteafgifte naar de omgeving;
- het secundair reservesuppletiesysteem (RS) voor het garanderen van de warmteafvoer.

De beschermingsdoelstelling "Afregelen tot de toestand koud-onderkritisch onder noodstroomcondities" wordt vervuld door het beschikbaar hebben van voldoende deminwater.

2 Begin- en randvoorwaarden

Bij dit ongeval wordt aangenomen dat een turbinesnelafschakeling (TUSA) bij volvermogen gevolgd wordt door het uitvallen van de stroomvoorziening voor het eigenbedrijf.

Door de stijgende hoofdkoelmiddeltemperatuur in het begin van de transiënt is een beschouwing van de kerntoestand bij cyclusbegint ongunstiger voor het ongevalsverloop dan bij cycluseinde.

Aangenomen wordt, dat het eerste RESA-sigitaal wordt genegeerd. Bovendien wordt als enkelvoudig falen verondersteld, dat het noodvoedingswatersysteem (RL) niet ter beschikking staat.

15.2-22

K O P I E

3 Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Met de TUSA wordt het uitvallen van de stroomvoorziening voor het eigenbedrijf aangenomen.

Na een vertraging van circa 2 s worden de dieselaggregaten van de noodstroomverzorging gestart en worden alle verbruikers afgeschakeld. Volgens een voorgeprogrammeerde procedure worden vervolgens de door noodstroom gevoede systemen, indien vereist, in groepen weer bijgeschakeld. De grote verbruikers, zoals bijvoorbeeld de hoofdkoelmiddelpompen, de hoofdvoedingswaterpompen en de hoofdcondensaatpompen, zijn niet op de noodstroomvoorziening aangesloten en blijven dus in het verdere verloop van het ongeval spanningsloos.

Door het uitvallen van de hoofdkoelmiddelpompen wordt ongeveer 1 s na het begin van het ongeval de reactorbeveiligingsgrenswaarde "Toerental beide hoofdkoelmiddelpompen < min" bereikt.

Op dit signaal zou RESA volgen; er wordt echter verondersteld dat dit niet gebeurt. Daarom wordt door het verschil tussen reactor- en generatorvermogen (>30 %) automatisch het inwerpen van regelementen geïnitieerd. Kort daarna komt verdere inworp van regelementen tot stand op grond van het grenswaardesignaal "Pompuitval", waardoor het reactorvermogen tot circa 20 % wordt teruggebracht. Door de uitval van de hoofdvoedingswaterpompen worden kort daarna alle regelementen door de reactorvermogensbegrenzing ingeworpen en wordt de reactor zodoende afgeschakeld. Als gevolg van de vermogensafname dalen de hoofdkoelmiddeltemperatuur en de hoofdkoelmiddeldruk kortstondig.

Door het uitvallen van de hoofdkoelmiddelpompen loopt het hoofdkoelmiddeldebiet sterk terug, zodat het primairzijdig opgewekte vermogen niet volledig op de secundaire zijde overgedragen kan worden. Daardoor stijgt de hoofdkoelmiddeltemperatuur. Dit veroorzaakt door uitzetting een verhoging van het niveau in de drukhouder en een verhoging van de hoofdkoelmiddeldruk. Omdat de reactor is afgeschakeld, is de drukverhoging beperkt, zodat de drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder niet aanspreken.

Door het uitvallen van de hoofdvoedingswaterpompen zou voeding naar de stoomgeneratoren door het noodvoedingswatersysteem (RL) volgen. Verondersteld wordt echter dat het noodvoedingswatersysteem niet ter beschikking staat. Het niveau in de stoomgeneratoren daalt hierdoor zover tot bij het bereiken van het reactorbeveiligingssignaal "SG-niveau < min2" het reservesuppletiesysteem (RS) bijkomt (ongeveer 1700 s na het begin van het ongeval).

Door de in eerste instantie onderbroken warmteafvoer aan de secundaire zijde, neemt de hoofdstoomdruk toe. Het turbine-omloopstation is door het uitvallen van de hoofdcondensaatpompen niet beschikbaar, zodat de warmteafvoer over het door noodstroom gevoede afblaasstation plaatsvindt, totdat de eigenbedrijfsverzorging weer ter beschikking staat. Hiervoor is een tijdspanne van circa 20 uur beschikbaar. Als te verwachten is dat de eigenbedrijfsverzorging niet binnen deze tijd beschikbaar komt, moet de installatie handmatig in de toestand koud-onderkritisch gebracht worden.

Bij de analyse is aangenomen, dat het bedienend personeel de installatie 30 minuten na het begin van het ongeval afregelt. Normaal gesproken zou eerst getracht worden, het op noodstroom aangesloten noodvoedingswatersysteem (RL) handmatig op te starten, voordat met het uitbedrijfnemen begonnen wordt. Als verzwarende omstandigheid is echter aangenomen dat het noodvoedingswatersysteem niet ter beschikking staat, zodat met behulp van het reservesuppletiesysteem (RS) afgeregeld moet worden.

Volgens de bedrijfsprocedures moet de installatie met 50 K/h afgeregeld worden. Door de voeding met het koude water uit het RS-systeem ontstaat er automatisch een afkoelgradiënt van circa 50 K/h, zonder dat de afblaasregeling daarbij noemenswaardig in bedrijf komt. Bij het bereiken van een hoofdkoelmiddeltemperatuur van circa 296 EC, moet de primaire druk door sproeien in de drukhouder met het TA-systeem met een snelheid van ongeveer 2,5 bar/min tot circa 90 bar verlaagd worden.

Aan het eind van de analyse begint zich een dampbel in de ruimte onder het reactorvatdeksel te vormen, die tijdens het verdere verloop groter wordt als gevolg van de primairzijdige drukdaling. Het verdere verloop van de uitbedrijfname vindt plaats volgens de bedrijfsprocedures, en is in deze analyse niet meer gesimuleerd.

De DNB-verhouding komt in het verloop van het ongeval niet onder de betreffende toelaatbare waarde.

15.2-24

K O P I E

4 Resultaat

De analyse toont aan, dat bij een langdurige noodstroomsituatie (> 30 minuten) de warmteafvoer is verzekerd. De DNB-verhouding komt niet onder de betreffende toelaatbare waarde.

De toelaatbare hoofdkoelmiddeldruk (1,3 x ontwerpdruk, circa 230 bar) en de toelaatbare hoofdstoomdruk (1,1 x ontwerpdruk, circa 100 bar) worden niet bereikt.

De uitbedrijfname volgens de bedrijfsprocedures leidt niet tot een ontoelaatbare bedrijfstoestand.

De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.

Omdat filmkoken vermeden wordt en ook de hoofdkoelmiddel- en de hoofdstoomdruk onder 1,1 x ontwerpdruk blijven zijn door deze analyse de kortstondige noodstroomsituatie (PIE 2.5.1) en de uitval van beide hoofdkoelmiddelpompen (PIE 3.1) afgedekt.

15.2-25

K O P I E

Figuur 15.2.6/1 Langdurige noodstroomsituatie (> 30 minuten) (PIE 2.5.2)

15.2-26

K O P I E

Figuur 15.2.6/2 Langdurige noodstroomsituatie (> 30 minuten) (PIE 2.5.2)
15.2-27

K O P I E

Figuur 15.2.6/3 Langdurige noodstroomsituatie (> 30 minuten) (PIE 2.5.2)

15.2-28

K O P I E

15.2.7 Uitval van de hoofdvoedingswaterpompen (PIE 2.6.1)

1 Doel van de ongevalsanalyse

Het uitvallen van de hoofdvoedingswaterpompen (RL) veroorzaakt een storing in de warmteafvoer en daarmee een verhoging van de druk en de temperatuur in het primair systeem. Daarom moeten de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de minimale DNB-verhouding respectievelijk de minimale kookmarge mogen slechts in beperkte omvang onder de betreffende grenswaarden komen (DNB-verhouding 1,3; kookmarge 15 bar);
- de splijtstof- en splijtstofomhullingstemperatuur mogen de toelaatbare grenswaarden niet overschrijden. Deze doelstelling wordt vervuld als de DNB-verhouding en de kookmarge niet onder de toelaatbare waarde komen;
- de hoofdkoelmiddeldruk en de hoofdstoomdruk mogen de maximaal toelaatbare waarden (1,1 x ontwerpdruk) niet overschrijden;

De voor het vervullen van deze beschermingsdoelstellingen noodzakelijke warmteafvoer uit de stoomgeneratoren wordt door het veiligheidsrelevante secundair reservesuppletiesysteem (RS) gerealiseerd.

2 Begin- en randvoorwaarden

Bij dit ongeval wordt verondersteld, dat bij vollast beide hoofdvoedingswaterpompen uitvallen, zonder dat de reserve pomp in bedrijf komt. Bovendien wordt verondersteld, dat het noodvoedingswatersysteem niet beschikbaar is.

Omdat bij het begin van de transiënt de hoofdkoelmiddeltemperatuur stijgt, is het beschouwen van de kerntoestand bij cyclusbegint ongunstiger voor het ongevalsverloop dan bij cycluseinde (geringere invloed op de reactiviteit).

Er wordt conservatief aangenomen, dat het door het verminderde voedingswaterdebiet opgewekte RL-RELEB-sigitaal "Inworp van alle regelementen" geen uitwerking heeft.

3 Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Door het uitvallen van de hoofdvoedingswaterpompen gaat het voedingswaterdebiet sprongsgewijs omlaag. De hoofdstoomdruk stijgt enigszins, omdat het vermogen dat eerst voor de opwarming van het voedingswater nodig was nu voor de stoomproductie beschikbaar komt. Het uitvallen van de voedingswaterpompen zou tot het aanspreken van RELEB leiden en dus tot inworp van alle regelementen. In de analyse wordt dit sigitaal echter genegeerd.

Omdat bij dalend niveau in de stoomgeneratoren de warmteoverdracht aan de stoomgeneratorpijpen slechter wordt, stijgen de hoofdkoelmiddeltemperatuur, het niveau in de drukhouder en de hoofdkoelmiddeldruk. Dit leidt door de invloed op de reactiviteit van de hoofdkoelmiddeltemperatuur tot een lichte verlaging van het reactorvermogen. Gelijktijdig reageert de hoofdkoelmiddeltemperatuurregeling op de stijgende temperatuur door de regelementen in te sturen. Dit heeft echter vanwege de geringe invloed op de reactiviteit van de elementen in bijna geheel getrokken toestand, nauwelijks invloed op het reactorvermogen. De kookmarge wordt groter, omdat de temperatuurverhoging van het hoofdkoelmiddel door de drukverhoging overgecompenseerd wordt.

Ongeveer 40 s na het begin van het ongeval is het niveau in de stoomgeneratoren zo ver gedaald, dat RESA volgt door het signaal "SG-niveau < min1". De door hetzelfde signaal aangestuurde start van de noodvoedingswaterpompen (RL) heeft geen effect, omdat conservatief verondersteld is dat deze niet ter beschikking staan.

Na de RESA daalt het reactorvermogen snel naar het vervalwarmtevermogen. De hoofdkoelmiddeldruk en -temperatuur, alsmede het niveau in de drukhouder dalen eveneens, waarbij in het verdere verloop het niveau in de drukhouder en de hoofdkoelmiddeldruk door de desbetreffende regelingen nagenoeg constant gehouden worden.

De hoofdstoomdruk stijgt na de RESA snel, en wordt door de regeling van de turbine-omloop begrensd op de waarde die correspondeert met nullast-vermogen.

Omdat voor het afvoeren van de vervalwarmte nog steeds stoom via de turbine-omloop afgevoerd wordt, dalen de niveaus in stoomgeneratoren totdat door het signaal "SG-niveau < min2" het secundair reservesuppletiesysteem (RS) in bedrijf komt.

De hoofdstoomdruk is tijdens het voeden van de stoomgeneratoren door het RS-systeem aan kleine schommelingen onderhevig, daar van tijd tot tijd stoom door het gesuppleerde koude RS-water gecondenseerd wordt, hetgeen tot drukdaling leidt totdat weer de condities voor verzadiging zijn bereikt. Daarna stijgt het niveau in de stoomgeneratoren en bereikt ongeveer 1800 s na het begin van het ongeval de normale waarde.

15.2-30

K O P I E

4 Resultaat

De analyse toont aan dat de installatie bij dit ongeval betrouwbaar afgeschakeld wordt, ook als verondersteld wordt dat het RELEB-sigitaal "Inworp van alle elementen" genegeerd wordt. Bij het veronderstelde uitvallen van de noodvoedingswaterpompen worden de beide stoomgeneratoren door het reservesuppletiesysteem (RS) weer opgevuld. De warmteafvoer is zodoende gegarandeerd.

De kookmarge neemt tijdens het ongeval niet af tot onder de betreffende grenswaarde zodat ook de DNB-verhouding boven de betreffende grenswaarde blijft. Daardoor treedt filmkoken niet op en worden in de splijtstof en de splijtstofomhulling geen ontoelaatbare temperaturen bereikt.

De hoofdkoelmiddeldruk wordt door de drukregeling middels sproeien onder 160 bar gehouden. De drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder spreken niet aan. Ten opzichte van de maximaal toelaatbare druk (1,1 x ontwerpdruk, circa 193 bar) blijft een ruime marge gehandhaafd.

De hoofdstoomdruk houdt ten opzichte van de maximaal toelaatbare druk (1,1 x ontwerpdruk, circa 100 bar) een ruime marge.

De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.

15.2-31

K O P I E

Figuur 15.2.7/1 Uitval van de hoofdvoedingswaterpompen (PIE 2.6.1)
15.2-32

K O P I E

Figuur 15.2.7/2 Uitval van de hoofdvoedingswaterpompen (PIE 2.6.1)

15.2-33

K O P I E

15.2.8 Blokkeren van een hoofdkoelmiddelpomp of breuk van een hoofdkoelmiddelpompas (PIE 3.2)

1 Doel van de ongevalsanalyse

Bij dit ongeval ontstaat er bij snelle reductie van de doorstroming van de reactorkern, een stijging van de hoofdkoelmiddeltemperatuur in de kern. Daarom moeten de volgende beschermingsdoelstellingen vervuld blijven:

- filmkoken (DNB-verhouding $< 1,3$) is in beperkte omvang toelaatbaar;
- als de DNB-verhouding wordt overschreden dan moet de temperatuur van de splijtstofomhulling beneden de 600 0C blijven;
- onderkriticaliteit moet op lange termijn zeker gesteld worden;
- kernkoeling moet gewaarborgd zijn;
- de hoofdkoelmiddeldruk mag de maximaal toelaatbare waarde (1,1 x ontwerpdruk) niet overschrijden;
- de hoofdstoomdruk mag de maximaal toelaatbare waarde (1,1 x ontwerpdruk) niet overschrijden.

2 Begin- en Randvoorwaarden

Bij dit ongeval wordt verondersteld dat de as van de hoofdkoelmiddelpomp bij vollast breekt. Daardoor komt de pompwaaier in korte tijd tot stilstand terwijl de pompmotor doordraait.

Als gevolg hiervan spreken zowel het signaal

3 Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Primaire zijde

Door de snelle uitloop van de pompwaaier gaat het debiet in de betreffende kringloop bijna sprongvormig omlaag. Er ontstaat als gevolg van de drukverhoudingen een tegengestelde stroming in de betreffende kringloop, waardoor de reactoruitredetemperatuur tot beneden de reactorintredetemperatuur daalt.

Als gevolg van de verminderde doorstroming van de reactorkern stijgen de hoofdkoelmiddeltemperatuur en -druk, alsmede het niveau in de drukhouder. De snelle temperatuurstijging van het hoofdkoelmiddel in de reactorkern leidt als gevolg van de terugkoppeling op de reactiviteit tot een snelle vermogensreductie tot circa 80 %.

Ongeveer 6 seconden na aanvang van het ongeval wordt de grenswaarde
"Koelmiddeldruk > 164 bar

Als gevolg van de verminderde doorstroming in de primaire zijde van de stoomgenerator van de getroffen kringloop, daalt diens vermogen snel. De doorstroming in de primaire zijde van de stoomgenerator in de niet getroffen kringloop neemt daarentegen toe. Het vermogen van deze stoomgenerator neemt eveneens toe en het waterniveau in deze stoomgenerator neemt langzaam af.

Vanwege het dalende waterniveau in de stoomgenerator van de niet getroffen kringloop wordt na 464 seconden de toestand

Figuur 15.2.8/1 Blokkeren van een hoofdkoelmiddelpomp of breuk van een
hoofdkoelmiddelpompas (PIE 3.2)

15.2-37

K O P I E

Figuur 15.2.8/2 Blokkeren van een hoofdkoelmiddelpomp of breuk van een
hoofdkoelmiddelpompas (PIE 3.2)
15.2-38

K O P I E

Figuur 15.2.8/3 Blokkeren van een hoofdkoelmiddelpomp of breuk van een
hoofdkoelmiddelpompas (PIE 3.2)
15.2-39

K O P I E

Figuur 15.2.8/4 Blokkeren van een hoofdkoelmiddelpomp of breuk van een
hoofdkoelmiddelpompas (PIE 3.2)
15.2-40

K O P I E

15.2.9 Uitworp van het meest effectieve regelement (PIE 5.2)

1 Doel van het ongevalsanalyse

In deze ongevalsanalyse moet worden aangetoond dat de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- filmkoken (DNB-verhouding $< 1,3$) is in beperkte omvang toelaatbaar;
- als de minimumwaarde voor de DNB-verhouding wordt overschreden dan moet de temperatuur van de splijtstofomhulling beneden de 600 0C blijven;
- de hoofdkoelmiddeldruk mag de maximaal toelaatbare waarde (1,1 x ontwerpdruk) niet overschrijden;
- de hoofdstoomdruk mag de maximaal toelaatbare waarde (1,1 x ontwerpdruk) niet overschrijden.
- de maximale enthalpieverhoging, gemiddeld over een splijtstoftablet moet voldoende laag zijn om schade aan de splijtstof en splijtstofomhulling te voorkomen;
- de enthalpieverhoging, gemiddeld over een splijtstoftablet moet beneden de toelaatbare waarde (966 J/g) blijven;

2 Begin- en randvoorwaarden

Het uitwerpen van het meest effectieve regelement wordt gepostuleerd. Als oorzaak wordt verondersteld, dat door de breuk van een regelementaandrijving, het regelement door de hoofdkoelmiddeldruk uitgeworpen wordt. De reactiviteitstoename is afhankelijk van de insteekdiepte van de bank, waartoe het regelement behoort.

Als startpunt van het ongeval wordt als ongunstige bedrijfstoestand het begin van de cyclus (BOC) bij vollast (reactorvermogen 103%) en het einde van de cyclus (EOCnat) bij nullast (reactorvermogen 4%) gekozen.

Van één D-bank wordt bij volvermogen een conservatieve insteekdiepte van 85 cm aangenomen en bij nullast wordt aangenomen dat twee D-banken volledig zijn ingestoken. De uitworp van één regelement van deze D-bank(en) wordt verondersteld. De reactiviteitstoename als gevolg van de reactiviteit van de regelementen wordt daarbij ongunstig hoog aangenomen; de invloed van de terugkoppeling op de reactiviteit die de transiënt verzacht, bijvoorbeeld Doppler-activiteit (reactiviteitsinvloed van de splijtstof), wordt laag aangenomen.

Bovendien wordt verondersteld, dat de regelementaandrijvingsstomp op constructieve gronden door het regelement afgesloten wordt zonder dat lekkage optreedt. Hierdoor kan geen drukontlasting van het primair systeem optreden, zodat ook dampbelvorming geen invloed heeft op de reactiviteit.

3 Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Door het uitwerpen van een regelement uit de D-bank wordt reactiviteit toegevoegd, hetgeen leidt tot een verhoging van het reactorvermogen. De reactiviteitscoëfficiënten werken dit tegen, waardoor de vermogensstijging wordt begrensd. Met het aanspreken van de glijdende vermogensgrenswaarde wordt om reden van conservatisme geen rekening gehouden. Hierdoor volgt een RESA na het bereiken van de eerstvolgende RESA-grenswaarde ("reactorvermogen > max").

Bij het begin van het ongeval stijgt de hoofdkoelmiddeldruk. Door de RESA wordt deze stijging beëindigd. Middels een plausibiliteitverklaring is aangetoond dat de hoofdkoelmiddeldruk en de hoofdstoomdruk niet boven de maximaal toelaatbare waarde (1,1 x ontwerpdruk) komen.

15.2-42

K O P I E

4 Resultaat

De reactiviteitstoename als gevolg van de uitworp van een regelement leidt, afhankelijk van het tijdstip in de cyclus en de opbrand, tot een langzame of een snelle vermogensstijging. Door de negatieve brandstoftemperatuurcoëfficiënt wordt het reactorvermogen echter altijd beperkt. Na het overschrijden van de tweede RESA-grenswaarde volgt uiteindelijk een RESA.

Omdat de maximale splijstoftemperatuur onder de opbrandafhankelijke smelttemperatuur blijft is gewaarborgd dat de maximale enthalpieverhoging, gemiddeld over een splijstoftablet, onder de grenswaarde van 966 J/gram blijft.

Over de cyclus heen is voor verschillende opbranden aangetoond dat de maximale enthalpieverhoging ruim beneden de grenswaardecurve (met conservatief veronderstelde reeds aanwezige oxidelaag) ligt. Daarmee wordt aan de beschermingsdoelstelling voor de maximale enthalpieverhoging voldaan.

Verder volgt uit de resultaten van de meest ongunstige bedrijfstoestanden het volgende:

- de DNB blijft boven de 1,3; er treedt geen filmkoken aan het oppervlak van de splijststofomhulling op;
- de temperatuur van de splijststofomhulling blijft onder 600 oC;
- de hoofdstoomdruk blijft onder 1,1 x ontwerpdruk
- de hoofdkoelmiddeldruk blijft onder 1,1 x ontwerpdruk.

Kortom alle voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.

15.2-43

K O P I E

Figuur 15.2.9/1 Uitworp van het meest effectieve regelement (PIE 5.2)
15.2-44

K O P I E

Figuur 15.2.9/2 Uitworp van het meest effectieve regelement (PIE 5.2)
15.2-45

K O P I E

15.2.10 Onbedoeld openen en weer sluiten van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (PIE 7.1.1)

1 Doel van de ongevalsanalyse

In deze ongevalsanalyse moet worden aangetoond dat de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de minimale DNB-verhouding mag slechts in beperkte omvang onder de betreffende grenswaarde komen (DNB-verhouding 1,3);
- de splijststof- en splijststofomhullingstemperatuur mogen de toelaatbare grenswaarden niet overschrijden. Deze doelstelling wordt vervuld als de DNB-verhouding niet onder de toelaatbare waarde komt;
- een blijvend lek in het primair systeem dient te worden vermeden.

Deze beschermingsdoelstellingen worden door de bedrijfssystemen en de drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder (sluitfunctie) gewaarborgd.

2 Begin- en randvoorwaarden

Verondersteld wordt, dat het eerste drukbeveiligingstoestel onbedoeld open gaat en, ondanks het bereiken van de sluitgrenswaarde die 10 bar onder de aanspreekwaarde ligt, niet weer sluit. Pas als het in serie met de veiligheidsklep geschakelde tandemventiel sluit bij een tot 136 bar gedaalde systeemdruk, eindigt het verlies van hoofdkoelmiddel uit het primair systeem.

De transiënt wordt beschouwd bij een kerntoestand aan het begin van de cyclus; vanwege de tot RESA bijna constante hoofdkoelmiddeltemperatuur is dit echter nauwelijks van belang als randvoorwaarde.

Gezien het in deze toestand hoge niveau in de drukhouder wordt nominaal vermogen als de begintoestand aangenomen.

Aangenomen wordt, dat het eerste RESA-signaal wordt genegeerd.

3 Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Door het openen van het eerste drukbeveiligingstoestel van de drukhouder daalt de hoofdkoelmiddeldruk en daarmee de kookmarge.

Zodra de kookmarge de aanspreekwaarde van de vermogensbegrenzing (DNB-RELEB) onderschrijdt, worden door deze regeling automatisch tegenmaatregelen geïnitieerd (kortstondige verlaging van het reactor- en turbinevermogen met 10 % van het nominale vermogen). Deze tegenmaatregelen kunnen echter in dit geval het bereiken van RESA-grenswaarden niet verhinderen.

Ongeveer 20 s na het begin van het ongeval wordt de RESA-grenswaarde "Kookmarge < min" onderschreden. Daar bij de analyse wordt aangenomen dat het eerste RESA-signaal genegeerd wordt, daalt de kookmarge verder. Na circa 25 s na het begin van het ongeval wordt de grenswaarde van de reactorbeveiliging "Hoofdkoelmiddeldruk < min1" bereikt, waarna RESA volgt.

Hierdoor stijgt de kookmarge weer. De hoofdkoelmiddeldruk daalt door de RESA en het nog steeds openstaande drukbeveiligingstoestel nog verder.

Ruim 30 s na het begin van het ongeval is de hoofdkoelmiddeldruk tot circa 136 bar gedaald, en het met de veiligheidsklep in serie geschakelde tandem-ventiel wordt door de reactorbeveiliging gesloten.

In het verdere verloop wordt het primair systeem gevoed door het volumeregelsysteem (TA), totdat het niveau in de drukhouder de normale waarde heeft bereikt.

De afblaastank van de drukhouder kan de afgeblazen hoeveelheid hoofdkoelmiddel opnemen. De druk in de afblaastank stijgt tot het sluiten van het tandem-ventiel tot circa 3,9 bar en blijft daarmee onder de aanspreekdruk van de breekplaat.

Ongeveer 10 minuten na het begin van het ongeval bereikt de installatie een stationaire toestand.

Omdat de kookmarge in het verloop van de transiënt de grenswaarde van 15 bar onderschrijdt, is om het realiseren van de beschermingsdoelstellingen te bewijzen, een aparte heetkanaalanalyse uitgevoerd; daarbij vormen de resultaten van de thermohydraulische analyse de invoergegevens.

Uit de heetkanaalanalyse blijkt, dat de minimale DNB-verhouding bij dit ongeval na ongeveer 29 s bereikt wordt. De DNB-grenswaarde van 1,3 wordt echter niet onderschreden, zodat filmkoken niet optreedt.

15.2-47

K O P I E

4 Resultaat

De analyse toont aan, dat het verlies van hoofdkoelmiddel door geschikte tegenmaatregelen wordt beëindigd, en dat uitbreiding naar een koelmiddelverliesongeval wordt verhinderd.

De minimaal toelaatbare DNB-verhouding wordt niet onderschreden, zodat filmkoken niet optreedt en schade aan de slijtstofomhulling kan worden uitgesloten.

De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.

15.2-48

K O P I E

Figuur 15.2.10/1 Onbedoeld openen en weer sluiten van een
'drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (PIE 7.1.1)

15.2-49

K O P I E

Figuur 15.2.10/2 Onbedoeld openen en weer sluiten van een
drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (PIE 7.1.1)
15.2-50

K O P I E

15.2.11 Onbedoeld openen en open blijven van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (PIE 7.1.2)

1 Doel van de ongevalsanalyse

In deze ongevalsanalyse moet worden aangetoond, dat de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de temperatuur van de splijtstofomhulling mag niet hoger worden dan 1200 EC;
- de plaatselijke oxidatie van de splijtstofomhulling moet minder zijn dan 17 %;
- de waterstofproductie mag 1 % van de grootst mogelijke waarde niet overschrijden;
- de door temperatuurverhoging veroorzaakte geometrische veranderingen in de kern mogen de koeling daarvan niet nadelig beïnvloeden;
- de langdurige afvoer van vervalwarmte moet gegarandeerd zijn.

Deze beschermingsdoelstellingen worden door de volgende veiligheidsrelevante systemen gewaarborgd:

- kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ);
- hoofd- en noodvoedingswatersysteem (RL);
- hoofdstoom-afblaasstation;
- noodstroomverzorgingsinstallatie.

2 Begin- en randvoorwaarden

Er wordt verondersteld, dat een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder onbedoeld open gaat en open blijft. Daarbij wordt voorbij gegaan aan het feit, dat het in serie met de veiligheidsklep geschakelde tandem-ventiel, bij een tot circa 135 bar gedaalde systeemdruk zelfstandig zou sluiten, en daarmee het verlies van hoofdkoelmiddel zou beëindigen.

Verder wordt de noodstroomsituatie verondersteld bij het initiëren van RESA/TUSA, waardoor de kerninundatiepompen vertraagd voeden als gevolg van het diesel-bijschakelprogramma. Secundairzijdig afregelen begint dus, op grond van het niet beschikbaar zijn van de turbineomloop, bij een hogere temperatuur.

Enkelvoudig falen wordt bij een noodstroomdiesel verondersteld, waardoor in elk van de beide strangen van de noodkoeling één van de beide kerninundatiepompen (HD) en nakoelpompen (LD), als ook aan de secundaire zijde één noodvoedingswaterpomp niet beschikbaar is.

3 Algemene beschrijving van het verloop van de storing

Door het verlies van hoofdkoelmiddel via een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder daalt de druk in het primair systeem. Het hoofdkoelmiddelverlies kan door het volumeregelsysteem (TA) niet gecompenseerd worden.

Vanwege de specifieke plaats van de lekkage stijgt het niveau in de drukhouder, zodat de grenswaarde "Drukhouderniveau < min" niet wordt bereikt. Verder wordt de grenswaarde "Druk in installatie/bedrijfsruimte > max2" vertraagd bereikt, omdat pas na het breken van de breekplaat van de afblaastank van de drukhouder, hoofdkoelmiddel in de veiligheidsomhulling vrijkomt.

Voor het initiëren van RESA heeft dit geen noemenswaardige gevolgen, omdat er diverse andere aanspreekcriteria aan de orde zijn. RESA volgt door het signaal "Hoofdkoelmiddeldruk < min1" of "Kookmarge < min".

Zowel het initiëren van afregelen met 100 K/h als het bereiken van de noodkoelcriteria vinden plaats op grond van het bereiken van de grenswaarde "Druk in installatie/bedrijfsruimte > max2" en "Hoofdkoelmiddeldruk < min2". Door de geringe lekgrootte blijft de genoemde vertraging echter zonder veiligheidstechnische gevolgen.

Na het initiëren van het afregelen met 100 K/h wordt de installatie automatisch over de condensor afgeregeld, of, zoals hier verondersteld, in de noodstroomsituatie via de hoofdstoomafblaasregelventielen, totdat het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) deze taak overneemt.

Na het bereiken van de noodkoelcriteria worden de kerninundatiepompen gestart teneinde geboreerd water te suppleren uit de kerninundatievoorradetanks (TJ).

Het niveau van het hoofdkoelmiddel in de kern is in de figuur aangegeven als een fictief niveau. Dit fictieve niveau geeft het niveau aan waarbij verondersteld is dat al het hoofdkoelmiddel zich in de vloeibare fase bevindt. In werkelijkheid zal het niveau van een mengsel van vloeistof en damp zich hoger bevinden. Uit de grafiek van het fictieve niveau in de kern is af te lezen, dat bij dit ongeval de kern te allen tijde met water of met een water/stoom-mengsel voldoende bedekt is. Mede door het afregelen over de secundaire zijde wordt gegarandeerd, dat voordat de kerninundatievoorradetanks leeg zijn de verdere suppletie van geboreerd water kan plaatsvinden met behulp van de nakoelpompen.

4 Resultaat

De analyse toont aan, dat bij dit ongeval de temperatuur van de splijtstofomhulling beneden de normale waarde bij vollast blijft. Dit betekent, dat er op ieder moment een grote marge ten opzichte van de grenswaarde van 1200 EC aanwezig is. De kern blijft zodanig gekoeld dat daarmee bewezen is dat:

- plaatselijke oxidatie van de splijtstofomhulling voldoende beperkt blijft;
- de waterstofproductie factoren beneden de grenswaarde blijft;
- negatieve beïnvloeding van de koeling van de kern als gevolg van geometrische veranderingen uitgesloten kan worden.

De analyse heeft verder aangetoond, dat op het moment van afschakeling van de kerninundatiepompen de hoofdkoelmiddeltemperatuur, en daarmee de corresponderende verzadigingsdruk, onder de opvoerhoogte bij nullast van de nakoelpompen ligt, zodat het verdere suppleren van geboreerd water met behulp van het LD-systeem (TJ) mogelijk is.

De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.

15.2-53

K O P I E

Figuur 15.2.11/1 Onbedoeld openen en open blijven van een
drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (PIE 7.1.2)

15.2-54

K O P I E

15.2.12 Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (PIE 7.2.2)

1 Doel van de ongevalsanalyse

In deze ongevalsanalyse moet worden aangetoond, dat de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de temperatuur van de splijtstofomhulling mag niet hoger worden dan 1200 EC;
- de plaatselijke oxidatie van de splijtstofomhulling moet minder zijn dan 17 %;
- de waterstofproductie mag 1 % van de grootst mogelijke waarde niet overschrijden;
- de door temperatuurverhoging veroorzaakte geometrische veranderingen in de kern mogen de koeling daarvan niet nadelig beïnvloeden;
- de langdurige afvoer van vervalwarmte moet gegarandeerd zijn.

Deze beschermingsdoelstellingen worden door de volgende veiligheidsrelevante systemen gewaarborgd:

- kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ);
- nakoelketen (TF, VF);
- hoofd- en noodvoedingswatersysteem (RL);
- hoofdstoomafblaasstation;
- noodstroomverzorgingsinstallatie.

2 Begin- en randvoorwaarden

Omdat lekkages in het koude been grotere massaverliezen en kernverhitting opleveren dan lekkages uit het hete been, worden hier lekkages tussen hoofdkoelmiddelpomp en reactorvat (koude been) met een representatief lekgrootte-spectrum geanalyseerd.

Bij lekgroottes van beperkte omvang is de invloed van de secundaire zijde bepalend voor de thermohydraulische toestand van het primaire systeem. Daarentegen is bij lekkages van grotere omvang de invloed van het verlies van hoofdkoelmiddel bepalend voor de toestand van het primaire systeem en het verloop van het ongeval. Als gevolg van het principe van "lek voor breuk" hoeft alleen rekening gehouden te worden met de breuk van een aansluitleiding van het primair systeem. Daarom worden lekgroottes onderzocht van 20, 40, 80, 160 en 225 cm⁵.

Uitgangstoestand voor deze analyse is een bedrijfssituatie met verhoogd vermogen (106 %). Verder wordt in de berekening uitgegaan van een verhoogd vervalwarmtevermogen (veiligheidstoets van 2

Aangenomen wordt, dat het lek direct naast de aansluiting van de toevoerleiding van het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) optreedt, omdat dan door de onderkoeling op de plaats van het lek een conservatief hoog massaverlies van hoofdkoelmiddel optreedt. Bij totale breuk van deze aansluiting (lekgrootte 225 cm⁵) wordt aangenomen, dat de totale door dit deelsysteem toegevoerde hoeveelheid noodkoelwater via het lek verloren gaat.

Het primair reserve suppletiesysteem (TW) wordt verondersteld niet in werking te treden.

Verder wordt de noodstroomsituatie verondersteld bij het initiëren van RESA/TUSA, waardoor de kerninundatiepompen vertraagd voeden als gevolg van het diesel-bijschakelprogramma. Secundairzijdig afregelen begint dus, op grond van het niet beschikbaar zijn van de turbine-omloop, bij een hogere temperatuur.

Enkelvoudig falen wordt bij een noodstroomdiesel verondersteld, waardoor in elk van de beide strangen van de noodkoeling één van de beide kerninundatiepompen (HD) en nakoelpompen (LD), alsook aan de secundaire zijde één noodvoedingswaterpomp niet beschikbaar is.

3 Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Bij een klein lek dalen het niveau in de drukhouder en de druk in het primaire systeem. Het hoofdkoelmiddelverlies kan door het volumeregelsysteem (TA) niet gecompenseerd worden.

Als de grenswaarde "Druk in installatie/bedrijfsruimte > max 2" of "Drukhouderniveau < min" of "Druk in het reactorkoelsysteem < min1" wordt bereikt, volgt RESA.

Door het dalen van de hoofdkoelmiddeldruk wordt vervolgens het reactorbeveiligingssignaal "Druk in installatie/bedrijfsruimte > max 2 en hoofdkoelmiddeldruk < min 1" afgegeven, en wordt de installatie automatisch over de condensor afgeregeld, of, zoals hier aangenomen, in de noodstroomsituatie via de hoofdstoom-afblaasregelventielen met een gradiënt van 100 K/h totdat het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) deze taak overneemt.

Daalt de hoofdkoelmiddeldruk tot onder de grenswaarde min3, dan zijn de criteria voor noodkoeling (zie paragraaf 7.5.3) bereikt.

De kerninundatiepompen worden voor aanvulling van hoofdkoelmiddel uit de kerninundatievoorradetanks (TJ) gestart.

Bij lekgroottes van beperkte omvang bepaalt het secundairzijdig afregelen het verloop van het ongeval en de thermohydraulische toestand in het primair systeem.

Vanwege de geringe lekkage is bij deze ongevallen steeds een voldoende vullingsgraad van het primair systeem door de kerninundatiepompen gegarandeerd.

Het niveau van het hoofdkoelmiddel in de kern is in de figuur aangegeven als een fictief niveau. Dit fictieve niveau geeft het niveau aan waarbij verondersteld is dat al het hoofdkoelmiddel zich in de vloeibare fase bevindt. In werkelijkheid zal het niveau van een mengsel van vloeistof en damp zich hoger bevinden. Uit de grafiek van het fictieve niveau in de kern is af te lezen, dat bij deze ongevallen de kern te allen tijde met water of met een water/stoom-mengsel voldoende is bedekt. Mede door het afregelen over de secundaire zijde wordt gegarandeerd, dat voordat de kerninundatievoorradetanks leeg zijn verdere suppletie van noodkoelwater met behulp van de nakoelpompen mogelijk is.

Bij de omvangrijkere lekgroottes is de invloed van het verlies van hoofdkoelmiddel maatgevend voor de thermohydraulische toestand in het primair systeem en voor het verloop van het ongeval. Het niveau in het primair systeem daalt kortstondig en wordt vervolgens door de suppletie door de kerninundatiepompen (TJ) en de kerninundatiebuffertanks weer verhoogd. De afvoer van de restwarmte geschiedt door het massa- en daarmee verbonden energieverlies via het lek.

Daalt de hoofdkoelmiddeldruk onder de grenswaarde $\min 5$, dan worden door het LD-voedingssignaal de nakoelpompen automatisch gestart. Afhankelijk van het niveau in de kerninundatievoorradetanks zuigen de nakoelpompen uit de tanks of uit de reactorput aan. Het putwater wordt vóór het opnieuw voeden gekoeld in de nakoelers. De vervalwarmte wordt via de nageschakelde koelketen aan het nevenkoelwater afgegeven.

Uit de grafieken van het fictieve niveau in de kern blijkt dat de kern langdurig met een water/stoom-mengsel is bedekt en dat daardoor de splijtstofomhullingstemperaturen in de buurt van de verzadigingstemperatuur gehouden kunnen worden. Alleen in de beginfase bij de breuk van de koudzijdige aansluitleiding van het TJ-systeem (lekgrootte 225 cm²) treedt kortstondig dampkoeling op, die leidt tot een toename van de temperatuur van de splijtstofomhulling. Dit effect treedt, in veel geringere mate, eveneens op bij kleinere lekgroottes (20 cm² en 40 cm²). De toename van de temperatuur van de splijtstofomhulling leidt tot waarden die, zelfs in het ongunstigste geval (lekgrootte

225 cm²), slechts in geringe mate boven de bij normaal bedrijf optredende temperaturen liggen.

15.2-57

K O P I E

4 Resultaat

De analyse toont aan, dat in alle onderzochte gevallen, de temperatuur van de splijtstofomhulling de normale waarde bij vollast niet noemenswaardig overschrijdt. Dit betekent, dat er steeds een grote marge ten opzichte van de grenswaarde van 1200 EC aanwezig is. De kern blijft zodanig gekoeld dat daarmee bewezen is dat:

- de plaatselijke oxidaties van de splijtstofomhulling voldoende beperkt blijven;
- de waterstofproductie factoren onder de grenswaarde blijft;
- negatieve beïnvloeding van de koeling van de kern als gevolg van geometrische veranderingen uitgesloten kan worden.

De analyses hebben verder aangetoond, dat op het tijdstip van afschakelen van de kerninundatiepompen de hoofdkoelmiddeltemperatuur, en daarmee de corresponderende verzadigingsdruk in het primaire systeem in alle onderzochte gevallen onder de opvoerhoogte bij nullast van de nakoelpompen ligt, zodat het verdere suppleren van noodkoelwater met behulp van het LD-systeem (TJ) mogelijk is.

De voor deze gebeurtenissen relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.

15.2-58

K O P I E

Figuur 15.2.12/1 Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling

Figuur 15.2.12/2 Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling

Figuur 15.2.12/3 Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling

Figuur 15.2.12/4 Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling

15.2.13 Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding (PIE 7.2.3)

1 Doel van de ongevalsanalyse

Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding wordt uitgesloten op basis van het principe van "lek voor breuk". De analyse is uitgevoerd als basis van het ontwerp van het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ).

In deze ongevalsanalyse moet worden aangetoond, dat de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de temperatuur van de splijststofomhulling mag niet hoger worden dan 1200 0C;
- de plaatselijke oxidatie van de splijststofomhulling moet minder zijn dan 17 %;
- de waterstofproductie mag 1 % van de grootst mogelijke waarde niet overschrijden;
- de door temperatuurverhoging veroorzaakte geometrische veranderingen in de kern mogen de koeling daarvan niet nadelig beïnvloeden;
- de langdurige afvoer van vervalwarmte moet gegarandeerd zijn.

Deze beschermingsdoelstellingen worden door de volgende veiligheidsrelevante systemen gewaarborgd:

- kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ);
- nakoelketen (TF, VF);
- noodstroomverzorgingsinstallatie.

2 Begin- en randvoorwaarden

Verondersteld wordt, dat de hoofdkoelmiddelleiding tussen hoofdkoelmiddelpomp en het reactorvat geheel afbreekt (2F-breuk). Vanwege de grote massastroom uit het lek en de stromingsomkering die daardoor in de reactorkern ontstaat, alsmede vanwege het verhinderen van stroming van stoom naar het lek gedurende de inundatiefase, is deze aangenomen plaats van de 2F-breuk conservatief.

Omdat de kerninundatiebuffertanks (TJ) bij de beheersing van ongevallen met grote lekkage een wezenlijke bijdrage leveren (weer opvullen en inunderen van de reactorkern), wordt enkelvoudig falen in een TJ-buffertank aan de hete zijde aangenomen. Bovendien wordt verondersteld, dat een andere TJ-buffertank in het lek voedt, waardoor de suppletie daaruit niet bijdraagt aan de directe koeling van de reactorkern.

Gelijktijdig met het aanspreken van RESA/TUSA wordt het begin van de noodstroomsituatie aangenomen.

15.2-63

K O P I E

Er wordt verondersteld, dat van de vier aanwezige nakoelpompen (LD-TJ), er slechts twee beschikbaar zijn en dat de LD-voeding niet plaatsvindt voordat de bijschakeltijden zijn verstreken en de noodstroomdiesels op toeren gekomen zijn.

Uitgangstoestand voor deze analyse is een bedrijfssituatie met verhoogd vermogen (vermogensfactor 1,06). Verder wordt in de berekening uitgegaan van een verhoogd vervalwarmtevermogen (veiligheidstoeslag van 8%).

De in de splijtstofstaven opgeslagen energie wordt conservatief gemaximaliseerd. Verder wordt het axiale vermogensprofiel zodanig gekozen dat het vermogensmaximum in de bovenste kernhelft aanwezig is.

3 Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Bij een groot lek dalen het niveau in de drukhouder en de druk in het primaire systeem snel vanwege het uitstromen van het hoofdkoelmiddel. Hierdoor stijgt de druk in de veiligheidsomhulling. Zodra een van deze parameters de RESA-grenswaarde bereikt, volgt RESA/TUSA. De reactor wordt door de terugkoppeling op de reactiviteit van het hoge gehalte aan dampbellen in het hoofdkoelmiddel onderkritisch, dat wil zeggen zelfstandig afgeschakeld.

Gelijktijdig met de initiatie van de TUSA wordt het begin van de noodstroomsituatie verondersteld, waardoor de hoofdkoelmiddelpompen spanningsloos worden en de actieve componenten van het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) niet ter beschikking zijn gedurende de tijd dat de noodstroomdiesels op toeren moeten komen.

Daalt de hoofdkoelmiddeldruk tot onder de grenswaarde min3, dan zijn de noodkoelcriteria bereikt (voor de vorming van de noodkoelcriteria zie paragraaf 7.5.3). Daardoor worden alle voor de noodkoeling van de kern vereiste schakelhandelingen geïnitieerd. Het bijschakelen van de nakoelpompen van het TJ-systeem volgt na het bereiken van de grenswaarde min5 van de hoofdkoelmiddeldruk.

De suppletie van de nakoelpompen uit de kerninundatievoorradetanks geschiedt na het bijschakelen van de betreffende belastingstrap van het bijschakelprogramma van de noodstroomdiesels. Na het legen van de TJ-voorradetanks worden de nakoelpompen omgeschakeld op reactorputbedrijf.

15.2-64

K O P I E

Algemeen worden bij een ongeval met grote lekkage van hoofdkoelmiddel ten aanzien van de thermohydraulische condities in het primaire systeem de volgende vier, in de tijd elkaar volgende, fasen onderscheiden:

- drukontlasting van het primair systeem totdat drukvereffening met de veiligheidsomhulling is bereikt
- opnieuw vullen van het reactorvat tot aan de onderkant van de reactor kern
- inundatie van de reactor kern
- lange termijn koeling.

In de eerste fase stroomt het hoofdkoelmiddel aanvankelijk onderkoeld en later als tweefasen-mengsel uit het primair systeem in de veiligheidsomhulling. In de reactor kern vindt stromingsomkering plaats en de kern komt droog te staan. Door het beginnende filmkoken en de radiale temperatuurvereffening in de splijtstof, vindt een eerste stijging van de temperatuur van de splijtstofomhulling plaats. Bij het dalen van de hoofdkoelmiddeldruk onder 26 bar beginnen de kerninundatiebuffertanks zelfstandig geboreerd water te suppleren. Omdat de drukvereffening op dit moment nog niet is bereikt, draagt slechts een deel van het koude been van het primair systeem toegevoerde water bij aan het opnieuw vullen van het reactorvat, terwijl het restant via het lek uitstroomt en pas bij reactorputbedrijf door de nakoelpompen (TJ) weer in het primair systeem gesuppleerd wordt.

In de tweede fase, nadat de drukvereffening in de veiligheidsomhulling heeft plaatsgevonden, wordt het reactorvat tot aan de onderkant van de kern gevuld vanuit de TJ-buffertanks via het koude en het hete been. Een deel van het water, dat in het hete been wordt gesuppleerd en bovenin het reactorvat instroomt, verdampt en fungeert daardoor als koeling voor de reactor kern. De stijging van de maximale temperatuur van de splijtstofomhulling, die op het eind van de fase van drukvereffening op grond van de gereduceerde massastroom door de kern is begonnen, zet zich in deze fase voort. Dit volgt uit de conservatief berekende warmteoverdrachtscoëfficiënt voor deze ongevalsfase, alsook uit de temperatuurvereffening tussen splijtstof en splijtstofomhulling.

In de derde fase wordt de reactor kern opnieuw geïnundeerd. Als het waterniveau de onderkant van de kern bereikt, treedt aan de opgewarmde splijtstofstaven een sterke stoomvorming op, die tijdens de verdere inundatie voortduurt en voor voldoende koeling van de kern zorgt. Na beëindiging van de voeding vanuit de TJ-buffertanks, vindt de inundatie uitsluitend plaats via noodvoeding door de nakoelpompen. Als gevolg van het inunderen van de reactor kern daalt de temperatuur van de splijtstofomhulling tot het niveau van de hoofdkoelmiddeltemperatuur.

15.2-65

K O P I E

omhullingen nagenoeg dezelfde temperatuur als het hoofdkoelmiddel, zodat alleen nog de restwarmte van het primaire systeem afgevoerd moet worden. Deze warmteafvoer geschiedt door het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ), waarbij aanvankelijk uit de kerninundatievoorradetanks en later uit de reactorput wordt aangezogen. De nakoelpompen zuigen het hoofdkoelmiddel aan uit de reactorput via de nakoelers, die de warmte via het nucleair tussenkoelwatersysteem (TF) afvoeren naar de TF-koelers.

4. Resultaat

De analyse toont aan, dat bij dit ongeval de berekende maximale temperatuur van de splijtstofomhulling ver onder de grenswaarde van 1200 °C blijft, en dat de gehele reactor kern binnen circa 200 s na het begin van het hoofdkoelmiddelverliesongeval gekoeld wordt. Daarmee is aangetoond, dat:

- de waterstofproductie beneden de toelaatbare grenswaarde blijft
- geometrische veranderingen niet of slechts in beperkte mate optreden zodat de koeling van de kern gewaarborgd is.

Als maximale oxidatiediepte is ongeveer 4 % vastgesteld; dit ligt ruim onder de toelaatbare grenswaarde van 17 %.

Langdurige afvoer van restwarmte uit het primair systeem is gewaarborgd, omdat de druk in het primair systeem beneden de opvoerhoogte bij nullast van de nakoelpompen is gedaald en zowel het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) alsook de nakoelketen (TF, VF) ontworpen zijn op het afvoeren van de restwarmte bij een groot lek.

De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.

15.2-66

K O P I E

Figuur 15.2.13/1 Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding (PIE 7.2.3)
15.2-67

K O P I E

15.2.14 Bezijken van stoomgeneratorpijpen (PIE 7.3.2)

1 Doel van de ongevalsanalyse

Doel van de thermohydraulische analyse is het bepalen van de uitgangswaarden van de radiologische analyse. Ten aanzien van de thermohydraulische analyse moet worden aangetoond dat de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de splijtstofomhulling moet dicht blijven (integriteit);
- voldoende koeling van de kern moet gegarandeerd zijn;
- de defecte stoomgenerator mag niet worden overvuld (niveau < circa 13 m).

Deze beschermingsdoelstellingen worden door de volgende veiligheidsrelevante systemen gerealiseerd:

- primair reservesuppletiesysteem (TW);
- volumeregelsysteem (TA);
- secundair reservesuppletiesysteem (RS);
- hoofdstoom-afblaasstation.

Resultaten van deze ongevalsanalyse zullen dienen als invoergegevens voor een radiologische analyse (paragraaf 15.3).

2 Begin- en randvoorwaarden

De te beschouwen lekgrootte komt overeen met het lekoppervlak dat ontstaat als één stoomgeneratorpijp geheel los breekt van de pijpenplaat, ongeacht of er sprake is van schade aan één of aan meerdere pijpen. De veronderstelde lekgrootte is daarmee gelijk aan de dubbele doorsnede van een stoomgeneratorpijp.

Ten behoeve van de radiologische analyses is aangenomen dat de condensor of de turbine-omloop niet ter beschikking staat omdat alleen dan een noemenswaardige afgifte van radioactiviteit aan de omgeving plaatsvindt. Dit is het geval als de eigenbedrijfsverzorging uitvalt (PIE 7.3.2.2), en de restwarmte via de hoofdstoom-afblaasregelkleppen naar de omgeving afgevoerd wordt.

Bij het begin van het ongeval is de installatie op vol vermogen. Omdat de analyse als doel heeft de uitgangswaarden voor de radiologische analyse te bepalen is de situatie met vol vermogen afdekkend voor alle vermogenstoestanden.

15.2-68

K O P I E

Vanwege de dalende hoofdkoelmiddeltemperatuur, is het beschouwen van de kerntoestand bij cycluseinde ongunstiger voor het verloop van het ongeval dan bij cyclusbegint. Verder is bij de analyse een verhoogd vervalwarmtevermogen in rekening gebracht.

Tegelijkertijd met de TUSA wordt het begin van de noodstroomsituatie (uitval van eigenbedrijfsverzorging) verondersteld.

Als enkelvoudig falen is aangenomen, dat de driewegklep van het volumeregelsysteem (TA) niet op sproeien in de drukhouder omgestuurd wordt. Daardoor vervalt de mogelijkheid tot sproeien in de drukhouder (via de recuperatieve warmtewisselaars).

Verder wordt aangenomen, dat het eerst bereikte RESA-sigitaal wordt genegeerd, en dat strenger dan het criterium van enkelvoudig falen het noodvoedingswatersysteem (RL) niet ter beschikking staat.

3 Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Door de stoomgeneratorpijpbreuk komt hoofdkoelmiddel in de secundaire kringloop terecht. Kort na het begin van het ongeval spreken de activiteitsmetingen in de hoofdstoomleidingen aan, zodat door het bereiken van de grenswaarde "Activiteit > max" (16N-sigitaal) reactorsnelafschakeling (RESA) zou volgen.

Er wordt echter verondersteld, dat op dit sigitaal geen RESA volgt.

Door het 16N-sigitaal wordt met een vertraging van 5 s TUSA ingeleid. Als de eigenbedrijfsverzorging beschikbaar is, wordt de hoofdstoom via de turbine-omloop naar de condensors geleid. Er wordt echter verondersteld dat tegelijkertijd met TUSA de eigenbedrijfsverzorging uitvalt (noodstroomsituatie). Deze conservatieve aanname heeft tot gevolg dat de automatische drukverlaging aan primaire zijde slechts in beperkte mate uitgevoerd kan worden. In die situatie wordt de hoofdstoom via de hoofdstoom-afblaasregelkleppen over het dak afgevoerd en wordt er dus activiteit aan de omgeving afgegeven.

Door de breuk van een stoomgeneratorpijp ontstaat eerst, op grond van het drukverschil tussen primair en secundair systeem, een lekkage van circa 40 kg/s. Door het 16N-sigitaal wordt het sproeien in de drukhouder door het TA- en het TW-systeem gestart, waardoor de hoofdkoelmiddeldruk sterk daalt. Omdat 5 s na het 16N-sigitaal TUSA geïnitieerd wordt, stijgt de hoofdstoomdruk. Hierdoor vermindert het drukverschil primair/secundair en neemt het lektempo snel af.

Omdat tegelijk met TUSA het begin van de noodstroomsituatie verondersteld is, vallen onder meer de hoofdkoelmiddelpompen uit. Hierdoor wordt als eerstvolgende RESA-grenswaarde "Toerental hoofdkoelmiddelpomp < 93 %" bereikt, waarop RESA volgt (ongeveer 20 s na het begin van het ongeval).

15.2-69

K O P I E

Door de lekkage van hoofdkoelmiddel naar de secundaire zijde daalt in eerste instantie het niveau in de drukhouder. Vervolgens loopt dit niveau weer op, omdat door het uitvallen van de hoofdkoelmiddelpompen de opwarmmarge stijgt en het volume van het hoofdkoelmiddel toeneemt. Na circa 200 s vormt zich een dampbel in de ruimte onder het reactorvatdeksel. Bij een niveau in de drukhouder van circa 0,6 m boven het gewenste niveau worden het TA- en TW-systeem van sproeien in de drukhouder omgeschakeld naar injectie in het primair systeem.

Daarmee is de drukdaling voorlopig beëindigd (ongeveer 240 s na het begin van het ongeval). Omdat de suppletie van het TW- en TA-systeem niet voldoende is om de lekkage te compenseren, daalt het niveau in de drukhouder weer, zodat ongeveer 680 s na het begin het ongeval het TA- en TW-systeem nogmaals kortstondig op sproeien worden omgeschakeld. De daardoor veroorzaakte drukdaling heeft een vergroting van het stoomvolume in de ruimte van het reactorvatdeksel tot gevolg, waardoor het niveau in de drukhouder weer snel stijgt en het sproeien wordt beëindigd. Het stoomvolume is aanzienlijk kleiner dan de ruimte onder het reactorvatdeksel, zodat stoomvorming in de hoofdkoelmiddelleidingen uitgesloten kan worden.

Omdat de afvoer van de hoofdstoom via de turbine-omloopleiding vanwege de noodstroomsituatie niet beschikbaar is neemt de hoofdstoomdruk toe totdat de afblaasregelkleppen openen. De hoofdstoomdruk wordt vervolgens constant gehouden door middel van de afblaasregeling.

Als gevolg van de vermogensafname na de RESA dalen de waterniveaus in beide stoomgeneratoren. Het waterniveau in de defecte stoomgenerator neemt door de lekwatermassa na RESA voortdurend toe. In de intacte stoomgenerator daalt het niveau voortdurend vanwege de aangenomen niet beschikbaarheid van het noodvoedingswatersysteem.

De concentratie hoofdkoelmiddel, afkomstig van de defecte stoomgenerator, in de hoofdstoom stijgt tot circa 50 %.

Er is verondersteld, dat het bedienend personeel na ongeveer 30 minuten ingrijpt om de lozing van activiteit te beëindigen. Tot dat tijdstip is totaal ongeveer 24.000 kg stoom over het dak afgeblazen, met daarin ongeveer 3.500 kg hoofdkoelmiddel met een restvochtigheid van 0,25 %. Dit betekent, dat circa 9 kg hoofdkoelmiddel in de waterfase over het dak is afgevoerd naar de omgeving.

15.2-70

K O P I E

4 Resultaat

De analyse toont aan, dat in de beschouwde tijdsduur de defecte stoomgenerator niet overvuld wordt. De warmteafvoer via de secundaire zijde en daarmee voldoende kernkoeling zijn gegarandeerd. Omdat filmkoken vermeden wordt, doordat de DNB-verhouding boven de betreffende grenswaarde blijft, kan schade aan de splijststofomhulling uitgesloten worden.

De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.

De thermo-hydraulische beschermdoelstellingen kunnen ook gerealiseerd worden zonder de beschikbaarheid van het primair reservesysteem (TW), maar met het noodvoedingswatersysteem (RL).

Het niet overschrijden van de dosislimieten als gevolg van de lozing van hoofdkoelmiddel naar de omgeving wordt onderzocht in paragraaf 15.3.7.3.

15.2-71

K O P I E

Figuur 15.2.14/1 Bezwijken van stoomgeneratorpijpen (PIE 7.3.2)

15.2-72

K O P I E

Figuur 15.2.14/2 Bezwijken van stoomgeneratorpijpen (PIE 7.3.2)

15.2-73

K O P I E

Figuur 15.2.14/3 Bezwijken van stoomgeneratorpijpen (PIE 7.3.2)
15.2-74

K O P I E

15.2.15 Lekkage van hoofdstoomleidingen in geval van een aardbeving
(PIE 9.1.1)

1 Doel van de ongevalsanalyse

Bij dit ongeval ontstaat door droogkoken van beide stoomgeneratoren een primairzijdige onderkoelingstransiënt. De volgende beschermingsdoelstellingen dienen vervuld te worden:

- handhaving van ondercriticaliteit op lange termijn;
- handhaving van warmteafvoer via het secundair systeem.

Deze beschermingsdoelstellingen moeten gedurende 10 uur slechts met behulp van de volgende aardbevingsbestendige, veiligheidsrelevante systemen worden gewaarborgd:

- primair reservesuppletiesysteem (TW);
- secundair reservesuppletiesysteem (RS).

2 Begin- en randvoorwaarden

Aangezien dit ongeval wordt beschouwd als een zeldzame gebeurtenis, waarbij de getroffen maatregelen zijn gericht op risico-vermindering (zie paragraaf 1.4), wordt de meest waarschijnlijke bedrijfstoestand (volvermogen) als begintoestand van het ongeval aangenomen.

Als initiërende gebeurtenis wordt verondersteld, dat tengevolge van een aardbeving verschillende aansluitleidingen < DN 200 breken. Dit komt concreet neer op de breuk van aansluitleidingen die samen per hoofdstoomleiding een breukoppervlak overeenkomend met dat van een pijp van maximaal DN 150 hebben.

Als gevolg van de aardbeving zijn gelijktijdig de eigenbedrijfsverzorging inclusief de beide externe voedingen en de noodstroomdieselaggregaten van noodstroomnet 1 niet ter beschikking. De stroomvoorziening komt derhalve bij dit ongeval uitsluitend via noodstroomnet 2 tot stand.

Als ongunstige uitgangstoestand voor de gebeurtenis wordt de berekening voor een boorzuurvrije kern aan het cycluseinde uitgevoerd, vanwege de grote invloed op de reactiviteit van de hoofdskoelmiddeltemperatuur.

Verder wordt aangenomen, dat de hoofdstoomafsluiters niet functioneren, en dat uit het lek zuivere stoom uitstroomt (maximale energie-afgifte)

15.2-75

K O P I E

3 Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Door het, als gevolg van de aardbeving, ontstaan van de noodstroomsituatie, lopen allereerst de hoofdkoelmiddelpompen uit en volgt RESA/TUSA door het signaal "Toerental beide hoofdkoelmiddelpompen < min 1 (93%)". Daardoor wordt de kerndoorstroming kleiner en ontstaat er natuurlijke circulatie in beide hoofdkoelmiddelkringlopen. Tengevolge van TUSA daalt de hoofdstoomdruk kortstondig toe, maar daalt vervolgens snel door de uitstroming van stoom uit de veronderstelde lekken.

Bij het ontstaan van de noodstroomsituatie worden vóór het starten van de diesels alle verbruikers afgeschakeld. Na het op toeren komen van de diesels van noodstroomnet 2, worden volgens het diesel-bijschakelprogramma het RS- en TW-systeem weer bijgeschakeld, zodat circa 20 s na het begin van de noodstroomsituatie deze veiligheidsrelevante systemen weer beschikbaar zijn.

Door de lekkage van hoofdstoom en door het als gevolg van de noodstroomsituatie uitvallen van de hoofdvoedingswaterpompen, dalen de druk en het niveau van de beide stoomgeneratoren gestaag, totdat ongeveer 93 s na het begin van het ongeval het DAF-signaal (grenswaarde drukdalingsgradiënt) komt. Hierdoor sluiten de hoofdstoomafsluiters en de breukbeveiligingskleppen, waarbij echter wordt verondersteld, dat de hoofdstoomafsluiters niet sluiten. De hoofdstoomdruk en het niveau in de stoomgeneratoren dalen daardoor verder, zodat in het verdere verloop secundaire reservesuppletie (RS) naar beide stoomgeneratoren bijgeschakeld wordt. Omdat door de nog hoge primairzijdige temperatuur het toegevoegde RS-water direct verdampt, dalen de niveaus in beide stoomgeneratoren verder, totdat circa 395 s na het begin van het ongeval beide stoomgeneratoren vrijwel leeg zijn.

Aan de primaire zijde veroorzaakt de hoge warmteafvoer een snelle afkoeling en dus volumereductie van het hoofdkoelmiddel, met als gevolg een sterke daling van de hoofdkoelmiddeldruk en het niveau in de drukhouder. Hierdoor worden na circa 235 s de noodkoelcriteria bereikt, en worden in hoog tempo onder meer de volgende reactorbeveiligingsmaatregelen effectief:

- afsluiting van de ventilatie van de veiligheidsomhulling;
- isolatie van het primaire systeem;
- inschakeling van het primaire reservesuppletiesysteem (TW)

De door de sterke afkoeling veroorzaakte reactiviteitstoename samen met de reactiviteitstoename ten gevolge van de vermindering van het vermogen is zo groot, dat de reactiviteit van de regelementen samen met de reactiviteit van het borium onvoldoende is om de reactor onderkritisch te houden zodat ongeveer 200 s na het begin van het ongeval de reactor weer kritisch wordt. Het maximaal bereikte vermogen bedraagt ongeveer 15,5 %.

Door de vermogensproductie koelt het hoofdkoelmiddel minder af, zodat eerst na circa 400 s het TW-systeem de volumereductie door de afkoeling van het hoofdkoelmiddel kan compenseren en dus de hoofdkoelmiddeldruk weer stijgt, totdat het overstortventiel van het TW-systeem aanspreekt en het voedingsdebiet wordt teruggenomen.

15.2-76

K O P I E

Door de afnemende secundaire druk in de stoomgenerator daalt ook de door het lek afgevoerde stoomhoeveelheid. Na ongeveer 2650 s is het lekkagedebiet zover gedaald, dat niet meer de gehele door het RS-systeem gesuppleerde hoeveelheid water verdampt. De beide stoomgeneratoren worden hierdoor weer langzaam gevuld.

De boorzuurconcentratie in het hoofdkoelmiddel neemt door de werking van het TW-systeem voortdurend toe. Hierdoor wordt de reactiviteitstoename als gevolg van de terugkoppeling van de hoofdkoelmiddeltemperatuur zover te niet gedaan, dat de reactor ongeveer 8000 s na het begin van het ongeval weer onderkritisch wordt.

Ongeveer drie uur na het begin van het ongeval heeft de hoofdkoelmiddeltemperatuur bij de reactorintrede zich gestabiliseerd op circa 115 oC, en bevindt de installatie zich bij een hoofdkoelmiddeldruk van circa 157 bar in een stationaire onderkritische toestand, waarbij de restwarmte via beide stoomgeneratoren wordt afgevoerd.

4 Resultaat

De analyse toont aan, dat het ongeval door het ingrijpen van veiligheidssystemen beheerst wordt. De afvoer van de restwarmte is door de voeding vanuit het RS-systeem gegarandeerd. De reactor wordt kort na het begin van het ongeval weer kritisch. Door de boorzursuppletie via het TW-systeem wordt de reactor echter ongeveer 8000 s na het begin van het ongeval weer onderkritisch en blijft vervolgens onderkritisch.

Uit de af te voeren vervalwarmte en de afkoeling van het primair systeem is af te leiden dat de totale watervoorraad van het RS-systeem ruimschoots het dubbele bedraagt van de benodigde hoeveelheid gedurende een periode van 10 uur.

De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.

15.2-77

K O P I E

Figuur 15.2.15/1 Lekkage van hoofdstoomleidingen in geval van een aardbeving
(PIE 9.1.1)

15.2-78

K O P I E

Figuur 15.2.15/2 Lekkage van hoofdstoomleidingen in geval van een aardbeving
(PIE 9.1.1)
15.2-79

K O P I E

Figuur 15.2.15/3 Lekkage van hoofdstoomleidingen in geval van een aardbeving
(PIE 9.1.1)

15.2-80

K O P I E

15.2.16 Overtoerental van een hoofdkoelmiddelpomp tijdens een lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (PIE 10.2)

1 Doel van de ongevalsanalyse

In deze analyse moet worden aangetoond dat bij het afbreken van de grootste aansluiting op het primair systeem:

- de hoofdkoelmiddelpompen geen ontoelaatbaar hoge toerentallen bereiken.

Daarmee wordt aangetoond, dat het defect raken van een vliegwiel door te hoog toerental van een hoofdkoelmiddelpomp uitgesloten kan worden.

Deze beschermingsdoelstelling wordt door maatregelen in het ontwerp van de installatie gewaarborgd (breukconcept zie paragraaf 3.4.1, ontwerp hoofdkoelmiddelpompen zie paragraaf 5.2.4).

2 Begin- en randvoorwaarden

Het hier te leveren bewijs betreft een deel van de ongevalsanalyse "Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (PIE 7.2.2.)" (zie paragraaf 15.2.11).

Aangenomen wordt een lekoppervlak van 225 cm⁵ in het koude been, daar hierdoor het maximaal te veronderstellen aandrijfmoment op de pomprotor veroorzaakt wordt.

3 Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Het verloop van het ongeval komt overeen met het in paragraaf 15.2.11 beschreven verloop van een ongeval met een lek in het primair systeem.

Bij het bereiken van het reactorbeveiligingscriterium "Druk in de installatie/bedrijfsruimte > max2" of "Drukhouderniveau < min" volgen RESA en TUSA.

Gelijktijdig met de initiatie van de TUSA wordt het begin van de noodstroomsituatie aangenomen. Daardoor worden de hoofdkoelmiddelpompen spanningsloos en lopen uit. De uitloop van de hoofdkoelmiddelpomp in de defecte kringloop is grafisch weergegeven.

De door het uitstromende lekwater veroorzaakte hydraulische krachten leiden tot een iets langzamer uitlopen van de hoofdkoelmiddelpompen dan zonder het lek het geval zou zijn geweest.

15.2-81

K O P I E

4 Resultaat

De analyse toont aan, dat zelfs bij het afbreken van de grootste aansluitleiding aan de koude benen van de hoofdkoelmiddelkringloop, de extra hydraulische krachten niet tot een overtoerental van de hoofdkoelmiddelpomp in de defecte kringloop leiden maar tot een bijna normaal uitlopen van beide hoofdkoelmiddelpompen. Het defect raken van een hoofdkoelmiddelpomp door een te hoog toerental is bij de veronderstelde lekkage dus uitgesloten.

De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstelling wordt gerealiseerd.

15.2-82

K O P I E

Figuur 15.2.16/1 Overtoerental van een hoofdkoelmiddelpomp tijdens een lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (PIE 10.2)

15.2-83

K O P I E

15.2.17 Bedrijfstransiënten waarbij een hypothetisch uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (ATWS) (PIE 10.5)

1 Doel van de ongevalsanalyse

De analyse van dit ongeval, dat in een korte tijd afloopt, moet aantonen, dat de volgende beschermingsdoelstellingen worden vervuld:

- de hoofdkoelmiddel- en hoofdstoomdruk mogen de maximaal toelaatbare waarden (1,3 x ontwerpdruk) niet overschrijden
- de warmteafvoer moet gegarandeerd zijn.

Deze beschermingsdoelstellingen worden door de volgende veiligheidsrelevante systemen gewaarborgd:

- de drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder aan de primaire zijde
- het noodvoedingswatersysteem (RL) voor het zeker stellen van de warmteafvoer uit de stoomgeneratoren.

De beschermingsdoelstelling: handhaving van de langdurige onderkriticaliteit, wordt gerealiseerd door toevoeging van boorzuur vanuit het volumeregelsysteem (TA) en het nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB).

2 Begin- en randvoorwaarden

Bij de ATWS-analyses wordt het falen van de regelementen aangenomen, hetgeen wil zeggen dat de regelementen noch door aansturing via de regeling noch door RESA-signalen in beweging komen. Dit betekent, dat bij het bereiken van een grenswaarde die tot een RESA-signaal leidt, de regelementen niet vallen. Verder wordt geen ander falen verondersteld.

Omdat in het geval van ATWS de vermogensreductie in het begin alleen door terugkoppelingen op de reactiviteit veroorzaakt wordt, is de kerntoestand bij cyclusbegin ongunstig voor het verloop van het ongeval; dit, omdat de hoofdkoelmiddeltemperatuurscoëfficiënt door de afnemende boorzuurconcentratie aan het cycluseinde steeds sterker negatief wordt.

Bij het begin van het ongeval is de installatie op vol vermogen.

Conform het gestelde in paragraaf 1.4 wordt enkelvoudig falen bij ATWS niet verondersteld. De reactorvermogensbegrenzing bij het uitvallen van de hoofdvoedingswatertoevoer wordt echter genegeerd.

3 Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

Door het uitvallen van de hoofdvoedingswaterpompen loopt het voedingswaterdebiet snel naar nul terug, waardoor het niveau in beide stoomgeneratoren daalt. Als gevolg van de uitval van de hoofdvoedingswatertoevoer wordt de turbine afgeschakeld, wordt de turbine-omloopleiding geopend en starten de noodvoedingswaterpompen.

De turbineafschakeling heeft een verhoging van de hoofdstoomdruk tot gevolg, en daarmee een stijging van de temperatuur in de stoomgeneratoren (secundairzijdig). Deze temperatuurstijging veroorzaakt een verhoging van de primairzijdige uittredetemperatuur van de stoomgenerator, en daarmee een volumevergroting van het hoofdkoelmiddel in het primair systeem. Door de volumevergroting stijgt het niveau in de drukhouder, alsmede de hoofdkoelmiddeldruk. De temperatuurverhoging in het primair systeem heeft, door de negatieve temperatuurscoëfficiënt, een afname van de reactiviteit en daarmee van het reactorvermogen tot gevolg.

Ondanks de inschakeling van de drukhoudersproeiers en de beperking van het reactorvermogen stijgt de hoofdkoelmiddeldruk totdat de bijbehorende RESA-grenswaarde bereikt wordt. Bij het bereiken van de RESA-grenswaarde volgt geen inworp van regelementen (ATWS). Daarna spreekt het ATWS-sigitaal aan waardoor de hoofdkoelmiddelpompen worden afgeschakeld en twee volumeregelpompen (TA) en 2 boorzuurpompen (TB) worden gestart.

De hoofdstoomdruk wordt door de regeling van de turbine-omloop op de gewenste waarde na RESA geregeld. Dit veroorzaakt een verhoogde secundairzijdige temperatuur in de stoomgeneratoren en daarmee ook een primairzijdige temperatuurverhoging. Ook de afschakeling van de hoofdkoelmiddelpompen veroorzaakt een verhoging van de hoofdkoelmiddeltemperatuur. De verhoging van de hoofdkoelmiddeltemperatuur is gekoppeld aan een afname van de reactiviteit wat een snelle afname van het reactorvermogen tot gevolg heeft.

De drukstijging van het hoofdkoelmiddel als gevolg van de temperatuurstijging wordt begrensd door het aanspreken van de drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder. Door de grote temperatuurstijging en de daarmee corresponderende volumevergroting stijgt het niveau in de drukhouder zo sterk, dat de drukhouder bijna volledig met water wordt gevuld.

De hoofdkoelmiddeldruk wordt door de drukbeveiligingstoestellen begrensd, waarbij van tijd tot tijd ook water afgeblazen wordt. De eerste en tweede drukbeveiligingstoestellen spreken aan, de derde niet.

Tussen circa 150 en 200 seconden treedt er enige stoomvorming in de kern op. Dit veroorzaakt enige schommelingen in de reactiviteit, het reactorvermogen en de hoofdkoelmiddeldruk,

Het reactorvermogen is vervolgens zover gedaald, dat het reactor- en het stoomgeneratorvermogen vrijwel gelijk zijn. De warmteafvoer wordt door het met het noodvoedingswatersysteem (RL) toegevoerde water gegarandeerd.

Vervolgens wordt de langdurige onderkriticaliteit gerealiseerd door toevoeging van boorzuur vanuit het volumeregelsysteem (TA) en het nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB).

4 Resultaat

De analyse toont aan, dat de maximaal bereikte waarden voor de hoofdkoelmiddel- en hoofdstoomdruk lager zijn dan de bij dit ongeval maximaal toelaatbare waarden (1,3 x ontwerpdruk, circa 230 bar respectievelijk circa 119 bar). De warmteafvoer is gegarandeerd door de toegevoerde hoeveelheid voedingswater, en langdurige onderkriticaliteit is gerealiseerd door toevoeging van boorzuur vanuit het volumeregelsysteem (TA) en het nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB).

De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.

15.2-86

K O P I E

Figuur 15.2.17/1 Bedrijfstransiënten waarbij een hypothetisch uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (PIE 10.5)

15.2-87

K O P I E

Figuur 15.2.17/2 Bedrijfstransiënten waarbij een hypothetisch uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (PIE 10.5)
15.2-88

K O P I E

15.3 Radiologische analyses

15.3.1 Definities

Bronterm

Beschrijving van de radionuclidensamenstelling en de hoeveelheden radioactieve stoffen die bij een ongeval in de atmosfeer vrijkomen. De bronterm beschrijft ook de wijze waarop de lozing plaatsvindt, de warmte-inhoud, de grootte, de duur van de lozing en het aanvangstijdstip (na afschakeling van de reactor).

Dosiscoëfficiënt

De coëfficiënt waarmee de effectieve dosis of de equivalente orgaan- of weefseldosis ten gevolge van inname van radionucliden door het lichaam wordt berekend. Deze inname kan zowel door inademing, door inslikken of door opname via voedsel geschieden. De eenheid van deze coëfficiënt is Sv/Bq.

Effectieve dosis

Gewogen som van equivalente doses in weefsel en organen door inwendige en uitwendige bestraling waarmee het risico van een ongelijkmatige blootstelling van het lichaam kan worden vergeleken met dat van een homogene blootstelling van het gehele lichaam. De eenheid van de effectieve dosis is Sv.

Ingestiedosis

Ontvangen dosis als gevolg van de opname van radioactieve stoffen via de slokdarm. Dit kan derhalve zowel voedsel, drinken als andere ingeslikte stoffen betreffen.

Inhalatiedosis

Ontvangen dosis als gevolg van opname van radioactieve stoffen via de luchtwegen.

Interventieniveau

Criterium voor het nemen van beslissingen over het treffen van beschermende maatregelen bij radiologische noodsituaties.

Massieke activiteit

De hoeveelheid activiteit per gewichtshoeveelheid.

Spiking-effect

Verhoogde vrijzetting van nucliden vanuit de splijtstofelementen in het primair koelmiddel na afschakeling van de reactor.

15.3.2 Algemeen

(tabel 15.3.2/1)

In paragraaf 15.1.1 zijn de ontwerpgevallen beschreven die kunnen leiden tot een lozing van radioactieve stoffen in de atmosfeer, waarna in paragraaf 15.1.2 de selectie van de betreffende representatieve ongevallen heeft plaatsgevonden. In dit hoofdstuk

worden de voor ENU, (c-)ERU en MOX afdekkende resultaten beschreven van de berekeningen van de doses die de bevolking in de omgeving van de centrale ontvangt als gevolg van de lozingen bij deze representatieve ontwerpgevallen. Hierbij worden ook de doses beschouwd door externe bestraling vanuit het reactorgebouw waarin zich na het ongeval luchtgedragen radioactieve stoffen bevinden (directe straling)

Voor de berekening van de doses is in de eerste plaats de vaststelling van de zogenaamde 'bronterm' nodig. De bronterm geeft voor ieder nuclide (of groep van nucliden) de geloosde activiteit naar tijd en plaats, alsmede de energie-inhoud van de lozing.

De gevolgen van de lozing van een bronterm worden geanalyseerd met een rekenprogramma waarin achtereenvolgens verspreidingsberekeningen en dosisberekeningen worden uitgevoerd, rekening houdend met verschillende blootstellingswegen waarlangs mensen aan ioniserende straling worden blootgesteld. De doses zijn geanalyseerd op probabilistische basis. Dit houdt in dat rekening is gehouden met het feit dat in principe een ongeval op elk moment van de dag en op elke dag van het jaar kan plaats vinden. De lokale weersomstandigheden, welke bepalend zijn voor de verspreiding van de atmosferische lozing, zijn echter over de tijd sterk verschillend. In de rekencode wordt rekening gehouden met de waarschijnlijkheid van voorkomen van een bepaald weertype. Aangezien het bij ontwerpgevallen de bedoeling is dat het ongeval door het ontwerp wordt beheerst, mag de maximale waarde van de effectieve dosis door een ontwerpgeval het door de overheid gesteld criterium voor dit ontwerpgeval niet overschrijden. Ook mag geen enkel ontwerpgeval leiden tot schildklierdoses die groter zijn dan 500 mSv. Deze maximale waarde van de dosis wordt volgens de in de PSA-3 richtlijn (VROM publicatie 1995/25) beschreven methodiek berekend op basis van de 95-percentielwaarde van de dosisdistributie, dat wil zeggen dat in 95 procent van de weersituaties deze dosiswaarde niet wordt overschreden.

De dosis ten gevolge van externe bestraling door de radioactieve stoffen in het reactorgebouw is uiteraard onafhankelijk van de buiten heersende weersomstandigheden.

De berekende doses ten gevolge van ontwerpgevallen moeten getoetst worden aan criteria die zijn gesteld in artikel 18 van het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen. Bij deze toetsing wordt het kansbereik van de ontwerpgevallen verdeeld in 4 gebieden en worden vervolgens per gebied de in dosistermen dominant geachte ongevallen vastgesteld. Vervolgens wordt van elk van deze ongevallen de maximale dosis getoetst aan het criterium dat voor het desbetreffend kansgebied van toepassing is. Hierbij wordt onderscheiden een criterium voor volwassenen (personen vanaf 16 jaar) en kinderen (personen tot 16 jaar). De maximale dosis is, zoals eerder vermeld, gelijk aan de 95-percentiel waarde van de berekende verdeling van maximale doses buiten de terreingrens, die rekening houdt met de kans van optreden van specifieke weertypen. De criteria voor de vier kansgebieden vormen een getrapte schaal: hoe kleiner de kans, hoe groter de waarde van het bijbehorende criterium.

In tabel 15.3.2/1 zijn de kansgebieden met de bijbehorende dosiscriteria aangegeven (het kansgebied F

zijn gebaseerd op de effectieve dosis voor volwassenen en kinderen. Het criterium is daarbij bedoeld om de kans op sterfte ten gevolge van stochastische effecten te beperken. Met stochastische effecten worden bedoeld effecten waarvan de kans van optreden evenredig is met de ontvangen dosis. Deze effecten zoals het ontstaan van kanker zijn schadelijk en kunnen zich vele jaren na blootstelling openbaren. Bij doses hoger dan bepaalde drempelwaarden kunnen kort na blootstelling deterministische effecten optreden, die het gevolg zijn van een zodanige beschadiging van organen, dat deze niet of verminderd functioneren. De effecten treden op binnen enkele uren of weken. De ernst van deze effecten is evenredig met de ontvangen dosis. Ter vermindering van laatstgenoemde deterministische effecten ten gevolge van jodiumopname door de schildklier is een aanvullend criterium gesteld aan de maximale schildklierdosis. Deze maximale dosis mag de drempelwaarde van 500 mSv niet overschrijden. Een overschrijding van dit criterium kan alleen aan de orde zijn bij effectieve doses hoger dan 25 mSv.

Gebeurtenis frequentie F (per reactorjaar)	Effectieve dosis E (mSv)	
	Volwassenen (vanaf 16 jaar)	Kinderen (tot 16 jaar)
F		

Voor de berekening van de doses door directe straling is eveneens uitgegaan van een blootstellingsperiode van 70 jaar, hetgeen de zeer conservatieve veronderstelling impliceert dat de in de veiligheidsomhulling zwevende aërosolen niet uitzakken en dat geen reinigungsacties worden ondernomen.

Omdat de representatieve ontwerpgevallen niet leiden tot emissies met een warmte-inhoud, dat wil zeggen dat de wolk met radioactieve stoffen na het vrijkomen uit de ventilatieschacht geen warmtestijging ondervindt en de ventilatieschacht relatief laag is, wordt de maximale waarde van de dosis tengevolge van deze ontwerpgevallen direct aan de dichtstbijzijnde terreingrens bereikt, d.w.z. op de locatie aan de terreingrens waar de afstand tot de ventilatieschacht het kleinst is. Deze kleinste afstand is 350 m. De op deze afstand berekende maximale doses worden aan de criteria getoetst. Ook de doses door blootstelling aan externe straling vanuit de centrale zijn het grootst op de kortste afstand tot de centrale.

In werkelijkheid heeft het gebied direct grenzend aan de terreingrens een agrarische bestemming. De dichtstbijzijnde locatie met permanente bewoning maakt deel uit van het dorp Borssele en bevindt zich op 1 km afstand van de ventilatieschacht. Naast de berekening van de dosis direct aan de terreingrens is ook voor deze locatie de maximale dosis berekend. Tenslotte is ook nog de dosis door bestraling vanuit de centrale berekend van een persoon die zich gedurende 10 uur per dag buiten op een afstand van gemiddeld 750 m van de ventilatieschacht bevindt, d.w.z. in het midden van het dichtstbijzijnde weiland respectievelijk akker.

Bij de in paragraaf 15.3.7 gepresenteerde berekeningen wordt uitgegaan van zeer conservatieve aannames voor de vaststelling van de geloosde activiteit (bronterm). Voor deze conservatieve brontermen worden daarna met behulp van een rekenprogramma, dat gebruik maakt van theoretische modellen, verspreidings- en dosisberekeningen uitgevoerd. Gezien deze werkwijze moeten de vermelde waarden gezien worden als een zo goed mogelijke schatting van de maximale doses. Als gevolg van wijzigingen van aannames en modellen wegens nieuwe inzichten en gegevens kunnen de vermelde getalwaarden aan verandering onderhevig zijn. De geldende limieten zullen echter niet overschreden mogen worden.

15.3.3 De rekencode COSYMA

De berekeningen van de doses ten gevolge van lozingen zijn uitgevoerd met de Europese rekencode COSYMA ("A new program package for accident consequence assessment", ondersteund door de Europese Gemeenschap). De doses zijn berekend tot een afstand van 100 km rond de centrale. Dit is gerechtvaardigd aangezien bij de ontwerpgevallen de maximale waarde van de dosis dicht bij de centrale wordt bereikt. De dosisberekeningen met behulp van COSYMA houden rekening met de volgende blootstellingswegen:

- externe bestraling vanuit de overtrekkende wolk van geëmitteerde radioactieve stoffen na een ontwerpgeval
- externe bestraling ten gevolge van op de bodem neergeslagen radioactieve stoffen vanuit de overtrekkende wolk

15.3-4

K O P I E

- inademing van radioactieve stoffen tijdens tijdelijk verblijf in de wolk
- inademing van radioactieve stoffen, die opwarrelen vanaf de met deze radioactieve stoffen verontreinigde bodem (resuspensie)
- consumptie van met radioactieve stoffen verontreinigd voedsel. Dit betreft zowel direct verontreinigd voedsel, zoals bladgroente, en voedsel dat indirect werd verontreinigd, zoals melk van een koe die op een verontreinigd weiland graast.

In COSYMA zijn vrijwel alle parameters door de gebruiker te definiëren. Voor het merendeel zijn de standaardwaarden gebruikt die door de ontwikkelaar van deze code zijn aanbevolen. De keuze van de belangrijkste niet-standaardwaarden sluiten aan op de voorschriften van de eerdere genoemde PSA-3 richtlijn. Deze betreffen onder meer de keuze van verblijfsfactoren, de veronderstelde voedselconsumptie door de omwonenden van de centrale en in beschouwing te nemen beschermende maatregelen, zoals het uit de handel nemen van besmet voedsel of het niet consumeren van zelf geteelde groenten en fruit. De parameters die specifiek zijn voor de locatie van de centrale en de samenstelling van de radioactieve stoffen die bij ontwerpgevallen vrijkomen, worden hieronder beschreven. Bij de keuze van de invoerparameters zijn bij onzekerheden steeds keuzes gemaakt naar de conservatieve kant.

15.3.4 Invoergegevens (tabel 15.3.4/1 tot en met 4)

Geografische gegevens

De landkarakteristieken rond de EPZ-lokatie Zeeland zijn ingevoerd. Als centrum van de lozing is gekozen de ventilatieschacht van de kernenergiecentrale. De dosisberekeningen zijn uitgevoerd over een gebied vanaf 300 m van de ventilatieschacht tot 100 km afstand.

Weersgegevens

Voor de probabilistische berekeningen is gebruik gemaakt van de weerstatistiek van het KNMI voor het meteo-station Vlissingen over de jaren 1983/1984*. Voor de wijze van verwerking van deze meteorologische gegevens wordt verwezen naar paragraaf 15.3.5.

* Deze uur-tot-uur gegevens zijn statistisch representatief voor de huidige situatie.

Voedselconsumptie

Bij de berekening van de doses door het eten van met radioactieve stoffen verontreinigd voedsel (de ingestiedosis) is uitgegaan van het consumptiegedrag van extreem etende eenjarige kinderen. De relevante consumptiegetallen voor deze groep zijn vermeld in tabel 15.3.4/1. Er is aangenomen dat hetzelfde consumptiepatroon gedurende 70 jaar gehandhaafd blijft. Omdat het consumptiegedrag van eenjarige extreem veel etende kinderen niet veel afwijkt van het gemiddelde consumptiegedrag van volwassenen (met uitzondering van melk en melkprodukten), betekent deze veronderstelling dat voor de kinderjaren een overschatting van de ingestiedosis zal plaatsvinden. Aangezien de besmetting van landbouwprodukten voornamelijk het gevolg is van directe besmetting door het neerslaan op het gewas (en er in het merendeel van de brontermen sprake is van de grootste bijdrage door het relatief kortlevende ¹³¹I) heeft de aanname van extreem etende kinderen voor de ingestiedosis een conservatief karakter.

15.3-5

K O P I E

In afwijking van de conservatieve keuze van de PSA-3 richtlijn om uit te gaan van consumptie van alleen lokaal geproduceerd voedsel wordt verondersteld dat de helft van de jaarlijkse consumptie van bladgroenten lokaal (in de moestuin) wordt geproduceerd en dat de rest van het voedsel afkomstig is uit een zogenaamd COROP-gebied. Met COROP-gebied wordt bedoeld een gebied waarin de voedselproducten centraal worden ingezameld en verkocht (in dit geval de provincie Zeeland met uitzondering van Zeeuws-Vlaanderen). De gemiddelde besmettingsgraad van het COROP-voedsel is daardoor veel lager dan van het lokale voedsel. Uit de berekeningen kan worden afgeleid dat de gemiddelde besmetting van het voedsel in het betreffende COROP-gebied meer dan een factor 100 lager zal zijn dan op 350 m afstand. Derhalve valt de bijdrage van COROP-voedsel geheel weg in de ingestiedosis. Over blijft het lokaal geproduceerde voedsel, in dit geval de helft van de jaarlijkse consumptie van bladgroenten.

Bij het voedselpakket is rekening gehouden met een onderverdeling naar verse en verwerkte voedselproducten, met de daarbij behorende perioden van radioactief verval tussen oogst en consumptie, gemiddeld voor de zomer en winter. Dit leidt tot het voedselconsumptiemodel zoals in tabel 15.3.4/1.

Voor activiteitsverliezen tijdens bereiding van de verwerkte voedselproducten is een factor 0,5 aangehouden.

Voedsel- Produkt	Consumptie (kg/j)		Vers		Verwerkt
		%	Periode (d)	%	Periode (d)
Melk	188	85	3	15	15
Rundvlees	9,5	100		6	
Varkensvlees	15	100		6	
Graanproducten	41	100		100	
Aardappels	16	100		100	
Bladgroente	13	43	5	57	40
Harde groente	31	67	5	33	30
Wortelgewassen	9	100		100	

Tabel 15.3.4/1 Voedselconsumptiemodel met betrekking tot lokaal geconsumeerd voedsel, zoals gebruikt in de berekeningen met het programma COSYMA.

15.3-6

K O P I E

Dosiscoëfficiënten

Voor de blootstellingswegen van externe bestraling vanuit de overtrekkende wolk en externe bestraling ten gevolge van neergeslagen radioactieve stoffen zijn de dosiscoëfficiënten gebruikt die standaard in COSYMA 95/1 aanwezig zijn. Deze hebben betrekking op een gemiddeld lid van de bevolking, dat wil zeggen een volwassene. Voor de dosiscoëfficiënten voor de externe bestralingswegen bestaat er echter weinig verschil tussen de dosiscoëfficiënten van volwassenen en kinderen, zodat de berekende doses ook voor kinderen geldig zijn. Indien het de bestraling vanaf een besmette bodem betreft worden correctiefactoren in rekening gebracht die met name corrigeren voor de kleinere zelfafscherming van het lichaam van een kind en voor de kleinere afstand tussen het lichaamscentrum en bodem.

Omdat voor de inwendige besmettingswegen wel een verschil kan bestaan in de dosiscoëfficiënt voor volwassenen en kinderen, is zowel voor de berekening van de dosis door inhalatie van radioactieve stoffen als van de dosis door ingestie van verontreinigd voedsel uitgegaan van kindspecifieke dosiscoëfficiënten of dosiscoëfficiënten die hiervoor zijn gecorrigeerd.

Kerninventaris

De kerninventaris is berekend met het programma ORIGEN. Daarbij is uitgegaan van een evenwichtskern, met een gemiddelde opbrand van circa 37 MWd/kgZM (einde van de splijtstofcyclus). Tabel 15.3.4/2 toont de berekende activiteitsinventaris bij inzet van ENU-, c-ERU- respectievelijk 40% MOX-elementen.

Brontermen en algemene brontermuitgangspunten

Uit het scala van mogelijke gebeurtenissen zijn groepen van ongevallen samengesteld. Uit deze groepen zijn 8 representatieve ongevallen geselecteerd waarbij een aanzienlijke hoeveelheid radioactieve stoffen in de atmosfeer vrijkomt (zie paragraaf 15.1.2). Voor alle andere ontwerpgevallen zullen deze hoeveelheden in ieder geval kleiner of zelfs verwaarloosbaar zijn of komen er geen radioactieve stoffen vrij. De geselecteerde brontermen zijn daarom kenmerkend voor de risico's.

In tabel 15.3.4/3 zijn de 8 ontwerpgevallen waarvoor brontermen zijn bepaald, weergegeven. In de laatste kolom van deze tabel is de indeling in kansgebieden weergegeven (zie ook tabel 15.3.2/1).

15.3-7

K O P I E

Voor de in tabel 15.3.4/3 genoemde representatieve ongevallen zijn de brontermen afzonderlijk bepaald. Hierbij gelden de volgende algemene uitgangspunten:

- de Duitse richtlijnen met betrekking tot de vaststelling van brontermen bij ontwerpgevallen zijn gehanteerd waarbij rekening is gehouden met KCB-specifieke randvoorwaarden
- voor de ontwerpgevallen waarbij de Duitse richtlijnen leiden tot kleinere brontermen dan waarmee in 1972 bij het ontwerp rekening is gehouden, zijn de ontwerpactiviteiten van 1972 gehanteerd (ontwerpgevallen 7.2.3 en 8.4.1)
- er wordt vanuit gegaan dat ingrijpen van de operator plaats vindt niet eerder dan 30 minuten na de aanvang van het ongeval (zie paragraaf 1.4.3.4)
- voor de massieke activiteit in het primair koelmiddel zijn de ontwerpwaarden voor de zogenaamde Duitse "Konvoi-Anlage" gebruikt zoals weergegeven in tabel 15.3.4/4. De massieke activiteit in het primair koelmiddel wordt geschaald met de kerninventaris van de centrale. Vergelijking met de praktijkwaarden van de KCB laat zien dat deze (geschaalde) waarden ordes van grootte hoger zijn dan de gemiddelde KCB-waarden. Een uitzondering vormen de corrosieproducten die minder verschillen of zelfs een enkele overschrijding (bijvoorbeeld 60Co) van de in tabel 15.3.4/4 gegeven waarden vertonen. Gelet op de geringe invloed hiervan is tabel 15.3.4/4 op dit punt niet gecorrigeerd maar blijft desondanks een conservatief uitgangspunt
- voor de filterrendementen zijn voor het bedrijfsfilter (TL02) en het ongevalsfilter (TL070) de onderstaande waarden gehanteerd:

radioactieve stoffen	filterrendement (%) per filter	
	TL02	TL070
edelgassen	0	0
organisch jodium	0	99
elementair jodium	0	99,9
		99,99
aërosolen	99,9	99,9

Ongevallen 7.2.2 en 7.2.3
Overige ongevallen

- correctie voor radioactief verval vindt alleen plaats bij de gevolgenanalyse.

Selectie van nucliden

Niet alle in de kern aanwezige nucliden leveren een significante bijdrage aan de stralingsbelasting op. Met het programma SOURCE (onderdeel van COSYMA) is een selectie gemaakt van die nucliden die tesamen minstens 99 % van de dosis per blootstellingsweg veroorzaken. De overige nucliden zijn genegeerd. De selectie is gemaakt voor de blootstellingswegen:

- externe bestraling vanuit de overtrekkende wolk
- externe bestraling ten gevolge van op de bodem neergeslagen radioactieve stoffen
- inademing van radioactieve stoffen tijdens tijdelijk verblijf in de wolk
- consumptie van met radioactieve stoffen verontreinigd voedsel.

Nuclide	ENU	c-ERU	40% MOX
KR- 83M	1,55E+17	1,57E+17	1,34E+17
KR- 85M	3,74E+17	3,82E+17	3,11E+17
KR- 85	1,81E+16	1,95E+16	1,46E+16
KR- 87	6,41E+17	6,54E+17	5,25E+17
KR- 88	8,70E+17	8,88E+17	7,08E+17
RB- 86	2,68E+15	2,84E+15	2,14E+15
RB- 88	8,95E+17	9,12E+17	7,30E+17
RB- 89	1,22E+18	1,25E+18	9,85E+17
SR- 89	1,29E+18	1,32E+18	1,03E+18
SR- 90	1,33E+17	1,44E+17	1,04E+17
SR- 91	1,58E+18	1,62E+18	1,31E+18
SR- 92	1,68E+18	1,71E+18	1,44E+18
SR- 93	1,86E +18	1,88E+18	1,65E+18
Y - 90M	1,12E+14	1,12E+14	8,39E+13
Y			

Nuclide	ENU	c-ERU	40% MOX
NB- 97	2,13E+18	2,15E+18	2,05E+18
MO- 99	2,40E+18	2,41E+18	2,37E+18
MO-101	2,22E+18	2,22E+18	2,27E+18
TC- 99M	2,10E+18	2,11E+18	2,08E+18
TC- 99	2,30E+13	2,48E+13	2,27E+13
TC-101	2,22E+18	2,22E+18	2,28E+18
RU-103	1,92E+18	1,90E+18	2,19E+18
RU-105	1,32E+18	1,29E+18	1,65E+18
RU-106	6,88E+17	6,86E+17	1,00E+18
RH-103M	1,92E+18	1,90E+18	2,18E+18
RH-105	1,25E+18	1,23E+18	1,59E+18
AG-108M	2,81E+09	3,20E+09	6,52E+09
AG-110M	4,70E+15	4,36E+15	8,10E+15
AG-110	1,53E+17	1,39E+17	2,34E+17
AG-111	7,00E+16	6,81E+16	9,59E+16
SB-124	1,25E+15	1,27E+15	1,71E+15
SB-125	1,97E+16	2,01E+16	2,90E+16
SB-126	9,95E+14	9,76E+14	1,23E+15
SB-127	1,14E+17	1,12E+17	1,41E+17
SB-128L	1,70E+16	1,67E+16	1,97E+16
SB-129	3,66E+17	3,64E+17	4,01E+17
SB-130L	4,45E+17	4,46E+17	4,54E+17
SB-131	1,06E+18	1,06E+18	1,07E+18
TE-125M	4,17E+15	4,27E+15	6,24E+15
TE-127M	8,74E+15	9,06E+15	1,37E+16
TE-127	1,02E+17	1,01E+17	1,29E+17
TE-129M	6,67E+16	6,63E+16	7,28E+16
TE-129	3,93E+17	3,91E+17	4,31E+17

Tabel 15.3.4/2 Activiteit van de kerninventaris aan het einde van de cyclus en na 0 dagen verval (Bq).

15.3-10

K O P I E

Nuclide	ENU	c-ERU	40% MOX
TE-131M	1,83E+17	1,82E+17	1,95E+17
TE-131	1,13E+18	1,13E+18	1,16E+18
TE-132	1,78E+18	1,78E+18	1,80E+18
TE-133M	1,33E+18	1,34E+18	1,32E+18
TE-133	1,28E+18	1,28E+18	1,25E+18
TE-134	2,28E+18	2,30E+18	2,20E+18
I-129	5,19E+10	5,53E+10	6,01E+10
I-130	3,82E+16	3,76E+16	3,50E+16
I-131	1,28E+18	1,28E+18	1,31E+18
I-132	1,81E+18	1,81E+18	1,83E+18
I-133	2,57E+18	2,58E+18	2,57E+18
I-134	2,79E+18	2,81E+18	2,77E+18
I-135	2,46E+18	2,47E+18	2,46E+18
XE-131M	1,38E+16	1,38E+16	1,42E+16
XE-133M	7,77E+16	7,80E+16	7,81E+16
XE-133	2,60E+18	2,60E+18	2,60E+18
XE-135M	5,36E+17	5,36E+17	5,56E+17
XE-135	5,98E+17	6,48E+17	8,70E+17
XE-138	2,26E+18	2,28E+18	2,19E+18
CS-134M	6,39E+16	6,41E+16	5,87E+16
CS-134	2,60E+17	2,73E+17	2,47E+17
CS-135	6,46E+11	7,43E+11	9,05E+11
CS-136	6,06E+16	6,54E+16	7,13E+16
CS-137	1,83E+17	1,95E+17	1,82E+17
CS-138	2,47E+18	2,48E+18	2,41E+18
BA-139	2,30E+18	2,32E+18	2,21E+18
BA-140	2,26E+18	2,27E+18	2,18E+18
LA-140	2,34E+18	2,35E+18	2,25E+18

Tabel 15.3.4/2 Activiteit van de kerninventaris aan het einde van de cyclus en na 0 dagen verval (Bq).

15.3-11

K O P I E

Nuclide	ENU	c-ERU	40% MOX
LA-141	2,08E+18	2,09E+18	2,01E+18
LA-142	2,03E+18	2,04E+18	1,98E+18
CE-141	2,16E+18	2,17E+18	2,08E+18
CE-143	2,00E+18	2,02E+18	1,88E+18
CE-144	1,73E+18	1,78E+18	1,55E+18
PR-143	2,01E+18	2,02E+18	1,88E+18
PR-145	1,36E+18	1,37E+18	1,30E+18
ND-147	8,48E+17	8,53E+17	8,37E+17
PM-147	2,79E+17	3,15E+17	2,76E+17
PM-148M	4,58E+16	4,52E+16	5,41E+16
PM-148	2,23E+17	2,09E+17	2,07E+17
PM-149	6,79E+17	6,62E+17	6,60E+17
PM-151	2,40E+17	2,39E+17	2,66E+17
EU-152M	1,22E+14	1,35E+14	2,22E+14
EU-152	1,63E+12	2,02E+12	7,11E+12
EU-154	1,43E+16	1,52E+16	1,68E+16
EU-155	6,54E+15	6,98E+15	9,72E+15
EU-156	2,90E+17	2,85E+17	3,02E+17
PO-210	1,00E+03	1,23E+04	7,65E+02
RA-226	3,52E+04	2,06E+05	2,42E+04
U -234	2,06E+12	1,09E+13	1,38E+12
U -235	3,95E+10	4,52E+10	2,50E+10
U -238	4,50E+11	4,39E+11	4,40E+11
NP-237	4,27E+11	1,32E+12	3,10E+11
NP-238	4,33E+17	1,24E+18	3,00E+17
NP-239	2,33E+19	2,20E+19	2,12E+19
PU-236	3,32E+11	1,19E+12	2,91E+11
PU-238	3,74E+15	1,21E+16	2,32E+16

Tabel 15.3.4/2 Activiteit van de kerninventaris aan het einde van de cyclus en na 0 dagen verval (Bq).

15.3-12

K O P I E

Nuclide	ENU	c-ERU	40% MOX
PU-239	4,53E+14	4,76E+14	1,16E+15
PU-240	6,02E+14	6,11E+14	2,87E+15
PU-241	1,46E+17	1,52E+17	5,96E+17
PU-242	2,71E+12	2,69E+12	1,88E+13
AM-241	1,67E+14	1,86E+14	2,35E+15
AM-242M	5,76E+12	6,49E+12	1,16E+14
AM-242	9,14E+16	9,35E+16	5,52E+17
AM-243	2,71E+13	2,76E+13	1,71E+14
CM-242	5,49E+16	5,69E+16	4,13E+17
CM-243	2,04E+13	2,15E+13	2,15E+14
CM-244	4,14E+15	4,29E+15	3,10E+16
CM-245	3,68E+11	4,06E+11	4,54E+12
CM-246	1,41E+11	1,52E+11	1,15E+12
CM-247	4,93E+05	5,47E+05	5,22E+06
CM-248	1,98E+06	2,27E+06	1,98E+07

Tabel 15.3.4/2 Activiteit van de kerninventaris aan het einde van de cyclus en na 0 dagen verval (Bq).

15.3-13

K O P I E

Nummer	Ontwerpongeval	F (per jaar)	Gebeurtenisfrequentie
1.5.1	Langdurige uitval van de secundaire hoofd-	10 ⁻¹	> F

Nuclide	ENU			c-ERU			40% MOX		
	Reinigingsgraad1) Vrijzettings- graad 2) 3)			Reinigingsgraad1) Vrijzettings- graad 2) 3)			Reinigingsgraad1) Vrijzettings- graad 2) 3)		
	R=0 Bq/kg	R=0,1 Bq/kg	Bq/h	R=0 Bq/kg	R=0,1 Bq/kg	Bq/h	R=0 Bq/kg	R=0,1 Bq/kg	Bq/h
Edelgassen:									
85mKr	7,49.107	4,60.107	1,30.1012	7,7.107	4,7.107	1,3.1012	6,2.107	3,8.107	1,1.1012
85 Kr	3,82.106	1,99.105	2,19.109	4,1.106	2,1.105	2,4.109	3,1.106	1,6.105	1,8.109
87 Kr	5,57.107	4,87.107	3,42.1012	5,7.107	5,0.107	3,5.1012	4,6.107	4,0.107	2,8.1012
88 Kr	1,12.108	7,92.107	3,02.1012	1,1.108	8,1.107	3,1.1012	9,1.107	6,4.107	2,5.1012
131mXe	5,19.106	3,92.105	4,37.109	5,2.106	3,9.105	4,4.109	5,3.106	4,0.105	4,5.109
133mXe	3,60.106	5,87.105	7,22.109	3,6.106	5,9.105	7,2.109	3,6.106	5,9.106	7,3.109
133 Xe	7,05.108	7,05.107	8,18.1011	7,1.108	7,1.107	8,2.1011	7,1.108	7,1.107	8,2.1011
135mXe	1,59.107	1,53.107	4,68.1012	1,6.107	1,5.107	4,7.1012	1,7.107	1,6.107	4,9.1012
135 Xe	3,20.108	1,68.108	3,62.1012	3,5.108	1,8.108	3,9.1012	4,7.108	2,4.108	5,3.1012
138 Xe	5,26.107	4,88.107	1,64.1013	5,3.107	4,9.107	1,7.1013	5,1.107	4,7.107	1,6.1013
Jodium:									
129 I	1,66.100	1,77.104		1,8.100	1,9.104		1,9.106	2,1.104	
131 I	3,30.107	3,72.1011		3,3.107	3,7.1011		3,4.107	3,8.1011	
132 I	1,12.108	4,77.1012		1,1.108	4,8.1012		1,1.108	4,8.1012	
133 I	1,69.108	2,46.1012		1,7.108	2,5.1012		1,7.108	2,5.1012	
134 I	1,27.108	1,25.1012		1,3.108	1,3.1013		1,3.108	1,2.1013	
135 I	1,75.108	3,99.1012		1,8.108	4,0.1012		1,8.108	4,0.1012	
Alkali-metalen:									
88Rb	1,03.108	6,99.107		1,1.108	7,1.107		8,4.107	5,7.107	
134Cs		1,41.105	2,66.108		1,5.105	2,8.108		1,3.105	2,5.108
137Cs		4,93.105	9,31.108		5,3.105	9,9.108		4,9.105	9,3.108
138Cs	5,39.107	5,01.107		5,4.107	5,0.107		5,3.107	4,9.107	
90Sr		4,93.103	5,11.107		5,3.103	5,5.107		3,9.103	4,0.107
3H	2,3.107	2,3.107	1,4.109	2,3.107	2,3.107	1,4.109	2,3.107	2,3.107	1,4.109
Corrosieproducten:									
51Cr	7,4.104			7,4.104			7,4.104		
54Mn	7,4.103			7,4.103			7,4.103		
59Fe	7,4.103			7,4.103			7,4.103		
58Co	7,4.104			7,4.104			7,4.104		
60Co	2,2.104			2,2.104			2,2.104		
95Zr	3,7.103			3,7.103			3,7.103		
124Sb	3,7.104			3,7.104			3,7.104		

- 1) Reinigingsgraad is de fractie van het primair koelmiddel die per uur door middel van het hoofdkoelmiddelreinigings- en ontgassingssysteem (TC) gereinigd wordt.
- 2) Vrijzettingsgraad is de activiteit die per uur uit de splijtstofelementen vrijkomt in het primair koelmiddel.
- 3) Enkele massieke activiteiten en vrijzettingsgraden zijn niet berekend, omdat die in geen van de analyses nodig zijn.

Tabel 15.3.4/4 Massieke activiteiten (ontwerpwaarden voor "Konvoi-Anlage" genormeerd op basis van de ENU, c-ERU en MOX kerninventaris) van het primair koelmiddel als functie van de reinigingsgraad. Tevens is de vrijzettingsgraad van activiteit uit de splijtstofelementen weergegeven.

15.3.5 Indeling van weerssituaties

In COSYMA kunnen diverse indelingsschema's worden gekozen. Er is gebruik gemaakt van zogenaamde 'stratified sampling' van de beschikbare weersgegevens. Dit houdt in dat 17.520 urregegevens over de jaren 1983/1984 (2 x 8.760) van het meteorologische station Vlissingen als volgt zijn ingedeeld:

- windrichting; verdeeld in 8 sectoren van 45°
- regenintensiteit: de urregegevens met regen zijn verder geclassificeerd aan de hand van de hoeveelheid regen (3 intensiteitsklassen) die valt in de tijd die de pluim nodig heeft om een gegeven afstand (4 afstandklassen) tot de bron te bereiken.
- windsnelheid en stabiliteit: de urregegevens zonder regen zijn verder geclassificeerd aan de hand van atmosferische turbulentie in de menglaag (6 stabiliteitsklassen) en windsnelheid (4 windsnelheidsklassen)

Alle 17.520 waarnemingen zijn dus ingedeeld in 288 klassen, waarvan 96 klassen met regen. Echter, het merendeel van de weersituaties met hoge windsnelheid of regenintensiteit treedt alleen op bij bepaalde windrichtingen en in combinatie met bepaalde stabiliteitsklassen respectievelijk afstandklassen. Daardoor bevatten 99 klassen geen urregegevens. De resterende 189 klassen bestaan uit 73 regenklassen en 116 windsnelheid- stabiliteitsklassen.

Per klasse worden willekeurig, indien mogelijk, twee weerssituatie getrokken (16 klassen bevatten slechts één weersituatie). Deze situaties worden dan als representatief voor die klasse beschouwd. Dit leidt tot een selectie van 362 weersituaties. Voor elk van deze 362 weersituaties is de verspreiding als functie van de afstand doorgerekend, waarbij rekening is gehouden met een weersverandering na ieder uur.

15.3-16

K O P I E

15.3.6 Wijze van berekenen

Met de in paragraaf 15.3.5 vermelde indeling van de weerssituaties is voor elk van de 372 starttijden de verspreiding als functie van de afstand en richting doorgerekend, waarbij rekening is gehouden met een weersverandering na ieder uur. Vervolgens is voor elke sector de dosis voor alle geselecteerde blootstellingswegen doorgerekend. Na sommatie van deze dosisbijdragen wordt de totale dosis in een sector voor de betreffende starttijd verkregen. Per starttijd wordt vervolgens de maximale waarde van de dosis buiten de terreingrens (

Als verdere uitgangspunten voor de vaststelling van de bronterm gelden:

- een constant lekdebiet van circa 0,02 kg/s wordt aangenomen gedurende 14 uur.
- een volledige menging van primair en secundair water
- het primair koelmiddel wordt na menging met secundair water afgeblazen als stoom met 0,25% waterdruppels
- als massieke activiteiten van het primair koelmiddel gelden de waarden zoals weergegeven in tabel 15.3.4/4 voor $R=0,1$. Alhoewel bij de KCB de koelmiddelontgassing in tegenstelling tot de koelmiddelreiniging niet permanent in bedrijf is, zijn de KCB-praktijkwaarden voor de massieke edelgasactiviteiten desondanks ordes van grootte lager dan de in tabel 15.3.4/4 vermelde activiteiten. De in tabel 15.3.4/4 vermelde waarden vormen dus desondanks een conservatief uitgangspunt
- in verband met het optredende spiking-effect worden de gegeven waarden van ^{131}I , ^{134}Cs en ^{137}Cs met een factor 30 verhoogd, dit als gevolg van de lange duur van het ongeval
- alle edelgassen uit het overgestroomde primair koelmiddel (ruim 1000 kg) worden volledig geloosd
- tritium wordt met de stoom geloosd
- aërosolen en jodium worden met de meegesleurde waterdruppels geloosd
- voor het vrijkomende jodium in de waterdruppels wordt een verdeling aangehouden van 10% elementair en 90% als aërosol.

De bronterm voor dit ongeval is gegeven in tabel 15.3.7.1/2.

Dosisberekeningen

De resultaten van de dosisberekeningen voor deze bronterm zijn hieronder beschreven en weergegeven in figuur 15.3.7.1/1.

Effectieve dosis

De maximale effectieve dosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is 0,025 mSv.

Schildklier dosis

De maximale, schildklierdosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is 0,475 mSv.

Toetsing aan het dosiscriterium

Toetsing aan het dosiscriterium dient te worden uitgevoerd aan het criterium voor kinderen, aangezien deze de meest restrictieve groep vertegenwoordigen. Hierdoor wordt de toetsing voor volwassenen volledig afgedekt, en is derhalve niet afzonderlijk vermeld. De vergelijking van de berekende dosis met het dosiscriterium is weergegeven in onderstaande tabel 15.3.7.1/1.

Type dosis	Berekende maximale dosis (mSv)	Dosiscriterium (mSv)	Voldoet ja/nee
E (kind)	0,025	0,4	Ja
Hth (kind)	0,475	500	Ja

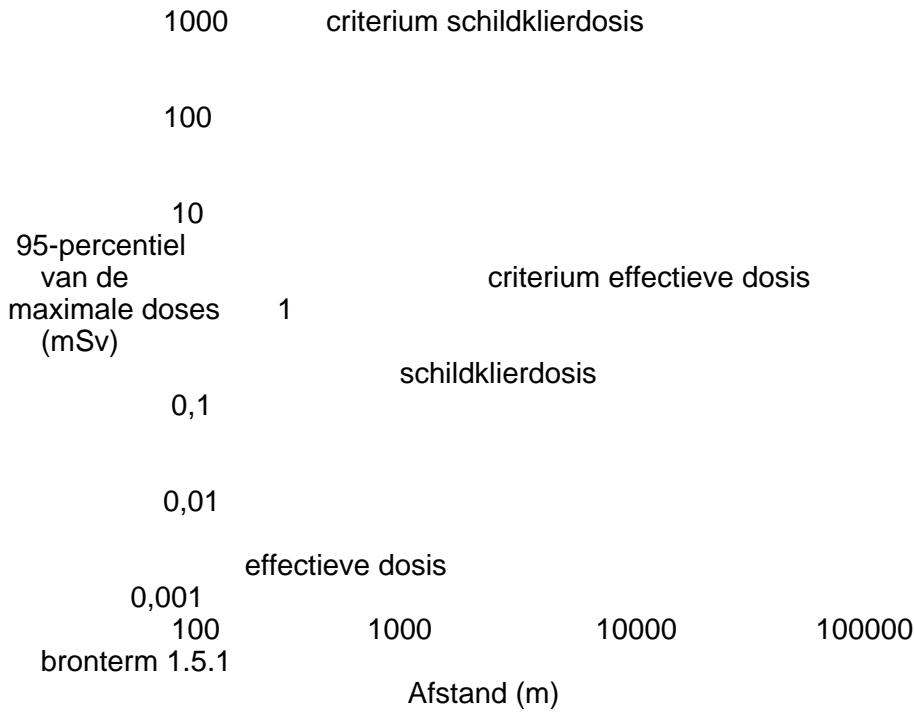
Tabel 15.3.7.1/1 Toetsing van de berekende dosis aan het geldende dosis criterium bij ontwerpongeval 1.5.1.

Dosiswaarden op 1 km afstand

Uit figuur 15.3.7.1/1 kan worden afgelezen dat voor het bewoonde gebied op 1 km afstand de effectieve dosis en de schildklierdosis over 70 jaar na het ongeval respectievelijk circa 0,006 mSv en 0,12 mSv bedragen.

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
85mKr	3,9.10 ¹⁰			88Rb	1,4.10 ⁸
85Kr	1,6.10 ⁸	129I	4,8.10 ⁻¹	134Cs	1,0.10 ⁷
87Kr	4,0.10 ¹⁰	131I	2,5.10 ⁸	137Cs	3,7.10 ⁷
88Kr	6,5.10 ¹⁰	132I	2,8.10 ⁷	138Cs	1,2.10 ⁸
131mXe	4,1.10 ⁸	133I	4,2.10 ⁷	90Sr	9,6.10 ³
133mXe	6,0.10 ⁸	134I	3,2.10 ⁷	3H	2,3.10 ¹⁰
133Xe	7,1.10 ¹⁰	135I	4,4.10 ⁷		
135mXe	1,6.10 ¹⁰		aërosol	51Cr	1,9.10 ⁵
135Xe	2,5.10 ¹¹	129I	4,3.10 ⁰	54Mn	1,9.10 ⁴
138Xe	4,8.10 ¹⁰	131I	2,3.10 ⁹		1,9.10 ⁴
		132I		59Fe	
			2,5.10 ⁸		1,9.10 ⁵
		133I		58Co	
			3,8.10 ⁸		5,6.10 ⁴
		134I		60Co	
			2,8.10 ⁸		9,3.10 ³
		135I		95Zr	
			3,9.10 ⁸	124Sb	9,3.10 ⁴

Tabel 15.3.7.1/2 Bronterm 1.5.1: langdurige uitval secundaire hoofdkoeling met bedrijfslekkage stoomgeneratorpijpen.



Figuur 15.3.7.1/1 95-percentielwaarde van de schildklierdosis en effectieve dosis voor éénjarige kinderen als functie van de afstand voor bronterm 1.5.1.

15.3.7.2 Bronterm behorende bij ontwerp ongeval 7.2.2
 Lekkage van het primair systeem
 (figuur 15.3.7.2/1, tabel 15.3.7.2/1, 2 en 3)

Afdekkende analyses

Voor het ontwerp ongeval 7.2.2 is de effectieve dosis en de schildklierdosis behorende bij een 40% MOX evenwichtskern afdekkend voor de ENU en c-ERU evenwichtskernen. In deze paragraaf worden daarom de resultaten van de radiologische analyses voor MOX beschreven.

Dosis criterium

Gezien het kansbereik van dit ontwerp ongeval ($10^{-2} > F$)

Specifieke brontermuitgangspunten

Voor de analyse van dit ongeval is het volgende ongevalsverloop aangenomen:

- Er is een groot lek van 225 cm² direct naast de aansluiting van de toevoerleiding van het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ).
- Er wordt een noodstroomsituatie verondersteld. Als gevolg van de tijd die benodigd is voor bijschakeling van de noodstroomdiesels is toevoer van noodkoelwater door kerninundatiepompen vertraagd. Bovendien wordt enkelvoudig falen van een noodstroomdiesel verondersteld, waardoor in elk van beide strangen van de noodkoeling één van de beide kerninundatiepompen (HD) en nakoelpompen (LD), alsook aan de secundaire zijde één noodvoedingswaterpomp niet beschikbaar is.
- Door expansie van het uit het lek stromende hoofdkoelmiddel komt stoom in de bol vrij. Hierdoor neemt de druk in de bol toe.
- Door tijdelijke druktoename in de veiligheidsomhulling komt de ringruimte ca. 5 minuten op overdruk te staan, wat tot een kortdurende directe lekkage vanuit de ringruimte naar de omgeving leidt.

Middels de thermohydraulische analyse van dit ontwerpongeval is aangetoond dat bij dit ontwerpongeval geen splijstofschaade optreedt.

Ontwerpongeval 7.2.2 dekt tevens ontwerpongeval 7.1.2 af, waarbij een kleiner lek wordt verondersteld.

Gezien het ongevalsverloop van ontwerpongeval 7.2.2 worden 2 deelbrontermen onderscheiden voor de volgende situaties:

- a. Bronterm 7.2.2a. Lozing via de ringruimte door lekkage uit de op druk staande veiligheidsomhulling; Er is lekkage van de veiligheidsomhulling naar de ringruimte. De initiële leksnelheid is gelijk aan de maximaal toelaatbare leksnelheid van 0,25 volumeprocent per dag. De leksnelheid neemt af met de tijd. De totale lek vanuit de insluiting naar de ringruimte is 0,122 volume %.
- b. Bronterm 7.2.2b. Lozing tengevolge van

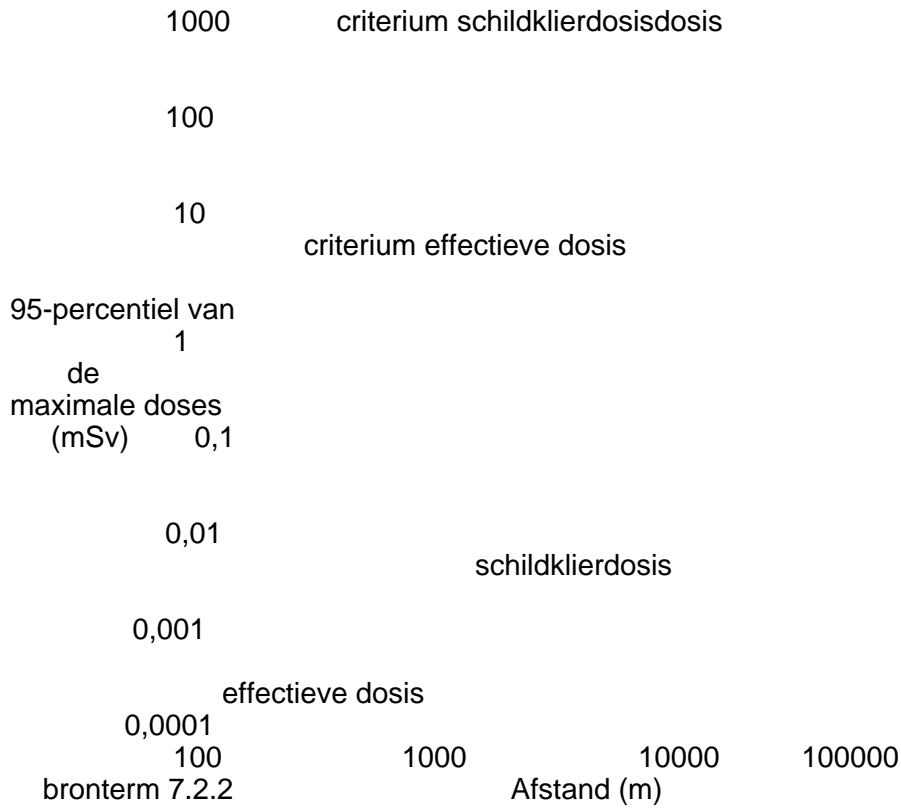
- Omdat gedurende geruime tijd de koeling van de splijtstofstaven niet stabiel is wordt verhoging van de waarden voor 131I, 134Cs en 137Cs met de maximale spikingfactor 30 verondersteld.
- (Bronterm 7.2.2b) Vanuit de ringruimte wordt gedurende circa 5 minuten ongefilterd naar de omgeving geloosd. De totale lek vanuit de bol naar de ringruimte gedurende deze tijd is 9

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide (Bq)	Activiteit	Nuclide (Bq)	Activiteit
85mKr	6,4.109	elementair		88Rb	2,4.106
85Kr	2,7.107	131I	2,1.107	134Cs	1,7.105
87Kr	6,7.109	132I	2,4.106	137Cs	6,2.105
88Kr	1,1.1010	133I	3,5.106	138Cs	2,0.106
131mXe	6,8.107	134I	2,6.106		
133mXe	9,9.107	135I	3,7.106	90Sr	1,5.102
133Xe	1,2.1010				
135mXe	2,7.109	organisch		51Cr	3,1.103
135Xe	4,1.1010	131I	2,1.108	54Mn	3,1.102
138Xe	7,9.109	132I	2,4.107	59Fe	3,1.102
		133I	3,5.107	58Co	3,1.103
		134I	2,6.107	60Co	9,3.102
		135I	3,7.107	95Zr	1,6.102
				124Sb	1,6.103

Tabel 15.3.7.2/2 Bronterm 7.2.2a: Lekkage van het primaire systeem bij

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide (Bq)	Activiteit	Nuclide (Bq)	Activiteit
85mKr	5,6.105	131I elementair	1,9.106	88Rb	2,1.105
85Kr	2,4.103	132I	2,1.105	134Cs	1,5.104
87Kr	5,9.105	133I	3,1.105	137Cs	5,4.104
88Kr	9,5.105	134I	2,3.105	138Cs	1,8.105
131mXe	5,9.103	135I	3,2.105	90Sr	1,4.101
133mXe	8,7.103				
133Xe	1,0.106				
135mXe	2,3.105	organisch		51Cr	2,7.102
135Xe	3,6.106	131I	1,9.106	54Mn	2,7.101
138Xe	7,0.105	132I	2,1.105	59Fe	2,7.101
		133I	3,1.105	58Co	2,7.102
		134I			
		135I	2,3.105	60Co	8,2.101
			3,2.105	95Zr	1,4.101
				124Sb	1,4.102

Tabel 15.3.7.2/3 Bronterm 7.2.2b: Lekkage van het primaire systeem bij



Figuur 15.3.7.2/1 95-percentielwaarde van de schildklierdosis en effectieve dosis voor éénjarige kinderen als functie van de afstand voor ontwerpongeval 7.2.2.

15.3.7.3 Bronterm behorende bij ontwerpgeval 7.2.3

Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding.

(figuur 15.3.7.3/1 tot en met 4 en tabel 15.3.7.3/1 tot en met 4)

Afdekkende analyses

Voor het ontwerpgeval 7.2.3 is de effectieve dosis behorende bij een c-ERU evenwichtskern afdekkend voor zowel de ENU als MOX evenwichtskern. Voor de schildklierdosis geldt de MOX evenwichtskern als de afdekkende. In deze paragraaf worden daarom voor de effectieve dosis de resultaten van de c-ERU radiologische analyse en voor de schildklierdosis de resultaten van de MOX radiologische analyse beschreven.

Dosis criterium

Gezien het kansbereik van dit ontwerpgeval ($10^{-4} > F$)

Lozing via ringruimte (Bronterm 7.2.3a)

Ten gevolge van overdruk in de veiligheidsomhulling treedt lekkage op naar de ringruimte. De maximaal toelaatbare leksnelheid bedraagt 0,25 volume procent per dag. Dit wordt aangehouden als de initiële leksnelheid. De eerste negen uur neemt de leksnelheid af met een halfwaardetijd van zes uur. Vanaf negen uur neemt de leksnelheid af met een halfwaardetijd van twaalf uur.

Lozingen ten gevolge van bypass ringruimte (Bronterm 7.2.3b)

Door de uitzetting van de veiligheidsomhulling komt de ringruimte gedurende 5 minuten op overdruk. Hierdoor treedt een directe lekkage naar buiten op. Na 6 à 7 minuten is de overdruk afgevoerd als gevolg van de ringruimteafzuiging via TL070.

Lozing ten gevolge van additioneel TJ-lek(Bronterm 7.2.3c)

- het TJ-lek 30 minuten na aanvang van de lekkage wordt opgeheven. In totaal is in deze periode 5,5 m³ primair koelmiddel in de ringruimte weggelekt
- de concentratieverhouding in de ringruimte tussen het jodium in water en lucht na een uur is 105 :1.
- het lekwater wordt in een uur tijd afgevoerd is naar het nucleair gebouwontwateringssysteem (TZ) en wordt daar geïsoleerd. In dat uur wordt 3.000 m³ "besmette lucht" afgevoerd naar het TL070-filter. Hierna moet ten gevolge van het voor dit uur aangenomen concentratie-evenwicht nog 25.000 m³ "besmette lucht" afgevoerd worden.
- Door uitloging van de beschadigde splijtstofstaven tijdens putbedrijf komen additioneel 5% van de halogenen en alkalimetalen en 0,5% van de overige stoffen in het koelmiddel vrij.

De brontermen 7.2.3a tot en met c zijn weergegeven in de tabellen 15.3.7.3/1 tot en met 3.

Dosisberekeningen

De resultaten van de dosisberekeningen voor ontwerp ongeval 7.2.3 (sommatie van bronterm 7.2.3a, 7.2.3b en 7.2.3c) zijn hieronder beschreven en weergegeven in figuur 15.3.7.3/1.

Effectieve dosis

De maximale effectieve dosis ontvangen buiten de terreingrens berekend voor kinderen, is 0,696 mSv.

Schildklier dosis

De maximale, schildklierdosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is 4,57 mSv.

Toetsing aan het dosiscriterium

Toetsing aan het dosiscriterium dient te worden uitgevoerd aan het criterium voor kinderen, aangezien deze de meest restrictieve groep vertegenwoordigen. Hierdoor wordt de toetsing voor volwassenen volledig afgedekt, en is derhalve niet afzonderlijk vermeld. De vergelijking van de berekende dosis met het dosiscriterium is weergegeven in onderstaande tabel 15.3.7.3/1.

Type dosis	Berekende maximale dosis (mSv)	Dosiscriterium (mSv)	Voldoet ja/nee
E (kind)	0,696	40	Ja
Hth (kind)	4,57	500	Ja

Tabel 15.3.7.3/1 Toetsing van de berekende dosis aan het geldende dosiscriterium bij ontwerpongeval 7.2.3.

Dosiswaarden op 1 km afstand

Uit figuur 15.3.7.3/1 kan worden afgelezen dat voor het bewoonde gebied op 1 km afstand de effectieve dosis en de schildklierdosis over 70 jaar na het ongeval respectievelijk circa 0,1 mSv en 1,8 mSv bedragen.

Bronterm 7.2.3a c-ERU

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
83mKr	1,92.10 ¹²	126Sb	2,98.10 ⁶	131mXe	1,68.10 ¹¹
85mKr	4,66.10 ¹²	127Sb	3,42.10 ⁸	133mXe	9,52.10 ¹¹
85Kr	2,38.10 ¹¹	128LSb	0,00.10 ⁰	133Xe	3,17.10 ¹³
87Kr	7,98.10 ¹²	129Sb	1,11.10 ⁹	135mXe	6,54.10 ¹²
88Kr	1,08.10 ¹³	130LSb	1,36.10 ⁹	135Xe	7,91.10 ¹²
86Rb	2,78.10 ⁶	131Sb	3,23.10 ⁹	138Xe	2,78.10 ¹³
88Rb	2,78.10 ⁹	132Sb	0,00.10 ⁰	134mCs	1,96.10 ⁸
89Rb	3,81.10 ⁹	125mTe	1,30.10 ⁷	134Cs	8,33.10 ⁸
89Sr	4,03.10 ⁸	127mTe	2,76.10 ⁷	136Cs	2,00.10 ⁸
90Sr	4,39.10 ⁷	127Te	3,08.10 ⁴	137Cs	5,95.10 ⁸
91Sr	4,94.10 ⁸	129mTe	2,02.10 ⁸	138Cs	7,57.10 ⁹
92Sr	5,22.10 ⁸	129Te	1,19.10 ⁹	139Ba	7,08.10 ⁹

Tabel 15.3.7.3 /2 Bronterm 7.2.3a: lozing via ringruimte 15.3-28

K O P I E

93Sr		131mTe	5,55.108	140Ba	6,93.109
	0,00.100				
90mY	3,42.104	131Te	3,45.109	140La	7,17.108
90Y	4,58.107	132Te	5,43.109	141La	6,38.109
91mY	2,52.108	133mTe	4,09.109	142La	6,22.108
91Y	5,28.108	133Te	3,91.109	141Ce	6,62.108
92Y	5,22.108	134Te	7,02.109	143Ce	6,16.108
93Y	5,86.108			144Ce	5,43.108
95Zr	6,99.108	Elementair		143Pr	6,16.108
97Zr	6,53.108	130I	5,74.107	145Pr	4,18.108
95mNb	7,75.106	131I	1,95.109	147Nd	2,60.108
95Nb	7,08.108	132I	2,76.109	147Pm	9,61.107
97Nb	6,56.108	133I	3,94.109	148mPm	1,38.107
99Mo	7,35.108	134I	4,29.109	148Pm	6,38.107
101Mo	6,77.108	135I	3,77.109	149Pm	2,02.108
99mTc	6,44.108			151Pm	7,29.107
101Tc	6,77.108			154Eu	4,64.106
	Organisch				
103Ru	5,80.108	130I	5,74.108	155Eu	2,13.106
105Ru	3,94.108	131I	1,95.1010	156Eu	8,70.107
106Ru	2,09.108	132I	2,76.1010	238Np	3,78.108
103mRh	5,80.108	133I	3,94.1010	239Np	6,71.109
105Rh	3,75.108	134I	4,29.1010	238Pu	3,69.106
124Sb	3,88.106	135I	3,77.1010	239Pu	1,45.105
125Sb	6,13.107			240Pu	1,86.105
				241Pu	4,64.107
				242Cm	1,74.107
				244Cm	1,31.106

Tabel 15.3.7.3 /2 Bronterm 7.2.3a: lozing via ringruimte

15.3-29

K O P I E

Bronterm 7.2.3a MOX

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
83mKr	1,6.1012	126Sb	3,8.106	131mXe	1,7.1011
85mKr	3,8.1012	127Sb	4,3.108	133mXe	9,5.1011
85Kr	1,8.1011	128LSb	6,0.107	133Xe	3,2.1013
87Kr	6,4.1012	129Sb	1,2.109	135mXe	6,8.1012
88Kr	8,6.1012	130LSb	1,4.109	135Xe	1,1.1013
86Rb	6,5.106	131Sb	3,3.109	138Xe	2,7.1013
88Rb	2,2.109	132Sb	1,6.109	134mCs	1,8.108
89Rb	3,0.109	125mTe	1,9.107	134Cs	7,5.108
89Sr	3,1.108	127mTe	4,2.107	136Cs	2,2.108
90Sr	3,2.107	127Te	3,9.108	137Cs	5,6.108
91Sr	4,0.108	129mTe	2,2.108	138Cs	7,4.109
92Sr	4,4.108	129Te	1,3.109	139Ba	6,7.109
93Sr	5,0.108	131mTe	6,0.108	140Ba	6,7.109
90mY	2,6.104	131Te	3,5.109	140La	6,9.108
90Y	3,3.107	132Te	5,5.109	141La	6,1.108
91mY	2,1.108	133mTe	4,0.109	142La	6,0.108
91Y	4,2.108	133Te	3,8.109	141Ce	6,3.108
92Y	4,4.108	134Te	6,7.109	143Ce	5,7.108
93Y	5,2.108			144Ce	4,7.108
95Zr	6,3.108	Elementair		143Pr	5,7.108
97Zr	6,2.108	130I	5,3.107	145Pr	4,0.108
95mNb	7,0.106	131I	2,0.109	147Nd	2,6.108
95Nb	6,3.108	132I	2,8.109	147Pm	8,4.107
97Nb	6,3.108	133I	3,9.109	148mPm	1,7.107
99Mo	7,2.108	134I	4,2.109	148Pm	6,3.107
101Mo	6,9.108	135I	3,8.109	149Pm	2,0.108
99mTc	6,3.108			151Pm	8,1.107

Tabel 15.3.7.3 /2 Bronterm 7.2.3a: lozing via ringruimte

101Tc	7,0.108			154Eu	5,1.106
	Organisch				
103Ru	6,7.108	130I	5,3.108	155Eu	3,0.106
105Ru	5,0.108	131I	2,0.1010	156Eu	9,2.107
106Ru	3,1.108	132I	2,8.1010	238Np	9,2.107
103mRh	6,7.108	133I	3,9.1010	239Np	6,5.109
105Rh	4,9.108	134I	4,2.1010	238Pu	7,1.106
124Sb	5,2.106	135I	3,8.1010	239Pu	3,5.105
125Sb	8,8.107			240Pu	
				241Pu	1,8.108
				242Cm	1,3.108
				244Cm	9,5.106

Tabel 15.3.7.3 /2 Bronterm 7.2.3a: lozing via ringruimte

Bronterm 7.2.3b c-ERU

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
83mKr	1,88.108	126Sb	2,93.105	131mXe	1,66.107
85mKr	4,58.108	127Sb	3,36.107	133mXe	9,36.107
85Kr	2,34.107	128LSb	0,00.100	133Xe	3,12.109
87Kr	7,85.108	129Sb	1,09.108	135mXe	6,43.108
88Kr	1,07.109	130LSb	1,34.108	135Xe	7,78.108
86Rb	8,52.105	131Sb	3,18.108	138Xe	2,74.109
88Rb	2,74.108	132Sb	0,00.100	134mCs	1,92.107
89Rb	3,75.108	125mTe	1,28.106	134Cs	8,19.107
89Sr	3,96.107	127mTe	2,72.106	136Cs	1,96.107
90Sr	4,32.106	127Te	3,03.107	137Cs	5,85.107
91Sr	4,86.107	129mTe	1,99.107	138Cs	7,44.108
92Sr	5,13.107	129Te	1,17.108	139Ba	6,96.108
93Sr	0,00.100	131mTe	5,46.107	140Ba	6,81.108
90mY	3,36.103	131Te	3,39.108	140La	7,05.107

Tabel 15.3.7.3 /3ronterm 7.2.3b: "bypass" ringruimte.

90Y	4,50.106	132Te	5,34.108	141La	6,27.107
91mY	2,48.107	133mTe	4,02.108	142La	6,12.107
91Y	5,19.107	133Te	3,84.108	141Ce	6,51.107
92Y	5,13.107	134Te	6,90.108	143Ce	6,06.107
93Y	5,76.107		144Ce	5,34.107	
95Zr	6,87.107	Elementair		143Pr	6,06.107
97Zr	6,42.107	130I	5,64.106	145Pr	4,11.107
95mNb	7,62.105	131I	1,92.108	147Nd	2,56.107
95Nb	6,96.107	132I	2,72.108	147Pm	9,45.106
97Nb	6,45.107	133I	3,87.108	148mPm	1,36.106
99Mo	7,23.107	134I	4,22.108	148Pm	6,27.106
101Mo	6,66.107	135I	3,71.108	149Pm	1,99.107
99mTc	6,33.107			151Pm	7,17.106
101Tc	6,66.107			154Eu	4,56.105
	Organisch				
103Ru	5,70.107	130I	5,64.106	155Eu	2,09.105
105Ru	3,87.107	131I	1,92.108	156Eu	8,55.106
106Ru	2,06.107	132I	2,72.108	238Np	3,72.107
103mRh	5,70.107	133I	3,87.108	239Np	6,60.108
105Rh	3,69.107	134I	4,22.108	238Pu	3,63.105
124Sb	3,81.105	135I	3,71.108	239Pu	1,43.104
125Sb	6,03.106			240Pu	1,83.104
				241Pu	4,56.106
				242Cm	1,71.106
				244Cm	1,29.105

Tabel 15.3.7.3 /3 Bronterm 7.2.3b: "bypass" ringruimte.

15.3-32

K O P I E

Bronterm 7.2.3b MOX

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
83mKr	1,6.108	126Sb	3,7.105	131mXe	1,7.107
85mKr	3,7.108	127Sb	4,2.107	133mXe	9,4.107
85Kr	1,8.107	128LSb	5,9.106	133Xe	3,1.109
87Kr	6,3.108	129Sb	1,2.108	135mXe	6,7.108
88Kr	8,5.108	130LSb	1,4.108	135Xe	1,0.109
86Rb	6,4.105	131Sb	3,2.108	138Xe	2,6.109
88Rb	2,2.108	132Sb	1,6.108	134mCs	1,8.107
89Rb	3,0.108	125mTe	1,9.106	134Cs	7,4.107
89Sr	3,1.107	127mTe	4,1.106	136Cs	2,1.107
90Sr	3,1.106	127Te	3,9.107	137Cs	5,5.107
91Sr	3,9.107	129mTe	2,2.107	138Cs	7,2.108
92Sr	4,3.107	129Te	1,3.108	139Ba	6,6.108
93Sr	5,0.107	131mTe	5,9.107	140Ba	6,5.108
90mY	2,5.103	131Te	3,5.108	140La	6,8.107
90Y	3,2.106	132Te	5,4.108	141La	6,0.107
91mY	2,0.107	133mTe	4,0.108	142La	5,9.107
91Y	4,1.107	133Te	3,8.108	141Ce	6,2.107
92Y	4,4.107	134Te	6,6.108	143Ce	5,6.107
95Zr	6,2.107			144Ce	4,7.107
97Zr	6,1.107	Elementair		143Pr	5,6.107
95mNb	6,9.105	130I	5,3.106	145Pr	3,9.107
95Nb	6,2.107	131I	2,0.108	147Nd	2,5.107
97Nb	6,2.107	132I	2,7.108	147Pm	8,3.106
99Mo	7,1.107	133I	3,9.108	148mPm	1,6.106
101Mo	6,8.107	134I	4,2.108	148Pm	6,2.106
99mTc	6,2.107	135I	3,7.108	149Pm	2,0.107
101Tc	6,8.107			151Pm	8,0.106

Tabel 15.3.7.3 /3 Bronterm 7.2.3b: "bypass" ringruimte.

103Ru	6,6.107			154Eu	5,0.105
	Organisch				
105Ru	5,0.107	130I	5,3.106	155Eu	2,9.105
106Ru	3,0.107	131I	2,0.108	156Eu	9,1.106
103mRh	6,5.107	132I	2,7.108	238Np	9,0.106
105Rh	4,8.107	133I	3,9.108	239Np	6,4.108
124Sb	5,1.105	134I	4,2.108	238Pu	7,0.105
125Sb	8,7.106	135I	3,7.108	239Pu	3,5.104
			249Pu	8,6.104	
			241Pu	1,8.107	
			242Cm	1,2.107	
			244Cm	9,3.105	

Tabel 15.3.7.3/3 Bronterm 7.2.3b: "bypass" ringruimte.

Bronterm 7.2.3c c-ERU

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
---------	-----------------	---------	-----------------

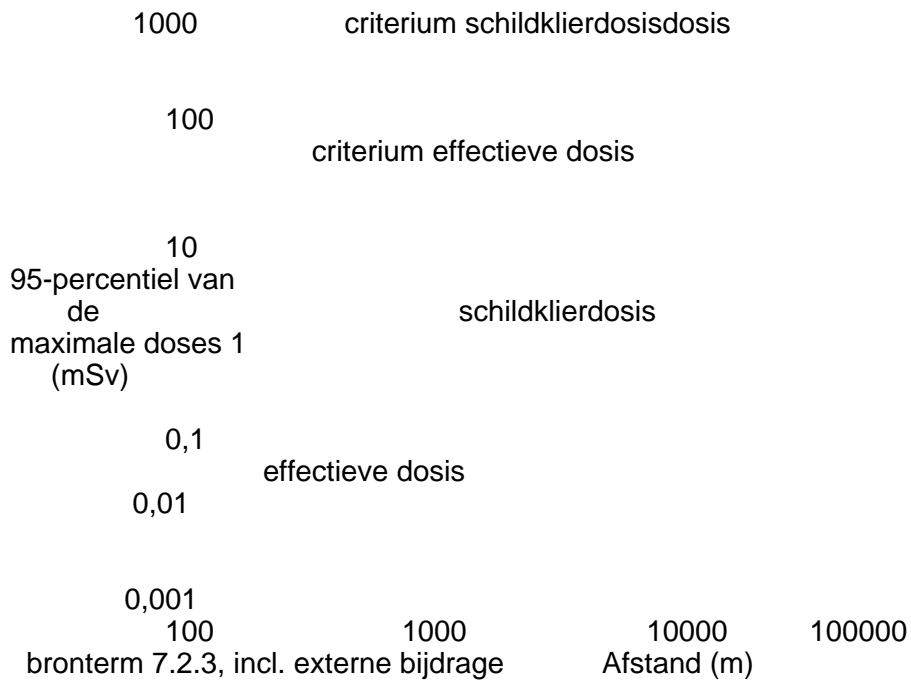
Elementair		Organisch	
130I	3,03.108	130I	3,03.109
131I	1,03.1010	131I	1,03.1011
132I	1,46.1010	132I	1,46.1011
133I	2,08.1010	133I	2,08.1011
134I	2,26.1010	134I	2,26.1011
135I	1,99.1010	135I	1,99.1011

Bronterm 7.2.3c MOX

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
---------	-----------------	---------	-----------------

Elementair		Organisch	
130I	2,8.108	130I	2,8.109
131I	1,1.1010	131I	1,1.1011
132I	1,5.1010	132I	1,5.1011
133I	2,1.1010	133I	2,1.1011
134I	2,2.1010	134I	2,2.1011
135I	2,0.1010	135I	2,0.1011

Tabel 15.3.7.3/4 Bronterm 7.2.3c: TJ-lek



Figuur 15.3.7.3/1 95-percentielwaarde van de schildklierdosis en effectieve dosis voor éénjarige kinderen als functie van de afstand voor ontwerpgeval 7.2.3

15.3-35

K O P I E

- 15.3.7.4 Bronterm behorende bij ontwerpongeval 7.3.2.2
Bezijken van stoomgeneratorpijpen met een noodstroomsituatie
(kortstondig).
(Figuur 15.3.7.4/1 en tabel 15.3.7.4/1 en 2).

Afdekkende analyses

Voor ontwerpongeval 7.3.2.2 is de effectieve dosis en de schildklierdosis behorende bij een 40% MOX evenwichtskern afdekkend voor zowel een c-ERU als ENU evenwichtskern. In deze paragraaf worden daarom de resultaten van de radiologische analyses voor MOX beschreven.

Dosiscriterium

Gezien het kansenbereik van dit ontwerpongeval ($10^{-2} > F$

- voor het vrijkomende jodium in de waterdruppels wordt een verdeling aangehouden van 10% elementair en 90% als aërosol.

De bronterm voor dit ongeval is gegeven in tabel 15.3.7.4/1.

Dosisberekeningen

De resultaten van de dosisberekeningen voor deze bronterm zijn hieronder beschreven en weergegeven in figuur 15.3.7.4/1.

Effectieve dosis

De maximum waarde van de effectieve dosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is 0,19 mSv.

Schildklier dosis

De maximum waarde van de schildklierdosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is 3,48 mSv.

Toetsing aan het dosiscriterium

Een vergelijking van de berekende dosis met het dosiscriterium is weergegeven in de onderstaande tabel 15.3.7.4/2.

Type dosis	Berekende Maximale dosis (mSv)	Dosiscriterium (mSv)	Voldoet Ja/nee
E (kind)	0,19	4	ja
Hth (kind)	3,48	500	ja

Tabel 15.3.7.4/2 Toetsing van de berekende dosis aan het geldende dosiscriterium bij ontwerp ongeval 7.3.2.2

Dosiswaarden op 1 km afstand

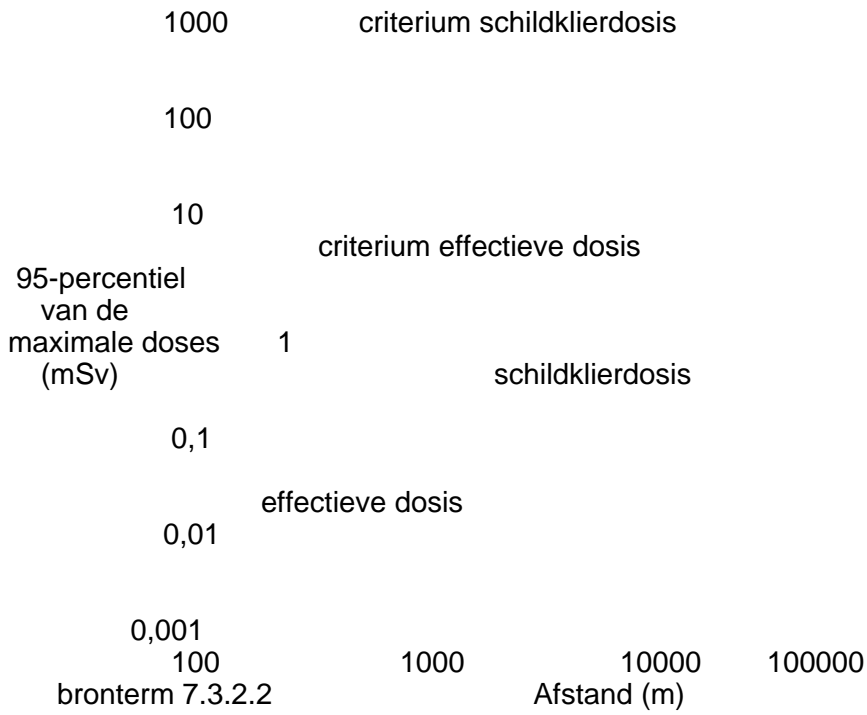
Uit figuur 15.3.7.4/1 kan worden afgelezen dat voor het bewoonde gebied op 1 km afstand de effectieve dosis en de schildklierdosis over 70 jaar na het ongeval respectievelijk circa 0,05 mSv en 0,9 mSv bedragen.

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
85mKr	2,0.1012		elementair	88Rb	1,0.109
85 Kr	8,5.109	131I	7,6.108	134Cs	3,0.107
87 Kr	2,1.1012	132I	2,0.108	137Cs	1,1.108
88 Kr	3,4.1012	133I	3,0.108	138Cs	8,7.108
131mXe	2,1.1010	134I	2,2.108	90Sr	6,8.104
133mXe	3,1.1010	135I	3,1.108	3H	1,6.1011
133 Xe	3,7.1012		Aërosol		
135mXe	8,4.1011	131I	6,9.108	51Cr	1,3.106
135 Xe	1,3.1013	132I	1,8.109	54Mn	1,3.105
138 Xe	2,5.1012	133I	2,7.109	59Fe	1,3.105
		134I	2,0.109	58Co	1,3.106
		135I	2,8.109	60Co	3,9.105
			95Zr	6,6.104	
			124Sb	6,6.105	

Tabel 15.3.7.4/1 Bronterm 7.3.2.2: bezwijken stoomgeneratorpijpen.

15.3-38

K O P I E



Figuur 15.3.7.4/1 95-percentielwaarde van de schildklierdosis en effectieve dosis voor éénjarige kinderen als functie van de afstand voor de bronterm 7.3.2.2

15.3-39

K O P I E

15.3.7.5 Bronterm behorende bij ontwerpongeval 7.4.2

Lekkage van een meetleiding die hoofdkoelmiddel bevat buiten de veiligheidsomhulling. (figuur 15.3.7.5/1 en tabel 15.3.7.5/1 en 2)

Afdekkende analyses

Voor ontwerpongeval 7.4.2 is de effectieve dosis en de schildklierdosis behorende bij een 40% MOX evenwichtskern afdekkend voor zowel een c-ERU als ENU evenwichtskern. In deze paragraaf worden daarom de resultaten van de radiologische analyses voor MOX beschreven.

Dosis criterium

Gezien het kansenbereik van dit ontwerpongeval ($10^{-2} > F$)

Dosisberekeningen

De resultaten van de dosisberekeningen voor deze bronterm zijn hieronder beschreven en weergegeven in figuur 15.3.7.5/1.

Effectieve dosis

De maximale waarde van de effectieve dosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is 0,13 mSv.

Schildklier dosis

De maximale waarde van de schildklierdosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is 2,47 mSv.

Toetsing aan het dosiscriterium

Een vergelijking van de berekende dosis met het dosiscriterium is weergegeven in de onderstaande tabel 15.3.7. 5/2.

Type dosis	Berekende maximale dosis (mSv)	Dosiscriterium (mSv)	Voldoet ja/nee
E (kind)	0,13	4	Ja
Hth (kind)	2,47	500	ja

Tabel 15.3.7.5/2 Toetsing van de berekende dosis aan het geldende dosiscriterium bij ontwerpongeval 7.4.2.

Dosiswaarden op 1 km afstand

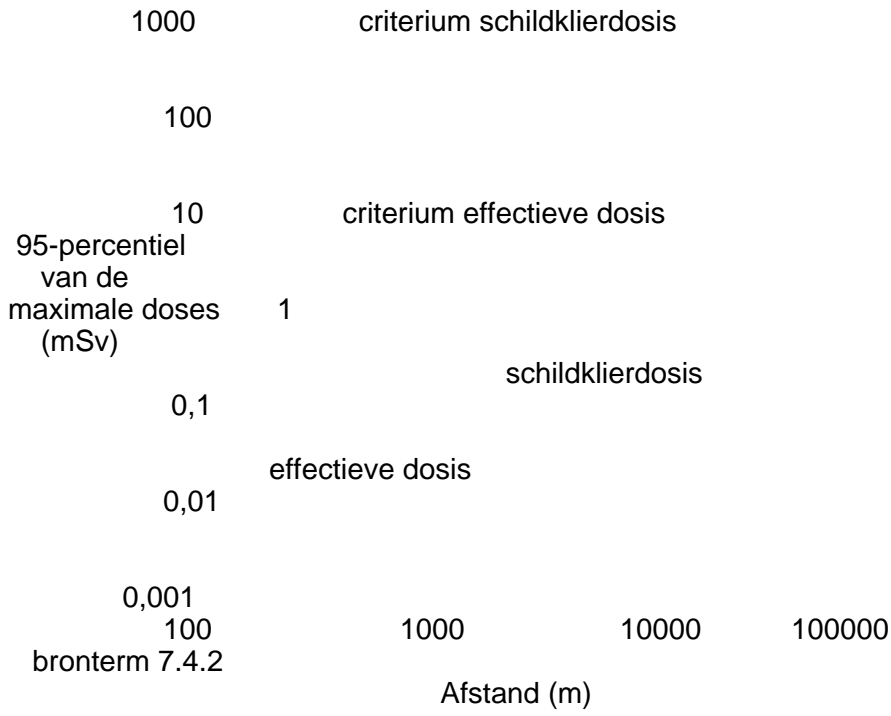
Uit figuur 15.3.7.5/1 kan worden afgelezen dat voor het bewoonde gebied op 1 km afstand de effectieve dosis en de schildklierdosis over 70 jaar na het ongeval respectievelijk circa 0,03 mSv en 0,6 mSv bedragen.

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
85mKr	1,3.1011		Elementair	88Rb	2,0.107
85Kr	5,6.108	129I	2,2.101	134Cs	1,6.105
87Kr	1,4.1011	131I	1,3.109	137Cs	5,8.105
131mKr	2,3.1011	132I	1,3.109	138Cs	1,7.107
131mXe	1,4.109	133I	2,0.109		
133mXe	2,1.109	134I	1,5.109	90Sr	1,3.103
133Xe	2,5.1011	135I	2,0.109	3H	8,1.1010
135mXe	5,5.1010		Aërosol		
135Xe	8,5.1011	129I	6,1.10-1	51Cr	2,6.104
138Xe	1,7.1011	131I	3,6.107	54Mn	2,6.103
		132I	3,6.107	59Fe	2,6.103
		133I	5,3.107	58Co	2,6.104
		134I	4,0.107	60Co	7,8.103
		135I	5,5.107	95Zr	1,3.103
			124Sb	1,3.104	

Tabel 15.3.7.5/1 Bronterm 7.4.2: lekkage meetleiding.

15.3-42

K O P I E



Figuur 15.3.7.5/1 95-percentielwaarde van de schildklierdosis en effectieve dosis voor éénjarige kinderen als functie van de afstand voor de bronterm 7.4.2.

15.3.7.6 Bronterm behorende bij ontwerpgeval 8.2

Lekkage in een leiding van het afgassysteem (figuur 15.3.7.6/1 en tabel 15.3.7.6/1 en 2)

Afdekkende analyses

Voor het ontwerpgeval 8.2 is de effectieve dosis en de schildklierdosis behorende bij een c-ERU evenwichtskern afdekkend voor zowel de ENU als de MOX evenwichtskern. In deze paragraaf worden daarom voor de effectieve dosis en de schildklierdosis de resultaten van de c-ERU radiologische analyse beschreven.

Dosiscriterium

Alhoewel het kansenbereik van dit ongeval $10^{-2} > F$

Dosisberekeningen

De resultaten van de dosisberekeningen voor deze bronterm zijn hieronder beschreven en weergegeven in figuur 15.3.7.6/1.

Omdat deze bronterm alleen een lozing van edelgassen bevat, worden de gevolgen van deze bronterm alleen door de wolkdosis bepaald. De maximale waarde van de effectieve dosis, alsmede die van de schildklierdosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, zijn beide circa 0,01 mSv.

Toetsing aan het dosiscriterium

Een vergelijking van de berekende dosis met het dosiscriterium is weergegeven in onderstaande tabel 15.3.7.6/2.

Type dosis	Berekende Maximaledosis (mSv)	Dosiscriterium (mSv)	Voldoet ja/nee
E (kind)	0,01	0,04	ja
Hth (kind)	0,012	500	ja

Tabel 15.3.7.6/2 Toetsing van de berekende dosis aan het geldende dosiscriterium bij ontwerpongeval 8.2.

Dosiswaarden op 1 km afstand

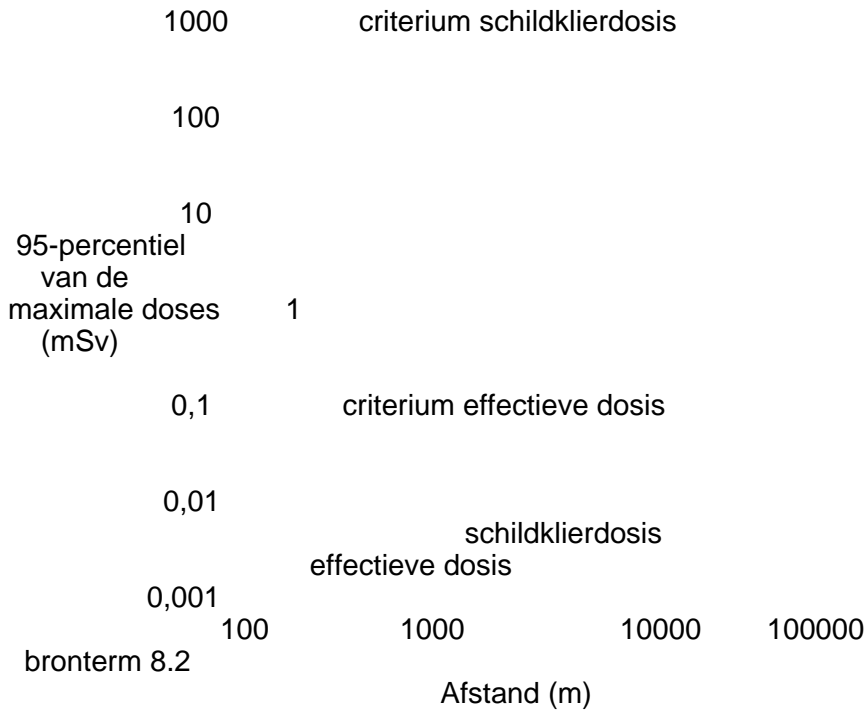
Uit figuur 15.3.7.6/1 kan worden afgelezen dat voor het bewoonde gebied op 1 km afstand de effectieve dosis en de schildklierdosis over 70 jaar na het ongeval beide circa 0,007 mSv bedragen.

Bronterm 8.2 c-ERU

Nuclide	Activiteit (Bq)
85mKr	5,01.10 ¹²
85Kr	4,10.10 ¹¹
87Kr	2,83.10 ¹²
88Kr	8,04.10 ¹²
131mXe	7,17.10 ¹¹
133mXe	4,74.10 ¹²
133Xe	1,06.10 ¹⁴
135mXe	4,38.10 ¹¹
135Xe	3,97.10 ¹³
138Xe	1,17.10 ¹²

Tabel 15.3.7.6/1 Bronterm 8.2: lekkage leiding afgassysteem.
15.3-45

K O P I E



Figuur 15.3.7.6/1 95-percentielwaarde van de schildklierdosis en effectieve dosis voor éénjarige kinderen als functie van de afstand voor de bronterm 8.2.

15.3-46

K O P I E

15.3.7.7 Bronterm behorende bij ontwerpongeval 8.4.1
Beschadigingen van splijtstofelementen tijdens het hanteren. (figuur
15.3.7.7/1 en tabel 15.3.7.7/1 en 2)

Afdekkende analyses

Voor ontwerpongeval 8.4.1 is de effectieve dosis en de schildklierdosis behorende bij een 40% MOX evenwichtskern afdekkend voor zowel een c-ERU als ENU evenwichtskern. In deze paragraaf worden daarom de resultaten van de radiologische analyses voor MOX beschreven.

Gezien het kansenbereik van dit ontwerpongeval ($10^{-1} > F$)

Toetsing aan het dosiscriterium

Een vergelijking van de berekende dosis met het dosiscriterium is weergegeven in onderstaande tabel 15.3.7.7/2.

Type dosis	Berekende Maximale dosis (mSv)	Dosiscriterium (mSv)	Voldoet ja/nee
E (kind)	0,0099	0,4	ja
Hth (kind)	0,196	500	ja

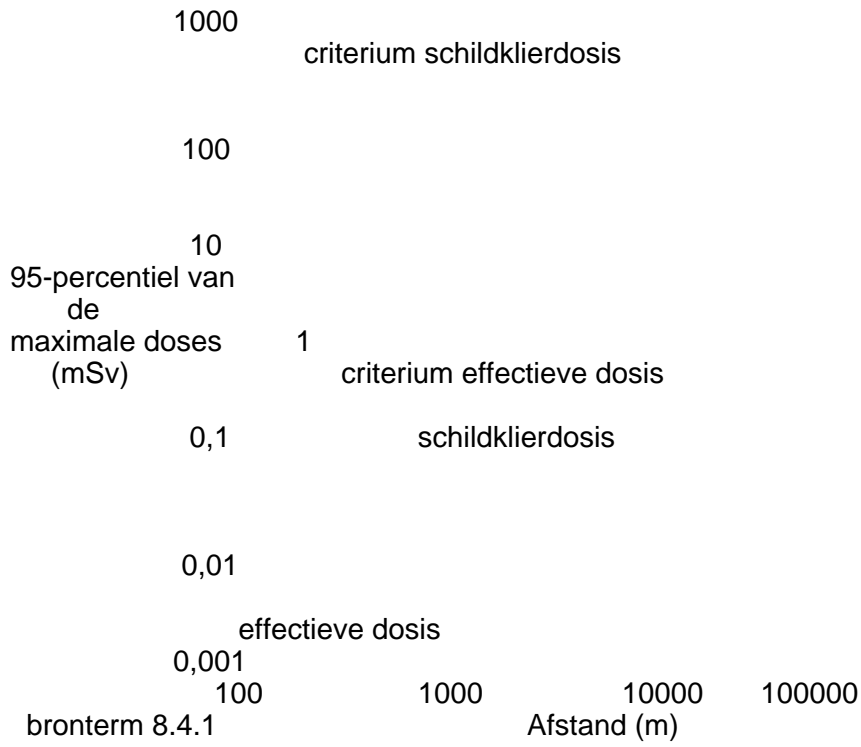
Tabel 15.3.7.7/2 Toetsing van de berekende dosis aan het geldende dosiscriterium bij ontwerpongeval 8.4.1

Dosiswaarden op 1 km afstand

Uit figuur 15.3.7.7/1 kan worden afgelezen dat voor het bewoonde gebied op 1 km afstand de effectieve dosis en de schildklierdosis over 70 jaar na het ongeval respectievelijk circa 0,005 mSv en 0,1 mSv bedragen.

Nuclide	Activiteit (Bq)
131I	5,2.108
133I	1,2.108
133Xe	1,3.1013

Tabel 15.3.7.7/1 Bronterm 8.4.1: Beschadigingen van splijtstofelementen.



Figuur 15.3.7.7/1. 95-percentielwaarde van de schildklierdosis en effectieve dosis voor éénjarige kinderen als functie van de afstand voor de bronterm 8.4.1.

15.3-49

K O P I E

15.3.7.8 Bronterm behorende bij ontwerp ongeval 9.1.2

Gevolgen van een aardbeving op het reactorhulpgebouw. (figuur 15.3.7.8./1
tabel 15.3.7.8/1 en 2)

Afdekkende analyses

Voor het ontwerp ongeval 9.1.2 is de effectieve en schildklierdosis behorende bij een MOX evenwichtskern afdekkend voor zowel de ENU als de c-ERU evenwichtskern. In deze paragraaf worden daarom voor de effectieve en schildklierdosis de resultaten van de MOX radiologische analyse beschreven.

Dosis criterium

Dosis criterium

Alhoewel het kansenbereik van dit ongeval $10^{-4} > F$

Effectieve dosis

De maximale waarde van de effectieve dosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is 0,20 mSv.

Schildklier dosis

De maximale waarde van de schildklierdosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is 0,733 mSv.

Toetsing aan het dosiscriterium

Een vergelijking van de berekende dosis met het dosiscriterium is weergegeven in de onderstaande tabel 15.3.7.8/2.

Type dosis	Berekende Maximale dosis (mSv)	Dosiscriterium (mSv)	Voldoet ja/nee
E (kind)	0,20	4	ja
Hth (kind)	0,733	500	ja

Tabel 15.3.7.8/2 Toetsing van de berekende dosis aan het geldende dosiscriterium bij ontwerpongeval 9.1.2.

Dosiswaarden op 1 km afstand

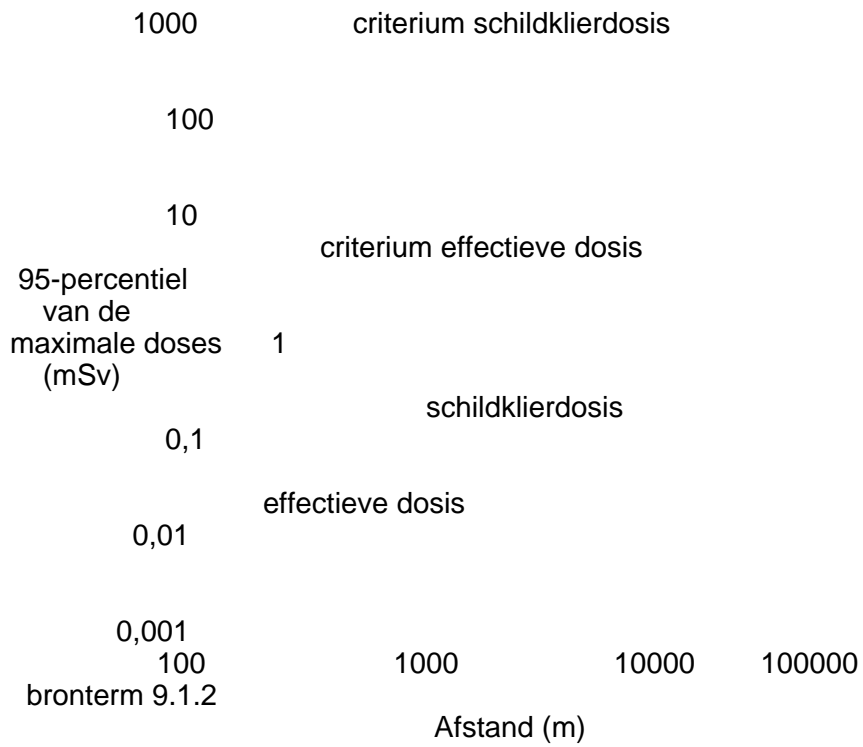
Uit figuur 15.3.7.8/1 kan worden afgelezen dat voor het bewoonde gebied op 1 km afstand de effectieve dosis 70 jaar na het ongeval ongeveer 0,05 mSv bedraagt en de schildklierdosis ongeveer 0,2 mSv.

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
elementair 131I	3,1.108	54Mn	8,0.107
organisch 131I	3,1.108	110mAg	4,4.106
		137Cs	1,7.107
		134Cs	5,5.106
		57Co	5,1.106
60Co	2,4.109	24Na	1,9.106
58Co	3,2.108	59Fe	6,4.106
124Sb	2,4.107	3H	5,8.108
51Cr	1,7.108	123mTe	8,6.105
95Nb	4,0.107	239Np	4,2.105

Tabel 15.3.7.8/1 Bronterm 9.1.2: gevolgen aardbeving.

15.3-51

K O P I E



Figuur 15.3.7.8/1 95-percentielwaarde van de schildklierdosis en effectieve dosis voor éénjarige kinderen als functie van de afstand bij de bronterm 9.1.2.

15.3-52

K O P I E

15.3.8 Resultaten ten aanzien van externe straling (directe straling).

Bij twee van de radiologisch representatieve ontwerpongevallen blijft er activiteit in de veiligheidsomhulling achter, te weten bij:

- Ontwerpongeval 7.2.2: Lekkage van het primaire systeem bij

De externe dosis op 350 meter is voor ontwerp ongeval 7.2.2 en 7.2.3 opgeteld bij de effectieve dosis, vermeld in paragraaf 15.3.7.2 en 15.3.7.3. Conservatief wordt verondersteld dat de schildklierdosis door de externe bestraling met dezelfde bijdrage toeneemt als de effectieve dosis.

Afstand	Extern dosis bij ontwerp ongeval 7.2.2	Extern dosis bij ontwerp ongeval 7.2.3
350 m	$2,2 \cdot 10^{-5}$	1,3
750 m	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-2}$

1000 m $4,4 \cdot 10^{-7}$

10
5,
5.

-3

Tabel 15.3.8/1 Externe dosis (mSv) van een volwassen persoon door blootstelling aan straling vanuit de veiligheidsomhulling bij permanente aanwezigheid gedurende 70 jaar na het ongeval.

Afstand	Extern dosis bij ontwerp ongeval 7.2.2	Extern dosis bij ontwerp ongeval 7.2.3
350 m	$7,4 \cdot 10^{-5}$	0,46
750 m	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-2}$
1000 m	$1,7 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$

Tabel 15.3.8/2 Actuele externe dosis (mSv) van kinderen door blootstelling aan straling vanuit de veiligheidsomhulling bij verblijf gedurende 70 jaar na het ongeval.

Door absorptie in lucht wordt de dosis op een afstand van 1 km een factor 25 gereduceerd. Hierdoor wordt in combinatie met de afname van de dosis volgens de kwadratenwet, de op op 1 km afstand in 70 jaar ontvangen dosis, de plaats waar de eerste woning staat, gereduceerd tot circa 0,002 mSv.

Op het midden van het weiland tussen de centrale en het dorp Borssele, op circa 750 m van de veiligheidsomhulling, indien aangenomen wordt dat een persoon zich gedurende 10 uur per dag buiten bevindt, is de dosis circa 0,02 mSv.

K O P I E

15.3-54

K O P I E

15.3.9 Overzicht toetsing aan de dosiscriteria (tabel 15.3.9/1)

In tabel 15.3.9/1 is een overzicht gegeven van de berekende doses en de bijbehorende criteria voor de representatieve ontwerpongevallen. Het betreft de doses op een afstand van 350 m en criteria voor de referentiegroep kinderen.

Ontwerp- Ongeval	Effectieve dosis (mSv)	Schildklierdosis (mSv)		
	Dosis- criterium	Berekende dosis	dosis- criterium	Berekende Dosis
1.5.1	0,4	0,025	500	0,475
7.2.2	4	0,0082	500	0,0147
7.2.3	40	0,696	500	4,57
7.3.2.2	4	0,190	500	3,48
7.4.2	4	0,130	500	2,47
8.2	0,04	0,010	500	0,0115
8.4.1	0,4	0,0099	500	0,196
9.1.2	4	0,200	500	0,733

Tabel 15.3.9/1 Overzicht van de maximale doses ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, en bijbehorende criteria voor de representatieve ontwerpongevallen.

Uit tabel 15.3.9/1 blijkt dat bij alle representatieve ontwerpongevallen de doses in zeer ruime mate voldoen aan de betreffende dosiscriteria.

15.3-55

K O P I E

16	TECHNISCHE SPECIFICATIES	16.1-1
16.1	Algemeen	16.1-1
16.2	Indeling van de technische specificaties	16.2-1

KOPIE

16 TECHNISCHE SPECIFICATIES

16.1 Algemeen

In het onderhavige veiligheidsrapport is een beschrijving gegeven van al die aspecten van de kernenergiecentrale, die van belang zijn voor de veilige werking daarvan. In de hoofdstukken 3 t/m 10 is een beschrijving gegeven van de installatie zelf, waaronder de omvang en uitvoering van de veiligheidssystemen. Daarvan uitgaande is in hoofdstuk 15 aangegeven wat de gevolgen zijn van denkbare storingen en ongevallen. Bij de analyses daarvan is er ondanks de opgestelde redundantie niet altijd van uitgegaan dat alle aanwezige systemen of componenten ook beschikbaar zijn. Immers het niet beschikbaar zijn van een systeem of component, zowel gepland als onverwacht, kan een toename van het risico met zich meebrengen. De duur van een dergelijke niet-beschikbaarheid, bijvoorbeeld ten gevolge van vervanging, reparatie of onderhoud, dient dan gelimiteerd te worden, zodat het eventuele risico binnen bepaalde grenzen blijft. Voorwaarde voor het veilig bedienen van de kernenergiecentrale is dan ook dat de voor de storings- en ongevalsanalyse veronderstelde redundantie aanwezig is. Indien dat gedurende zekere tijd niet het geval is dienen de tijd en de maatregelen die dan genomen moeten worden, vooraf gespecificeerd te worden.

De eis tot het hebben van een beschrijving van deze en andere voorwaarden is ook vastgelegd in de vergunning van de kernenergiecentrale Borssele. Deze beschrijving is opgenomen in de zogenaamde Technische Specificaties, de set van voorwaarden en grenswaarden voor het veilig bedienen van de installatie. De Technische Specificaties dienen gecontroleerd en goedgekeurd te zijn door het bevoegd gezag.

De vergunninghouder is verplicht alles te doen wat redelijkerwijs mogelijk is om overschrijding van de in de voorwaarden vastgelegde grenswaarden te voorkomen.

16.1-1

KOPIE

16.2 Indeling van de technische specificaties

De Technische Specificaties voor de Kernenergiecentrale Borssele voldoen aan de betreffende Nederlandse normen zoals vastgelegd in de NVR 1.2: "Safety Code for nuclear power plant operation". De Technische Specificaties zijn opgesteld met als richtlijn de daarvoor geldende Amerikaanse normen zoals deze zijn vastgelegd in "NUREG 1431" van de "U.S. Nuclear Regulatory Commission". Hierin is een standaard indeling en inhoud van de Technische Specificaties voor een kernenergiecentrale vastgelegd. De indeling met de aan te spreken onderwerpen ziet er als volgt uit:

- 1 Gebruik en toepassing
- 2 Veiligheidsgrenzen
- 3 Voorwaarden voor het bedrijf
 - 3.1 Systemen ter beheersing van de reactiviteit
 - 3.2 Grenzen van de vermogensverdeling
 - 3.3 Instrumentatie
 - 3.4 Reactorkoelsysteem
 - 3.5 Noodkoelsysteem
 - 3.6 Containmentsystemen
 - 3.7 Bedrijfssystemen
 - 3.8 Elektrische installatie
 - 3.9 Splijtstofwisseling
- 4 Ontwerp
- 5 Bestuurs- en beheerssystemen.

16.2-1

KOPIE

17	KWALITEITSBORGING	17.1-1
17.1	Inleiding	17.1-1
17.1.1	Kwaliteit	17.1-1
17.1.2	Kwaliteitsborging	17.1-2
17.1.3	Kwaliteitsplan	17.1-2
17.2	Kwaliteitsborging bij de bouw	17.2-1
17.2.1	Algemeen	17.2-1
17.2.2	Ontwerp van de centrale	17.2-1
17.2.3	Fabricage van de componenten	17.2-2
17.2.4	Bouw/montage en inbedrijfname	17.2-2
17.2.5	Bedrijfservaring	17.2-2
17.3	Kwaliteitsborging bij grote wijzigingsprojecten	17.3-1
17.3.1	Algemeen	17.3-1
17.3.2	Te onderscheiden activiteiten	17.3-2
17.3.3	Documentatie verbonden met kwaliteitsborging	17.3-2
17.3.3.1	Projectspecifiek kwaliteitsplan EPZ	17.3-2
17.3.3.2	Projectspecifiek kwaliteitsplan van de leverancier	17.3-3
17.3.3.3	Projectinstructies	17.3-4
17.4	Kwaliteitsborging bij de exploitatie (inclusief kleine wijzigingen)	17.4-1
17.4.1	Algemeen	17.4-1
17.4.2	Documentatie verbonden met kwaliteitsborging	17.4-2
17.4.2.1	Kwaliteitshandboek	17.4-2
17.4.2.2	Hoofdprocessen	17.4-3
17.4.2.3	Procedures	17.4-4
17.4.2.4	Werkdocumenten	17.4-4
17.4.3	Algemeen voorschriften systeem	17.4-6

KOPIE

17 KWALITEITSBORGING

Dit hoofdstuk behandelt de kwaliteitsborging ten aanzien van de kernenergiecentrale Borssele. De eerste paragraaf geeft een inleiding. De drie volgende paragrafen behandelen achtereenvolgens:

- kwaliteitsborging bij de bouw;
- kwaliteitsborging bij grote wijzigingsprojecten;
- kwaliteitsborging bij de exploitatie (inclusief kleine wijzigingen).

17.1 Inleiding

17.1.1 Kwaliteit

De Nucleaire VeiligheidsRegel NVR-1.3 (Hoofdregel Kwaliteitsborging voor de veiligheid van kerncentrales), die van toepassing is op de kernenergiecentrale Borssele, geeft de volgende definitie van het begrip kwaliteit:

"Het geheel van eigenschappen en kenmerken van een zaak of dienst dat bepalend is voor de geschiktheid om aan een gegeven eis te voldoen".

Beschouwen we de ten behoeve van de veiligheid van de kernenergiecentrale Borssele genomen/te nemen maatregelen, zoals beschreven in dit veiligheidsrapport, als zijnde een zaak of dienst, dan is het gezien bovenstaande definitie duidelijk dat het daadwerkelijke effect van deze maatregelen op de veiligheid mede bepaald wordt door de kwaliteit ervan.

Bepalend voor de actuele veiligheid is dan ook de kwaliteit van:

- de maatregelen die deel uitmaken van het oorspronkelijke ontwerp van de kernenergiecentrale;
- de (ten opzichte van het oorspronkelijke ontwerp) additionele maatregelen die deel uitmaken van wijzigingen die aangebracht zijn door middel van grote wijzigingsprojecten;
- de maatregelen met betrekking tot de exploitatie en kleine wijzigingen.

17.1-1

KOPIE

17.1.2 Kwaliteitsborging

De NVR-1.3 geeft de volgende definitie van het begrip kwaliteitsborging:

"Het geheel van alle geplande en systematische acties nodig om in voldoende mate het vertrouwen te geven dat een zaak of dienst voldoet aan de gestelde kwaliteitseisen"

De gevolgtrekking uit deze definitie is, dat de mate van vertrouwen in de actuele veiligheid van de kernenergiecentrale Borssele mede gebaseerd is op de genomen "geplande en systematische acties" rondom de in paragraaf 17.1.1 genoemde maatregelen.

Gezien de verschillen in aard en tijd van de genoemde maatregelen en de daaraan verbonden consequenties voor de te hanteren methodiek van kwaliteitsborging, worden deze acties in dit hoofdstuk apart behandeld.

Er kan van de NVR-1.3 met bijbehorende ondersteunende richtlijnen worden afgeweken, mits aangetoond wordt dat het veiligheidsniveau tenminste gehandhaafd blijft.

17.1.3 Kwaliteitsplan

De NEN-ISO 9000 serie geeft de volgende definitie van het begrip kwaliteitsplan:

"Een document waarin de specifieke maatregelen, voorzieningen en volgorde van activiteiten met betrekking tot de kwaliteit, van toepassing op een bepaald(e) product, dienst, contract of project, zijn vermeld.

Hieruit volgt dat de kwaliteitsborging voor een (groot) wijzigingsproject wordt vastgelegd in een projectspecifiek kwaliteitsplan (zie paragraaf 17.3).

17.1-2

KOPIE

17.2 Kwaliteitsborging bij de bouw

17.2.1 Algemeen

In de periode voorafgaand aan de inbedrijfname van de kernenergiecentrale Borssele (KCB) in 1973 waren de gehanteerde methoden om in voldoende mate het vertrouwen te krijgen dat aan de gestelde eisen werd voldaan, afwijkend van de methoden die heden ten dage worden gehanteerd.

In de tijd van de bouw was er nog nauwelijks sprake van normen op het gebied van kwaliteitsborging. Het vertrouwen dat een product of dienst aan de gestelde eisen voldeed werd verkregen door:

- gebruikmaking van deskundige en ervaren leveranciers;
- inspecties en keuringen achteraf;
- toezicht door bevoegde overheden.

Hierbij werd weliswaar goed gewerkt maar was nog nauwelijks sprake van systematische aantoonbare beheersing van het voortbrengingsproces. Bovengeschetste gang van zaken kenmerkte ook de "kwaliteitsborging" bij het ontwerp en de bouw van de kernenergiecentrale Borssele. De bestaande kernenergiecentrales, waaronder de KCB, voldoen niet aan alle eisen van een modern kwaliteitsborgingssysteem. In de afgelopen jaren heeft men echter zoveel mogelijk geprobeerd de kwaliteitsgegevens van de KCB te reconstrueren. Doordat de resultaten van de benodigde inspecties en keuringen in rapporten en verslagen zijn vastgelegd is aantoonbaar dat aan de toenmalige gestelde eisen is voldaan.

17.2.2 Ontwerp van de centrale

De genomen maatregelen om het vertrouwen te hebben dat aan de gestelde eisen werd voldaan, waren:

- keuze van een leverancier met een goede reputatie op dit vakgebied;
- keuze van een goedgekeurd ontwerp. Het ontwerp van de centrale voldeed aan de Duitse regelgeving en normen en was goedgekeurd door onafhankelijke instanties;
- keuze van een bewezen ontwerp. Het ontwerp had zich al in de praktijk bewezen omdat er al meerdere centrales van hetzelfde type in bedrijf waren;
- gebruikmaking bij het ontwerp van door onafhankelijke instanties goedgekeurde specificaties;
- de omvang van de keuringen van componenten deel uit laten maken van de opgestelde specificaties;
- gebruikmaking van componenten van een goedgekeurd type.

17.2-1

KOPIE

17.2.3 Fabricage van de componenten

De genomen maatregelen om het vertrouwen te hebben dat bij de fabricage aan de gestelde eisen werd voldaan, waren:

- keuringen op basis van normen en specificaties;
- toezicht door onafhankelijke instanties op de keuringen;
- het vastleggen van de resultaten van keuringen in certificaten en rapporten die deel uitmaakten van de oplevering;
- controle van de certificaten/rapporten door de exploitant.

17.2.4 Bouw/montage en inbedrijfname

De genomen maatregelen om het vertrouwen te hebben dat bij de bouw/montage en inbedrijfname aan de gestelde eisen werd voldaan, waren:

- toezicht door onafhankelijke instanties;
toezicht door de exploitant;
- goedkeuring door de toezichthoudende overheid van het inbedrijfnameprogramma en de daaruit voortvloeiende resultaten
- functionele beproevingen bij inbedrijfname.

17.2.5 Bedrijfservaring

In de afgelopen 20 jaar is bewezen dat, mede ten gevolge van de genomen maatregelen, de kwaliteit van het ontwerp en de bouw zodanig was dat het veilig en bedrijfszeker functioneren van de installatie daardoor verzekerd is.

17.2-2

KOPIE

17.3 Kwaliteitsborging bij grote wijzigingsprojecten
(figuur 17.3/1)

17.3.1 Algemeen

Aan de basis van de kwaliteitsborging bij grote wijzigingsprojecten ligt een projectspecifiek kwaliteitsplan EPZ. Hierin worden de activiteiten die in het kader van het wijzigingsproject moeten plaatsvinden onderscheiden en wordt de kwaliteitsborging met betrekking tot deze activiteiten vastgelegd.

In het projectspecifieke kwaliteitsplan EPZ wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van procedures en instructies uit het Kwaliteitsborgingssysteem van de Locatie Zeeland casu quo de KCB (LZ/KCB). Zowel het projectspecifieke kwaliteitsplan EPZ als het Kwaliteitsborgingssysteem LZ/KCB voldoen aan de Nucleaire Veiligheidsregel NVR-1.3 en de Nucleaire Veiligheidsrichtlijnen NVR-2.3.1 tot en met 2.3.8, 2.3.10 en 2.3.11.

Het projectspecifieke kwaliteitsplan EPZ dient mede als basis voor het projectspecifieke kwaliteitsplan van de leverancier waarin de kwaliteitsborging van de door de leverancier in het kader van het wijzigingsproject te verrichten activiteiten is vastgelegd.

Indien mogelijk wordt in dit projectspecifieke kwaliteitsplan van de leverancier gebruik gemaakt van het Kwaliteitsborgingssysteem van de leverancier en de procedures en instructies die daar deel van uitmaken. Het laatstgenoemde kwaliteitsborgingssysteem dient te voldoen aan de van belang zijnde delen van de NVR-1.3. Afwijkingen dienen onderbouwd en geaccepteerd te zijn.

De relaties tussen de codes, kwaliteitsplannen en -borgingssystemen zijn weergegeven in figuur 17.3/1.

Het projectspecifieke kwaliteitsplan EPZ is het hoofddocument. Indien nodig wordt dit aangevuld met de projectspecifieke kwaliteitsplannen van de leveranciers. Hieruit worden alle andere project-kwaliteitsdocumenten afgeleid, ongeacht binnen welke organisatie ze tot stand komen casu quo worden gehanteerd.

17.3-1

KOPIE

17.3.2 Te onderscheiden activiteiten

Binnen grote wijzigingsprojecten worden de volgende activiteiten onderscheiden die de basis vormen voor het projectspecifieke kwaliteitsplan EPZ:

- Management en organisatie;
- Opbouw en beheersing van de kwaliteitsborging;
- Beheer van vergunningen;
- Documentbeheersing;
- Ontwerpbeheersing;
- Voortgangsbewaking/planning;
- Budgetbewaking;
- Inkoop;
- Beheersing van materialen;
- Keuring en beproeving;
- Beoordelen en afhandelen van afwijkingen;
- Beheersing van moeilijk verifieerbare processen;
- Vervaardiging/uitvoering;
- Montage;
- Inbedrijfname;
- Overname/overdracht;
- Opleiding/training personeel;
- Raakvlakken met de exploitatie.

De aan elk van bovengenoemde activiteiten te stellen kwaliteitseisen overeenkomstig NVR-1.3 zijn in hoofdlijnen vastgelegd in het projectspecifieke kwaliteitsplan.

Een nadere uitwerking hiervan vindt plaats in afzonderlijke documenten zoals blijkt uit de volgende subparagraaf.

17.3.3 Documentatie verbonden met kwaliteitsborging

17.3.3.1 Projectspecifiek kwaliteitsplan EPZ

In het projectspecifieke kwaliteitsplan EPZ wordt de te volgen werkwijze bij de diverse activiteiten in grote lijnen aangegeven. Daarbij wordt tevens vermeld hoe invulling is gegeven aan de relevante kwaliteitsborgingsaspecten uit de NVR-1.3.

Daarnaast beschrijft het projectspecifieke kwaliteitsplan EPZ summier de diverse fasen binnen het project:

- inventarisatie;
- vaststelling functioneel ontwerp;
- engineering (analyse, basisontwerp, bestelling, fabricage);
- implementatie (montage, inbedrijfstelling, overname/overdracht).

Tevens wordt in het projectspecifieke kwaliteitsplan EPZ een summier beschrijving gegeven van de organisatorische verbanden tussen de betrokken organisaties en de rol die een ieder daarin vervult.

Een meer gedetailleerde beschrijving van de te volgen werkwijze bij de diverse activiteiten en de organisatorische verbanden tussen de betrokken organisaties is vastgelegd in projectinstructies.

In het projectspecifieke kwaliteitsplan EPZ worden in elk geval de volgende taken en verantwoordelijkheden vastgelegd:

- de eindverantwoordelijkheid voor het realiseren van het pakket wijzigingen;
- verantwoordelijkheid voor de coördinatie tussen leveranciers, vergunningverlenende instanties en de organisatie van de Locatie Zeeland bij de engineering en de implementatie van de technische maatregelen;
- de verantwoordelijkheid voor de toetsing of het pakket wijzigingen nauwkeurig aansluit bij de huidige installatie en bij de wijze van exploitatie;
- de verantwoordelijkheid voor de overname van de gewijzigde installatie;
- de verantwoordelijkheid voor de beoordeling en de goedkeuring van het kwaliteitsborgingssysteem van de leverancier(s);
- de verantwoordelijkheid voor het door middel van audits vaststellen dat de leverancier zich aan het kwaliteitsborgingssysteem en aan de leverings- en contractvoorwaarden houdt.

Regelmatig wordt onder andere door audits geverifieerd of de projectorganisatie overeenkomstig dit kwaliteitsplan werkt.

17.3.3.2 Projectspecifiek kwaliteitsplan van de leverancier

Het projectspecifieke kwaliteitsplan van de leverancier vormt een onderdeel van de overkoepelende documentatie. In het betreffende plan wordt aangegeven hoe de leverancier bij het wijzigingsproject invulling geeft aan de eisen van de NVR-1.3. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de elementen van het aanwezige Kwaliteitsborgingssysteem van de leverancier.

Het projectspecifieke kwaliteitsplan is door de opdrachtgever goedgekeurd. Regelmatig wordt door audits geverifieerd of de leveranciers overeenkomstig dit kwaliteitsplan werken.

17.3-3

KOPIE

17.3.3.3 Projectinstructies

De projectorganisatie en de te volgen werkwijze en procedures zijn vastgelegd in projectinstructies.

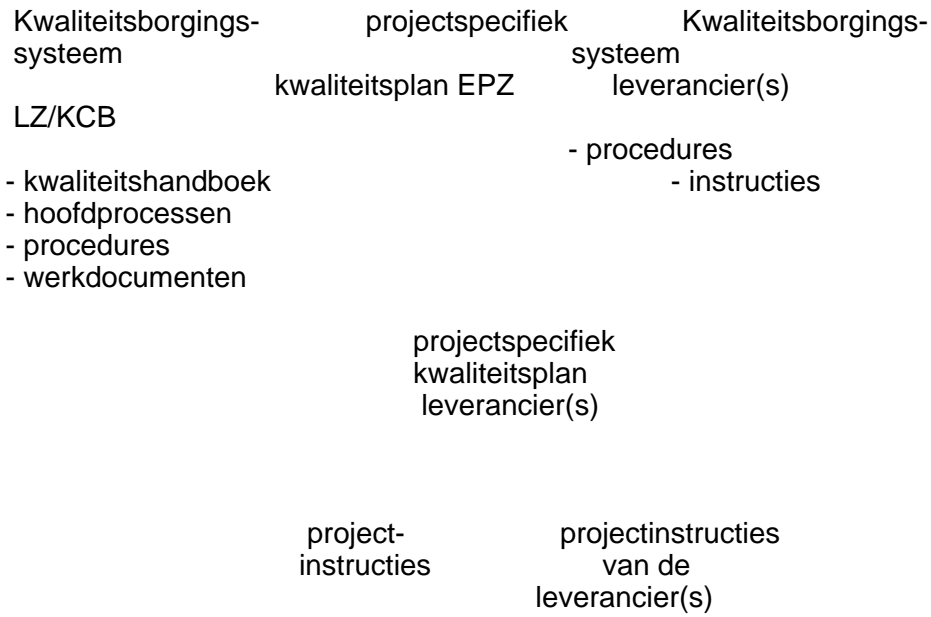
De auteur van een projectinstructie is verantwoordelijk voor de technische inhoud ervan. Deze wordt gecontroleerd door een ter zake kundige medewerker. De afdeling Kwaliteitszorg controleert of de projectinstructie conform de regels tot stand is gekomen en geeft door een paraaf aan dat zij de projectinstructie gecontroleerd heeft op kwaliteitspunten, redactie, vormgeving, consistentie en niet-strijdigheid met overige instructies. De projectinstructies worden vervolgens geautoriseerd en van kracht verklaard door de projectleider van EPZ en/of de leverancier.

Regelmatig wordt onder andere door audits geverifieerd of overeenkomstig deze projectinstructies wordt gewerkt.

17.3-4

KOPIE

NVR-1.3



relaties tussen codes, kwaliteitsplannen en -borgingssystemen

procedures en instructies die van kracht zijn binnen beide betreffende kwaliteitsplannen respectievelijk -borgingssystemen

Figuur Relaties tussen codes, kwaliteitsplannen en

17.4 Kwaliteitsborging bij de exploitatie (inclusief kleine wijzigingen)

17.4.1 Algemeen

Aan de kwaliteitsborging bij de exploitatie van de kernenergiecentrale Borssele ligt de volgende basisstructuur ten grondslag:

- bundelen van de activiteiten/werkzaamheden gerelateerd aan de exploitatie in op zichzelf staande bedrijfsfuncties, waarvan de omvang nauwkeurig is gedefinieerd en die elk eigen doelstellingen hebben;
- per bedrijfsfunctie vaststellen en vastleggen van de geplande en systematische acties die nodig zijn om in voldoende mate het vertrouwen te geven dat realisatie van de doelstellingen van de bedrijfsfunctie op een beheerste en veilige wijze plaatsvindt;
- het tijdens de exploitatie daadwerkelijk uitvoeren van de per bedrijfsfunctie vastgestelde en vastgelegde geplande en systematische acties;
- het actief nastreven van een kwaliteitscultuur als onderdeel van de integrale veiligheidscultuur.

Mede gebaseerd op Nucleaire VeiligheidsRichtlijn NVR-2.2.9: "Management of Nuclear Power Plants for Safe Operations", zijn voor de exploitatie van de kernenergiecentrale de volgende bedrijfsfuncties vastgesteld:

- management en organisatie;
- procesvoering;
- onderhoud;
- (radio)chemische bedrijfsvoering;
- splijtstofbeheer;
- inkoop/logistiek;
- personeel/opleidingen;
- radioactief afvalbehandeling
- stralingsbescherming;
- alarmplan;
- beveiliging;
- ARBO-zorg;
- milieuzorg;
- kwaliteitsborging (auditing).

17.4-1

KOPIE

17.4.2 Documentatie verbonden met kwaliteitsborging

De documentatie in het kader van de kwaliteitsborging bij de exploitatie van de kernenergiecentrale Borssele bestaat uit:

- Kwaliteitshandboek;
- Hoofdprocessen;
- Procedures;
- Werkdocumenten.

17.4.2.1 Kwaliteitshandboek

Het kwaliteitshandboek voor de kernenergiecentrale Borssele vormt het fundament van de kwaliteitsborging bij de exploitatie van de centrale door de N.V. Elektriciteits Produktiemaatschappij Zuid-Nederland (N.V. EPZ).

Het kwaliteitshandboek bevat:

- verklaring van de directie;
- kwaliteitsborgingssysteem;
- organisatie;
- documentenbeheersing;
- normverantwoording;
- opbouw voorschriftensysteem EPZ Locatie Zeeland.

Het behoort tot de taak van de Hoofdafdeling Kwaliteitszorg van de EPZ-Locatie Zeeland het kwaliteitshandboek op te stellen, te onderhouden en aan te passen aan nationale en internationale ontwikkelingen op het gebied van kwaliteitsborging.

De directie van de N.V. EPZ autoriseert het kwaliteitshandboek waarmee het van kracht verklaard is.

17.4.2.2 Hoofdprocessen

Een hoofdproces is uitsluitend gericht op een veilige en beheerste realisatie van de doelstellingen van de betreffende bedrijfsfunctie.

Het behoort tot de taak van de Hoofdafdeling Kwaliteitszorg van de EPZ-Locatie Zeeland voor elke vastgestelde bedrijfsfunctie een hoofdproces op te stellen en te onderhouden alsmede de hoofdprocessen met de organisatie van de Locatie Zeeland af te stemmen.

17.4-2

KOPIE

In een hoofdproces wordt beschreven:

- de voor een bedrijfsfunctie vastgestelde doelstellingen;
- de vastgestelde omvang van de bedrijfsfunctie, waardoor de grenzen van de betreffende bedrijfsfunctie vastliggen en de raakvlakken met andere bedrijfsfuncties zichtbaar worden;
- de structuur van de bedrijfsfunctie. Hierbij worden de te hanteren procedures benoemd en toegelicht;
- de min of meer op zichzelf staande deelprocessen, die binnen de uitvoering worden onderkend.

De geplande systematische acties zijn het voorhanden hebben en toepassen van:

- uitvoeringsprocedures;
- opstelprocedures;
- werkdocumenten.

De uitgangspunten voor de keuze van het wel of niet toepassen van een procedure of werkdocument, respectievelijk voor het vaststellen van de aard en omvang ervan, liggen vast in het kwaliteitshandboek.

Voor elke procedure of werkdocument wordt een functionaris belast met de verantwoordelijkheid voor het laten opstellen, onderhouden en autoriseren ervan.

De directie van de N.V. EPZ autoriseert de hoofdprocessen, waarmee zij van kracht zijn verklaard.

17.4-3

KOPIE

17.4.2.3 Procedures

Uitvoeringsprocedures

Een uitvoeringsprocedure is een document door middel waarvan één op zichzelf staand deelproces binnen de daadwerkelijke uitvoering, organisatorisch wordt beheerst.

Opstelprocedures

Een opstelprocedure is een document door middel waarvan de totstandkoming van soorten werkdocumenten, inclusief het bijbehorende documentenbeheer, organisatorisch wordt beheerst.

Het is de verantwoordelijkheid van de daarvoor in het hoofdproces aangewezen functionarissen dat de opstel- en uitvoeringsprocedures worden opgesteld en onderhouden. Daarbij wordt ervoor gezorgd dat, afhankelijk van de aard van het onderwerp, de daarvoor in aanmerking komende aspecten uit de meer technisch geïntereerde NVR-1.1 (Safety Code for nuclear power plant design) en NVR-1.2 (Safety Code for nuclear power plant operation), inclusief de daaraan verbonden Nucleaire VeiligheidsRichtlijnen, op een zodanig wijze in de opstel- en uitvoeringsprocedure worden verwerkt dat daarmee aan deze regelgeving wordt voldaan. Bovendien wordt, indien relevant, in de opstel- en uitvoeringsprocedures aangegeven, welke technische voorschriften/regels/normen/standaards het uitgangspunt vormen voor de betreffende werkdocumenten. Hierdoor wordt een koppeling gelegd tussen een abstract organisatorisch regelwerk (NVR-1.3) en een concreet technisch regelwerk.

Het behoort tot de taak van de Hoofdafdeling Kwaliteitszorg van de Locatie Zeeland de opstel- en uitvoeringsprocedures te controleren op:

- de relevante kwaliteitsborgingsaspecten uit de NVR-1.3;
- consistentie met het kwaliteitsborgingssysteem.

De procedure-verantwoordelijke autoriseert de opstel- en uitvoeringsprocedures, waarmee deze van kracht verklaard zijn.

17.4-4

KOPIE

17.4.2.4 Werkdocumenten

"Werkdocumenten" is de verzamelnaam voor alle documenten die concrete gedetailleerde informatie bevatten met betrekking tot de exploitatie van de kernenergiecentrale Borssele.

Voorbeelden van werkdocumenten zijn:

beproevingeninstructies, storingsrapporten, vrijschakelchecklijsten, proces- en instrumentatieschema's, kalibratielogkaarten, noodbedieningsinstructies, werkschrijvingen, systeembeschrijvingen, functieschema's, analysemeetstaten, bouwkundige tekeningen, wijzigingsplannen, auditrapporten etc.

In een werkdocument wordt met betrekking tot de bij een deelproces behorende werkzaamheden/activiteiten gedetailleerde instructie gegeven over:

- wat dient te worden uitgevoerd;
- welke eisen dienen te worden gehanteerd;
- wanneer dienen te worden uitgevoerd;
- hoe dienen te worden uitgevoerd;
- welke informatie dient te worden geregistreerd;
- waar de tijdens de uitvoering van de werkzaamheden/activiteiten verkregen informatie dient te worden geregistreerd en de resultaten daarvan dienen te worden vastgelegd/gerapporteerd.

Voor elk soort werkdocument is in de bovenliggende opstelprocedure bepaald wie de opsteller is en wie controle en autorisatie uitvoert. Er wordt apart gecontroleerd op inhoud en uitvoerbaarheid.

Door middel van:

- het verzorgen van adequate werkdocumenten;
- het beschikken over adequate werkdocumenten;
- het werken overeenkomstig adequate werkdocumenten.

in combinatie met de daaraan verbonden organisatorische beheersing via opstellen en uitvoeringsprocedures, wordt in voldoende mate het vertrouwen verkregen dat de exploitatie van de kernenergiecentrale Borssele aan de gestelde eisen voldoet.

17.4.3 Algemeen Voorschriften Systeem

Om op efficiënte wijze de voorschriften te beheren en om de voorschriften voor de functionarissen van de Locatie Zeeland eenvoudig toegankelijk te maken, kent de Locatie Zeeland een Algemeen Voorschriften Systeem (AVS).

In het AVS zijn alle geldende interne voorschriften voor de N.V. EPZ Locatie Zeeland opgenomen die verband houden met:

- de exploitatie van de centrales die zich op de Locatie Zeeland bevinden;
- het werkzaam zijn op de EPZ-Locatie Zeeland.

Het grootste deel van het AVS wordt gevormd door de documentatie behorend bij de kwaliteitsborging van de exploitatie van de kernenergiecentrale Borssele. Het Kwaliteitshandboek, de Hoofdprocessen, de Procedures, alsmede de Werkdocumenten die als een voorschrift kunnen worden beschouwd, maken namelijk deel uit van het AVS.

Daarnaast maken documenten behorende bij de kwaliteitsborging van de exploitatie van de conventionele centrale, alsmede interne voorschriften van de Locatie Zeeland op het gebied van efficiency, huishoudelijke zaken, financiën en dergelijke, deel uit van het AVS.

17.4-6

KOPIE

18	MENS-MACHINE-RELATIE	18.1-1
18.1	Uitgangspunten voor het ontwerp	18.1-1
18.2	Organisatorische voorzieningen	18.2-1
18.3	Procedurele voorzieningen	18.3-1
18.4	Technische voorzieningen	18.4-1
18.4.1	Regelzaal	18.4-1
18.4.2	Reserve-regelzaal	18.4-2I
18.4.3	Lokale bedieningspanelen	18.4-3

KOPIE

18 MENS-MACHINE-RELATIE

In dit hoofdstuk wordt de mens-machine-relatie behandeld. De eerste paragraaf gaat in op de uitgangspunten die ten aanzien hiervan bij het ontwerp zijn toegepast. Paragraaf 2 en 3 behandelen de organisatorische en procedurele voorzieningen. De technische voorzieningen ten aanzien van de mens-machine-relatie namelijk de regelzaal, de reserve-regelzaal en de lokale bedieningspanelen worden besproken in paragraaf 4.

18.1 Uitgangspunten voor het ontwerp

Ten aanzien van de uitgangspunten voor het ontwerp worden de ergonomische uitgangspunten, de meet- en regeltechnische uitgangspunten en de betreffende uitgangspunten ten aanzien van de beveiliging tegen externe invloeden behandeld.

Ergonomische uitgangspunten

Het ergonomisch ontwerp is erop gericht om fouten die door het personeel van de centrale bij het opnemen van informatie en bij het uitvoeren van handelingen gemaakt zouden kunnen worden, tot een minimum te beperken. Hierdoor wordt een veiligheidstechnisch optimale handswijze van het personeel ondersteund.

Bij het uitvoeren van wijzigingsprojecten of (onderhouds)werkzaamheden wordt rekening gehouden met ergonomische aspecten en wordt voorkomen dat bestaande ergonomische principes worden verstoord.

Bij de regelzaal is met name aan de volgende aspecten aandacht geschonken:

- een op de functies gebaseerde indeling;
- een overzichtelijke rangschikking;
- taak- en probleemgerichte presentatie en bewerking van informatie;
- inrichting van de werkplek.

Bovengenoemde principes zijn in de regelzaal in hun volle omvang toegepast. In de reserve-regelzaal is daarbij rekening gehouden met het speciale takenpakket en de geringere gebruiksfrequentie. Bij de lokale bedieningspanelen zijn genoemde principes toegepast afhankelijk van het speciale takenpakket en de functionaliteit.

Ten aanzien van werkzaamheden en lokale bedieningshandelingen is rekening gehouden met de specifieke taken voor wat betreft de toegankelijkheid, de optimale taakuitoefening en de werkomstandigheden. Lokale taakuitoefening in voor de mens zeer zwaar belastende omstandigheden wordt zoveel mogelijk vermeden en door middel van afstandsbediening gerealiseerd. Indien de omstandigheden ontoelaatbaar zijn worden de betreffende werkzaamheden te allen tijde door middel van afstandsbediening uitgevoerd.

Door de toepassing van principes voor standaardisatie ten aanzien van informatiepresentatie, bediening en uitvoering van componenten en constructies, en voor geoptimaliseerde en onderhoudsvriendelijke uitvoeringen worden taken vereenvoudigd en wordt het optreden van fouten geminimaliseerd. Doordat systemen en componenten in de installatie duidelijk herkenbaar zijn omdat zij zijn voorzien van codes wordt het optreden van fouten eveneens beperkt.

Meet- en regeltechnische uitgangspunten

Het bedrijf wordt vanuit de regelzaal beheerst, gecontroleerd en bestuurd. Van hieruit wordt het technisch verloop van het proces bewaakt en geregeld en wordt de communicatie tussen het personeel in de centrale en de buitenwereld tot stand gebracht.

Als de regelzaal niet beschikbaar is, kan de installatie vanaf de reserve-regelzaal in een veilige toestand gebracht en gehouden worden.

Behalve de regelzaal en de reserve-regelzaal zijn er nog lokale bedienings- en regelpanelen voor taken die ter plaatse uitgevoerd moeten worden. Het ontwerp van de regelzaal, de reserve-regelzaal en de lokale bedieningspanelen gaat ervan uit dat er omvangrijke automatische meet- en regelapparatuur aanwezig is, die voldoet aan de eisen die gesteld worden met betrekking tot de veiligheid en de beschikbaarheid van de installatie. Hierdoor wordt het personeel in belangrijke mate ontlast van routine-activiteiten wanneer de centrale conform de voorschriften werkt. Dit heeft tot gevolg dat het personeel zich voor een groot deel kan wijden aan voor de veiligheid van belang zijnde zaken.

Voor het beheersen van ongevallen zijn de beveiligingsmeet- en regelsystemen zo ontworpen, dat zij voldoen aan de eisen die voortvloeien uit het zogenaamde 30-minuten criterium voor het automatisch in werking stellen van de veiligheidsmaatregelen. Dit criterium houdt in dat ingrijpen ten behoeve van de veiligheid door het personeel van de regelzaal op zijn vroegst pas na 30 minuten nodig is (met uitzondering van zeer eenvoudige/eenduidige acties). Hierdoor is verzekerd dat het personeel geen overhaaste beslissingen hoeft te nemen maar voldoende tijd heeft om de benodigde acties te overdenken. Daar waar noodzakelijk is het onder bepaalde voorwaarden mogelijk voortijdig in te grijpen, om bijvoorbeeld de belasting van componenten tijdens het verloop van de storing te verminderen.

In het geval van invloeden van buitenaf wordt de reactor automatisch afgeschakeld en voor een periode van 10 uur in een "warm onderkritische" toestand gebracht. Pas na afloop van deze periode is het noodzakelijk dat het personeel ingrijpt, zodat ruimschoots de tijd aanwezig is om de juiste maatregelen te treffen. Het is echter ook mogelijk om eerder in te grijpen.

De elektrische energievoorziening van de regelzaal en de reserve-regelzaal geschiedt over twee voedingsstrangen, zodat ook als één voedingsstrang uitvalt, het aansturen van de systemen niet in gevaar komt.

In het ontwerp is er in voorzien dat foutsignalen die eventueel ontstaan zijn door storingen ten gevolge van invloeden van buitenaf, de goede werking van de veiligheidssystemen in het reserveregelzaalgebouw niet nadelig kunnen beïnvloeden.

Beveiliging tegen ongevallen en invloeden van buitenaf

De regelzaal, de reserve-regelzaal en de voor de veiligheid belangrijke lokale bedieningspanelen zijn in gebouwen ondergebracht die geen systemen bevatten waarbij ten gevolge van een storing radioactiviteit of stoom vrij kan komen.

Hierdoor is verzekerd dat bij interne storingen en ongevallen het verblijf in, of de toegankelijkheid van de relevante bedieningspanelen niet ongunstig beïnvloed wordt.

De regelzaal en de reserve-regelzaal zijn in verschillende ruimten ondergebracht en ze zijn elektronisch ontkoppeld.

De reserve-regelzaal bevindt zich in het tegen invloeden van buitenaf beschermde reserveregelzaalgebouw (35). Vanuit de reserve-regelzaal kan, als de regelzaal dreigt uit te vallen, de installatie op een veilige manier uit bedrijf genomen en gehouden worden.

18.1-3

KOPIE

18.2 Organisatorische voorzieningen

Algemeen

Door middel van kwaliteitsborging wordt voor de taakuitoefening van het personeel eenduidigheid en procedurele helderheid gerealiseerd, zodat verantwoordelijkheden en bevoegdheden te allen tijde duidelijk zijn (zie hoofdstuk 17). Dit wordt ondersteund door coördinatie van taken.

De voorschriften om op veilige en economische wijze energie te produceren met de kernenergiecentrale zijn gedocumenteerd in taakbeschrijvingen, procedures, instructies en dergelijke. Volgens deze voorschriften wijzigen de taken en prioriteiten van het personeel afhankelijk van de veiligheidstechnische status van de installatie.

Om de veiligheid en de bedrijfszekerheid van de kernenergiecentrale te vergroten worden eventueel optredende storingen geëvalueerd en worden op basis daarvan maatregelen ter verbetering uitgevoerd. Hierdoor is een terugkoppeling gerealiseerd met betrekking tot het oplossen van storingen.

Gedurende het normale bedrijf en specifiek tijdens de splijtstofwisselperioden worden de verschillende werkzaamheden in de centrale (onder andere onderhoud) zodanig georganiseerd en gecoördineerd dat zij elkaar en de veiligheid van de centrale niet negatief beïnvloeden. Dit wordt ondersteund door een goede communicatie. De werkzaamheden worden centraal gecoördineerd en werkzaamheden aan voor de veiligheid van belang zijnde installaties worden gemeld aan het wachtpersoneel. Verder wordt door de planning van werkzaamheden, de specificatie van taken en een goede werkvoorbereiding een optimale werkuitvoering gerealiseerd. De bij de werkzaamheden eventueel aangebrachte wijzigingen aan de installatie worden vooraf getoetst aan de ontwerpspecificaties van de installatie.

De onderhoudsdocumentatie wordt centraal en bewaakt beheerd zodat een zekerstelling van "as-built" documentatie wordt gegarandeerd.

Wachtpersoneel

Tijdens normaal bedrijf is de taak van het wachtpersoneel om planmatig elektriciteit te produceren met de Technische Specificaties als randvoorwaarden. Dat wil zeggen, een planmatige productie van elektriciteit onder gelijktijdige zekerstelling van alle uitgangspunten van de ongevalsanalyses. Verdere taak is het technisch beheren van de installatie.

Bij storingen en ongevallen die een potentiële bedreiging opleveren voor de veiligheidsbarrières, en die een beroep doen op de functie van de actieve veiligheidssystemen, is het de taak van het wachtpersoneel om zeker te stellen dat de veiligheidssystemen functioneren en hun doel bereiken. Daarbij heeft het personeel tevens de taak om de consequenties van het ongeval, zo mogelijk, te minimaliseren.

18.2-1

KOPIE

Bij buiten-ontwerpongevallen heeft het wachtpersoneel de taak de situatie te onderkennen en alle beschikbare technische middelen optimaal aan te wenden om een eventuele dreiging van lozing van radioactieve stoffen ook in deze hoogst onwaarschijnlijke situaties af te wenden.

Opleiding en training

Voor het veilig bedienen van de kernenergiecentrale dient het personeel voldoende deskundigheid te bezitten. Om dit te bereiken is een opleidingsplan aanwezig (zie paragraaf 13.1.2). Een belangrijk onderdeel van de opleiding van het wachtpersoneel vormt de simulatortraining. Hierbij wordt het personeel in een nagebootste regelzaal met behulp van een computermodel geconfronteerd met mogelijke storingen en ongevallen. Aldus wordt getraind op het juist handelen wanneer een dergelijke situatie in werkelijkheid zou optreden. Daarbij wordt het toepassen van de in paragraaf 18.3 besproken procedures en instructies in ruime mate getraind.

18.2-2

KOPIE

18.3 Procedurele voorzieningen

Het wachtpersoneel dient te allen tijde het proces binnen de installatie van de kernenergiecentrale te beheersen. Een in de vorm van geschreven procedures uitgewerkt systeem van bedieningsstrategieën en bedieningstactieken dient daarbij als leidraad. Deze procedures geven structuur aan de taak van het wachtpersoneel om zich een oordeel te vormen over de procestoestand, om veiligheidstechnische afwegingen te maken en de juiste prioriteiten voor bediening te stellen.

Statusbewaking

De taken en geldende procedures wijzigen afhankelijk van de status van de installatie. Een belangrijke taak van het wachtpersoneel is daarom voortdurend te evalueren of de status van de installatie verandert, en op basis daarvan te beslissen welke procedures van toepassing zijn.

Tijdens normaal bedrijf dienen voor de statusbewaking gevaarmeldingen, statuscontroles en surveillances. Aan de hand van de Technische Specificaties en aan de hand van de specifieke storingsinstructies dient het wachtpersoneel te beslissen of een veiligheidstechnisch aangepaste bedrijfsvoering vereist is. Een storsituatie wordt onderkend doordat procesparameters de toegelaten marges overschrijden.

Zodra op basis van reactorbeveiligingssignalen vastgesteld is dat dit systeem ten gevolge van een storing heeft ingegrepen, wordt de evaluatie van de veiligheidsfuncties uitgevoerd. Daardoor is verzekerd dat een eventuele aantasting van de veiligheidsfuncties tijdig wordt vastgesteld en dat herstelmaatregelen worden genomen in het geval de "normale" noodprocedures hun doel niet zouden bereiken.

Procedures voor normaal bedrijf

Bij normaal bedrijf worden de bedieningen door procedures geleid en met instructies uit de bedrijfsvoorschriften ondersteund. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in bedieningen op systeemniveau en op het niveau van de gehele installatie. De bedieningen op systeemniveau worden ondermeer ondersteund door checklijsten, bedieningsinstructies en statuslijsten. De bedieningen op installatieniveau worden ondermeer ondersteund door veiligheidstechnische handelingen, beproevingsinstructies en statuscontroles.

Procedures voor storsituaties

De procedure voor storingen geeft aanwijzingen voor de bediening bij systeemafwijkingen. Aansturing volgt gewoonlijk uit gevaarmeldingen op de panelen. Het doel van deze procedure is de toestand van de installatie te stabiliseren opdat de storing niet verergert en om vervolgens op een systematische manier een besluit te nemen over vervolgacties (bijvoorbeeld herstel normaal bedrijf of uitbedrijfname voor reparatie).

Noodprocedures

De noodprocedures zijn ontwikkeld als leidraad voor bedieningshandelingen in geval van thermohydraulische bedreigingen van de reactor kern. De ongevallen die in deze categorie vallen zijn de zogenaamde ontwerp ongevallen. Omdat niet bij voorbaat bekend is welk ongeval plaats heeft gevonden, voorziet het pakket door middel van alternatieve acties, symptoom-gebaseerde beslissingen, en overgangen naar andere sub-procedures binnen het pakket, in passende acties voor een groot scala aan mogelijke ongevallen.

De reactor beveiligingssignalen zijn ontworpen op basis van de veiligheidsanalyses. Met de noodprocedures kan flexibel gereageerd worden op ongevallen die niet precies gelijk zijn aan de ongevallen die aan het ontwerp ten grondslag hebben gelegen. De procedures bereiken daarbij dat het ongeval in ieder geval niet slechter afloopt dan volgens de veiligheidsanalyse, maar zo mogelijk beter door actief ingrijpen.

Functie Herstel Procedures

In geval van (buiten-)ontwerp ongevallen kan verlies van veiligheidsfuncties optreden. Er kan daarbij dus sprake zijn van (dreigend) functieverlies van de passieve veiligheidsbarrières.

In het bedieningsconcept ligt besloten dat operators ook in staat moeten zijn om niet-voorzien ongevallssituaties te beheersen of de eventuele gevolgen te beperken, als de veiligheidsfuncties worden bedreigd. Daartoe vormen de "Functie Herstel Procedures" een apart pakket van bedieningsvoorschriften.

In afwijking op de noodprocedures worden bij de Functie Herstel Procedures met de hoogste prioriteit alle herstelmogelijkheden van de installatie aangewend om het ongeval te beheersen of de eventuele gevolgen van het ongeval te beperken.

Bij het verlaten van de Functie Herstel Procedures dient een andere procedure (bijvoorbeeld noodprocedure) gevolgd te worden om de stabiele toestand voor de lange termijn zeker te stellen.

18.3-2

KOPIE

18.4 Technische voorzieningen

18.4.1 Regelzaal

Taken

De regelzaal is uitgerust met de benodigde voorzieningen om met de installatie veilig bedrijf te voeren. Verder kan de installatie vanuit de regelzaal in een veilige toestand gebracht en gehouden worden in geval van storingen en ontwerpongevallen.

De regelzaal en de bijbehorende aangrenzende vertrekken zijn in het schakelgebouw (05) ondergebracht en kunnen alleen via een bewaakte ingang betreden worden.

De regelzaal dient voor de centrale bediening van de installatie. Afhankelijk van de bedrijfstoestand worden door het personeel in de regelzaal de volgende taken uitgevoerd:

- het observeren van representatieve procesvariabelen;
- het bewaken van het procesverloop;
- het reageren op afwijkingen ten opzichte van het gewenste procesverloop.

Daartoe heeft het personeel van de regelzaal de beschikking over bedienings- en informatiesystemen voor de regeling en bewaking van de installatie. Indien nodig kan van hieruit de invoer van de gewenste waarden, de handmatige bediening en de bewaking van de nucleaire systemen, de stoom/waterkringloop, de turbine, de generator en de eigenbedrijfstromvoorziening plaats vinden.

Technische uitvoering

De inrichting van de regelzaal wordt bepaald door de functionele verdeling van de belangrijkste bedrijfsvoeringstaken in vier werkgebieden. Deze vier werkgebieden betreffen:

- (operator)taken ten behoeve van het nucleaire deel van het proces;
- (operator)taken ten behoeve van het conventionele deel van het proces;
- taken van de wachtingenieur;
- taken van de plaatsvervangend wachtingenieur.

De werkgebieden ten behoeve van het nucleaire en het conventionele deel van het proces zijn beide onder te verdelen in een hoofdregelgebied en een systeemregelgebied. De werkgebieden ten behoeve van taken van de wachtingenieur en de plaatsvervangend wachtingenieur zijn opgenomen in het ploegleidings- en communicatiegebied.

Vanuit het hoofdregelgebied worden die systemen bediend die een functie hebben bij het opstarten vanuit de stand-by toestand, het vermogensbedrijf en het terugschakelen naar de stand-by toestand. Bovendien wordt van hieruit de installatie als geheel bewaakt. De noodzakelijke informatie- en bedieningsinstallaties zijn in hun geheel ondergebracht in de bedieningslessenaar en de daarbij behorende wandpanelen.

18.4-1

KOPIE

Vanuit het systeemregelgebied worden die systemen bediend waarvan de functie niet rechtstreeks gekoppeld is aan het vermogensbedrijf.

Het ploegleidings- en communicatiegebied dient enerzijds voor het vervullen van de aan de regelzaal gebonden taken van de wachtingenieur (ploegleider) en voor de communicatie van het personeel in de regelzaal met het personeel in de installatie en met externe instanties. Anderzijds dient het ploegleidings- en communicatiegebied voor het vervullen van de taken van de plaatsvervangend wachtingenieur zoals ondersteunende informatievoorziening, onafhankelijke statuscontrole en coördinatie van werkzaamheden in de installatie.

Naast de genoemde gebieden voor bedrijfsvoeringstaken bevindt zich in de regelzaal ook het reactorbeveiligingspaneel. Hierdoor heeft het personeel in de regelzaal te allen tijde een overzicht over de toestand van het reactorbeveiligingssysteem en over de veiligheidssystemen die tijdens storingen en ongevallen actief zijn.

Door waarschuwingssignalen weet het personeel in de regelzaal, welke handmatige ingrepen noodzakelijk zijn. Aan de hand van ongevalsinstrumentatie kan worden vastgesteld, of de ingrepen die bij een ongeval genomen zijn, effectief zijn.

Door middel van het procespresentatiesysteem (zie paragraaf 7.7.1) heeft men de beschikking over aanvullende diagnostische hulpmiddelen voor het volgen van het verloop van het proces tijdens normaal bedrijf en in storingssituaties.

18.4.2 Reserve-regelzaal

Taken

De reserve-regelzaal is uitgerust met de benodigde voorzieningen om de installatie in een veilige toestand te brengen en te houden in het geval dat de regelzaal niet beschikbaar is.

De reserve-regelzaal is ondergebracht in het reserveregelzaalgebouw (35) en bedoeld voor het veilig uit bedrijf nemen van de installatie, wanneer

- de regelzaal niet beschikbaar is;
- het nevenkoelwatersysteem (VF) uitvalt;
- invloeden van buitenaf zich doen gelden.

De reserve-regelzaal is dusdanig uitgerust, dat bij een intacte primaire kringloop van hieruit

- de reactor afgeschakeld, in de koude drukloze toestand gebracht en daarin gehouden en hierbij bewaakt kan worden;
- de vervalwarmte van de in het splijststofopslagbassin opgeslagen, gebruikte splijstfoelementen kan worden afgevoerd.

Technische uitvoering

De uitrusting van de bedieningspanelen in de reserve-regelzaal met bedienings-, informatie- en communicatievoorzieningen komt in principe overeen met die van de regelzaal. De hoeveelheid meet-, regel- en besturingselementen is echter afgestemd op de beperkte taak die vanuit de reserve-regelzaal moet worden uitgevoerd.

Stuur- en bewakingssystemen die tijdens normaal bedrijf in de regelzaal en in voorkomende gevallen in de reserve-regelzaal nodig zijn, zijn ten opzichte van elkaar ontkoppeld, zodat zij geen invloed op elkaar kunnen uitoefenen. Hierdoor breidt een eventuele storing in de regelzaal zich niet uit naar de reserve-regelzaal.

De ont koppeling van de signalen vindt plaats in de tegen invloeden van buitenaf beveiligde zone van het reserveregelzaalgebouw.

Om de bediening vanuit de reserve-regelzaal te kunnen laten plaatsvinden, is een omschakeling van het werkgebied nodig. Deze omschakeling kan na een invloed van buitenaf, of wanneer de regelzaal niet meer beschikbaar is, vanuit de reserve-regelzaal tot stand gebracht worden.

Door middel van het procespresentatiesysteem heeft men de beschikking over aanvullende diagnostische hulpmiddelen voor het volgen van het verloop van het proces.

18.4.3 Lokale bedieningspanelen

Taken

Vanuit de lokale bedieningspanelen worden tijdens normaal bedrijf en, voorzover noodzakelijk, tijdens storingen en ongevallen bepaalde installatiedelen (hulpinstallaties) geregeld en bewaakt. Dit betreft de bedienings- en bewakingsvoorzieningen, die nodig zijn voor een onafhankelijke lokale bedrijfsvoering van installatiedelen (bijvoorbeeld een verdamperinstallatie, de installatie voor de demineralisatie etc).

Technische uitvoering

De bedieningspanelen zijn uitgevoerd als plaatstalen kasten. In een module in het onderste gedeelte aan de voorzijde, bevinden zich de benodigde bedieningselementen. In het bovenste gedeelte aan de voorzijde zijn de weergave- en registreerinrichtingen geïnstalleerd. Informatie uit installatiedelen die centraal voor het beoordelen van de systemen of van de totale installatie nodig is, wordt ontkoppeld naar de regelzaal c.q. de reserve-regelzaal gestuurd.

19 ONTMANTELING

KOPIE

19 ONTMANTELING

Na het verstrijken van de levensduur van de centrale, of in een eerder stadium afhankelijk van de omstandigheden, wordt deze definitief buiten bedrijf gesteld.

Onder het proces van "definitief buiten bedrijf stellen" (hierna aangeduid als "ontmanteling") wordt verstaan:

"Alle acties die ondernomen worden na het definitief uit bedrijf nemen van een nucleaire installatie en die gericht zijn op de bescherming van mens en milieu".

Het primaire doel hierbij is het veilig afvoeren van de splijtstof en het afbreken respectievelijk afvoeren van de reactorsystemen met een zo gering mogelijke stralingsbelasting voor de werkers en de bevolking en een zo gering mogelijke belasting voor het milieu.

Bij de ontmanteling wordt onderscheid gemaakt tussen drie ontmantelingsfasen die afgeleid zijn van gegevens van de IAEA:

- 1 veilige omsluiting
- 2 gedeeltelijke ontmanteling
- 3 eind-ontmanteling.

Veilige omsluiting

In deze fase worden de splijtstofelementen en de radioactieve bedrijfsstoffen (zoals filters, harsen, concentraten en dergelijke) verwijderd op dezelfde wijze als tijdens het normale bedrijf gebruikelijk is.

_____ Hiermee is het overgrote deel (circa 99 %) van de radioactiviteit van de locatie verwijderd.

De resterende gebouwen en installaties bestaan uit een radioactief en een niet-radioactief deel. Het radioactieve deel wordt gevormd door materialen die onder invloed van neutronenbestraling geactiveerd zijn en onderdelen die door radioactieve verontreinigingen besmet zijn. Met een meet- en inspectieprogramma zullen de stralingsniveaus in de centrale vastgelegd en bewaakt worden.

De resterende radioactieve delen worden op de vestigingsplaats veilig ingesloten, bijvoorbeeld door plaatsing binnen de veiligheidsomhulling, waarbij de bewaking gehandhaafd blijft. Het buitenaanzicht van de gebouwen ondergaat voorshands geen verandering en de gebouwen en terreinen blijven toegankelijk voor controle en inspectie. Gedurende de gehele periode van beveiligde insluiting blijven de geldende eisen ten aanzien van stralingsbescherming van kracht. De achterliggende gedachte bij deze variant is, dat door natuurlijk verval van de radioactieve stoffen latere ontmanteling een (veel) geringere stralingsbelasting, met name voor de betrokken werkers, tot gevolg zal hebben en mogelijk goedkoper zal zijn dan bij onmiddellijke opruiming.

Gedeeltelijke ontmanteling

In deze fase wordt een deel van de radioactieve en de niet-radioactieve gebouwdelen en componenten afgevoerd. Het niet-radioactieve deel kan, voor zover het geen functie heeft ten aanzien van het radioactieve deel, op de normale wijze afgehandeld worden. De overgebleven radioactieve resten worden ingesloten voor langdurige opslag onder handhaving van de bewaking (zowel ten aanzien van de beveiliging als van de veiligheid) en de toegankelijkheid. Slechts een klein deel van de installatie blijft hierbij staan.

Eind-ontmanteling

In deze fase worden alle radioactieve en niet-radioactieve installatiedelen afgebroken en opgeruimd. De radioactieve delen worden voor zover nodig in volume gereduceerd, verpakt en afgevoerd naar een daartoe ingerichte opslagplaats.

Eind-ontmanteling betekent dus de nodige stappen ondernemen om de locatie van de centrale terug te brengen in een toestand die afhangt van de bestemming ter plaatse. Dit kan eventueel het gebruik voor alternatieve doeleinden inhouden, wat de "groene weide" situatie wordt genoemd.

De boven beschreven fasen kunnen in verschillende combinaties worden uitgevoerd. De uiteindelijke uitvoering bij de KCB zal afhangen van internationaal onderzoek dat op dit gebied gaande is, en van de technieken die daarbij ontwikkeld worden. Hierbij zal uitgegaan worden van een van te voren opgesteld ontmantelingsplan. De methode van ontmanteling bij de KCB ligt dus niet vast maar zal te zijner tijd op basis van de dan aanwezige ervaring en technieken vastgesteld worden. Bij de ontmanteling zal ervoor worden zorggedragen dat de stralingsbelasting van het personeel en de omgeving als gevolg van de ontmanteling zo laag als redelijkerwijs mogelijk is en dat deze binnen de geldende normen blijft.

19.2

KOPIE

20	MAATREGELEN TER BEPERKING VAN DE GEVOLGEN VAN (BUITEN)ONTWERPONGEVALLEN	20.1-1
20.1	Inleiding	20.1-1
20.2	Concept van de maatregelen bij (buiten) ontwerpongevallen	20.2-1
20.3	Procedurele voorzieningen bij (buiten) ontwerpongevallen	2-.3-1
20.4	Technische voorzieningen bij buiten ontwerpongevallen	20.4-1
20.4.1	Bleed & feed	20.4-1
20.4.2	Beheersing van de waterstofconcentratie binnen de veiligheidsomhulling	20.4-3
20.4.3	Ongevalse-monsternamesysteem	20.4-4
20.4.4	Drukontlasting van de veiligheidsomhulling	20.4-5
20.4.5	Elektriciteitsvoorziening tijdens een "Station Blackout"	20.4-7
20.4.6	Luchtvoorziening van de regelzaal	20.4-9
20.4.7	Vergroten van de beschikbare water- en dieselvoorraad in het reserve suppletiegebouw (33)	20.4-10
20.4.8	Additionele watertoevoer naar de stoomgeneratoren	20.4-11
20.4.9	Detectoren en ontstekers ten behoeve van de bescherming tegen explosieve gaswolken	20.4.12

KOPIE

20 MAATREGELEN TER BEPERKING VAN DE GEVOLGEN VAN (BUITEN-) ONTWERPONGEVALLLEN

In dit hoofdstuk worden de maatregelen behandeld die genomen worden bij voorvallen in de installatie, die bij een veronderstelde uitval van de redundante veiligheidssystemen het smelten van de kern tot gevolg zouden kunnen hebben. Het betreft maatregelen die voornamelijk bij voorvallen die de ontwerpcriteria overschrijden, de zogenaamde buiten-ontwerpongevallen, worden getroffen.

In de eerste paragraaf wordt kort de achtergrond van de totstandkoming van deze maatregelen besproken. De tweede paragraaf beschrijft het concept dat ten aanzien van (buiten-)ontwerpongevallen wordt gehanteerd. De derde paragraaf behandelt de procedurele voorzieningen ten behoeve van (buiten-)ontwerpongevallen en de vierde paragraaf de technische voorzieningen die uitsluitend voor buiten-ontwerpongevallen getroffen zijn.

20.1 Inleiding

Na het ongeval met de kernreactor van Tsjernobyl in 1986 is door de Nederlandse overheid een nader onderzoek ingesteld naar de mogelijkheden die de kernenergiecentrale Borssele bezit om (buiten-)ontwerpongevallen op te vangen.

Op grond van dit onderzoek is geconcludeerd dat de kernenergiecentrale Borssele een aantal procedurele -, preventieve - en lozingsbeperkende voorzieningen diende te treffen.

De procedurele voorzieningen betref het opstellen van adequate bedieningsprocedures om het bedienend personeel in staat te stellen een ongevalssituatie op beheerste wijze af te wikkelen tot een veilige eindsituatie.

De preventieve- en lozingsbeperkende voorzieningen betroffen:

- "bleed & feed";
- verminderen van de hoeveelheid waterstof binnen de veiligheidsomhulling;
- ongevals-monsternamesysteem;
- drukontlasting van de veiligheidsomhulling;
- elektriciteitsvoorziening tijdens "Station Blackout";
- filtering van de luchttoevoer naar de regelzaal.

20.1-1

KOPIE

20.2 Concept van de maatregelen bij (buiten-)ontwerpongevallen

De werkwijze bij het ontwerpen van de veiligheidssystemen leidt tot overdimensionering van componenten en systemen, en door toepassing van het principe van enkelvoudig falen tot een redundant systeemontwerp. Door gebruik te maken van de aanwezige veiligheidsreserves is de effectiviteit van de systemen in werkelijkheid aanzienlijk hoger. Hierdoor kunnen de systemen flexibel ingezet worden bij (buiten-)ontwerpongevallen.

Het concept van de maatregelen bij (buiten-)ontwerpongevallen is binnen het vierde veiligheidsniveau ("Beperking van de gevolgen", zie paragraaf 1.4) gericht op het mobiliseren van de veiligheidsreserves, om zelfs bij het uitvallen van veiligheidssystemen ernstige kernschade, of in ieder geval ernstige gevolgen voor de omgeving, nog met grote waarschijnlijkheid te voorkomen.

Randvoorwaarden

De maatregelen binnen de installatie bij (buiten-)ontwerpongevallen zijn volgens de onderstaande principes opgezet om de veiligheidsreserves te activeren:

- de voor het realiseren van de maatregelen benodigde voorzieningen mogen de normale werking van de installatie en de beheersing van ontwerpongevallen niet nadelig beïnvloeden en moeten afdoende tegen foutief aanspreken beveiligd zijn
- analyses als basis voor de inzet van de betreffende voorzieningen worden aan de hand van reële randvoorwaarden en zonder de bij het ontwerpen gebruikelijke conservatieve toeslagen uitgevoerd
- vanwege de beschikbare interventietijden van enkele uren en de hypothetische aard van de beschouwde gebeurtenissen, worden de ingrepen met de hand _____ uitgevoerd
- de ingrepen moeten op elk gewenst tijdstip onderbroken, herhaald of voortgezet kunnen worden.

Preventieve en schadebeperkende maatregelen

De maatregelen binnen de installatie worden gefaseerd uitgevoerd, waarbij voorrang wordt verleend aan preventieve boven schadebeperkende maatregelen. De maatregelen zijn achtereenvolgens gericht op:

- het handhaven van de integriteit van de kern;
- het verhinderen van het doorsmelten van het reactorvat; voor zover dit niet in alle gevallen mogelijk is, wordt toch in ieder geval het doorsmelten onder hoge inwendige druk verhinderd;
- het handhaven van de integriteit van de veiligheidsomhulling en het beperken van het vrijkomen van radioactiviteit.

20.2-1

KOPIE

De preventieve maatregelen hebben tot doel, het smelten van de reactorkern of in ieder geval het doorsmelten van het reactorvat te voorkomen. Hiervoor is het noodzakelijk dat de afvoer van de vervalwarmte in minimale mate zo lang in stand wordt gehouden, tot er weer een langdurige, stabiele kernkoeling gewaarborgd is. Bij voorkeur dient dit plaats te vinden bij intacte splijtstofelementen, in ieder geval echter bij een nog nakoelbare reactorkern. Dit geschiedt in aanvulling op de maatregelen die moeten leiden tot het herstel van die stabiele kernkoeling door het opsporen en het verhelpen van de oorzaken die leiden tot het veronderstelde uitvallen van de veiligheidssystemen. Indien noodzakelijk worden verdere preventieve maatregelen genomen om kernkoeling te bewerkstelligen:

- toevoer van voedingswater aan secundaire zijde;
- voeden en afblazen aan primaire zijde (feed & bleed).

Als het lukt om met behulp van deze maatregelen het smelten van de kern te verhinderen of binnen het reactorvat te stoppen, dan kan de installatie daardoor zonder ernstige gevolgen voor de omgeving in een langdurig stabiele toestand gebracht worden. Wanneer door middel van de preventieve maatregelen een voortschrijdende vernietiging van de kern en het doorsmelten van het reactorvat niet voorkomen kunnen worden, zijn de dan te treffen schadebeperkende maatregelen er op gericht om in ieder geval de integriteit van de veiligheidsomhulling in stand te houden en alleen gecontroleerde en gefilterde afgifte van radioactiviteit uit de veiligheidsomhulling toe te laten.

Hierbij werkt de met grotere prioriteit als preventieve maatregel uitgevoerde drukvermindering als gevolg van primairzijdig afblazen tegelijkertijd reeds als schadebeperkende maatregel voor het handhaven van de integriteit van de veiligheidsomhulling. Het doorsmelten van het reactorvat onder hoge inwendige druk, hetgeen een vroegtijdige beschadiging van de veiligheidsomhulling tot gevolg zou kunnen hebben, wordt hierdoor namelijk verhinderd.

Bij de zich dan instellende, langzame drukopbouw in de veiligheidsomhulling staan voor het handhaven van de integriteit van de veiligheidsomhulling en voor het beperken van het vrijkomen van radioactiviteit, de volgende schadebeperkende maatregelen ter beschikking:

- verminderen van de hoeveelheid gevormd waterstof;
- gefilterde drukontlasting van de veiligheidsomhulling.

20.3 Procedurele voorzieningen bij (buiten-)ontwerpongevallen

In het geval van (buiten-)ontwerpongevallen dient er rekening gehouden te worden met situaties die niet in de veiligheidsanalyses zijn voorzien. Het wachtpersoneel heeft tot taak deze bijzondere situaties te onderkennen, en alle beschikbare technische middelen optimaal aan te wenden om een eventuele dreiging van lozing van radioactiviteit ook in deze hoogst onwaarschijnlijke situaties af te wenden.

Als in een ongevalssituatie de actieve veiligheidssystemen falen in het herstellen van procestechnische veiligheidsmarges, dan bestaat de mogelijkheid dat één of meer van de fundamentele passieve barrières tegen de verspreiding van radioactieve stoffen verloren gaan. Er zijn veiligheidsfuncties gedefinieerd die gerelateerd zijn aan deze veiligheidsbarrières. Deze veiligheidsfuncties zijn:

- subkritikaliteit;
- kernkoeling;
- secundaire warmteafvoer;
- integriteit van het reactorvat;
- inventaris van hoofdkoelmiddel;
- veiligheidsomhulling.

Als het wachtpersoneel op basis van reactorbeveiligingssignalen heeft vastgesteld dat (potentieel) een ongeval heeft plaatsgevonden worden de veiligheidsfuncties geëvalueerd. Daardoor is verzekerd dat een aantasting van de veiligheidsfuncties tijdig wordt vastgesteld en dat herstelmaatregelen worden genomen, indien de normale noodprocedures ter beheersing van het ongeval hun doel niet bereiken.

Indien er sprake is van dreigend functieverlies van de fundamentele barrières dan heeft het wachtpersoneel de taak met de hoogste prioriteit de veiligheidsfuncties te waarborgen. Komt het tot een daadwerkelijke onveilige status van de installatie dan concentreren de taken zich op de beheersing en beperking van de gevolgen.

De herstelmaatregelen ten behoeve van de veiligheidsfuncties zijn vastgelegd in functieherstelprocedures. Uitvoering van deze functieherstelprocedures vergt de onderbreking van alle andere in werking zijnde procedures. Daarvoor is een prioriteitensysteem voorgeschreven, dat gebaseerd is op de volgorde van de veiligheidsfuncties en een kleurcodering.

Bij de functieherstelprocedures met de hoogste prioriteit worden alle herstelmogelijkheden van de installatie aangewend om de eventuele gevolgen van het ongeval te beperken. Daartoe worden eerst de normale gekwalificeerde veiligheidssystemen toegepast. Is de dreiging voor de veiligheidsfunctie echter zeer groot dan worden systemen ook gebruikt buiten het normale werkingsgebied (toepassing van de ontwerp preserves), zolang daardoor de dreiging van de veiligheidsfunctie afneemt.

Voorts zal bij functieverlies van gekwalificeerde veiligheidssystemen getracht worden niet-gekwalificeerde systemen in te zetten voor het herstel van de functie.

20.3-1

KOPIE

Deze niet-gekwalificeerde systemen worden veelal door het reactorbeveiligings-systeem (YZ) afgeschakeld bij het optreden van een ongeval. Bij uitvoering van de functieherstelprocedures kan het daarom mogelijk zijn dat bepaalde YZ-functies overbrugd dienen te worden. Dit kan door middel van resetknoppen met gecodeerde vrijgave.

Na het verlaten van de functieherstelprocedure moet voor het vervolg een andere procedure gevolgd worden om de stabiele toestand voor de lange termijn zeker te stellen.

20.4-1

KOPIE

20.4 Technische voorzieningen bij buiten-ontwerpongevallen

20.4.1 Bleed & feed

In het de ontwerpcriteria overschrijdende gebied wordt onder andere van de volgende scenario's uitgegaan:

- uitval van de gehele voedingswaterverzorging van de stoomgeneratoren met uitzondering van de door een stoomturbine aangedreven noodvoedingswaterpomp, dit houdt in:
 - * het uitvallen van alle hoofdvoedingswaterpompen (3 stuks)
 - * het uitvallen van de elektrisch aangedreven noodvoedingswaterpompen (2 stuks)
 - * alle overige veiligheidstechnisch belangrijke systemen zijn beschikbaar
- uitval van de gehele draaistroomverzorging met uitzondering van noodstroomnet 2 (Station Blackout), voor zover deze niet door accu's verzorgd wordt, dit houdt in:
 - * het uitvallen van de externe netvoeding
 - * het uitvallen van de eigenbedrijfsvoorziening
 - * startweigering van alle noodstroomdiesels van het noodstroomnet 1 (3 stuks).

Als ook nog de geplande maatregelen aan de secundaire zijde falen, zoals bij voorbeeld het voeden van de stoomgeneratoren met het secundair reserve-suppletiesysteem (RS), het voeden van de stoomgeneratoren met behulp van de door een stoomturbine aangedreven noodvoedingswaterpomp en het afblazen van stoom uit de stoomgeneratoren en het voeden met mobiele pompen, dan stijgen de hoofdkoelmiddeltemperatuur en -druk in het primair systeem op het moment dat de stoomgeneratoren leeg zijn. Hierdoor spreken de kleppen van de drukbeveiliging (YP) aan. Het stijgen van de druk wordt onder controle gehouden door de drukbeveiligingstoestellen van de drukhouder. Hiermee laat men eerst stoom ontsnappen en later, als de drukhouder geheel gevuld is, water.

Bij een langdurige, niet succesvolle koeling naar de secundaire zijde moeten, om de druk aan primaire zijde te verlagen, met de hand vanuit de regelzaal de drukbeveiligingskleppen van de drukhouder geopend worden. De noodzaak om de druk aan primaire zijde te verlagen kan duidelijk worden onderkend doordat de uitlaattemperatuur van het hoofdkoelmiddel aanzienlijk stijgt, wat wijst op oververhitte stoom en te hoge temperaturen van de splijtstofhulzen.

Door de druk aan primaire zijde te verlagen probeert men het volgende te bereiken:

- afvoer van de warmte van de het primair systeem naar de veiligheidsomhulling;
- het creëren van mogelijkheden voor voeding vanaf de kerninundatiebuffertanks en, bij voldoende elektriciteit, vanuit het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ);
- als het smelten van de kern onvermijdelijk is, het doorsmelten van het reactorvat onder hoge druk te voorkomen, opdat de veiligheidsomhulling niet voortijdig faalt.

De bovengenoemde drukbeveiligingskleppen dienen voor het afvoeren van water, stoom en water/stoommengsels. De kleppen zijn zodanig bemeten, dat de primaire druk kan dalen tot een niveau waarbij langdurige LD-kerninundatie mogelijk is.

Het verlies aan hoofdkoelmiddel als gevolg van het afblazen wordt gecompenseerd door toevoer van boorzuurhoudend water vanuit het primaire reservesuppletiesysteem (TW) en de kerninundatiebuffertanks (TJ). Als er voldoende elektriciteit beschikbaar is vindt voeding plaats vanuit het HD-kerninundatiesysteem (TJ). Door de verdamping van het toegevoerde water in de kern wordt zoveel

energie onttrokken, dat het verlagen van de druk tot op het lage-drukniveau

mogelijk is. Wanneer er voldoende elektriciteit beschikbaar is, is het dan mogelijk

om via het LD-kerninundatiesysteem (TJ) te voeden en de vervalwarmte af te

voeren via de nakoelketen. Als dit niet het geval is doordat ook de diesels van het

noodstroomnet 1 op dat tijdstip niet beschikbaar zijn, kan de vervalwarmte via het

reservenoodkoelwatersysteem (VE), dat gevoed wordt door noodstroomnet 2, worden afgevoerd.

20.4-2

KOPIE

20.4.2 Beheersing van de waterstofconcentratie binnen de veiligheidsomhulling

Ook als het doorsmelten van het reactorvat onder hoge druk voorkomen wordt, is het vooraf niet uit te sluiten dat de integriteit van de veiligheidsomhulling in gevaar komt als gevolg van de vorming en ontbranding van waterstof (H₂).

Na het optreden van kernsmelten kunnen tijdens de eerste uren door waterdamp-metaalreacties en op langere termijn door de wisselwerking tussen het gesmolten kernmateriaal en het beton grote hoeveelheden waterstof ontstaan. Het is waarschijnlijk dat de waterstof (gedeeltelijk) voortijdig, en vanwege het lokale karakter met weinig nadelige gevolgen, ontbrandt door een dan toevallig aanwezige ontstekingsbron (zoals bijvoorbeeld een heet oppervlak). Echter op een later tijdstip, wanneer zich al grote hoeveelheden waterstof hebben gevormd en de inertisatie van de atmosfeer door de stoom binnen de veiligheidsomhulling afneemt, zijn bij ontbranding grote druk- en temperatuurbelastingen van de veiligheidsomhulling niet uit te sluiten.

Daarom is als eenduidig veiligheidsgerichte maatregel ter vernietiging van gevormd waterstof een systeem van recombinatoren geïnstalleerd. Recombinatoren zetten, in een al dan niet door stoom inert gemaakte atmosfeer, op grote schaal waterstof katalytisch om in water.

In het veiligheidsrapport versie '93 wordt melding gemaakt van een theoretisch en experimenteel onderzoek naar het gedrag van waterstof in de veiligheidsomhulling bij kernsmeltongevallen. Dit onderzoek heeft uitgewezen dat de voor de kernenergiecentrale Borssele gekozen oplossing, namelijk de installatie van passieve waterstofrecombinatoren zeer effectief is. Hiermee wordt het risico van het in gevaar brengen van de integriteit van de veiligheidsomhulling door waterstofexplosies tot een minimum beperkt.

Naast het gebruik van de recombinatoren bestaat de mogelijkheid tot menging van de atmosfeer binnen de veiligheidsomhulling om te voorkomen dat lokaal in de installatieruimte hogere waterstofconcentraties op kunnen treden. Dit kan worden bereikt door gebruik te maken van de luiken die bovenin en onderin de wanden die de installatieruimte en de bedrijfsruimte van elkaar scheiden zijn geplaatst. Deze luiken dienen ter bescherming van deze wanden tegen te grote krachten door passief te openen bij een te groot drukverschil tussen deze beide ruimten, bijvoorbeeld bij een groot koelmiddelverliesongeval in het primair systeem. Om de gewenste menging te verkrijgen wordt een aantal van deze luiken boven- en onderin de installatieruimte actief geopend waardoor natuurlijke circulatie optreedt.

20.4-3

KOPIE

20.4.3 Ongevals-monsternamesysteem

Om tijdens en na een ongeval waarbij zodanige kernschade opgetreden is dat ten gevolge van de uit de kern vrijgekomen activiteit het normale monsternamesysteem (zie paragraaf 9.3.7) niet meer bruikbaar is, inzicht te kunnen krijgen in welke mate de integriteit van de kern is aangetast en hoeveel radioactiviteit er uit de splijtstof is vrijgekomen, is er een ongevals-gas- en een ongevals-vloeistofmonsternamesysteem geïnstalleerd.

Het ongevals-gasmonsternamesysteem biedt de mogelijkheid om op diverse plaatsen in zowel de installatieruimte als de bedrijfsruimte hoog-radioactieve gasmonsters te nemen.

Het ongevals-vloeistofmonsternamesysteem biedt de mogelijkheid om hoog-radioactieve vloeistofmonsters te nemen uit het primair systeem of uit een leiding van het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ).

Ten behoeve van de bewerking en analyse van bovengenoemde hoog-radioactieve monsters is in het Alarm Coördinatiecentrum (ACC) - gesitueerd in de kelder van het kantoorgebouw (15) - een laboratorium ingericht.

De situering en technische uitvoering van de benodigde voorzieningen zijn zodanig gekozen dat de doses ten gevolge van monstername en -analyse binnen de geldende limieten blijven.

20.4-4

KOPIE

20.4.4 Drukontlasting van de veiligheidsomhulling (figuur 20.4.4/1)

Het systeem voor gefilterde drukontlasting heeft tot taak bij een buitenontwerp-ongeval waarbij een stijging van de druk in de veiligheidsomhulling optreedt, deze druk beneden de bezwijkdruk te houden. Voorts heeft het tot taak de veiligheidsomhulling op lage druk te brengen voordat deze eventueel lek raakt als gevolg van het doorsmelten van de reactorkern door de bodem van de veiligheidsomhulling. Tevens moet het de besmette lucht die bij drukontlasting vrijkomt, door middel van een filterinstallatie reinigen.

De filterinstallatie is daarom berekend op de bij een ongeval met kernsmelten in de veiligheidsomhulling heersende druk en temperatuur, en de te verwachten belastingen ten aanzien van de af te voeren energie en radioactiviteit.

De filterinstallatie bestaat uit een venturiwasser en een nageschakeld metaalvezelfilter. Door deze installatie worden de aërosolen voor 99,99 % tegengehouden en vindt een verregaande jodiumabsorptie plaats met een retentie van meer dan 99 %.

De belangrijkste onderdelen van het systeem voor gefilterde drukontlasting van de veiligheidsomhulling zijn (zie figuur 20.4.4/1):

- toevoerleidingen voor de besmette lucht met de gebouwafsluiters;
- venturiwasser met variabele druk;
- nageschakeld metaalvezelfilter;
- schoongasleiding die in de ventilatieschacht uitmondt.

Aangezien het systeem onder normale omstandigheden met stikstof geïnertiseerd is, is de schoongasleiding door een breekmembraan afgesloten.

De venturiwasser met variabele druk en het metaalvezelfilter staan opgesteld in de ringruimte (02). De schoongasleiding wordt in de ringruimte boven de ruimte waarin de filterinstallatie opgesteld is, tot bij de ventilatieschacht geleid en is buiten het reactorgebouw direct daarop aangesloten.

De gebouwafsluiters in het hoge druk gedeelte van het systeem zijn onder normale omstandigheden (de stand-by toestand van het systeem) gesloten en vergrendeld.

Om de drukontlasting op gang te brengen, worden de gebouwafsluiters in de leiding voor besmette lucht handmatig vanuit de regelzaal geopend. De af te voeren stroom besmette lucht wordt naar de filterinstallatie geleid. De lucht wordt daar gereinigd en wordt via de schoongasleiding naar een vast ingestelde smoorinrichting gevoerd.

In de smoorinrichting wordt de massastroom beperkt en de druk omlaag gebracht tot een niveau dat bijna gelijk is aan de atmosferische druk. De schoongasstroom wordt vervolgens via de ventilatieschacht afgevoerd. De geloosde activiteiten worden vastgesteld.

Figuur 20.4.4/1 Drukontlasting van de veiligheidsomhulling
- principeschema

20.4.5 Elektriciteitsvoorziening tijdens een "Station Blackout"

Onder een "Station Blackout" verstaat men het uitvallen van de totale externe elektriciteitsvoorziening, het uitvallen van de eigenbedrijfsvoorziening en daarnaast het niet beschikbaar zijn van het noodstroomnet 1 omdat bijvoorbeeld de beide noodstroomdieselaggregaten en het reserve-aggregaat niet willen starten.

Voor het beheersen van een Station Blackout zijn de volgende voorzieningen nodig:

- het secundair reservesuppletiesysteem (RS) voor de voedingswatervoorziening van de stoomgeneratoren;
- het hoofdstoomafblaasstation voor het afblazen van de geproduceerde hoofdstoom;
- de kleppen voor het afsluiten van het primair systeem;
- de noodstroomdieselaggregaten van het noodstroomnet 2 dat de voor het beheersen van de Station Blackout benodigde installaties van stroom voorziet;
- de systemen die in geval van een Station Blackout tijdens de splijtstofwisseling handmatig ingeschakeld worden:
 - * reservenoodkoelwatersysteem (VE) en reservenkoelsysteem (TE)
 - * splijtstofopslagbassinkoelsysteem (TG), minimaal één redundantie.

Als zich een "Station Blackout" voordoet, wordt de installatie automatisch door het reactorbeveiligingssysteem afgeschakeld, in een veilige toestand gebracht en gehouden totdat de spanning van het eigenbedrijfs- of noodstroomnet weer beschikbaar is. Wanneer dit zich voordoet worden beide noodstroomdieselaggregaten van het noodstroomnet 2 automatisch gestart. Daardoor kunnen de stoomgeneratoren door middel van de pompen van het secundair reservesuppletiesysteem (RS) gevoed worden. Deze pompen worden automatisch ingeschakeld door het reactorbeveiligingssysteem als het niveau in de stoomgeneratoren daalt.

Voor de afgifte van de hoofdstoom heeft men de beschikking over afblaasregelkleppen.

Bij een lekkage in het primair systeem worden de afsluiters van het primair systeem, die via de door accu's van spanning voorziene omvormerrails gevoed worden, gesloten. Het door lekkage ontstane verlies wordt, indien nodig, gecompenseerd door het eveneens door het noodstroomnet 2 gevoede primaire reservesuppletiesysteem (TW).

20.4-7

KOPIE

"Station Blackout" en het tegelijkertijd uitvallen van het noodstroomnet 2

Bij het hypothetisch gelijktijdig uitvallen van alle netvoorziening, de eigenbedrijfsvoorziening en alle noodstroomdieselaggregaten, worden de veiligheidsrelevante gelijkstroomverbruikers gedurende tenminste 2 uur door accu's van stroom voorzien. Een periode van 2 uur wordt voldoende geacht om de verbinding met het externe net weer tot stand te brengen. Voorts kan het noodstroomnet 1 langdurig door een externe spanningsvoorziening met voldoende betrouwbaarheid en capaciteit gevoed worden. Deze spanningsvoorziening kan gebruikt worden in geval van langdurig verlies van het externe net. Om langdurig bedrijven van de noodstroomdiesels in een dergelijke situatie te voorkomen, kan na verloop van tijd overgeschakeld worden op de externe spanningsvoorziening.

Voor de voeding van de stoomgeneratoren staat de noodvoedingswaterpomp met turbine-aandrijving ter beschikking. Aangezien dan de normale voedingswaterverzorging is uitgevallen, is voorzien in een aansluiting op het leidingwatersysteem. Vanuit een hoog geïnstalleerde tank stroomt het koelwater zonder dat hiervoor externe energie nodig is naar de pomp. De afgifte van de hoofdstoom geschiedt via de hoofdstoomveiligheidskleppen, die zonder hulpenergie werken.

20.4-8

KOPIE

20.4.6 Luchtvoorziening van de regelzaal

De regelzaal is het centrale punt van waaruit noodmaatregelen voorbereid, op gang gebracht en uitgevoerd worden. Daarom moet het voor het personeel mogelijk zijn om hier tijdens buiten-ontwerpongevallen langdurig aanwezig te zijn.

Er kan echter zoveel radioactiviteit vrijkomen (bijvoorbeeld in het geval van gefilterde drukontlasting van de veiligheidsomhulling), dat het niet uitgesloten is dat de maximaal toegestane dosis wordt overschreden.

Om in deze situatie een langdurig verblijf van het personeel in de regelzaal mogelijk te maken, wordt de luchttoevoer over aërosol- en jodiumabsorberende filters geleid. Indien nodig kan met de hand omgeschakeld worden naar een alternatief innamepunt zodat lucht met een geringere activiteit aangezogen wordt.

20.4-9

KOPIE

20.4.7 Vergroten van de beschikbare water- en dieselvoorraad in het reserve suppletiegebouw (33)

Na het optreden van externe invloeden is het van belang dat de reactorinstallatie gekoeld kan worden via de stoomgeneratoren. Benodigd hiervoor zijn het secundair reservesuppletiesysteem (RS) met voldoende watervoorraad en de noodstroomdieselaggregaten van noodstroomnet 2 met voldoende dieselolievoorraad. Omdat bij bepaalde externe invloeden (met name overstroming) het binnen een dag leveren van deze voorraden niet zeker is, kunnen de volgende maatregelen worden genomen om voldoende lang van de voorraden verzekerd te zijn.

De volledige watervoorraad van het secundair reservesuppletiesysteem (RS) is voldoende. In het geval dat één van beide voedingsstrangen uitvalt, kan de voorraad van één van beide bassins echter niet worden gebruikt. Voor die situatie bestaat er een verbindingsmogelijkheid van de bassins (zie figuur 6.7/1) zodat ook in dat geval de gehele watervoorraad van beide bassins kan worden gebruikt. Om de strangenscheiding te handhaven is deze verbinding normaal losgekoppeld. Omdat de verbinding gemaakt wordt in het kader van accident management (AM) en alleen nodig is voor de langere termijn wordt deze aangebracht door middel van handmaatregelen. Hiermee is de watervoorraad, ook na enkelvoudig falen, voldoende voor circa 3 dagen koeling van de reactor via de stoomgeneratoren.

De beide noodstroomdieselaggregaten van noodstroomnet 2 hebben voor de brandstofvoorziening elk hun eigen voorraadtank. In het kader van accident management (AM) kan worden beschikt over een op de locatie aanwezige dieselolievoorraad die bestand is tegen externe invloeden. Hiermee is de beschikbare brandstofvoorraad voldoende voor in totaal circa 3 dagen bedrijf.

Met deze twee maatregelen wordt bereikt dat koeling via de stoomgeneratoren en stroomvoorziening vanuit noodstroomnet 2 na het optreden van externe invloeden is gewaarborgd tot externe aanvoer mogelijk is.

20.4-10

KOPIE

20.4.8 Additionele watertoevoer naar de stoomgeneratoren

De installatie is voorzien van diverse systemen om voedingswater naar de stoomgeneratoren te voeren en daarmee het primaire systeem en de reactor te koelen. Dit zijn het hoofd- en noodvoedingswatersysteem (RL) en het secundaire reservesuppletiesysteem (RS). Deze systemen zijn redundant uitgevoerd. In het onwaarschijnlijke geval dat deze systemen falen bestaat de mogelijkheid om met een externe pomp (bijvoorbeeld een brandweerpomp) water via de persleidingen van het RS-systeem direct naar de stoomgeneratoren te voeren. Hiertoe is het RS-systeem voorzien van een aparte aansluiting op de verbindingsleiding tussen de twee persleidingen van het RS-systeem (zie figuur 6.7/1).

20.4-11

KOPIE

20.4.9 Detectoren en ontstekers ten behoeve van de bescherming tegen explosieve gaswolken

De te verwachten piekoverdruk als gevolg van explosie van een gaswolk afkomstig van gastransporten op de Westerschelde liggen onder de ontwerpwaarden van de gebouwen die van het grootste belang zijn voor de veiligheid. Om voldoende zeker te stellen dat een dergelijke gaswolk ontbrand op enige afstand van de gebouwen van de KCB zijn nabij de terreingrens aan de zijde van de Westerschelde detectoren en ontstekers geplaatst. De detectoren meten de eventuele aanwezigheid van ontbrandbare gassen op grond waarvan de ontstekers worden geactiveerd. De ontstekers zorgen ervoor dat een eventuele gaswolk in de open ruimte en op voldoende afstand van de veiligheidsrelevante gebouwen ontbrandt, zodat de resulterende piekdruk onder de ontwerpdruk van deze gebouwen blijft.

20.4-12

KOPIE

21	NIET-NUCLEAIRE MILIEUASPECTEN	21.1-1
21.1	Inleiding	21.1-1
21.2	Het bedrijfsinterne milieuzorgsysteem	21.2-1
21.3	De bescherming van mensen, dieren, planten en goederen	21.3-1
21.3.1	Luchtverontreiniging	21.3-2
21.3.2	Brand- en/of explosiegevaar	21.3-2
21.3.3	Bodem- en/of grondwaterverontreiniging	21.3-3
21.3.4	Grondwateronttrekking	21.3-4
21.3.5	Oppervlaktewaterverontreiniging	21.3-5
21.3.6	Geluidhinder	21.3-5
21.3.7	Visuele aantasting	21.3-6
21.3.8	Overige hinder	21.3-6

KOPIE

21 NIET-NUCLEAIRE MILIEUASPECTEN

In dit hoofdstuk wordt aandacht gegeven aan andere aspecten van milieuzorg dan die welke direct zijn gerelateerd aan elektriciteitsopwekking met behulp van kernenergie.

De eerste paragraaf geeft een inleiding op de onderwerpen die daarbij aan de orde zullen komen. De tweede paragraaf is gewijd aan het BedrijfsInterne Milieuzorgsysteem, dat aan het eind van dit jaar operationeel zal worden. De derde paragraaf geeft een inzicht in de veelheid van maatregelen die getroffen zijn om aan de meer gebruikelijke vormen van milieubescherming inhoud te geven.

21.1 Inleiding

In de voorgaande hoofdstukken is de aandacht uitgegaan naar alle aspecten van veiligheid die direct of indirect betrekking hebben op de radioactiviteit en ioniserende straling bij elektriciteitsopwekking uit kernenergie. Bij de omvangrijke installatie die daarvoor noodzakelijk is, is het evenwel onvermijdelijk dat daarbij ook de meer gebruikelijke aspecten van bescherming tegen de nadelige gevolgen voor mensen, planten, dieren en goederen voorkomen. Deze niet-nucleaire milieuaspecten worden in dit hoofdstuk behandeld. Hierbij komen twee onderwerpen aan de orde namelijk:

- het BedrijfsInterne Milieuzorgsysteem (BIM);
- de aspecten ten aanzien van de nadelige gevolgen voor mensen, planten, dieren en goederen zoals ontleend aan de Wet Milieubeheer of andere milieuregelgeving, maar die opgenomen kunnen worden in de vergunningen ingevolge de Kernenergiewet (KEW) en de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater (WVO).

Een BedrijfsIntern Milieuzorgsysteem is een stelsel van organisatorische en administratieve voorzieningen waarmee een bedrijf zijn totale milieuproblematiek beheerst. Een BIM heeft niet tot doel om milieuvergunningen te vervangen. Het integreert de zorg voor het milieu in de totale bedrijfsvoering.

De niet-nucleaire milieuaspecten die niet gerelateerd zijn aan kernenergie, zijn binnen de centrale omvangrijk, omdat zij verbonden zijn aan een complexe inrichting waarbinnen een hoogwaardige technologie wordt toegepast. Binnen de inrichting leidt dat tot een omvangrijk aantal goed te controleren milieuaspecten met daarvoor gebruikelijke voorschriften.

21.1-1

KOPIE

21.2 Het bedrijfsinterne milieuzorgsysteem

Het BedrijfsInterne Milieuzorgsysteem (BIM) bij EPZ vloeit voort uit het streven om op gestructureerde wijze de zorg voor het milieu te integreren in de bedrijfsvoering. Een dergelijk voornemen is reeds opgenomen in het Elektriciteitsplan 1989-1998 van de NV Samenwerkende elektriciteits-productiebedrijven (Sep).

Voorts wordt aangesloten bij de notitie "Bedrijfsinterne Milieuzorg" die de Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) in 1989 heeft gepubliceerd.

Doelstelling van een BIM is om door middel van een stelsel van organisatorische en administratieve voorzieningen de milieuproblematiek als een normaal onderdeel van de bedrijfsvoering te beheersen.

Opgemerkt moet worden dat een BIM een aparte rol speelt naast het systeem van milieuvergunningen. Bij een goed werkend BIM zullen de vergunningen daarop kunnen worden afgestemd en zal het overheidstoezicht op de naleving van vergunningvoorschriften kunnen worden betrokken op de controle van de goede werking van het BIM.

Een raamwerk voor een BIM bij de elektriciteitsproductiebedrijven is in 1990 in opdracht van de Sep opgesteld op basis van de indeling van de genoemde notitie van VROM.

Door EPZ is begin 1992 aan de hand van dit raamwerk een leidraad voor de invoering van een BIM binnen haar organisatie opgesteld. De eisen waaraan dat BIM tenminste dient te voldoen zijn:

- de Beleidsverklaring: een schriftelijke verklaring van de bedrijfsleiding over het te voeren milieubeleid;
- het Programma, waarin de voorgenomen activiteiten op milieugebied zijn opgenomen;
- de Integratie van de milieuzorg in de bedrijfsvoering, bestaande uit de volgende elementen:
 - * organisatiestructuur;
 - * toedeling van taken, verantwoordelijkheden en bevoegdheden;
 - * overlegstructuren;
 - * bedrijfsinterne instructies en procedures;
 - * metingen en registratie van relevante gegevens;
 - * interne controle;
 - * rapportage;
 - * voorlichting en opleiding;
 - * verificatie van het gehele milieuzorgsysteem door middel van doorlichtingen.

21.2-1

KOPIE

Deze elementen dienen in een dynamisch systeem te worden samengevoegd en te functioneren door:

- toepassing van de milieuzorg op alle bedrijfsactiviteiten;
- onderlinge samenhang van de verschillende elementen;
- terugkoppeling van de resultaten binnen het BIM en naar het personeel.

Voor de invoering van het BIM is een projectmatige aanpak gevolgd.

Globaal valt daarin een driedeling te maken:

- de omschrijving van de lokatie;
- een inventarisatie van de huidige milieuzorg;
- het invullen en zichtbaar maken van de bovengenoemde elementen van het milieuzorgsysteem.

EPZ heeft voor de kernenergiecentrale een aanpak gekozen die analoog is aan die voor de kolencentrale.

In een eerste fase zijn voor het opstellen van het Programma inmiddels van alle bestaande vergunningen de daaruit voortvloeiende verplichtingen geïventariseerd en geordend. Vervolgens is vastgesteld welke functionarissen uit de organisatie voor die uitvoering van die verplichtingen verantwoordelijk zijn.

Dit geheel van vergunningsvoorwaarden, de bijbehorende documentatie en de verantwoordelijkheden zijn expliciet gedocumenteerd.

Aansluitend is onderzocht of er andere milieuregelgeving van toepassing is, waarvoor geen vergunningen zijn verleend, maar die niettemin verantwoordelijkheden geven. Ook hiervoor zijn die verantwoordelijkheden vastgelegd en gedocumenteerd.

Het BIM is sinds enige tijd operationeel.

21.2-2

KOPIE

21.3 De bescherming van mensen, dieren, planten en goederen

De bescherming van mensen, planten, dieren en goederen is ingevolge artikel 15b, eerste lid, onder a, van de Kernenergiewet (KEW) één van de belangen welke door de vergunning ingevolge deze wet behartigd dienen te worden. Naast de nucleaire milieuaspecten vallen onder dit belang ook de meer conventionele milieuaspecten als:

- luchtverontreiniging;
- brand- en explosiegevaar;
- bodem- en grondwaterverontreiniging;
- oppervlaktewaterverontreiniging;
- geluidhinder;
- visuele aantasting;
- overige hinder, als stank en/of stofhinder, visuele hinder, storing van radio- en/of tv-ontvangst, verkeersoverlast etc.

Dat ook de niet-nucleaire milieuaspecten in de KEW-vergunning worden meegenomen is een gevolg van het integrale karakter dat deze vergunning heeft. Een uitzondering hierop wordt gevormd door de Wet verontreiniging oppervlaktewater (WVO). Ingevolge deze wet dient de niet-radioactieve verontreiniging van het oppervlaktewater geregeld te worden in een WVO-vergunning.

In de vergunningen ingevolge de Kernenergiewet zijn de voorschriften opgenomen voor de lozing van radioactieve stoffen in de lucht en op het oppervlaktewater. Deze lozingen zijn in hoofdstuk 11 (Radioactief afval) en 12 (Stralingsbescherming) behandeld.

21.3-1

KOPIE

21.3.1 Luchtverontreiniging

Een belangrijk onderdeel wordt gevormd door de koelmiddelen in de koelinstallaties. Er wordt naar gestreefd om de lekverliezen uit de koelmachines terug te dringen. In een register wordt daarom bijgehouden hoeveel chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's) wordt gebruikt voor het bijvullen van de koelapparatuur. Reparaties aan deze machines worden alleen uitgevoerd door van overheidswege erkende bedrijven. Er wordt bij de reparaties voorkomen dat schadelijke CFK's ontsnappen. In de toekomst zal bij revisie of vervanging van de koelmachines een ander koelmedium worden toegepast, dat bij lekkage niet bijdraagt aan de afbraak van de ozonlaag in de stratosfeer.

21.3.2 Brand- en/of explosiegevaar

In overleg met de plaatselijke brandweer, de Kernfysische Dienst en de Arbeidsinspectie is een brandbestrijdingsplan opgesteld. In de inrichting is een overzicht aanwezig van alle aanwezige chemicaliën. Daarbij zijn vermeld: samenstellingen, en indien van toepassing ook gegevens over brandbaarheid, giftigheid en de oplosbaarheid in water.

Op het bedrijfsterrein zijn op in het oog lopende wijze tal van brandblusmiddelen aangebracht. Het onderhoud daarvan gebeurt zoals in NEN-voorschriften is vastgelegd.

Binnen de inrichting zijn laboratoriumruimten aanwezig. Voor laboratoria bestaat een zeer uitgebreid aantal voorschriften, opgenomen in de publikatiebladen van de Arbeidsinspectie. Zonder in detail te treden, kan gesteld worden dat hieraan wordt voldaan.

Voor de opslag van brandbare vloeistoffen en chemicaliën in grotere hoeveelheden zijn aparte maatregelen getroffen, waarbij wordt voldaan aan de betreffende voorschriften en algemene richtlijnen.

In de inrichting wordt op een aantal plaatsen gebruik gemaakt van gecomprimeerde gassen in gasflessen. Voor het gebruik hiervan bestaan tal van voorschriften: voor de keuring van de flessen door de Dienst voor het Stoomwezen, de bewaarplaatsen, de kwaliteit van de leidingen, de afsluiters, de slangen, de wijze van opslag etc. Speciale eisen worden gesteld aan het gebruik van acetyleendissousflessen. Aan deze eisen wordt voldaan.

In ruimten waar accu's ten behoeve van de stroomvoorziening staan opgesteld of worden opgeladen zijn voorzieningen getroffen ter voorkoming van de vorming van explosieve waterstof-zuurstofmengsels.

De transformatorruimten zijn geconstrueerd met een brandwerendheid van minstens 30 minuten. Er zijn speciale maatregelen getroffen om zeker te stellen dat de toegangsdeuren gesloten blijven. Ook zijn er voorzieningen getroffen om te voorkomen dat de transformatorolie in brand kan geraken.

Een belangrijke wijze van verbreiding van brand loopt via ventilatiekanalen. Daarom zijn deze van onbrandbaar en hittebestendig materiaal.

Ter plaatse van doorvoering van deze kanalen door brandwerende wanden of vloeren zijn brandkleppen aangebracht, die indien nodig, voor een doelmatige afsluiting zorgen.

Overigens wordt het gehele ventilatiesysteem automatisch uitgeschakeld wanneer het rookmeldingssysteem in werking treedt, behalve in de regelzaal.

Ter voorkoming van vonkvorming als gevolg van statische elektriciteit bij het uitstromen c.q. uitschenken van de brandbare vloeistoffen zijn verschillende maatregelen getroffen, zoals aarding en beperking van de uitstroomsnelheid.

21.3.3 Bodem- en/of grondwaterverontreiniging

Dit onderdeel omvat zowel maatregelen binnen de inrichting ter voorkoming van bodem- en grondwaterverontreiniging als gevolg van ongevallen, als afvalstoffenbeheer ter verzekering van een correcte verwerking daarvan buiten de inrichting.

In het algemeen zijn ter voorkoming van bodemverontreiniging op alle plaatsen waar schadelijke stoffen op de bodem kunnen lekken, vloerafwerkingen van vloeistofdicht materiaal of lekbakconstructies aangebracht.

Binnen de inrichting is een aantal bovengrondse tanks aanwezig voor de opslag van chemicaliën en dieselolie, alle geplaatst in een lekbakconstructie. Deze tanks voldoen aan de gebruikelijke eisen inzake de bestendigheid tegen de erin opgeslagen vloeistof, constructie-eisen voor fundering, aangesloten leidingen, mangat en niveaumeting.

Ook wordt voldaan aan de bekende eisen ten aanzien van het vullen. Wanneer tanks gebruikt worden als opvangtank, bijvoorbeeld van smeerolie, wordt uiteraard rekening gehouden met specifieke eisen die samenhangen met het leegzuigen van die tank.

Van alle bovengrondse tanks wordt de leeftijd, de inhoud en de onderhoudstoestand bijgehouden.

De opslag van lege en gevulde vaten met oliën en chemicaliën en het aftappen van brandbare en bodemverontreinigende vloeistoffen, vindt eveneens plaats binnen een lekbakconstructie. Ter plaatse is bovendien voldoende absorptiemiddel beschikbaar.

In geval van lekkage van een vat wordt deze onmiddellijk verholpen door het lekkende vat over te brengen in een ander passend, niet lekkend vat.

Indien toch bodemverontreiniging optreedt, zullen in overleg met de Inspectie Milieuhygiëne maatregelen getroffen worden om de verontreinigde grond te verwijderen en te laten verwerken. De verwijderde grond zal door niet-verontreinigde grond worden vervangen.

Alle leidingen waardoor schadelijke stoffen worden getransporteerd, zijn beschermd tegen uitwendige aantasting. De ondergrondse leidingen zijn met asfaltbitumen of polytheen bekleed.

Transformatoren die met olie zijn gevuld, staan opgesteld in een lekbakconstructie, die groot genoeg is om de gehele inhoud op te vangen. Polychloorbifenylnyl (PCB)- en polychloorbifenylnylachtige transformatorolie wordt niet gebruikt. De dieselopslagtanks en de dagtanks ten behoeve van de dieselgeneratoren zijn eveneens in een lekbak opgesteld.

De correcte verwerking van chemische afvalstoffen die op de inrichting ontstaan, vereist een zorgvuldige scheiding van het overige afval. Hieronder vallen bijvoorbeeld filters en stofafval uit de luchtbehandelingsinstallaties.

Veel aandacht wordt besteed aan de ordelijke en nette wijze van opslag. Ten aanzien van de opslag van het laboratoriumafval kan verwezen worden naar het hierover in paragraaf 21.3.2 gestelde met betrekking tot het publikatieblad van de Arbeidsinspectie. In een register wordt bijgehouden wanneer en op welke wijze deze stoffen uit de inrichting zijn afgevoerd. Zoals gebruikelijk gebeurt dit minimaal één keer per jaar.

Ter verzekering van de kwaliteit van de bodem binnen de inrichting is een zogenaamde Nul-situatie bodemonderzoek uitgevoerd conform de zogenaamde Opzet Standaard Indicatief Bodemonderzoek volgens het model van de Vereniging van Nederlandse Gemeenten.

21.3.4 Grondwateronttrekking

Bij dit onderdeel wordt aandacht geschonken aan de voorzieningen voor het kunnen onttrekken van grondwater door middel van diepwell-bronnen ten behoeve van het reservenoodkoelwatersysteem (VE) van de kernenergiecentrale. Dit reservenoodkoelwatersysteem kan circa 300 m³ per uur uit de tweede watervoerende laag leveren. Het systeem is bedoeld voor die situaties waarbij alle andere nood- en nevenkoelwatervoorzieningen niet beschikbaar zijn.

De lozing van dit koelwater vindt plaats via de afvoerleiding van het hoofdkoelwatersysteem.

Beproeving van het systeem vindt plaats bij de inbedrijfstelling en verder periodiek.

21.3-4

KOPIE

21.3.5 Oppervlaktewaterverontreiniging

Ten behoeve van de kernenergiecentrale en de kolencentrale is door de Minister van Verkeer en Waterstaat een gecombineerde vergunning ingevolge de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater verleend voor het lozen van maximaal 28,4 m³/s koelwater en bedrijfsafvalwater. Deze lozing vindt plaats via een afvoerkanaal ruim 300 m in de Westerschelde. Deze vergunning bevat ondermeer voorschriften voor de maximaal toegestane thermische verontreiniging door de beide centrales.

Gesteld is dat de maximale stijging van de temperatuur in het koelwatersysteem van de kernenergiecentrale 12,5 EC mag bedragen als de temperatuur van het ingenomen water hoger is dan 10 EC en dat de temperatuurstijging maximaal 15,6 EC mag zijn als het ingenomen koelwater beneden de 10 EC is. De temperatuurstijging in het koelwatersysteem van de conventionele centrale hoogstens 13,7 EC bedragen.

De vergunning bevat verder nog eisen ten aanzien de toevoeging van middelen aan het koelwater om de goede werking van het koelwatersysteem zeker te stellen.

Voor de lozing van het hemelwater en het huishoudelijk afvalwater van beide centrales is door het Waterschap "De brede watering van Zuid-Beveland" een vergunning ingevolge de Verordening verontreiniging oppervlaktewateren verleend. Het hemelwater mag direct worden geloosd, terwijl het huishoudelijk afvalwater via een zogenaamde septic tank dan wel via een waterdichte bezinkput mag worden geloosd.

21.3.6 Geluidhinder

Beperking van geluidhinder door de inrichting geschiedt op velerlei wijzen en is van meet af aan een onderdeel van de vergunning.

Nog onlangs zijn de voorschriften daarvoor in lijn gebracht met de eisen die ten behoeve van de geluidzoning voor het gehele industrieterrein Vlissingen-Oost aan de andere aldaar gevestigde bedrijven zijn gesteld.

Daarbij wordt een systeem van meetpunten gehanteerd, waarvoor afhankelijk van de plaats en de beoordelingsperiode, zogenaamde equivalente geluidsniveaus zijn vastgesteld. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen normale werkzaamheden en bijzondere bedrijfsomstandigheden. Onder het laatste wordt bijvoorbeeld verstaan: het in en uit bedrijf stellen van de centrale en het proefdraaien van de noodstroomdiesels. In die gevallen is een hoger equivalent geluidsniveau toegestaan. Overigens zijn met name voor de tijdstippen, waarop de noodstroomdiesels mogen draaien, nog extra eisen gesteld.

21.3-5

KOPIE

Volgens de voorwaarden in de vergunning worden op het terrein van de inrichting metingen gedaan aan de belangrijkste bronnen van geluidhinder om hun individuele bijdrage vast te stellen. Over de methode, de frequentie etc. wordt gerapporteerd aan de Hoofdinspecteur voor de milieuhygiëne.

Buiten het complex van EPZ worden elke twee jaar op bovengenoemde meetpunten door een extern onderzoeksbureau metingen verricht. De resultaten van deze metingen worden gerapporteerd aan Provinciale Waterstaat omdat dit een voorwaarde is van de vergunning voor de kolencentrale die door die instantie is verleend.

Voorts wordt de Hoofdinspecteur voor de Milieuhygiëne op de hoogte gesteld van de meetresultaten.

21.3.7 Visuele aantasting

Industriële inrichtingen leveren per definitie horizonvervuiling op. Ondermeer om deze reden worden zij samengevoegd op industrieterreinen.

21.3.8 Overige hinder, als stank en/of stofhinder, visuele hinder, storing van radio- en/of tv-ontvangst, verkeersoverlast etc.

In dit onderdeel wordt een diversiteit van maatregelen opgesomd die in de voorgaande indeling kan worden ondergebracht.

In de inrichting is een kleine cementsilo aanwezig. Daaraan zijn voorzieningen getroffen om stofverspreiding via de ontluchting tegen te gaan. Ook is een voorziening opgenomen om overvulling te voorkomen.

De gehele inrichting omvat uiteraard vele elektrische systemen. Bij de aanleg is rekening gehouden met het voorkómen van storingen in telecommunicatieverbindingen en radio- en televisie-ontvangst. Van problemen is tot dusver niets gebleken.

Voorts zijn de laagspanningsinstallaties aangelegd volgens de daarvoor geldende voorschriften. Hierin zijn tevens richtlijnen opgenomen voor elektrische materialen, bescherming tegen elektrisch aanrakingsgevaar, isolatie, toe te passen materialen in ruimten met stofontploffingsgevaar, etc.

Aangezien de Kernenergiewet (KEW) als "lex specialist" voorrang heeft boven andere milieuregelgeving, dienen in de vergunning ingevolge de KEW de voorschriften te worden opgenomen die tegen de genoemde milieuaspecten bescherming bieden, met uitzondering van de oppervlaktewaterverontreiniging die in de vergunning ingevolge de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater (WVO) geregeld is.

21.3-6

KOPIE