

# Aanpassingen van het Veiligheidsrapport Kerncentrale Borssele

Wijziging van het  
Veiligheidsrapport als gevolg  
Van brandstofdiversificatie

22277/09.98679

# Aanpassing van het veiligheidsrapport kerncentrale Borssele

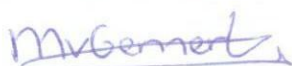
Wijziging van het  
veiligheidsrapport als gevolg  
van brandstofdiversificatie

In opdracht van EPZ

---

auteur (s): M.E. van Gemert

beoordeeld: A.J. Geutjes



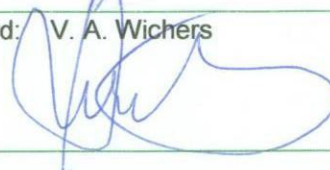
---

naam: VR aanpassingen 1 juli 2010 rev 0 goedgekeurd: V. A. Wichers

Referentienr: NRG-22277/09.98679

194 blz 1 juli 2010

---





# Inhoudsopgave

Samenvatting	4
Inleiding	5
1 Omschrijving van de wijzigingen	6
2 Uitwisselingstabel	14

# Samenvatting

Dit rapport beschrijft de aanpassingen van het “Veiligheidsrapport Kernenergie eenheid centrale Borssele” die voortkomen uit de brandstofdiversificatie. Deze aanpassingen moeten als wijzigingen in het Veiligheidsrapport worden opgenomen. De brandstofdiversificatie betreft de inzet van gecompenseerd gerecycled uranium (c-ERU) en de inzet van mengoxide (MOX) met een gemiddeld gehalte van 5,41%  $\text{Pu}_{\text{splijtbaar}}$  ( $^{239}\text{Pu}$  plus  $^{241}\text{Pu}$ ) met voor MOX kernen maximaal 40% MOX-elementen, naast de inzet van uraniumdioxide op basis van natuurlijk uranium met een verrijking van  $4,4 \pm 0,05\%$  (ENU) of oxide van verrijkt gerecycled uranium met een verrijkingsgraad van maximaal  $4,6 \pm 0,05\%$  (c-ERU), met daaraan gerelateerd de vereiste boriumsamenstelling. De aanpassingen worden vooraf gegaan door een toelichting.

# Inleiding

Dit document heeft tot doel om aan te geven wat de verschillen tussen revisie 5 en revisie 6 van het “Veiligheidsrapport Kernenergie-eenheid centrale Borssele 1993” zijn. Revisie 6 van het veiligheidsrapport is opgesteld in het kader van het aanvragen van een vergunningswijziging voor brandstofdiversificatie. Deze houdt in de toepassing van splijtstof bestaande uit oxide van verrijkt natuurlijk uranium met een verrijkingsgraad van maximaal  $4,4 \pm 0,05\%$  (ENU), uit oxide van verrijkt gerecycled uranium met een verrijkingsgraad van maximaal  $4,6 \pm 0,05\%$  (c-ERU), of uit mengoxide (MOX) met een gemiddeld gehalte  $Pu_{\text{splijtbaar}}$  van 5,41%, met daaraan gerelateerd de vereiste boriumsamenstelling, natuurlijk borium bij de inzet van enkel ENU en/of c-ERU en van verrijkt borium bij inzet van MOX. MOX kernen kunnen maximaal 40% MOX-elementen bevatten, waarbij het complement van de 121 elementen in een kern uit uraniumelementen (ENU of (c-) ERU) bestaat. Uraniumkernen kunnen bestaan uit ENU- en (c-)ERU-splijtstofelementen. Per hoofdstuk of paragraaf van het veiligheidsrapport wordt globaal aangegeven wat gewijzigd wordt en wat de reden van de betreffende wijziging is.

Er dient opgemerkt te worden dat als gevolg van voortschrijdend inzicht en voortdurende aanpassingen en verbeteringen (actualiseren) van de rekencodes resultaten van radiologische analyses zoals deze in dit veiligheidsrapport, revisie 6, zijn vermeld, sterker kunnen afwijken van de in revisie 5 vermelde waarden dan op basis van de wijziging in de kernsamenstelling verwacht mag worden. De herberekeningen op basis van de  $4,4 \pm 0,05\%$  (ENU) kern vertonen ook dergelijke afwijkingen.

# 1 Omschrijving van de wijzigingen

Hieronder wordt voor ieder hoofdstuk of paragraaf welke wordt gewijzigd bij de totstandkoming van revisie 6 van het veiligheidsrapport aangegeven wat deze wijziging globaal inhoudt en wat de reden voor de wijziging is. Alle niet vermelde hoofdstukken of paragrafen blijven ongewijzigd.

## 1.2 Samenvattende beschrijving van de installatie

Wijziging in de tekst die voortkomt uit de diversificatie van de splijtstof (pag. 1.2-2).

### 1.6.1 Definities

Toevoeging van de definities reactiviteitsbeheersing met (verrijkt) borium en verrijkt borium, voortkomend uit de benodigde inzet van verrijkt borium bij de inzet van MOX (pag. 1.6-2 t/m 1.6-3).

### 1.6.2 Afkortingen

Toevoeging van de afkortingen c-ERU, ENU, ERU en MOX, voortkomend uit de diversificatie van de splijtstof (pag. 1.6-3 t/m 1.6-6).

## 4.1 Definities

Toevoeging van definities, voortkomend uit de diversificatie van de splijtstof en de benodigde inzet van verrijkt borium bij de inzet van MOX (pag. 4.1-1 t/m 4.1-3).

## 4.2 Inleiding

Wijzigingen in de tekst en tabel met betrekking tot de diversificatie van de splijtstof; mogelijke inzet ENU, (c-)ERU en MOX, en de benodigde inzet van verrijkt borium bij de inzet van MOX (pag. 4.2-1 & 4.2-2).

### 4.3.2 Beschrijving van de constructie

Wijziging in de tekst die voorkomt uit de diversificatie van de splijtstof. MOX-elementen bestaan namelijk, in tegenstelling tot ENU- of (c-)ERU-elementen uit splijtstoftabletten met een mengsel van uranium- en van plutoniumdioxide (pag. 4.3-2).

### 4.4.7 Kernbelading

Wijziging in de tekst, die voorkomt uit de diversificatie van de splijtstof (pag. 4.4-5).

### 5.1.2 Procestechnische uitgangspunten voor het ontwerp

Wijziging voorkomend uit de gewijzigde beschermingsdoelstellingen van de thermohydraulische analyse behorend bij PIE 3.2 (pag.5.1-5).

### 9.1.2 Opslag van gebruikte splijstofelementen

Wijziging in de tekst met betrekking tot de diversificatie van de splijstof; mogelijke inzet ENU, (c-)ERU en MOX (pag. 9.1-2).

### 9.1.4 Het hanteren van splijstofelementen

Toevoeging van twee voetnoten aan de tekst voortkomend uit het benodigde gebruik van verrijkt borium bij de inzet van MOX (pag. 9.1-5).

### 9.3.2 Nucleair chemicaliëndoseerstation (TB)

Toevoeging van een voetnoot aan de tekst voortkomend uit het benodigde gebruik van verrijkt borium bij de inzet van MOX (pag. 9.3-5). Toevoeging van de samenstelling van het toegepaste borium in tabel 9.3.2/1 (pag. 9.3.6).

## Inhoudsopgave Hoofdstuk 11

### 11. Radioactief afval

De tabellen in hoofdstuk 11 zijn bij revisie 6 geactualiseerd. In de tekst is toegevoegd dat bij het actualiseren lozingsgegevens over de periode 1998-2007 gebruikt zijn indien de lozingen gebruikt zijn voor het bepalen van de maximale individuele dosis. Indien dit niet direct het geval is zijn de lozingsgegevens gemeten tot en met 2009 gepresenteerd.

#### 11.1.1 Inventaris van de reactorkern

De tekst en Tabel 11.1.1 “Activiteit van de kerninventaris na volledige opbrand en na 0 dagen verval” zijn aangepast met betrekking tot diversificatie van de splijstof (pag. 11.1-1 t/m 11.1-4).

#### 11.1.2 Activiteit van het hoofdkoelmiddel

De tabellen 11.1/2, 11.1/3 en 11.1/4 zijn geactualiseerd. Tevens is er aan deze tabellen een voetnoot toegevoegd waarin de verwachte verandering ten gevolge van de inzet van c-ERU en MOX is vermeld (pag. 11.1-6, 11.1-7). In verband met de pagina indeling is de eerste alinea van pagina 11.1-7 (VR rev.5) naar pagina 11.1-6 verschoven.



Tot slot is de inzet van verrijkt boorzuur bij de inzet van MOX-elementen aan deze paragraaf toegevoegd (pag. 11.1-5).

#### 11.1.3 Activiteit in de lucht van de gebouwen

Tabel 11.1/5 “Volumieke activiteit in de lucht van de installatieruimte” is geactualiseerd en er is een voetnoot aan deze tabel toegevoegd waarin de verwachte verandering ten gevolge van de inzet van c-ERU en MOX is vermeld (pag. 11.1-8).

#### 11.2.3 Lozing van vloeibaar radioactief afval

Tabel 11.2/1 en 11.2/2 zijn geactualiseerd en voorzien van een voetnoot waarin de te verwachten verandering ten gevolge van de inzet van c-ERU en MOX vermeld is (pag. 11.2-3 & 11.2-4).

#### 11.3.3 Lozing van gasvormig radioactief afval

Aanpassing van tabel 11.3/3 aan de recentste (1998-2007) decade-gemiddelde jaarlijkse lozingsgegevens. Tevens is er een voetnoot aan de tabel toegevoegd waarin de te verwachten verandering ten gevolge van de inzet van c-ERU en MOX is vermeld (pag. 11.3-4 & 11.3-5).

#### 11.4.3 Afgifte van vast radioactief afval

Tabel 11.4/1 “Vast radioactief afval” is geactualiseerd en voorzien van een voetnoot waarin de verwachte verandering ten gevolge van de inzet van c-ERU en MOX is vermeld (pag. 11.4-2).

#### 11.5 Vergelijking van de lozingen met de vergunningslimieten

Aanpassing van tabel 11.5/1 aan de recentste (1998-2007) decade-gemiddelde jaarlijkse lozingsgegevens. Tevens is er een voetnoot aan deze tabel toegevoegd waarin de te verwachten verandering ten gevolge van de inzet van c-ERU en MOX is vermeld (pag. 11.5-1 & 11.5-2).

### 12.2 Stralingsbronnen

Aanpassing in de tekst voor diversificatie van de splijtstof met inzet van MOX (pag. 12.2-1).

#### 12.5 Dosis voor omwonenden

Aanpassing van de tekst en van tabel 12.5/1 aan dosisberekeningen die op basis van de recentste decade-gemiddelde lozingsgegevens (1998-2007) zijn gemaakt. Tevens is er een voetnoot aan tabel 15.5/1

toegevoegd waarin de te verwachten verandering ten gevolge van de inzet van c-ERU en MOX is vermeld (pag. 12.5-2 t/m 12.5-4).

### 13.2.2 Opstarten en inbedrijfname

Toevoeging ( $B^{10}$ ) aan tekst plus voetnoot voortkomend uit het benodigde gebruik van verrijkt borium bij de inzet van MOX (pag. 13.2-3, 13.2-4)

### 13.2.4 Uitbedrijfname

Toevoeging van voetnoot aan de tekst voortkomend uit het benodigde gebruik van verrijkt borium bij de inzet van MOX (pag. 13.2-5).

### 14.2.1 Uitbedrijfname

Toevoeging van voetnoot aan de tekst voortkomend uit het benodigde gebruik van verrijkt borium bij de inzet van MOX (pag. 14.2-1).

## Inhoudsopgave Hoofdstuk 15

### 15 Ongevalsanalyses

Aanvulling van de tekst die voortkomt uit diversificatie van splijtstof. In hoofdstuk 15 wordt voor elke representatieve begingebuurtenis de ongevalsanalyse bij één evenwichtskern (ofwel ENU, ofwel c-ERU, ofwel 40% MOX) beschreven. Deze analyse is afdekkend voor de andere twee evenwichtskernen (pag. 15.1-1). Tevens geldt dat voor de afdekkende ongevalsanalyses de minimaal vereiste boriumsamenstelling wordt genomen. Dit wil zeggen verrijkt borium voor de MOX analyses en natuurlijk borium voor de overige (ENU en c-ERU) analyses. Op grond van het hogere  $B^{10}$  gehalte in verrijkt borium mag worden aangenomen 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.

### 15.1.2 Representatieve begingebuurtenissen

Aanpassing van tabel 15.1/1 “Overzicht van veronderstelde begingebuurtenissen”. Alle radiologische analyses zijn, in verband met de vergunningsaanvraag voor inzet van ENU, c-ERU en MOX, volgens de huidige inzichten opnieuw uitgevoerd. Hierbij is ditmaal een afzonderlijke radiologische analyse voor ontwerpongeval 7.2.2 uitgevoerd (pag. 15.1-12 & 15.1-19).

### 15.2.1 Algemeen

In de tekst is toegevoegd dat alleen de afdekkende thermohydraulische analyse, met bijbehorende boriumsamenstelling (verrijkt of natuurlijk) in het VR wordt beschreven (pag. 15.2-1). Tevens zijn in de tekst de namen van de voor de thermohydraulische analyses gebruikte rekencodes bijgewerkt (pag. 15.2-2).

### 15.2.2 Ongevalseverloop

Paragraaf 15.2.2 is toegevoegd om duidelijk te maken dat het in het VR beschreven ongevalsverloop enkel geldt voor de beschreven splijststofoptie. Het beschreven ongevalsverloop hoeft dus niet representatief voor de andere, niet beschreven, splijststofopties te zijn (pag. 15.2-3), maar is wel afdekkend. Voor iedere splijststofcyclus met zijn eigen kernsamenstelling wordt aangetoond dat de in het VR beschreven analyse afdekkend is of dat voldaan wordt aan de veiligheidslimieten zoals deze door de overheid zijn vastgesteld (pag. 15.2-3).

Door toevoeging van deze paragraaf schuift de nummering van de hierop volgende paragrafen op. Hierdoor wijzigen paragraaf- en figuurnummers (pag. 15.2-9, 15.2-14 t/m 16, 15.2-22, 15.2-26 t/m 28, 15.2-46, 15.2-49 t/m 51, 15.2-54, 15.2-55, 15.2-59 t/m 62, 15.2-68 t/m 15.2-74, 15.2-81 t/m 15.2-88).

### 15.2.3 Onbedoeld openen van de appendages (bijvoorbeeld omloopafsluiters, afblaasregelkleppen, veiligheidskleppen) (PIE 1.4)

De thermohydraulische analyse die voor dit ontwerpongeval voor ENU is uitgevoerd, is niet afdekkend voor MOX. Er is daarom voor MOX een nieuwe analyse uitgevoerd. Deze analyse is uitgevoerd uitgaande van de gebruikelijke conservatieve condities voor ondermeer afschakeling van de reactor. Het resultaat van de analyse toont aan dat ruimschoots aan de beschermingsdoelstellingen wordt voldaan (pag. 15.2-4 t/m 15.2-8).

### 15.2.5 TUSA zonder opening van de turbine-omloopleiding (PIE 2.3.2)

De thermohydraulische analyse die voor dit ontwerpongeval voor ENU is uitgevoerd, is niet afdekkend voor MOX. Er is daarom voor MOX een nieuwe analyse uitgevoerd. Deze analyse is uitgevoerd uitgaande van de gebruikelijke conservatieve condities. Het resultaat van de analyse toont aan dat ruimschoots aan de beschermingsdoelstellingen wordt voldaan (pag. 15.2-17 t/m 15.2-21).

#### 15.2.7 Uitval van de hoofdvoedingswaterpompen (PIE 2.6.1)

De titel van deze PIE “uitval van de hoofdvoedingswaterpompen” is consequent in de tekst doorgevoerd. Daarnaast zijn de figuren van het ongevalsverloop behorende bij deze PIE aangepast (pag. 15.2-29, pag. 15.2.32 t/m 15.2-33).

#### 15.2.8 Blokkeren van een hoofdkoelmiddelpomp of breuk van een hoofdkoelmiddelpompas (PIE 3.2)

De thermohydraulische analyse die voor dit ontwerpongeval voor ENU is uitgevoerd, is niet afdekkend voor MOX. Er is daarom voor MOX een nieuwe analyse uitgevoerd. Deze analyse is uitgevoerd uitgaande van conservatieve condities. Het resultaat van de analyse toont aan dat ruimschoots aan de beschermingsdoelstellingen wordt voldaan (pag. 15.2-34 t/m 15.2-40).

#### 15.2.9 Uitworp van het meest efficiënte regelement (PIE 5.2)

De thermohydraulische analyse die voor dit ontwerpongeval voor ENU is uitgevoerd, is niet afdekkend voor MOX. Er is daarom voor MOX een nieuwe analyse uitgevoerd. Deze analyse is uitgevoerd uitgaande van conservatieve condities. Het resultaat van de analyse toont aan dat ruimschoots aan de beschermingsdoelstellingen wordt voldaan (pag. 15.2-41 t/m 15.2-45).

#### 15.2.13 Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding (PIE 7.2.3)

De thermohydraulische analyse die voor dit ontwerpongeval voor ENU is uitgevoerd, is niet afdekkend voor MOX. Er is daarom voor MOX een nieuwe analyse uitgevoerd. Deze analyse is uitgevoerd uitgaande van de gebruikelijke conservatieve condities. Het resultaat van de analyse toont aan dat ruimschoots aan de beschermingsdoelstellingen wordt voldaan (pag. 15.2-63 t/m 15.2-67).

#### 15.2.15 Lekkage van hoofdstoomleidingen in geval van een aardbeving (PIE 9.1.1)

De thermohydraulische analyse die voor dit ontwerpongeval voor ENU is uitgevoerd, is niet afdekkend voor MOX. Er is daarom voor MOX een nieuwe analyse uitgevoerd. Deze analyse is uitgevoerd uitgaande van conservatieve condities. Het resultaat van de analyse toont aan dat ruimschoots aan de beschermingsdoelstellingen wordt voldaan (pag. 15.2-75 t/m 15.2-80).

### 15.3 Radiologische analyses

NB: Verbeterde en vooral op basis van de regelgeving gewijzigde analysemethoden hebben tot gevolg dat resultaten in deze paragraaf sterk kunnen afwijken van resultaten zoals deze in revisie 5 van het VR zijn weergegeven.

### 15.3.2 Algemeen

Wijziging in de tekst die voortkomt uit de diversificatie van de splijtstof (pag. 15.3-2) en aanvulling van de tekst (pag. 15.3-3 t/m 15.3-4).

### 15.3.3 De rekencode COSYMA

Tekstuele toevoeging betreffende de gebruikte waarden van: “verblijfsfactoren”(pag. 15.3-5).

### 15.3.4 Invoergegevens

De tekst is op een aantal plaatsen gewijzigd (pag. 15.3-5 t/m 15.3-7). Voor de nieuwe radiologische analyses is gebruik gemaakt van de weergegevens uit 1983/1984 (pag. 15.3-5) en een enigszins gewijzigd voedselconsumptiemodel (pag. 15.3-6).

Het filterrendement voor elementair jodium is voor de ontwerpongevallen 7.2.2 en 7.2.3 gewijzigd in 99,9% (pag. 15.3-8).

Door de brandstofdiversificatie wijzigt de kerninventaris en daarmee de activiteitsinventaris (pag. 15.3-7 en 15.3-9 t/m 15.3-13). Tevens verandert de massieke activiteit van het hoofdkoelmiddel als functie van de reinigingsgraad (pag. 15.3-15).

In tabel 15.3.4/3 zijn gebeurtenisfrequentie gebieden aangegeven (pag 15.3-14)

Het ontwerpongeval 7.2.2 (is afdekkend voor 7.1.2) is in een aparte radiologische analyse beschouwd (pag. 15.3-20 t/m 15.3.25).

### 15.3.5 Indeling van weergegevens

De indeling van de weergegevens is enigszins gewijzigd. Zo is de windrichting bijvoorbeeld ingedeeld in 8 sectoren van elk 45° in plaats van 12 sectoren van elk 30° (pag. 15.3-16).

### 15.3.6 Wijze van berekenen

Tekstuele wijziging (pag. 15.3-17).

### 15.3.7 Resultaten ten aanzien van de lozingen

In de subparagrafen van 15.3.7 worden voor elk van de representatieve ontwerpongevallen de voor 40% MOX, c-ERU en ENU afdekkende resultaten van de radiologische analyses beschreven. Voor elk

ontwerpongeval is aangegeven wat de afdekkende splijtstofoptie is. Dit is veelal 40% MOX (pag. 15.3-17 t/m 15.3-52).

#### 15.3.8 Resultaten ten aanzien van externe straling (directe straling)

In deze paragraaf worden voor ontwerpongevallen 7.2.2 en 7.2.3 de resultaten van de afdekkende radiologische analyse van de externe straling gepresenteerd. De afdekkende splijtstofoptie is 40% MOX (pag.15.3-53 t/m 15.3-54).

#### 15.3.9 Overzicht toetsing aan de dosiscriteria

Tekstuele wijziging van de resultaten die volgen uit de radiologische analyses (pag. 15.3-55).

## 2 Uitwisselingstabel

Bijgaand ontvangt u de update van VR-KCB93, rev. 6

Te verwijderen bladen	Toe te voegen bladen
Titelblad band 1	Titelblad band 1
Pag. 1.2-2	Pag. 1.2-2
Pag. 1.6-2 t/m 1.6-5	Pag. 1.6-2 t/m 1.6-6
Pag. 4.1-1 t/m 4.1-2	Pag. 4.1-1 t/m 4.1-3
Pag. 4.2-1 t/m 4.2-2	Pag. 4.2-1 t/m 4.2-2
Pag. 4.3-2	Pag. 4.3-2
Pag. 4.4-5	Pag. 4.4-5
Pag. 5.1-5	Pag. 5.1-5
Titelblad band 2	Titelblad band 2
Pag. 9.1-1	Pag. 9.1-1
Pag. 9.1-2	Pag. 9.1-2
Pag. 9.1-5	Pag. 9.1-5
Pag. 9.3-5 t/m 9.3-6	Pag. 9.3-5 t/m 9.3-6
Inhoudsopgave H11	Inhoudsopgave H11
Pag. 11.1-1 t/m 11.1-8	Pag. 11.1-1 t/m 11.1-8
Pag. 11.2-3 t/m 11.2-4	Pag. 11.2-3 t/m 11.2-4
Pag. 11.3-4 t/m 11.3-5	Pag. 11.3-4 t/m 11.3-5
Pag. 11.4-2	Pag. 11.4-2
Pag. 11.5-1 t/m 11.5-2	Pag. 11.5-1 t/m 11.5-2
Pag. 12.2-1	Pag. 12.2-1
Pag. 12.5-2 t/m 12.5-4	Pag. 12.5-2 t/m 12.5-4
Pag. 13.2-3, 13.2-4	Pag. 13.2-3, 13.2-4
Pag. 13.2-5	Pag. 13.2-5
Pag.14.2-1	Pag.14.2-1
Inhoudsopgave H15	Inhoudsopgave H15
Pag. 15.1-1, 15.1-2	Pag. 15.1-1, 15.1-2

Pag. 15.1-12	Pag. 15.1-12
Pag. 15.1-19	Pag. 15.1-19
Pag. 15.2-1 t/m 15.2.9	Pag. 15.2-1 t/m 15.2.9
Pag. 15.2-14 t/m 15.2.22	Pag. 15.2-14 t/m 15.2.22
Pag. 15.2.26 t/m 15.2.29	Pag. 15.2.26 t/m 15.2.29
Pag. 15.2.32 t/m 15.2.46	Pag. 15.2.32 t/m 15.2.46
Pag. 15.2-49 t/m 15.2-51	Pag. 15.2-49 t/m 15.2-51
Pag. 15.2-54 t/m 15.2-55	Pag. 15.2-54 t/m 15.2-55
Pag. 15.2-59 t/m 15.2-89	Pag. 15.2-59 t/m 15.2-88
Pag. 15.3-2 t/m 15.3-53	Pag. 15.3-2 t/m 15.3-55



# Veiligheidsrapport

Kernenergie-eenheid centrale Borssele

1993

BAND 1

Opgesteld door: N.V. KEMA  
Siemens / KWU

In opdracht van: N.V. EPZ  
VR-KCB93, Rev. 6

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

**Band 1****Revisie-overzicht revisie 6 (juni 2010)**

De wijzigingen zijn door middel van arceringen gemarkeerd.

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

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 condensators, die met water uit de Westerschelde worden gekoeld. De condensators 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 condensators 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.

### 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  $B^{10}$  (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  $B^{10}$  (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  $UO_2$  als splijtstof.<sup>1</sup>

### 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 splijttingsproducten 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.

<sup>1</sup> Essentieel is het  $B^{10}$  gehalte in het koelmiddel ten behoeve van de bedrijfsvoering en afschakelcondities; bij  $UO_2$  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.

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  $B^{10}$  en  $B^{11}$ , in de verhouding van 19,78% tot 80,22%. Voor reactiviteitbeheersing is het isotoop  $B^{10}$  van belang. Om de effectiviteit van B, dat aan het hoofdkoelmiddel wordt toegevoegd te vergroten, kan het percentage  $B^{10}$  worden verhoogd. Er is dan sprake van verrijkt borium. Bij inzet van MOX splijtstofelementen wordt het percentage  $B^{10}$  verhoogd tot 32%. Wanneer er sprake is van toepassing van verrijkt boor bij KCB wordt derhalve het borium bedoeld met een  $B^{10}$  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

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

SOB	Splijtstofopslagbassin
STEW	Stabeinwurf; Reactorvermogensreductie door gecontroleerde inworp van regelementen
TUSA	Turbinesnelafschakeling
VDE	Verband der Deutsche Elektrotechniker
VROM	Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer



## 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  $B^{10}$ ), 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 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.

Mengoxide

Een splijtstof samengesteld uit een mengsel van uraniumdioxide en plutonumdioxide.

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.

$$\rho = \frac{k_{\text{eff}} - 1}{k_{\text{eff}}}$$

waarin

$\rho$  = reactiviteit

$k_{\text{eff}}$  = effectieve vermenigvuldigingsfactor

Reactiviteitsbeheersing met (verrijkt) borium

Fijnregeling van de reactiviteit vindt plaats door middel van de regeling van het gehalte aan  $B^{10}$  (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  $B^{10}$  (32% t.o.v 19,78% van natuurlijk borium). Verrijkt borium moet worden toegepast bij de inzet van MOX als splijtstof en kan worden gebruikt bij  $UO_2$ <sup>1</sup>

Reactiviteit bij afschakeling

Reactiviteit bij afschakeling is de reactiviteit van de reactor, die door afschakeling met behulp van in het bedrijf gebruikelijke middelen in onderkritische toestand is gebracht. Zij hangt over het algemeen af van de bedrijfsvoering van de reactor en de duur van de afgeschakelde toestand, en is altijd negatief.

Vergiftiging

Bij het bedrijven van de reactor ontstaan splijttingsproducten, waarvan enkele een grote absorptiedoorsnede voor neutronen hebben (bijvoorbeeld xenon-135). Deze reactorvergiftiging moet door het reactiviteitsregelsysteem worden gecompenseerd teneinde de reactor op zijn vermogensniveau te handhaven.

Verrijking

Uranium geldt als verrijkt, wanneer het een hoger gehalte aan uranium-235 bevat dan natuurlijk uranium (0,711 % uranium-235).

<sup>1</sup> Essentieel is het  $B^{10}$  gehalte in het koelmiddel ten behoeve van de bedrijfsvoering en afschakelcondities; bij  $UO_2$  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.

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  $B^{10}$  en  $B^{11}$ , in de verhouding van 19,78% tot 80,22%. Voor reactiviteitbeheersing is het isotoop  $B^{10}$  van belang. Om de effectiviteit van B, dat aan het hoofdkoelmiddel wordt toegevoegd te vergroten, kan het percentage  $B^{10}$  worden verhoogd. Er is dan sprake van verrijkt borium. Bij inzet van MOX splijtstofelementen wordt het percentage  $B^{10}$  verhoogd tot 32%. Wanneer er sprake is van toepassing van verrijkt boor bij KCB wordt derhalve het borium bedoeld met een  $B^{10}$  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.

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

De reactor is samengesteld uit de reactorkern met regelementen en smooelementen, 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: splijstofelement, 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 splijstofelementen. Alle splijstofelementen zijn in principe identiek geconstrueerd maar kunnen van elkaar verschillen in het soort splijstof (uraniumdioxide of mengoxide). Op 28 posities in de kern kan een regelement in het splijstofelement geschoven worden (figuur 4.2/1).

Na elke splijstofcyclus wordt telkens een deel van de splijstofelementen vervangen. Ter illustratie is in figuur 4.2/2 een karakteristieke kernconfiguratie met ENU splijstofelementen weergegeven. Deze bevat splijstofelementen tot aan de vijfde standtijd en initiële verrijking van 4,40 + 0,05 %  $^{235}\text{U}$ . 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%  $\text{B}^{10}$ . Bij de toepassing van kernen die bestaan uit ENU en/of (c-)ERU splijstofelementen 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 °C).

Tabel 4.2/1 Belangrijkste gegevens betreffende de reactorkern

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 splijstofelementen		121	
Aantal regelementen		28	
Aantal afstandshouders per splijstofelement		7	
Type splijstofelement		15 x 15 - 20	
Actieve lengte van de splijstofstaven		2650	mm
Buitendiameter van de splijstofstaven		10,75	mm
Totaalgewicht per splijstofelement	circa	508	kg
Thermisch vermogen van de reactor		1365,6	MW
Gemiddelde vermogensdichtheid van de reactorkern (heet)		90,2	kW/dm <sup>3</sup>
Gemiddeld specifiek splijstofvermogen		35,6	kW/kgZM
Gemiddeld lineïek vermogen van een splijstofstaaf		202,7	W/cm
gemiddelde warmteflux		59,9	W/cm <sup>2</sup>
Splijstof		UO <sub>2</sub> , PuO <sub>2</sub>	
235U-verrijking van de splijstof (ENU)		4,40 + 0,05 % (gewicht)	
235U-verrijking van de splijstof ((c-)ERU)		max. 4,60 ± 0,05 % (gewicht)	
239Pu en 241Pu in MOX splijstof (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 <sub>q</sub>	2,80	
	F $\Delta$ H	1,80	
Grenswaarden voor de ongevalsanalyses:			
Maximale splijstofomhullingstemperatuur bij (koelmiddelverlies)ongevallen		1200	°C
Maximale enthalpieverhoging, gemiddeld over een splijstoftablet, bij ongevallen		966	J/g
* Ontwerpwaarde gemiddelde koelmiddeltemperatuur		307,4	°C

### De structuur van het splijtstofelement

- schade aan de splijtstofstaven door slijtage als gevolg van de wisselwerking tussen de afstandhouders en de splijtstofstaven dient te worden voorkomen;
- de splijtstofelementen 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;
- vermoeingsbreuken mogen niet voorkomen;
- de drukbelasting in de lengterichting van de splijtstofstaven als gevolg van wrijvingskrachten tussen de splijtstofstaven en de afstandhouders dient beperkt te blijven om de stabiliteit van de splijtstofstaven te waarborgen;
- voor de uitzetting van de splijtstofstaven in hun lengterichting moet altijd voldoende ruimte zijn om drukbelastingen op de splijtstofstaven 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 splijtstofelement (figuur 4.3/1) bestaat uit de splijtstofstaven en het skelet van het splijtstofelement.

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

##### Splijtstofstaaf

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

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.

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, koelmiddeltemperatuur 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).



**Band 2****Revisie-overzicht revisie 6 (juni 2010)**

De wijzigingen zijn door middel van arceringen gemarkeerd.

<b>Paragraaf</b>	<b>blz.</b>
	<b>Titelblad</b>
<b>9.1.1</b>	<b>9.1-1</b>
<b>9.1.2</b>	<b>9.1-2</b>
<b>9.1.4</b>	<b>9.1-5</b>
<b>9.3.2</b>	<b>9.3-5 t/m 9.3-6</b>
	<b>Inhoudsopgave H11</b>
<b>11.1</b>	<b>11.1-1 t/m 11.1-4</b>
<b>11.1.2</b>	<b>11.1-5 t/m 11.1-7</b>
<b>11.1.3</b>	<b>11.1-8</b>
<b>11.2.3</b>	<b>11.2-3 t/m 11.2-4</b>
<b>11.3.3</b>	<b>11.3-4 t/m 11.3-5</b>
<b>11.4.3</b>	<b>11.4-2</b>
<b>11.5</b>	<b>11.5-1 t/m 11.5-2</b>
<b>12.2</b>	<b>12.2-1</b>
<b>12.5.1</b>	<b>12.5-2 t/m 12.5-3</b>
<b>12.5.2</b>	<b>12.5-4</b>
<b>13.2-2</b>	<b>13.2-3, 13.2-4</b>
<b>13.2-4</b>	<b>13.2-5</b>
<b>14.2.1</b>	<b>14.2-1</b>
	<b>Inhoudsopgave H15</b>
<b>H15</b>	<b>15.1-1, 15.1-2</b>
<b>15.1.2</b>	<b>15.1-192</b>
<b>15.1.2</b>	<b>15.1-19</b>
<b>15.2.1</b>	<b>15.2-1 t/m 15.2-2</b>
<b>15.2.2</b>	<b>15.2-3</b>
<b>15.2.3</b>	<b>15.2-4 t/m 15.2-8</b>
<b>15.2.4</b>	<b>15.2-9</b>
<b>15.2.4</b>	<b>15.2-14 t/m 15.2-16</b>
<b>15.2.5</b>	<b>15.2-17 t/m 15.2-21</b>
<b>15.2.6</b>	<b>15.2-22</b>
<b>15.2.6</b>	<b>15.2-26 t/m 15.2-28</b>
<b>15.2.7</b>	<b>15.2-29</b>
<b>15.2.7</b>	<b>15.2-32 t/m 15.2-33</b>
<b>15.2.8</b>	<b>15.2-34 t/m 15.2-40</b>
<b>15.2.9</b>	<b>15.2-41 t/m 15.2-45</b>
<b>15.2.10</b>	<b>15.2-46</b>
<b>15.2.10</b>	<b>15.2-49 t/m 15.2-50</b>
<b>15.2.11</b>	<b>15.2-51</b>
<b>15.2.11</b>	<b>15.2-54</b>
<b>15.2.12</b>	<b>15.2-55</b>
<b>15.2.12</b>	<b>15.2-59 t/m 15.2-62</b>
<b>15.2.13</b>	<b>15.2-63 t/m 15.2-67</b>
<b>15.2.14</b>	<b>15.2-68 t/m 15.2-74</b>

<b>15.2.15</b>	<b>15.2-75 t/m 15.2-80</b>
<b>15.2.16</b>	<b>15.2-81 t/m 15.2-83</b>
<b>15.2.17</b>	<b>15.2-84 t/m 15.2-88</b>
<b>15.3.2</b>	<b>15.3.2 t/m 15.3.4</b>
<b>15.3.3</b>	<b>15.3.5</b>
<b>15.3.4</b>	<b>15.3-5 t/m 15.3-15</b>
<b>15.3.5</b>	<b>15.3-16</b>
<b>15.3.6</b>	<b>15.3-17</b>
<b>15.3.7</b>	<b>15.3-17 t/m 15.3-52</b>
<b>15.3.8</b>	<b>15.3-53 t/m 15.3-54</b>
<b>15.3.9</b>	<b>15.3-55</b>

## 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 splijstofelementen beschreven. Het hoofdkoelwatersysteem, het nood- en nevenkoelwatersysteem en het nucleaire tussenkoelwatersysteem worden in paragraaf 2 besproken. In paragraaf 3 worden proces technische 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 splijstofelementen**

#### 9.1.1 **Opslag van nieuwe splijstofelementen**

Nieuwe splijstofelementen worden in principe bij aankomst in de centrale in het splijstofopslagbassin (SOB, zie paragraaf 9.1.2) geplaatst. De afstand tussen de splijstofelementen in het SOB is zo gekozen, dat zelfs wanneer alle plaatsen bezet zijn door nieuwe splijstofelementen, en het water in het bassin ongeboreerd is, ondercriticaliteit gewaarborgd is ( $k_{\text{eff}} \# 0,95$ ). Normaal is het water geboreerd en is slechts een gedeelte van de beschikbare plaatsen daadwerkelijk door nieuwe splijstofelementen bezet, zodat in feite de vermenigvuldigingsfactor aanzienlijk lager is.

Ook bestaat de mogelijkheid de nieuwe uranium splijstofelementen 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 splijstofelementen onder water komen te staan geen criticaliteit kan optreden. Zolang de behoefte aan het droog opslaan van splijstofelementen 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 splijstofelementen zo beperkt mogelijk te houden worden ze normaal in het SOB opgeslagen.

### 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 ontluchtingssysteem (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 afschermbalken 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 systeem 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.

### 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  $B^{10}$  concentratie in het primair systeem heeft de vereiste waarde;
- de stroomvoorziening van de regelstaafaandrijvingen is uitgeschakeld;
- de waterstand is gezakt tot het midden van de aansluitstompen 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 boorzuurconcentratie<sup>2</sup> 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 aandrijfstangen 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 aandrijfstangen 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 ontluchten van het primair systeem (druktest)
- terugplaatsen van de afdekbalken.

9.1-5

<sup>1</sup> Bij het gebruik van MOX als splijstof wordt verrijkt borium gebruikt om de vereiste waarde te bereiken

<sup>2</sup> Gerelateerd aan de  $B^{10}$  concentratie

### 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 splijtstofopslagbassin (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 splijtstofwisseling vereiste boriumconcentratie<sup>3</sup>. 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 boorzuurtoevoerpomp het TJ-systeem. Tevens wordt de aanvulling van verliezen en compensatie van de <sup>10</sup>B-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.

---

<sup>3</sup> Bij het gebruik van MOX als splijtstof wordt verrijkt borium gebruikt om de vereiste waarde te bereiken

Tabel 9.3.2/1 Nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB)

concentratie van het opgeslagen boorzuur	12	%
<u>samenstelling van het toegepaste borium</u>		
natuurlijk borium	19,78	% B <sup>10</sup>
	80,22	% B <sup>11</sup>
verrijkt borium	32	% B <sup>10</sup>
	68	% B <sup>11</sup>
kristallisatietemperatuur (globaal)	58	°C
boreertempo in het primair systeem (één boorzuurvoedingsstrang in bedrijf)	400	ppm/h
booronttrekkingstempo (één deminwaterafvoerpomp in bedrijf)	60	ppm/h
<u>boorzuurtank</u>		
aantal	2	
netto inhoud	16	m <sup>3</sup>
ontwerp overdruk	2,9	bar
<u>boorzuuraanmaaktank</u>		
aantal	1	
netto-inhoud	3,5	m <sup>3</sup>
<u>chemicaliënaanmaaktank</u>		
aantal	1	
netto-inhoud	0,2	m <sup>3</sup>
<u>boorzuurpomp</u>		
aanta	2	
nominale capaciteit	2,2	kg/s
<u>boorzuurtoevoerpomp</u>		
aantal	1	
nominale capaciteit	3,3	kg/s
<u>deminwaterterugvoerpomp</u>		
aantal	2	
nominale capaciteit	6,7	kg/s
<u>chemicaliëndoseerpomp</u>		
aantal	1	
nominale capaciteit	0,06	kg/s

11	<b>RADIOACTIEF AFVAL</b>	
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



## 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 activiteitenstroomschema 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 splijttingsproducten met massagetallen onder circa 160 en activeringsproducten, die door neutroneninvangst gevormd worden, met massagetallen boven circa 230. Deze producten 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's veroorzakend**) die aanwezig zijn in de in bedrijf zijnde **ENU, c-ERU en MOX evenwichtskernen** met een gemiddelde opbrand. De activiteit direct na afschakelen is gegeven. De kerninventaris is berekend met het computerprogramma ORIGEN.

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 - 90	1,39E+17	1,50E+17	1,21E+17
Y - 91M	8,10E+17	8,25E+17	6,92E+17
Y - 91	1,70E+18	1,73E+18	1,44E+18
Y - 92	1,69E+18	1,71E+18	1,48E+18
Y - 93	1,89E+18	1,92E+18	1,70E+18
ZR- 89	7,68E+10	9,66E+10	6,34E+10
ZR- 93	3,06E+12	3,29E+12	2,86E+12
ZR- 95	2,27E+18	2,29E+18	2,09E+18
ZR- 97	2,12E+18	2,14E+18	2,02E+18
NB- 93M	2,23E+11	2,53E+11	2,22E+11
NB- 94M	1,95E+12	1,97E+12	2,01E+12
NB- 94	3,71E+08	3,98E+08	4,11E+08
NB- 95M	2,52E+16	2,54E+16	2,32E+16
NB- 95	2,29E+18	2,32E+18	2,11E+18
NB- 97	2,13E+18	2,15E+18	2,03E+18
MO- 99	2,40E+18	2,41E+18	2,33E+18
MO-101	2,22E+18	2,22E+18	2,21E+18
TC- 99M	2,10E+18	2,11E+18	2,04E+18
TC- 99	2,30E+13	2,48E+13	2,33E+13
TC-101	2,22E+18	2,22E+18	2,21E+18
RU-103	1,92E+18	1,90E+18	2,08E+18
RU-105	1,32E+18	1,29E+18	1,53E+18
RU-106	6,88E+17	6,86E+17	9,07E+17
RH-103M	1,92E+18	1,90E+18	2,08E+18
RH-105	1,25E+18	1,23E+18	1,47E+18
AG-108M	2,81E+09	3,20E+09	5,59E+09
AG-110M	4,70E+15	4,36E+15	7,16E+15
AG-110	1,53E+17	1,39E+17	2,16E+17
AG-111	7,00E+16	6,81E+16	8,72E+16

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

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

### 11.1.2 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  $^{16}\text{O}$  het stikstofisotoop  $^{16}\text{N}$  opgebouwd. Dit stikstof vervalst met een halveringstijd van 7,13 seconden onder uitzending van zeer harde gammastraling naar het stabiele zuurstofisotoop  $^{16}\text{O}$ . Uit de andere aanwezige zuurstofisotopen wordt ook stikstof aangemaakt. De activiteit in het hoofdkoelmiddel die hierdoor wordt veroorzaakt is echter te verwaarlozen. Uit  $^{18}\text{O}$  wordt het fluorisotoop  $^{18}\text{F}$  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  $^{24}\text{Na}$ -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  $^{10}\text{B}$  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  $^{10}\text{B}$  concentratie van 32%.

Het boriumisotoop  $^{10}\text{B}$  valt na invangst van een snel neutron in de atoomkern uiteen in twee  $\alpha$ -deeltjes en een tritiumkern. Ook door neutroneninvangst in het lithium en deuterium dat in het water aanwezig is, wordt tritium gevormd. Op basis van de halveringstijden van de verschillende nucliden kan gesteld worden dat ten aanzien van de behandeling van radioactief afval als gevolg van activering van het hoofdkoelmiddel alleen de hoeveelheid gevormd tritium van belang is. De totale jaarlijkse productie van tritium is gegeven in tabel 11.1/4.

#### Activering van corrosieproducten

Door corrosie aan oppervlakken die onderhevig zijn aan een hoge neutronenfluxdichtheid komen radioactieve stoffen in het hoofdkoelmiddel terecht. Ook worden niet-radioactieve vrijgekomen en opgeloste stoffen bij het passeren van de kern geactiveerd. De belangrijkste radioactieve corrosieproducten in het hoofdkoelmiddel zijn gegeven in tabel 11.1/2. Nucliden met een halveringstijd korter dan een 2 uur zijn niet vermeld vanwege hun geringe bijdrage ten aanzien van het radioactieve afval. De tabel is gebaseerd op de gemiddelde volumieke activiteit ten gevolge van de activering van de corrosieproducten zoals gemeten in de periode 2003-2009.

Tabel 11.1/2 Volumieke activiteit van de corrosieproducten gemeten in de periode 2003-2009

Nuclide	Halveringstijd (d)	Volumieke Activiteit (Bq/m <sup>3</sup> )*
<sup>51</sup> Cr	27,7	1,6.10 <sup>7</sup>
<sup>54</sup> Mn	312	1,0.10 <sup>7</sup>
<sup>56</sup> Mn	0,108	9,3.10 <sup>6</sup>
<sup>59</sup> Fe	45	5,7.10 <sup>5</sup>
<sup>58</sup> Co	71	3,9.10 <sup>7</sup>
<sup>60</sup> Co	1940	3,3.10 <sup>7</sup>
<sup>99m</sup> Tc	0,251	1,0.10 <sup>7</sup>
<sup>99</sup> Mo	2,8	2,4.10 <sup>7</sup>
<sup>110m</sup> Ag	250	4,7.10 <sup>6</sup>
<sup>122</sup> Sb	2,7	1,1.10 <sup>8</sup>
<sup>124</sup> Sb	60,3	1,1.10 <sup>8</sup>

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.

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 <sup>3</sup> ) <sup>*</sup>
<sup>85m</sup> Kr	0,187	2,5.10 <sup>8</sup>
<sup>87</sup> Kr	0,053	4,7.10 <sup>8</sup>
<sup>88</sup> Kr	0,117	5,8.10 <sup>8</sup>
<sup>133</sup> Xe	5,28	1,3.10 <sup>9</sup>
<sup>135</sup> Xe	0,382	1,5.10 <sup>9</sup>
<sup>41</sup> Ar	0,075	8,0.10 <sup>7</sup>
Totaal edelgassen		4,6.10 <sup>9</sup>
<sup>134</sup> Cs	750	4,6.10 <sup>7</sup>
<sup>137</sup> Cs	11000	3,7.10 <sup>6</sup>
<sup>138</sup> Cs	0,022	6,4.10 <sup>7</sup>
Totaal cesium		1,1.10 <sup>8</sup>
<sup>131</sup> I	8,04	2,1.10 <sup>8</sup>
<sup>132</sup> I	0,096	1,3.10 <sup>9</sup>
<sup>133</sup> I	0,866	7,7.10 <sup>8</sup>
<sup>134</sup> I	0,036	2,3.10 <sup>9</sup>
<sup>135</sup> I	0,275	1,3.10 <sup>9</sup>
Totaal jodiden		5,9.10 <sup>9</sup>

\* Tot op heden is alleen ENU/ERU splijtstof toegepast. Bij gebruik van c-ERU en MOX splijtstoffen zal de totale volumieke activiteit van de splijtingsproducten in het hoofdkoelmiddel naar verwachting niet wijzigen.

Van de in de splijtstof door drievoudige splijting ontstane tritium diffundeert slechts een klein deel uit de splijtstof. De tritiumactiviteit als gevolg van de uraniumverontreiniging op de buitenkant van de splijtstofstaven 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)
<sup>3</sup> H	4500	7,3.10 <sup>12</sup> *

\* Tot op heden is alleen ENU/ERU splijtstof toegepast. Bij gebruik van c-ERU splijtstof zal de jaarlijkse productie van tritium naar verwachting met 10% toenemen, terwijl bij het gebruik van MOX splijtstof 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  $^{41}\text{Ar}$  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 gebouw lucht 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 <sup>3</sup> )*
Edelgassen	$2,2 \cdot 10^5$
Jodium	$7,8 \cdot 10^{-2}$
Aërosolen	$3,6 \cdot 10^{-3}$

\* 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.



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 gebouwonwateringssysteem (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 afvalsysteem (TT).

### 11.2.3 Lozing van vloeibaar radioactief afval

Vloeibaar radioactief afval wordt batchgewijs (in batches van  $\pm 40 \text{ m}^3$ ) 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 herkomst, en de gemiddelde volumieke activiteit per lozing in de periode 2002 – 2007 van de verschillende vloeibaar afvalstromen weergegeven. De gegeven waarden zijn van het afval dat afkomstig is van de verdamper, afval dat parallel aan de verdamper zonder verdere behandeling afgevoerd wordt en afval dat afkomstig is van het koelmiddelopslag- en regeneratiesysteem (TD). Er is onderscheid gemaakt tussen tritium en de overige nucliden die in het vloeibare afval voorkomen.

Tabel 11.2/1 Herkomst en gemiddeld volumieke activiteit van vloeibaar afval lozingen

Oorsprong	Volumieke activiteit (Bq/m <sup>3</sup> )	
	Tritium* /	Overig
Verdamper	$7,5 \cdot 10^9$	$3,4 \cdot 10^4$
Parallel verdamper	$1,0 \cdot 10^8$	$2,6 \cdot 10^5$
TD	$8,5 \cdot 10^9$	$7,4 \cdot 10^4$

\* Tot op heden is alleen ENU/ERU splijtstof toegepast. Bij gebruik van c-ERU zal de volumieke activiteit van tritium in de vloeibaar afval lozingen naar verwachting met maximaal 10% toenemen, terwijl bij het gebruik van MOX splijtstof de activiteit van tritium afneemt.

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*	$7,0 \cdot 10^{12}$
Beta/gammastralers	$3,3 \cdot 10^8$
Alfastralers	$3,4 \cdot 10^5$

\* 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 %  $^{60}\text{Co}$ , 8 %  $^{58}\text{Co}$ , 4 %  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ , 4 %  $^{137}\text{Cs}$ , 3 %  $^{124}\text{Sb}$ , 1 %  $^{51}\text{Cr}$  en 1 %  $^{54}\text{Mn}$ .

De concentraties zuurstof en waterstof worden voortdurend gecontroleerd. De compressor verhoogt de druk en stuurt het gas via een droger naar de vertragingstraal. De verblijfsduur van de gasvormige splijtingsproducten in de vertragingstraal is respectievelijk:

Xenon	:	60 dagen minimaal
Krypton	:	2,5 dagen minimaal

Het draaggas N<sub>2</sub> 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 gebouwlucht

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 <sup>133</sup>Xe is sterk gereduceerd, terwijl de activiteit van het relatief lang levende <sup>85</sup>Kr 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.

Tabel 11.3/3 Gemiddelde jaarlijkse lozing (1998-2007) via de ventilatieschacht

Nuclidegroep	Activiteit (Bq/a)*
Edelgassen	$4,1 \cdot 10^{12}$
Aërosolen	$2,4 \cdot 10^4$
<sup>131</sup> I	$4,1 \cdot 10^7$
Overige halogenen	$2,7 \cdot 10^7$
Tritium (als HTO)	$2,5 \cdot 10^{11}$
<sup>14</sup> C (als <sup>14</sup> CO <sub>2</sub> )*	$1,1 \cdot 10^{11}$

\* 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 condensors (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.

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 m <sup>3</sup>
Verdamper-concentraat	Middel	6,2 m <sup>3</sup>
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.

## 11.5 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 splijtstoflekkage op waardoor met name de geloosde hoeveelheid gasvormige radioactieve stoffen kan toenemen tot ongeveer 10 % van de vergunningslimieten. Incidenteel is een grotere splijtstoflekkage 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 storingsen 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.

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	<sup>131</sup> 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.

## 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  $^{16}\text{N}$  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.



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.  $^{131}\text{I}$ ) 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.

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)			Meest belastende nucliden
	Gemiddelde lozing 1998-2007 <sup>+</sup>	Maximale lozing 1998-2007 <sup>+</sup>	Vergunning-Limiet*	
<b>A LUCHTLOZINGEN</b>				
Extern pluim	3,1	8,4	$3,8 \cdot 10^2$	Edelgassen <sup>60</sup> Co <sup>3</sup> H, <sup>131</sup> I <sup>14</sup> C
Extern bodem	$2,1 \cdot 10^{-1}$	1,4	$2,0 \cdot 10^3$	
Inwendig inhalatie	$7,1 \cdot 10^{-1}$	1,1	$1,5 \cdot 10^1$	
Inwendig ingestie	$1,8 \cdot 10^1$	$2,5 \cdot 10^1$	$7,2 \cdot 10^1$	
<b>B WATERLOZINGEN</b>				
Inwendig ingestie	$2,1 \cdot 10^{-2}$	$3,4 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^1$	<sup>60</sup> Co
<b>TOTAAL (afgerond)</b>	$2,2 \cdot 10^1$	$3,6 \cdot 10^1$	$2,5 \cdot 10^3$	

\* waarde o.b.v. vergunninglimiet

<sup>+</sup> 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 "10-bronnen benadering" gehanteerd, dit houdt dan in dat de dosislimiet 0,1 mSv/a per bron bedraagt. Tevens is door de Nederlandse overheid aangegeven dat doses beneden 0,001 mSv/a, vanwege het geringe risico als secundair mogen worden beschouwd. De maximale individuele doses afkomstig van reguliere lozingen door KCB liggen hier met  $22 \cdot 10^{-6}$  mSv/a (gemiddeld in de periode 1998-2007) ruimschoots onder. Het mogelijke overlijdensrisico ten gevolge van deze lozingen bedraagt  $10^{-9}$ /jaar (kans van 1 op een miljard).

De reactor wordt kritisch gemaakt door de regelementen gedeeltelijk uit te trekken en aansluitend de borium  $B^{10}$  concentratie<sup>1</sup> van het hoofdkoelmiddel te verlagen. Met het trekken van de regelementen wordt bereikt dat er altijd voldoende afschakelreactiviteit beschikbaar is als de reactor kern 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.

<sup>1</sup> 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.

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 condensoren.

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.

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 boriumconcentratie<sup>2</sup> 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 condensors 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 condensors 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.

---

<sup>2</sup> 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.

## 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 geboreerd<sup>1</sup> 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 telnheden 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 ( $k_{eff}$ ) 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

---

<sup>1</sup> 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.

15	<b>ONGEVALSANALYSES</b>	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	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	Blokkeren 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



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 weersituaties	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 bedrijfslekage 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 splijtstofelementen tijdens het hanteren....	15.3-47
15.3.7.8	Bronterm behorende bij ontwerp ongeval 9.1.2: Gevolgen van een aardbeving op het reactorhulpgebouw	15.3-50
15.3.8	Resultaten ten aanzien van externe straling (directe straling)	15.3-53
15.3.9	Overzicht toetsing aan de dosiscriteria	15.3-55

## 15 ONGEVALSANALYSES

Dit hoofdstuk behandelt de resultaten van die ongevalsanalyse die als afdekkend geldt voor de drie mogelijke splijststofopties 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 B<sup>10</sup> 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

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 buitenontwerp 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 ontwerpcriteria overschrijden (zie ook figuur 1.4/1). De maatregelen die getroffen worden tegen gebeurtenissen binnen de installatie die de ontwerpcriteria 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 onverwijld 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 ontwerpdruk) 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 ontwerpdruk mag bedragen.

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 splijstofelementen tijdens het hanteren (8.4.1);
- val van een transportcontainer met splijstofelementen buiten de veiligheidsomhulling (8.4.2);
- val van een zware last met inbegrip van een transportcontainer voor splijstofelementen op het splijstofopslagbassin (8.4.3);
- verlies van water uit het splijstofopslagbassin (8.4.4).

Representatieve begingebourtenissen

- lekkage in een leiding van het afgassysteem (8.2);
- beschadigingen van splijstofelementen 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 splijstofopslagbassin mogen bevinden. Bij PIE 8.4.4 betreft dit het ontwerp van de aansluitingen aan het splijstofopslagbassin en het lekdetectiesysteem (paragraaf 9.1)

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	

## 15.2 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 splijststofopties 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-signaal 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 splijststofomhulling) 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.

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 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 splijstof- en splijstofomhullingstemperaturen 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.

### 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 "reactorvermogen > glijdende grenswaarde" bereikt en volgt een reactorsnelafschakeling (RESA). Op deze RESA volgt een turbinesnelafschakeling (TUSA) waarbij de turbineregelventielen sluiten. Na een korte druktoename, neemt de stoomdruk sterk af.

138 seconden na het begin van het ongeval wordt de reactor weer kritisch, wat voor dit type ongeval is toegestaan. Na 150 seconden is de druk in de hoofdstoomleiding zo ver afgenomen dat de grenswaarde voor de drukdalingsgradient (DAF-signaal) aanspreekt. Hierop volgend wordt de hoofdvoedingswaterverzorging van beide stoomgeneratoren afgesloten; de hoofdstoomafsluiters en de breukbeveiligingskleppen worden gesloten en de hoofdvoedingswaterpompen worden afgeschakeld. Door het secundair afsluiten van beide stoomgeneratoren wordt voorkomen dat de druk in de hoofdstoomleiding verder daalt en wordt de onderkoeling van het primaire systeem beëindigd. Het waterniveau in de stoomgeneratoren wordt door het gestarte noodvoedingswatersysteem (RL) weer aangevuld, waarop de druk in de hoofdstoomleiding weer toeneemt.

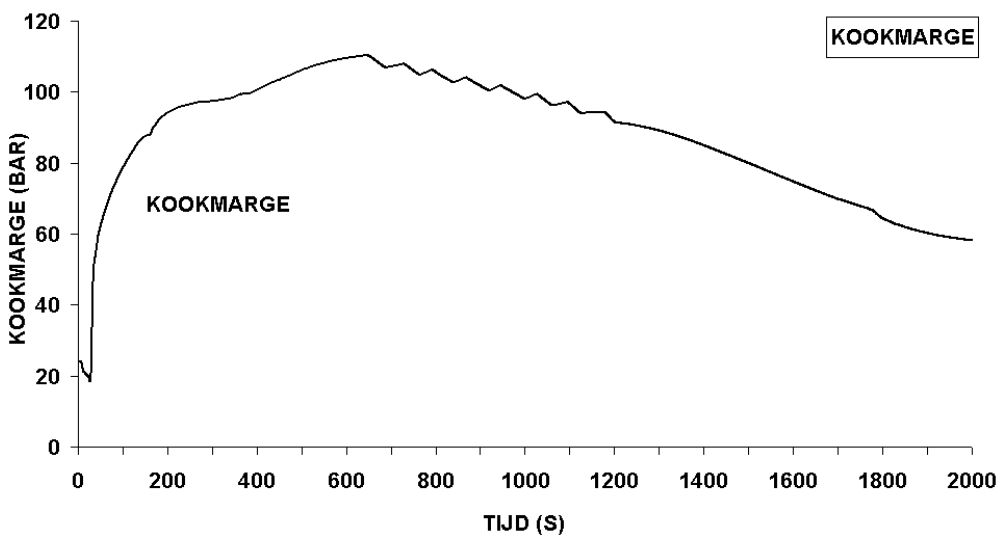
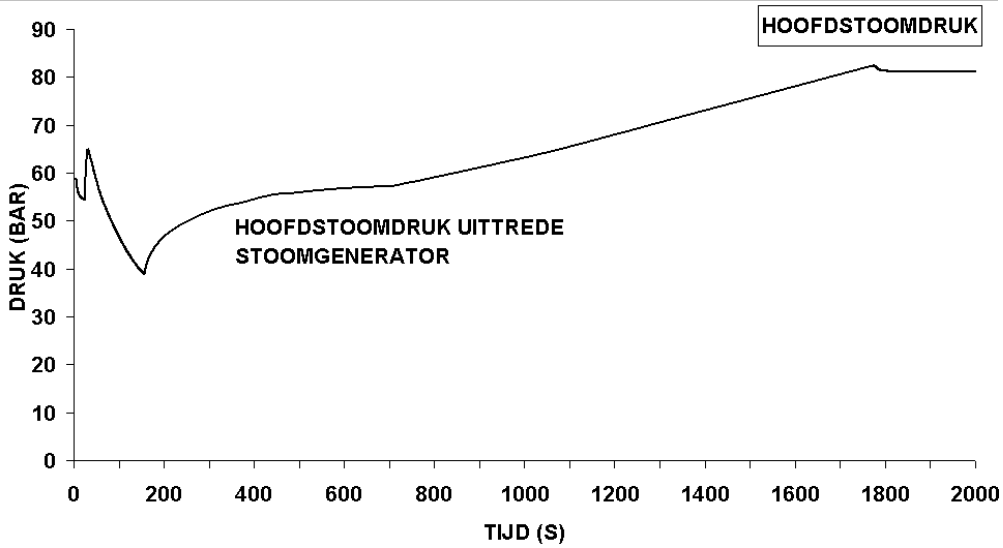
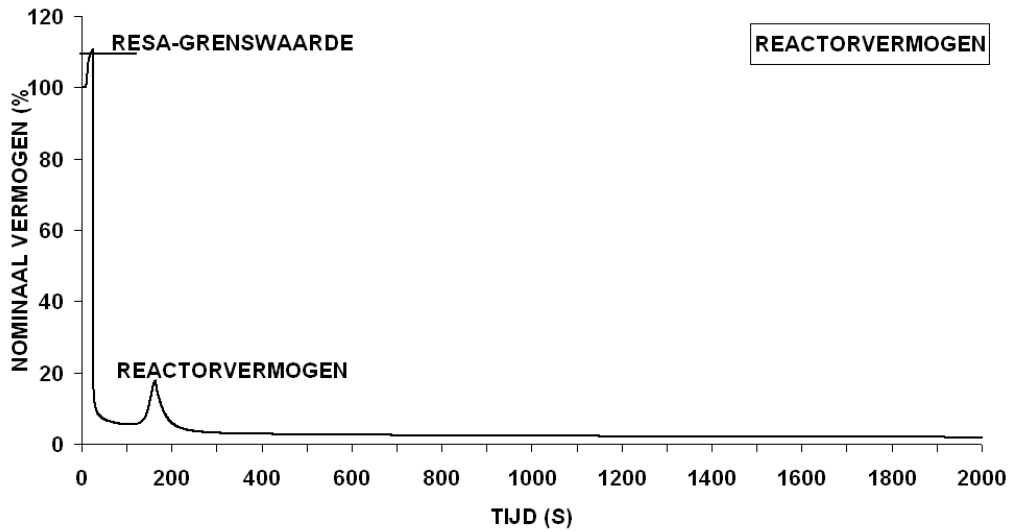
Met de beëindiging van de onderkoeling van het primaire systeem, neemt de temperatuur en de druk van het hoofdkoelmiddel weer toe. De afnemende moderatorreactiviteit zorgt ervoor dat de reactor weer onderkritisch wordt.

Na 1767 seconden is de druk in de hoofdstoomleiding toegenomen tot > 81,4 bar, waardoor de afblaasregelkleppen worden geopend. De warmteafvoer vindt nu plaats via het afblazen van de stoom. De stoomgeneratoren worden gevoed door het noodvoedingswatersysteem. Door het afblazen wordt de toename van de hoofdkoelmiddeltemperatuur gestopt.

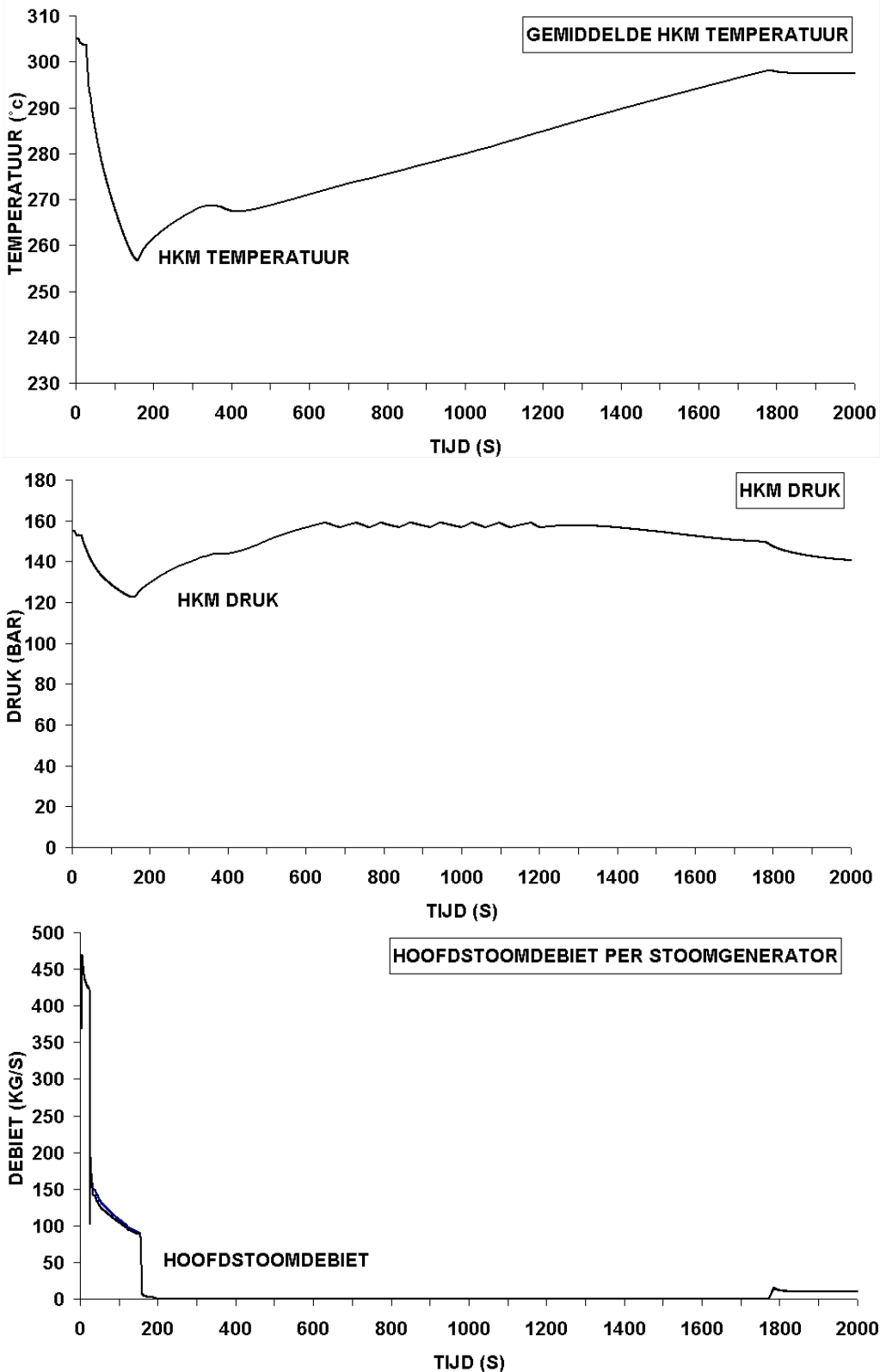
#### 4 Resultaat

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.



**Figuur 15.2.3/1** Onbedoend openen van appendages (bijv. omloopafsluiters, afblaasregelkleppen, veiligheidskleppen) (PIE 1.4)



**Figuur 15.2.3/2** Onbedoeld openen van appendages (bijv. omloopafsluiters, afblaasregelkleppen, veiligheidskleppen) (PIE 1.4)

#### 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

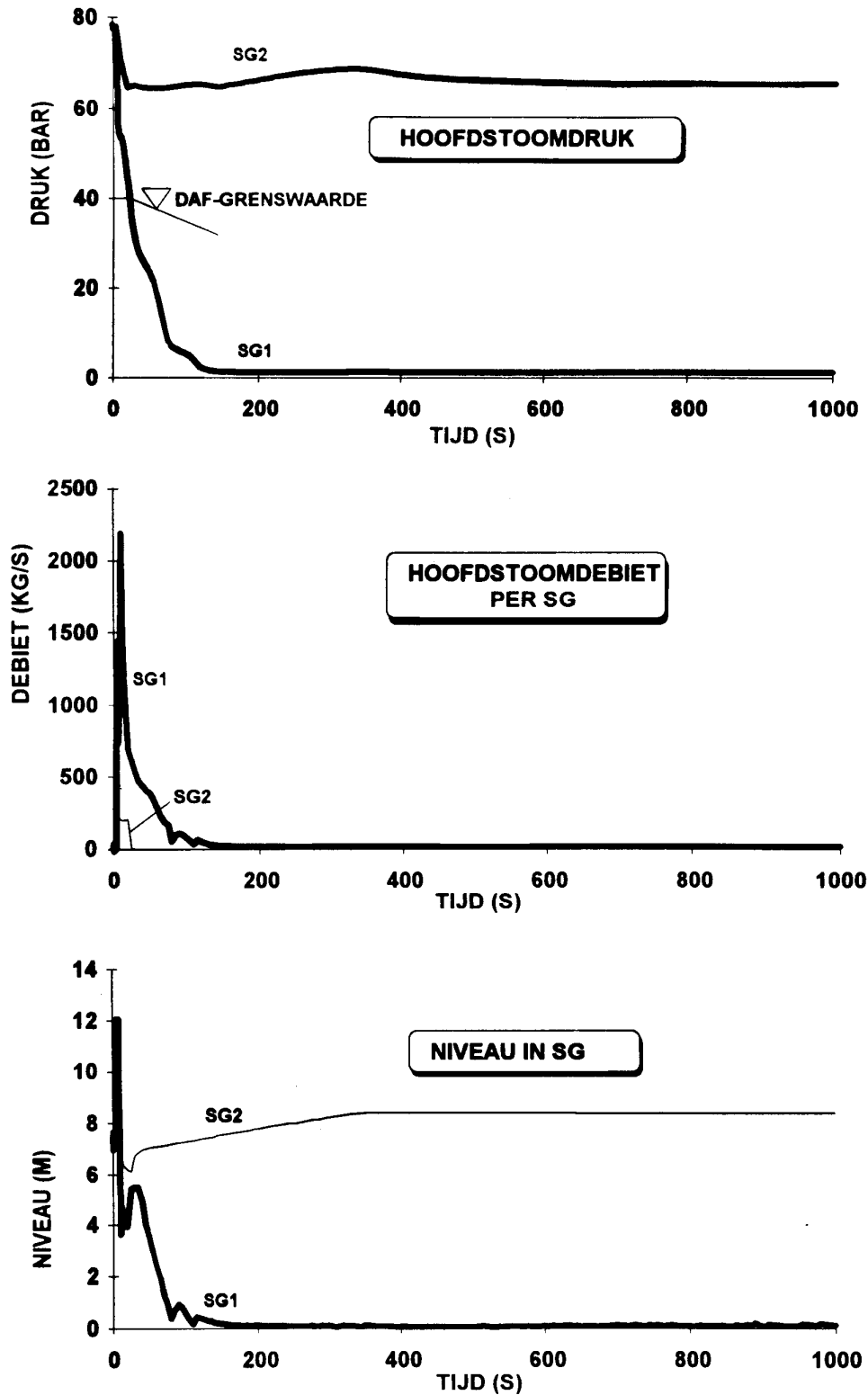
Bij dit ongeval wordt aangenomen dat tijdens de bedrijfstoestand "nullast heet onderkritisch" een hoofdstoomleiding breekt tussen de veiligheidsomhulling en de hoofdstoomafsluiters, met als gevolg dat de bijbehorende stoomgenerator (SG1) vrijwel droogkookt.

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-sig-naal) zo lang mogelijk uitblijft.

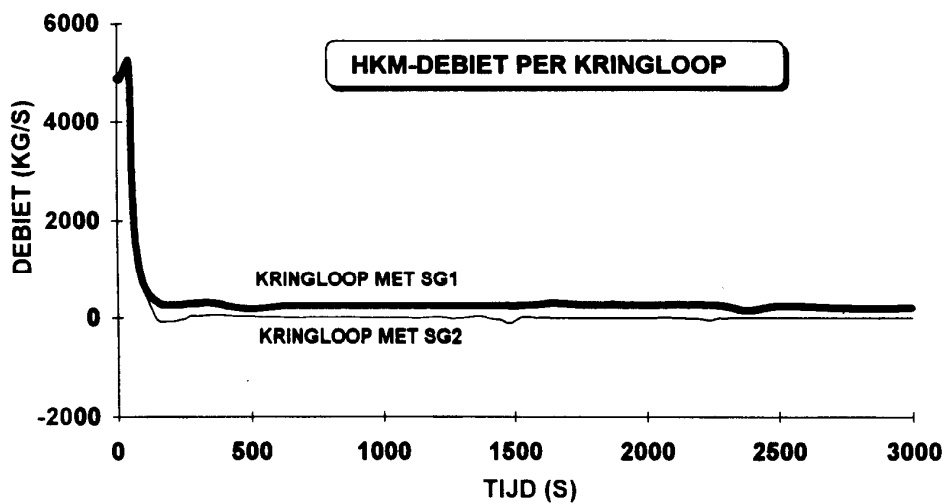
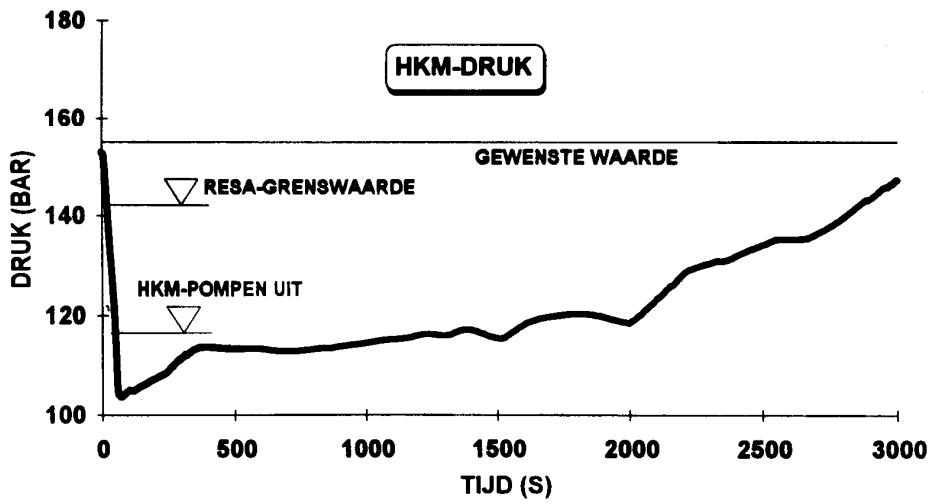
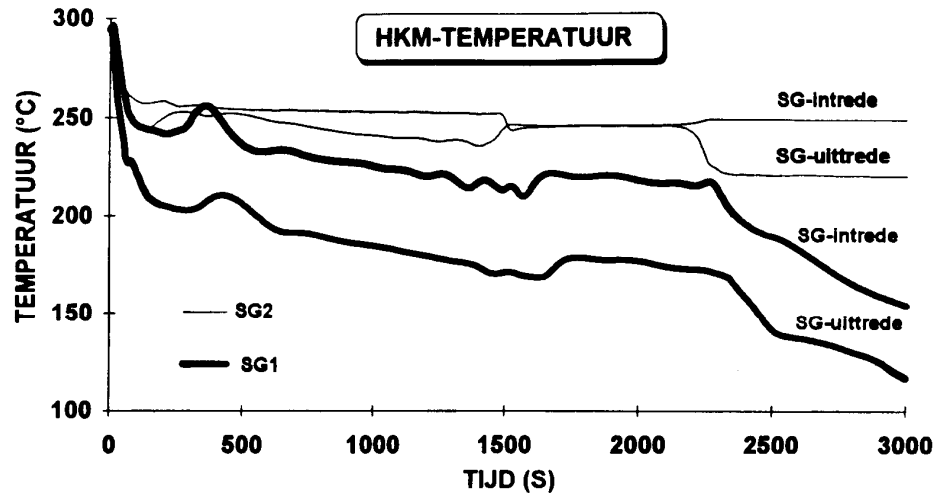
Vanwege de grote invloed op de reactiviteit van de hoofdkoelmiddeltemperatuur, wordt bij de analyse van deze gebeurtenis uitgegaan van een kern aan het einde van een cyclus en geen boorzuur in het hoofdkoelmiddel.

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.



SG1: stoomgenerator met gebroken hoofdstoomleiding  
 SG2: stoomgenerator met intacte hoofdstoomleiding

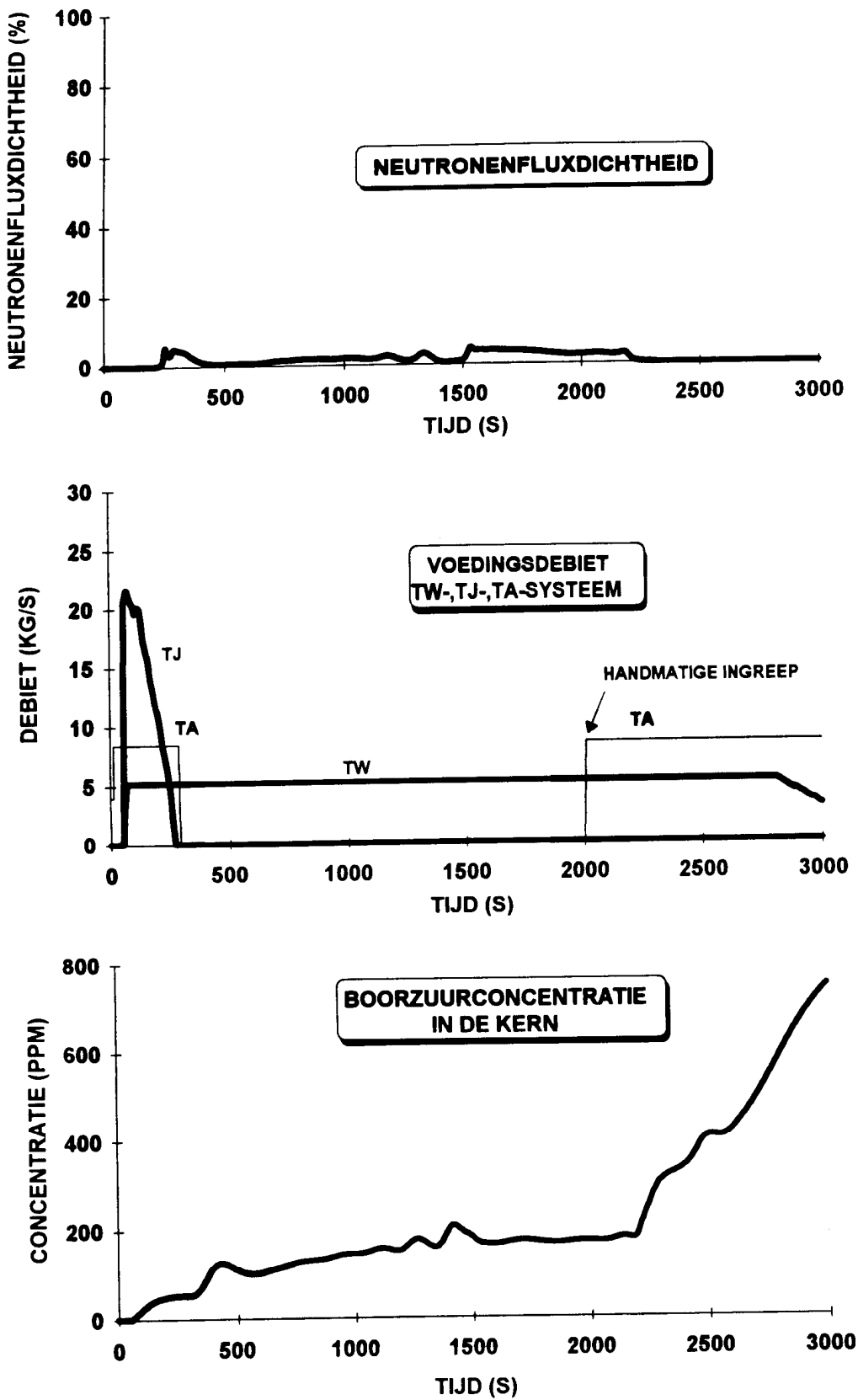
Figuur 15.2.4/1 Breuk in de hoofdstoomleiding tussen de veiligheidsomhulling en de hoofdstoomafsluiters (PIE 1.5.4)



SG1: stoomgenerator met gebroken hoofdstoomleiding  
 SG2: stoomgenerator met intacte hoofdstoomleiding

Figuur 15.2.4/2 Breuk in de hoofdstoomleiding tussen de veiligheidsomhulling en de hoofdstoomafsluiters (PIE 1.5.4)





Figuur 15.2.4/3 Breuk in de hoofdstoomleiding tussen de veiligheidsomhulling en de hoofdstoomafsluiters (PIE 1.5.4)  
15.2-16

### 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 splijstof- en splijstofomhullingstemperatuur 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 cyclusbegint 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  $> \text{max}$ ". 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 "Druk in stoomgeneratoren  $> 82,4 \text{ bar}$ " bereikt en volgt een reactorsnelafschakeling (RESA).

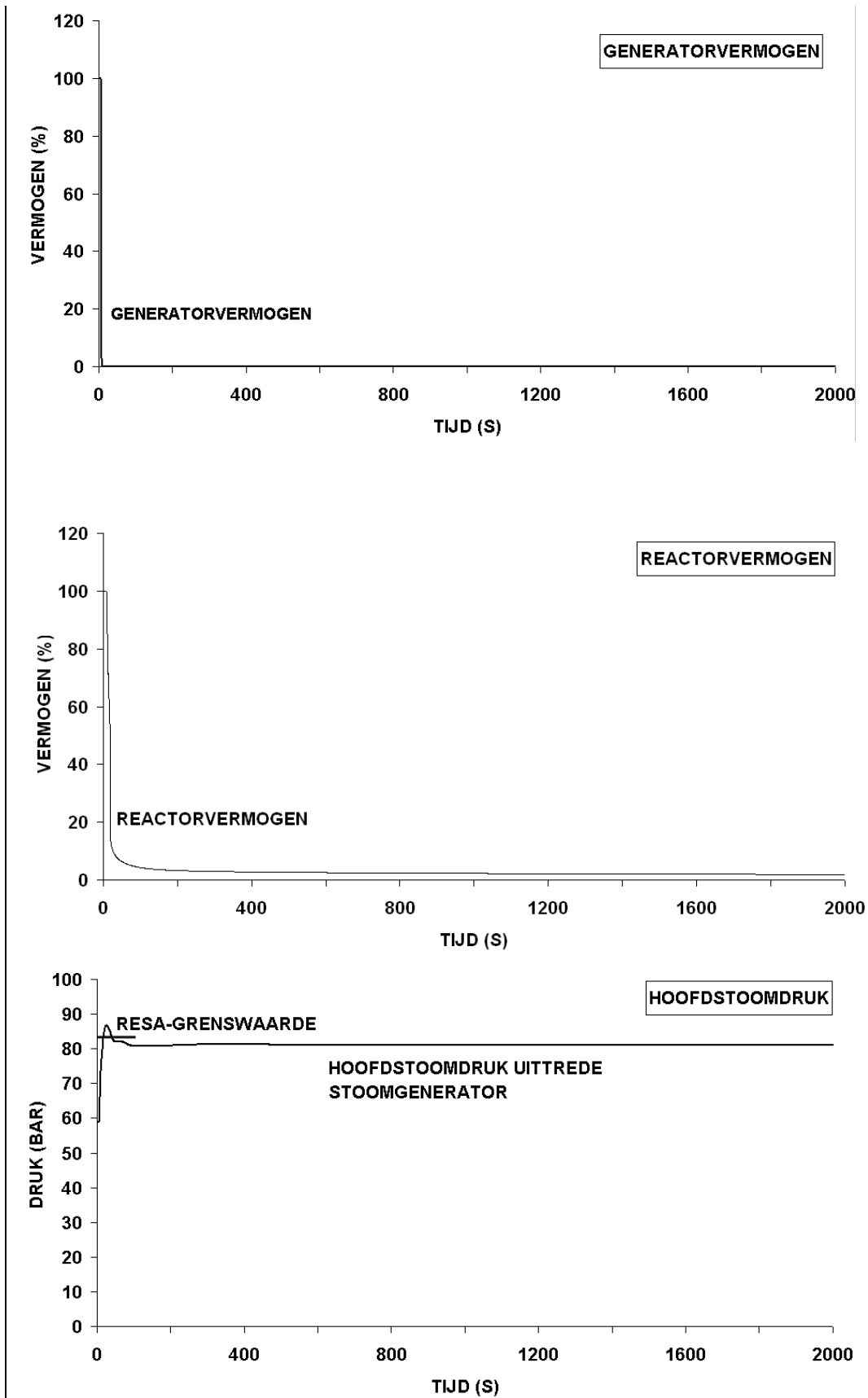
Ondanks de warmteafvoer via de geopende afblaasregelkleppen neemt de druk in de hoofdstoomleiding verder toe en worden bij een hoofdstoomdruk  $> 86,3 \text{ bar}$  twee veiligheidskleppen geopend.

Korte tijd na de RESA neemt de druk van het hoofdkoelmiddel niet verder toe.

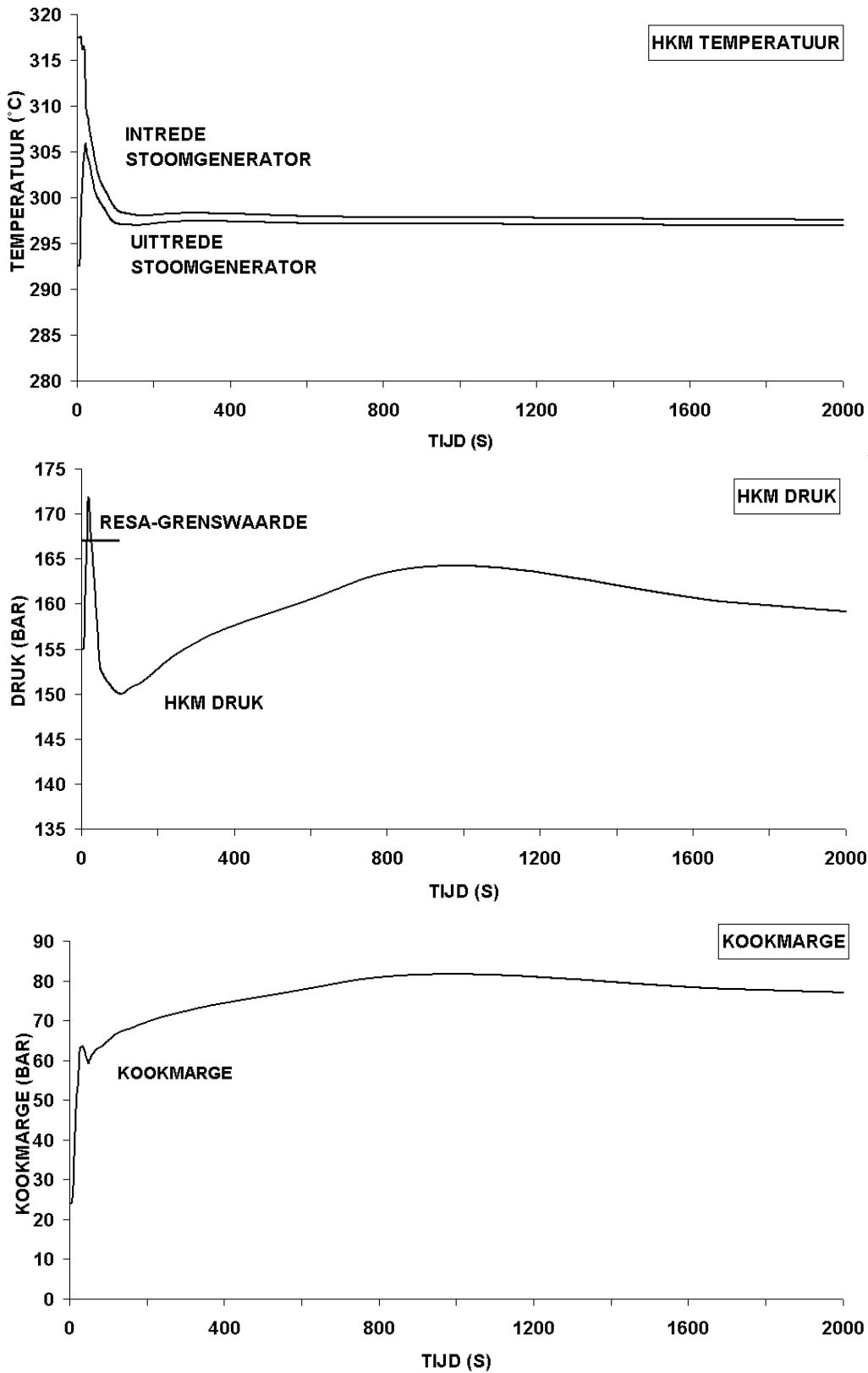
#### 4 Resultaat

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 splijstof- en splijstofomhullingstemperaturen 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.



Figuur 15.2.5/1 TUSA zonder opening van de turbine-omloopleiding (PIE 2.3.2)



Figuur 15.2.5/2 TUSA zonder opening van de turbine-omloopleiding (PIE 2.3.2)

**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.

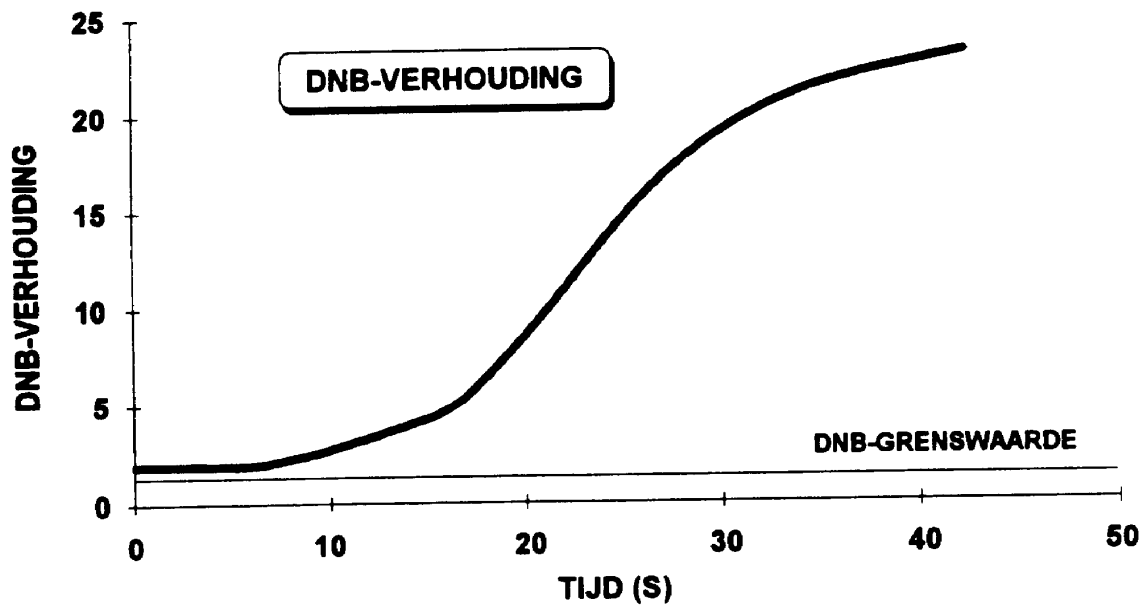
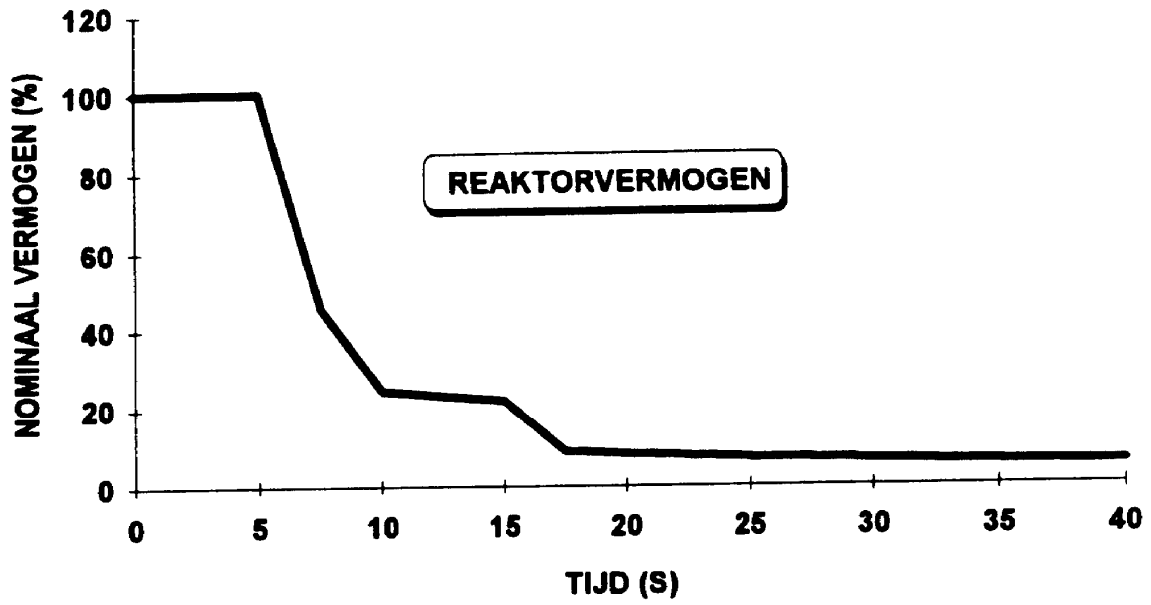
De beschermingsdoelstelling "Afregelen tot de toestand koud-onderkritisch onder noodstroomcondities" wordt vervuld door het beschikbaar hebben van voldoende deminwater.

**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.

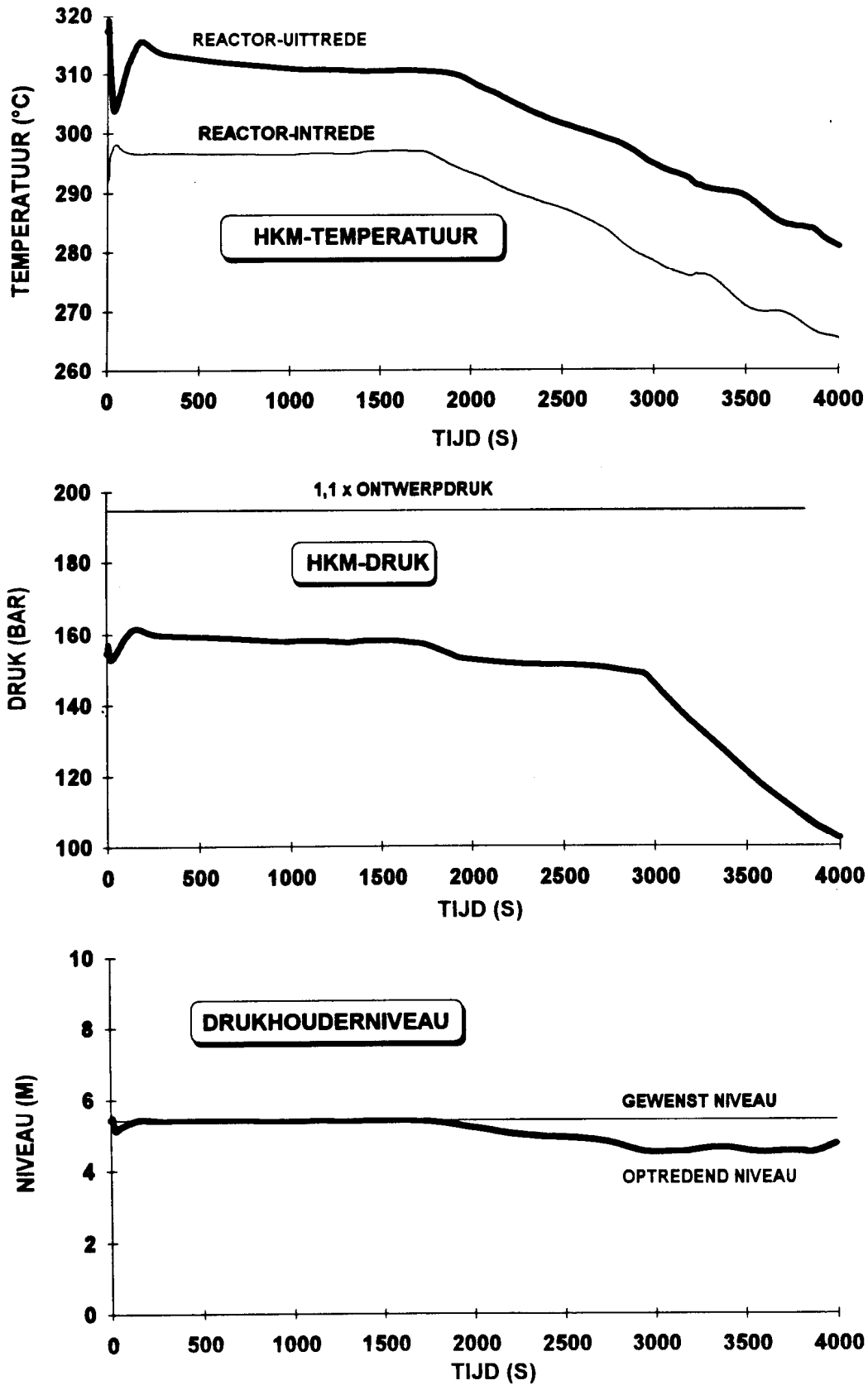
Aangenomen wordt, dat het eerste RESA-sigitaal wordt genegeerd. Bovendien wordt als enkelvoudig falen verondersteld, dat het noodvoedingswatersysteem (RL) niet ter beschikking staat.



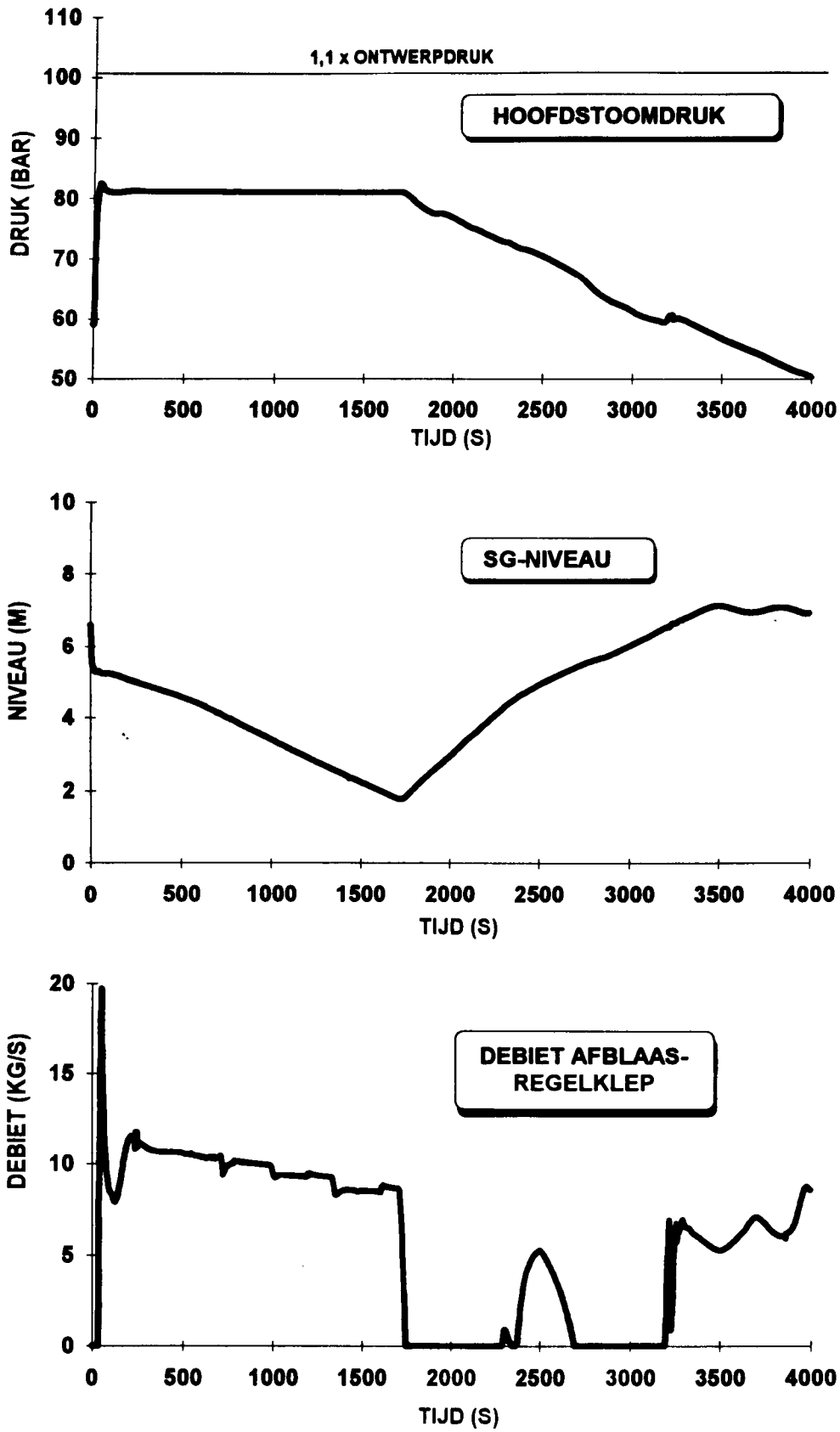
Figuur 15.2.6/1

Langdurige noodstroomsituatie (> 30 minuten) (PIE 2.5.2)





Figuur 15.2.6/2 Langdurige noodstroomsituatie (> 30 minuten) (PIE 2.5.2)



Figuur 15.2.6/3

Langdurige noodstroomsituatie (> 30 minuten) (PIE 2.5.2)

## 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 splijstof- en splijstofomhullingstemperatuur 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

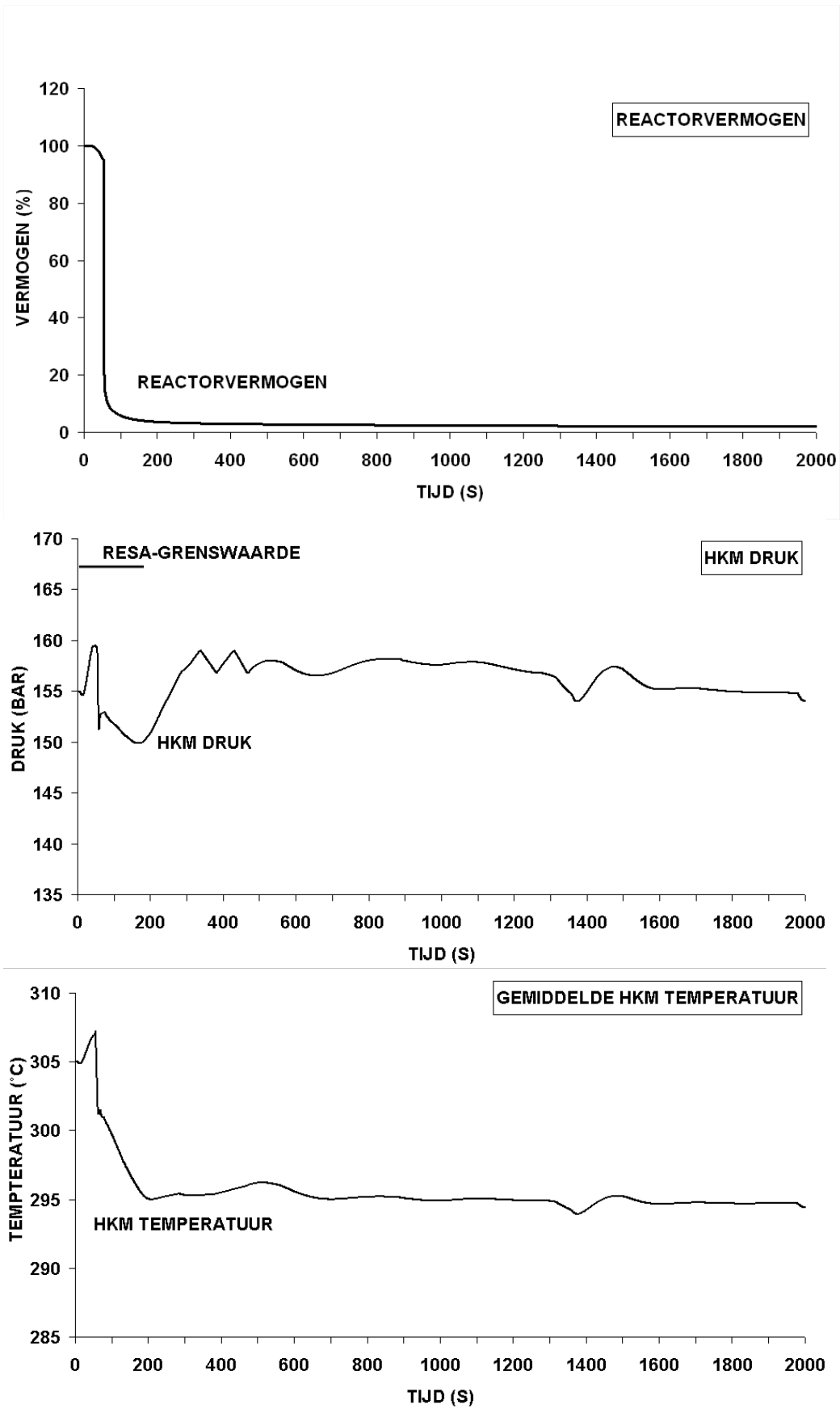
Bij dit ongeval wordt verondersteld, dat bij vollast beide hoofdvoedingswaterpompen uitvallen, zonder dat de reserve pomp in bedrijf komt. Bovendien wordt verondersteld, dat het noodvoedingswatersysteem niet beschikbaar is.

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).

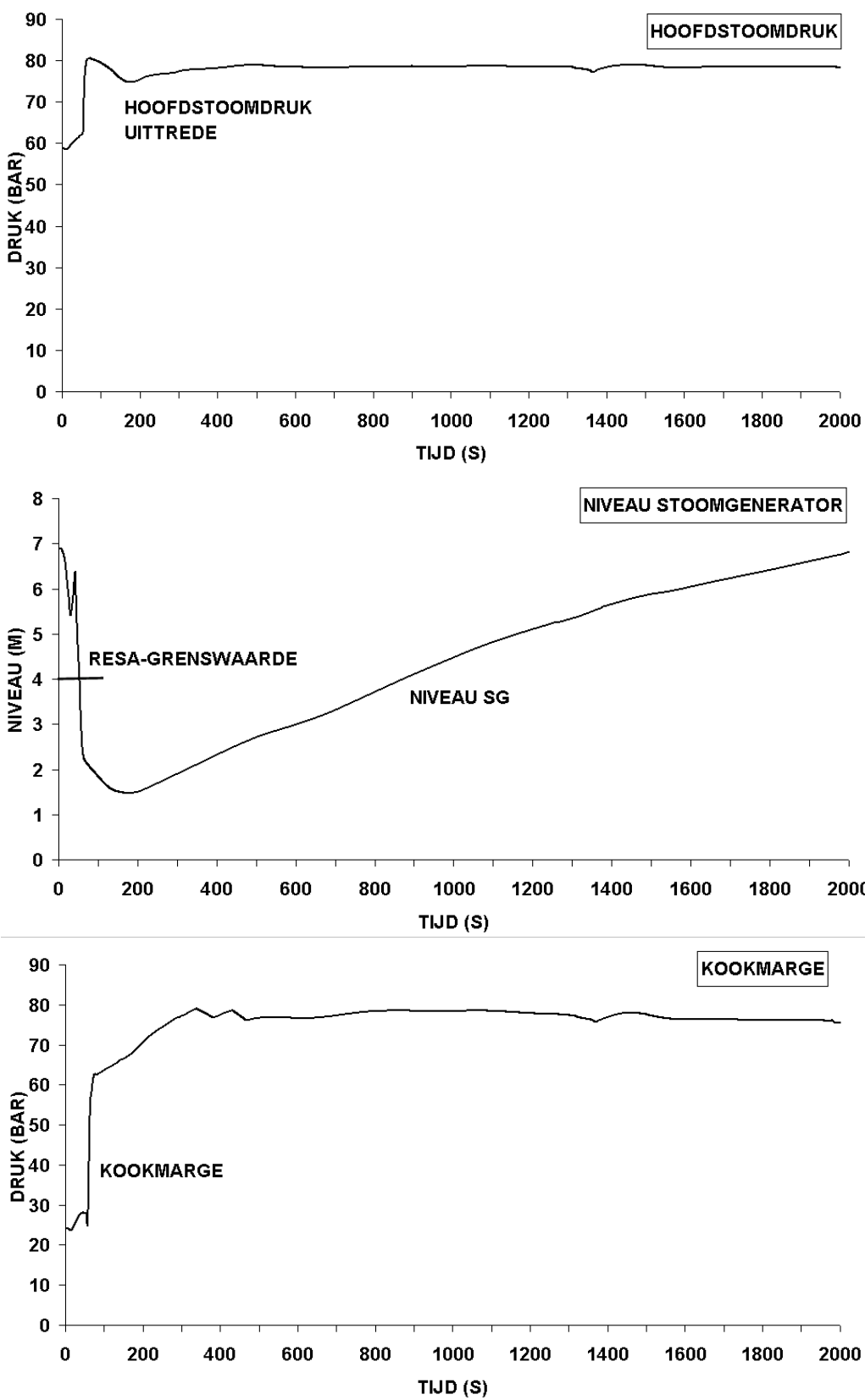
Er wordt conservatief aangenomen, dat het door het verminderde voedingswaterdebiet opgewekte RL-RELEB-signaal "Inworp van alle regelementen" geen uitwerking heeft.

### 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 signaal echter genegeerd.



Figuur 15.2.7/1 Uitval van de hoofdvoedingswaterpompen (PIE 2.6.1)



Figuur 15.2.7/2 Uitval van de hoofdvoedingswaterpompen (PIE 2.6.1)

### 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 splijstofomhulling beneden de  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  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 "Inwerpen van regelementen" op grond van het bereiken van de grenswaarde "toerental hoofdkoelmiddelpomp  $< \text{min}1$ " als het door het reactorbeveiligingssysteem gevormde RESA-sigitaal door "toerental hoofdkoelmiddelpomp  $< \text{min}2$ " niet aan.

De analyse is conservatief bij aanvang van de splijstofcyclus uitgevoerd.

Er wordt verondersteld, dat het eerste RESA-sigitaal wordt genegeerd.

Daarnaast wordt het uitvallen van de hoofdkoelmiddeltemperatuurregeling verondersteld, omdat deze het ongevalsverloop gunstig zou beïnvloeden.

### 3 Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

#### Primaire zijde

Door de snelle uitloop van de pompwaaijer 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" bereikt, waarna gecontroleerd 2 regelstaven ingeworpen worden. Hierdoor neemt het reactorvermogen verder af tot ongeveer 60 %.

Na ongeveer 8 seconden wordt de RESA grenswaarde "Kookmarge < 15 bar" bereikt. Er wordt echter geen RESA geïnitieerd vanwege de veronderstelling het eerste RESA signaal te negeren.

De hoofdstoomminimumdrukregeling spreekt na ongeveer 27 seconden aan. Deze regeling sluit de turbineregelventielen, waardoor de druk in de hoofdstoomleiding toeneemt. Daarop volgend nemen de hoofdkoelmiddeltemperatuur, de hoofdkoelmiddeldruk en het niveau in de drukhouder ook toe.

Door te sproeien in de drukhouder worden de hoofdkoelmiddeldruk en het niveau in de drukhouder echter begrensd. Het reactorvermogen schommelt tot RESA rond de 50 %.

Bij het verdere ongevalsverloop trekt de terugvoerregering de ingeworpen regelelementen weer omhoog. Hierdoor nemen het reactorvermogen en de hoofdkoelmiddeltemperatuur toe.

Na 464 seconden wordt de toestand "Niveau stoomgenerator < 4 m" bereikt, waardoor een reactorsnelafschakeling (RESA) volgt. De hoofdkoelmiddeltemperatuur, de hoofdkoelmiddeldruk en het niveau in de drukhouder nemen hierdoor tijdelijk af.

De drukhouderverwarming en het hogedruk reduceerstation van het volumeregelsysteem (TA) sluiten op een minimum hoeveelheid en een tweede TA pomp komt bij, waardoor de hoofdkoelmiddeldruk en het niveau in de drukhouder weer toeneemt.

#### Secundaire zijde

Aan de secundaire zijde wordt het generatorvermogen door de turbineregeling snel aangepast aan het dalende reactorvermogen. Dit leidt tot het zo nu en dan openen van de turbine-omloop.

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 "Niveau stoomgenerator < 4 m" bereikt, waardoor een reactorsnelafschakeling (RESA) volgt. Hierop volgt het automatisch uit bedrijf nemen van het hoofdvoedingswatersysteem en het automatisch in bedrijf nemen van het noodvoedingswatersysteem. Het niveau in de stoomgeneratoren wordt vervolgens door de noodvoedingswaterregeling op de nullast waarde geregeld.

De TUSA die volgt op de reactorsnelafschakeling leidt tot het sluiten van de snelsluitkleppen, waardoor de druk in de hoofdstoomleiding snel toeneemt. De druk neemt zelfs zover toe dat 8 seconden na TUSA de afblaaskleppen kortstondig openen.

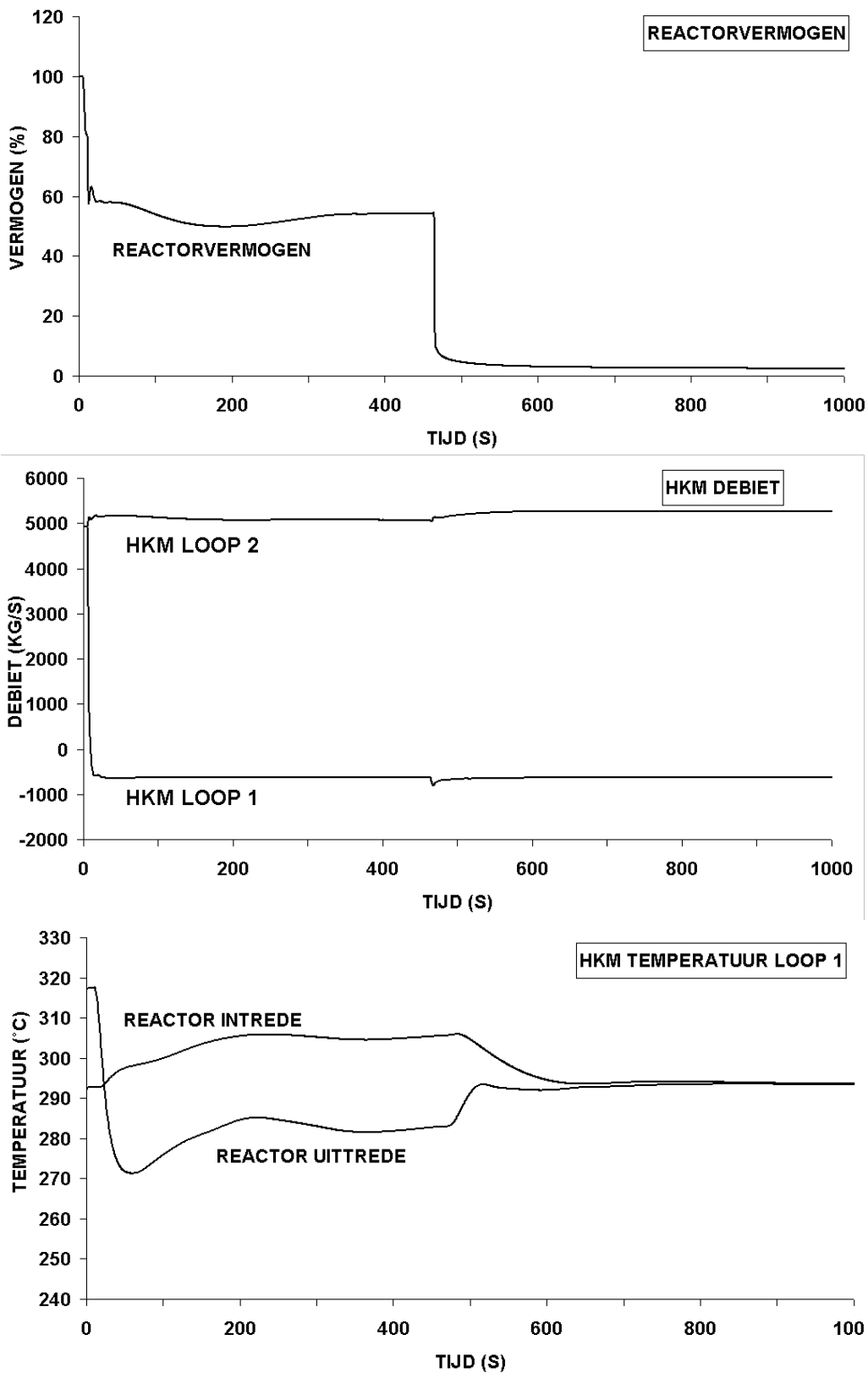
#### 4 Resultaat

De analyse toont aan dat het ongeval bij conservatieve aannames beheerst wordt. De hoofdkoelmiddel- en de hoofdstoomdruk blijven beneden de maximaal toelaatbare waarden (1,1 x ontwerpdruk). Ook de drukhouder veiligheidsklep wordt niet geopend.

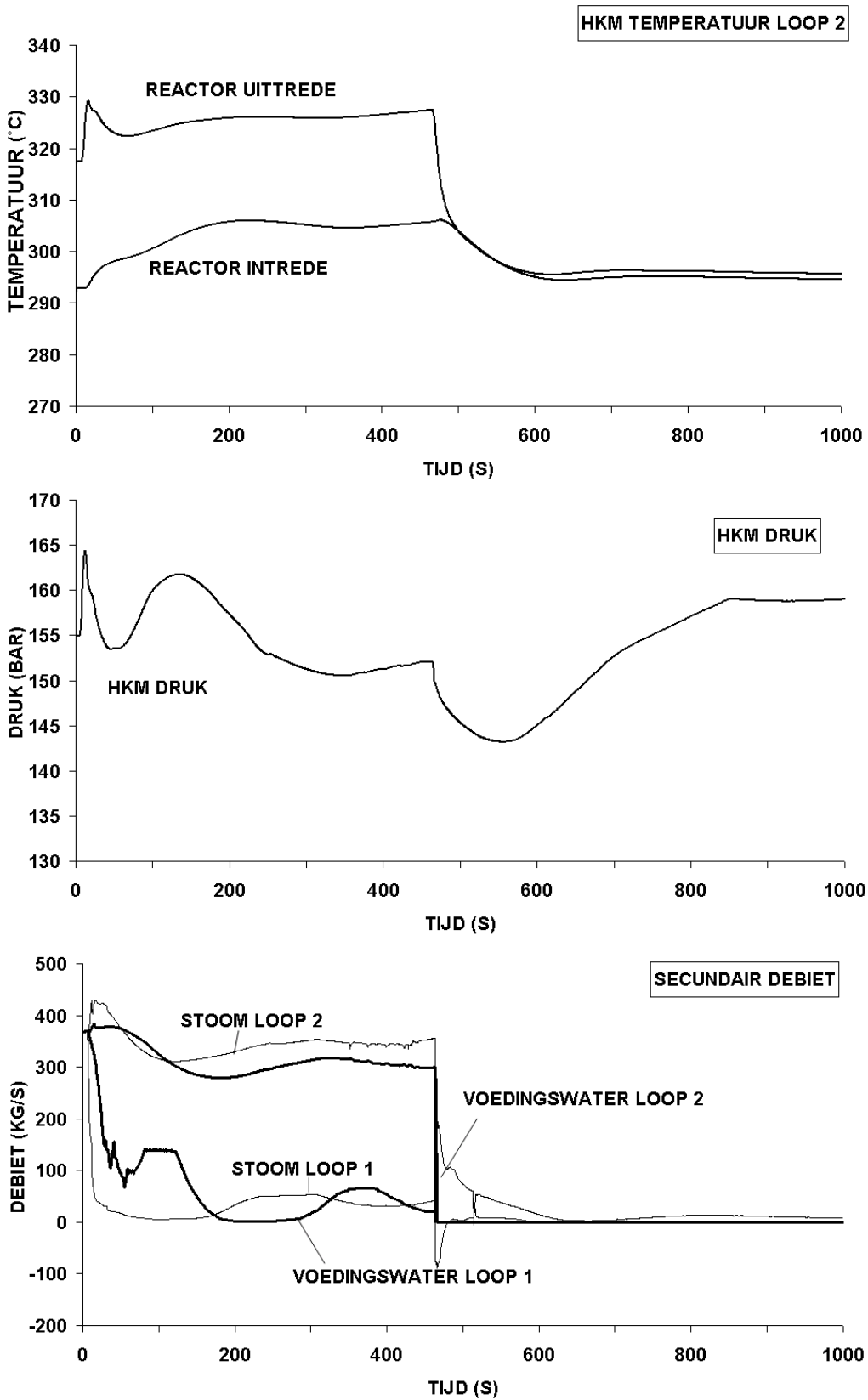
De kookmarge komt in het verloop van het ongeval onder de RESA grenswaarde van 15 bar. Om te bewijzen dat de beschermingsdoelstellingen gedurende het ongeval gerealiseerd zijn, is daarom een afzonderlijke heetkanaalanalyse uitgevoerd. Uit de heetkanaalanalyse volgt dat de minimum waarde van de DNB 1,31 is. Deze minimum waarde is groter dan de minimaal toelaatbare waarde van 1,3. Daarmee is aangetoond dat filmkoken en daarmee een noemenswaardige verhoging van de splijststofomhullingtemperatuur niet optreden.

Kortom alle voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.

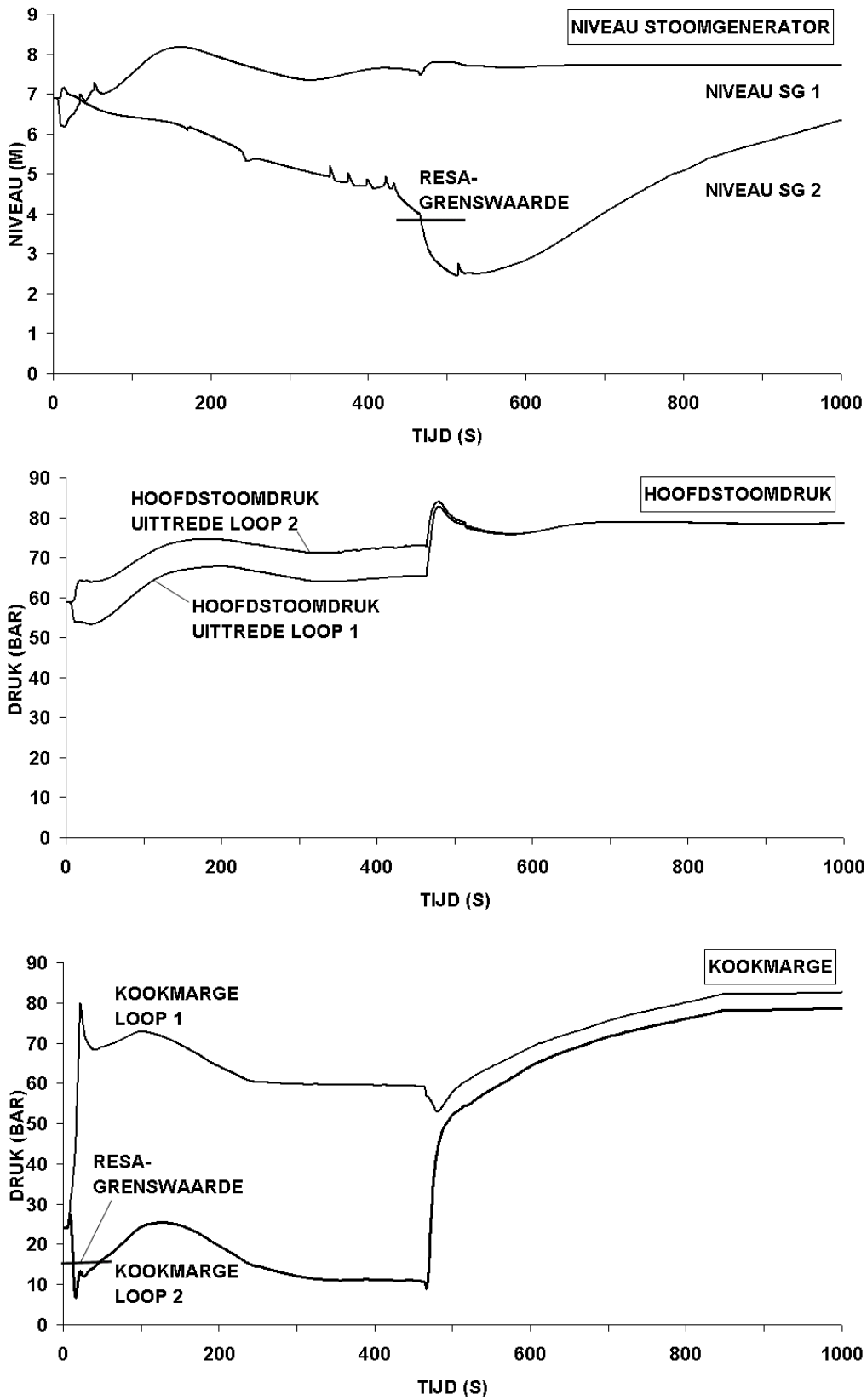




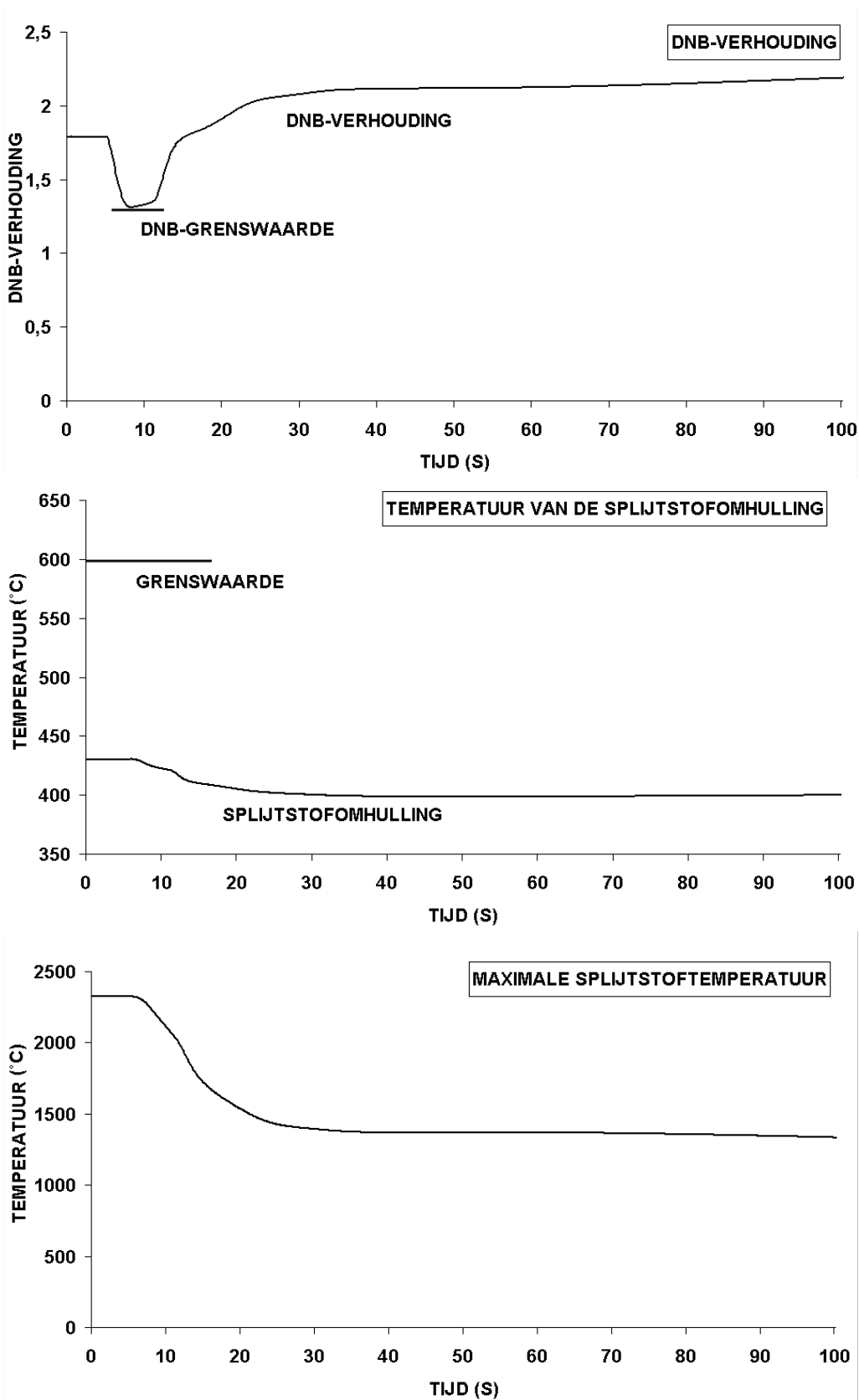
Figuur 15.2.8/1 Blokkeren van een hoofdkoelmiddelpomp of breuk van een hoofdkoelmiddelpompas (PIE 3.2)



Figuur 15.2.8/2 Blokkeren van een hoofdcoolmiddelpomp of breuk van een hoofdcoolmiddelpompas (PIE 3.2)



Figuur 15.2.8/3 Blokkeren van een hoofdcoolmiddelpomp of breuk van een hoofdcoolmiddelpompas (PIE 3.2)



Figuur 15.2.8/4 Blokkeren van een hoofdkoelmiddelpomp of breuk van een hoofdkoelmiddelpompas (PIE 3.2)

## 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 splijststofomhulling beneden de  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  blijven;
- de hoofdkoelmiddeldruk mag de maximaal toelaatbare waarde ( $1,1 \times$  ontwerpdruk) niet overschrijden;
- de hoofdstoomdruk mag de maximaal toelaatbare waarde ( $1,1 \times$  ontwerpdruk) niet overschrijden.
- de maximale enthalpieverhoging, gemiddeld over een splijstoftablet moet voldoende laag zijn om schade aan de splijststof en splijststofomhulling te voorkomen;
- de enthalpieverhoging, gemiddeld over een splijstoftablet moet beneden de toelaatbare waarde ( $966\text{ J/g}$ ) 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 ( $\text{EOC}_{\text{nat}}$ ) 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 splijststof), 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.

#### 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.

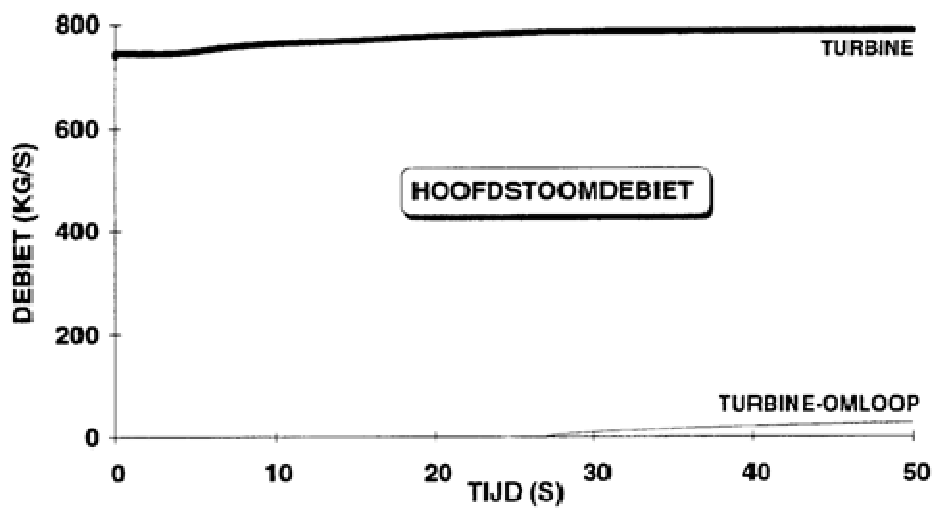
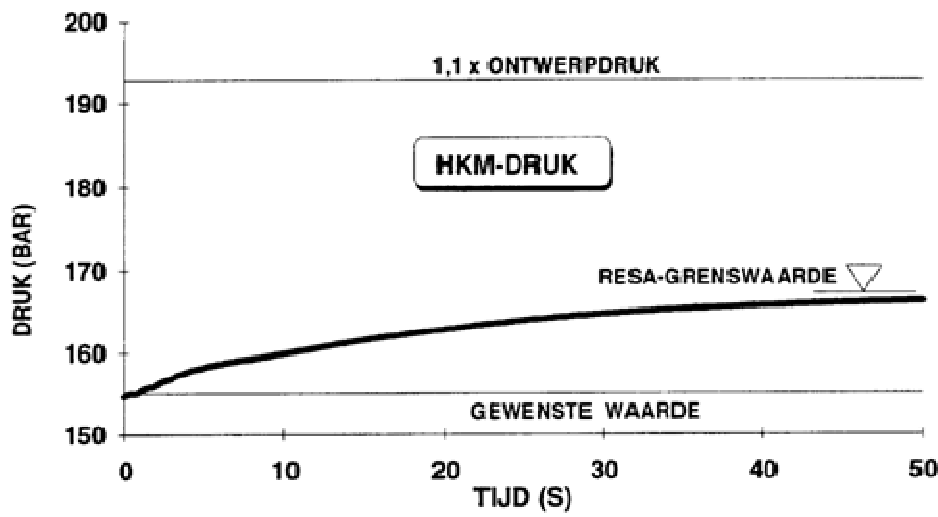
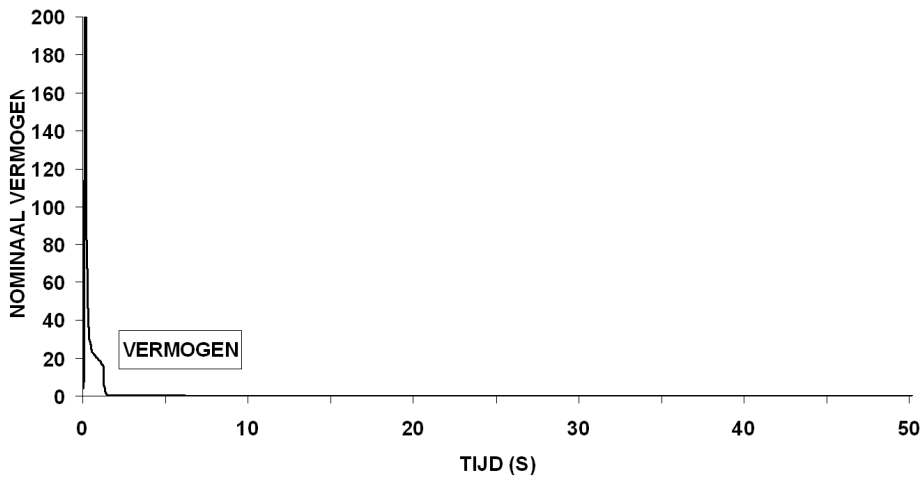
Omdat de maximale splijtstoftemperatuur onder de opbrandafhankelijke smelttemperatuur blijft is gewaarborgd dat de maximale enthalpieverhoging, gemiddeld over een splijtstoftablet, onder de grenswaarde van 966 J/gram blijft.

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:

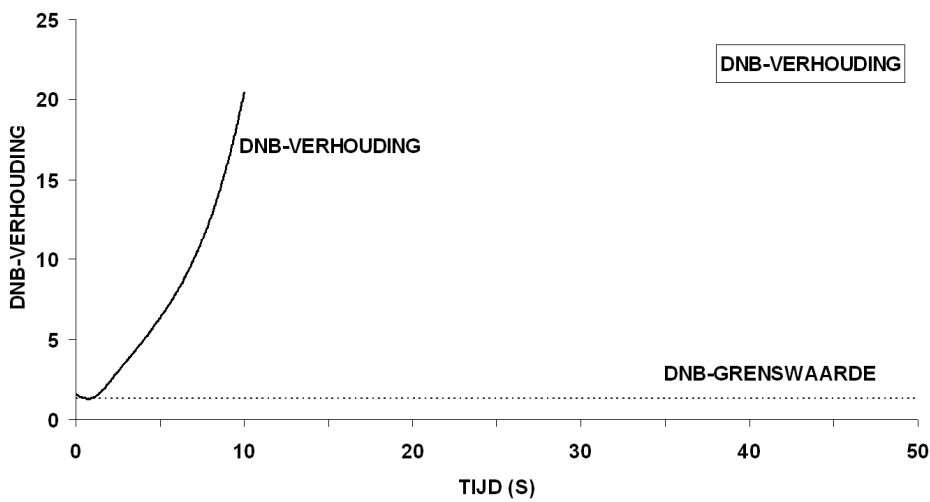
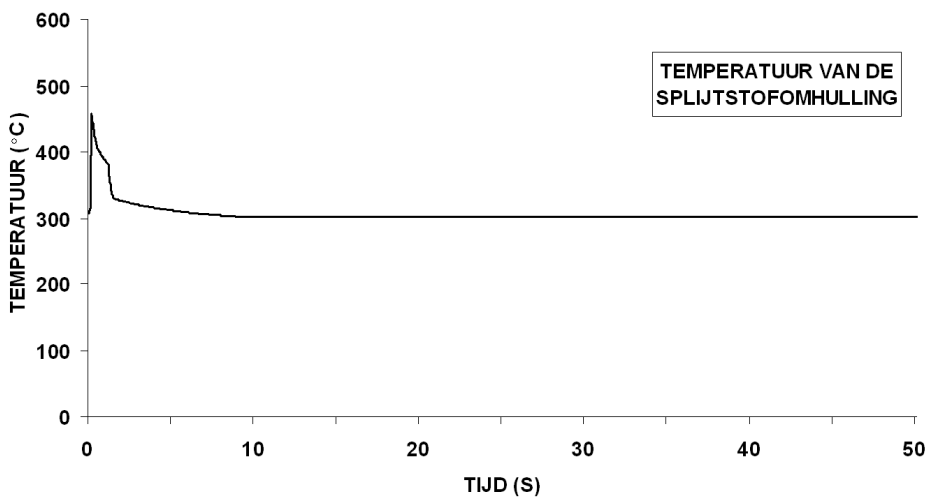
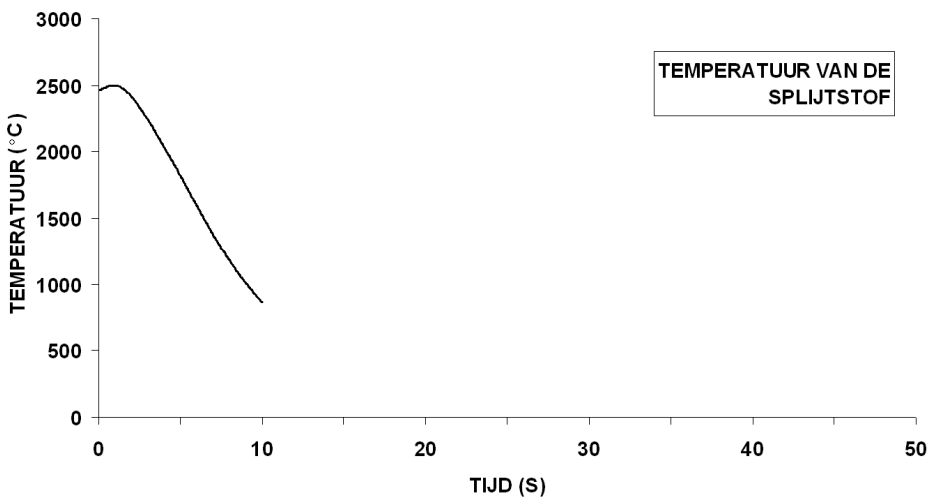
- de DNB blijft boven de 1,3; er treedt geen filmkoken aan het oppervlak van de splijtstofomhulling op;
- de temperatuur van de splijtstofomhulling blijft onder 600 °C;
- de hoofdstoomdruk blijft onder 1,1 x ontwerpdruk
- de hoofdkoelmiddeldruk blijft onder 1,1 x ontwerpdruk.

Kortom alle voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.



Figuur 15.2.9/1 Uitworp van het meest effectieve regelelement (PIE 5.2) 15.2-44





Figuur 15.2.9/2

Uitworp van het meest effectieve regelelement (PIE 5.2)  
15.2-45

## 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 splijstof- en splijstofomhullingstemperatuur 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.

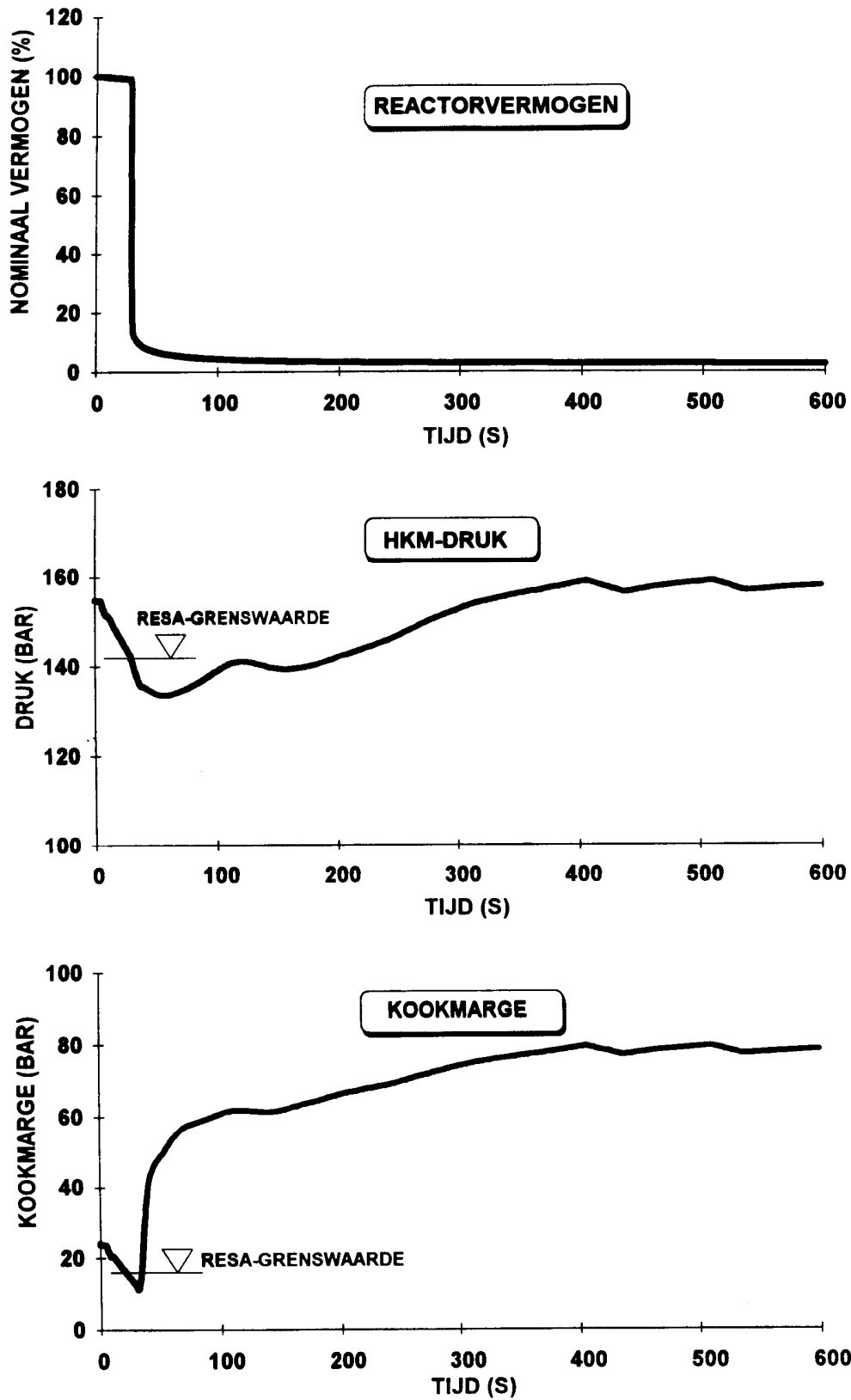
Gezien het in deze toestand hoge niveau in de drukhouder wordt nominaal vermogen als de begintoestand aangenomen.

Aangenomen wordt, dat het eerste RESA-signaal wordt genegeerd.

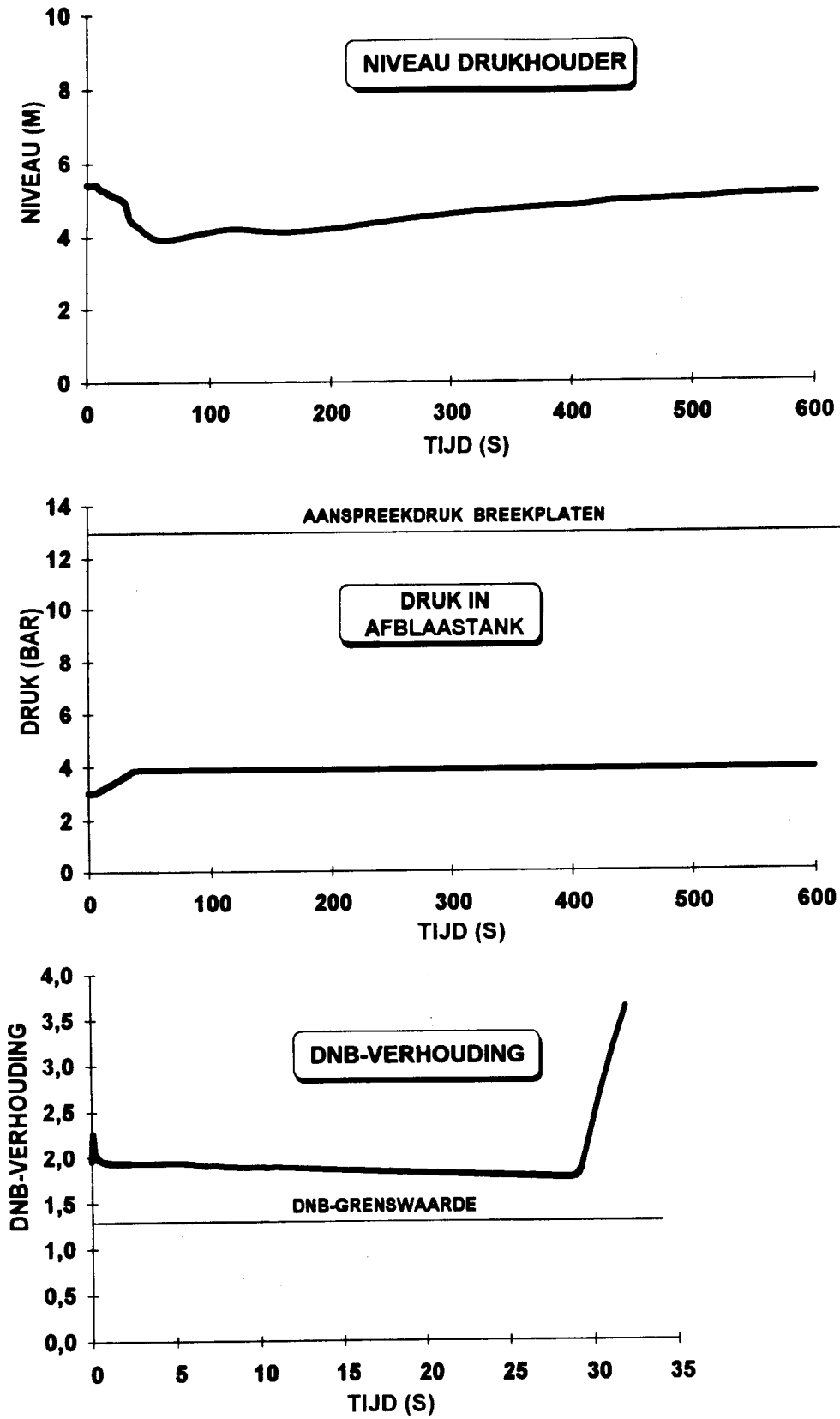
### 3 Algemene beschrijving van het ongevalsverloop

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.



Figuur 15.2.10/1 Onbedoeld openen en weer sluiten van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (PIE 7.1.1)



Figuur 15.2.10/2 Onbedoeld openen en weer sluiten van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (PIE 7.1.1)

### 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 splijststofomhulling mag niet hoger worden dan 1200 °C;
- 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:

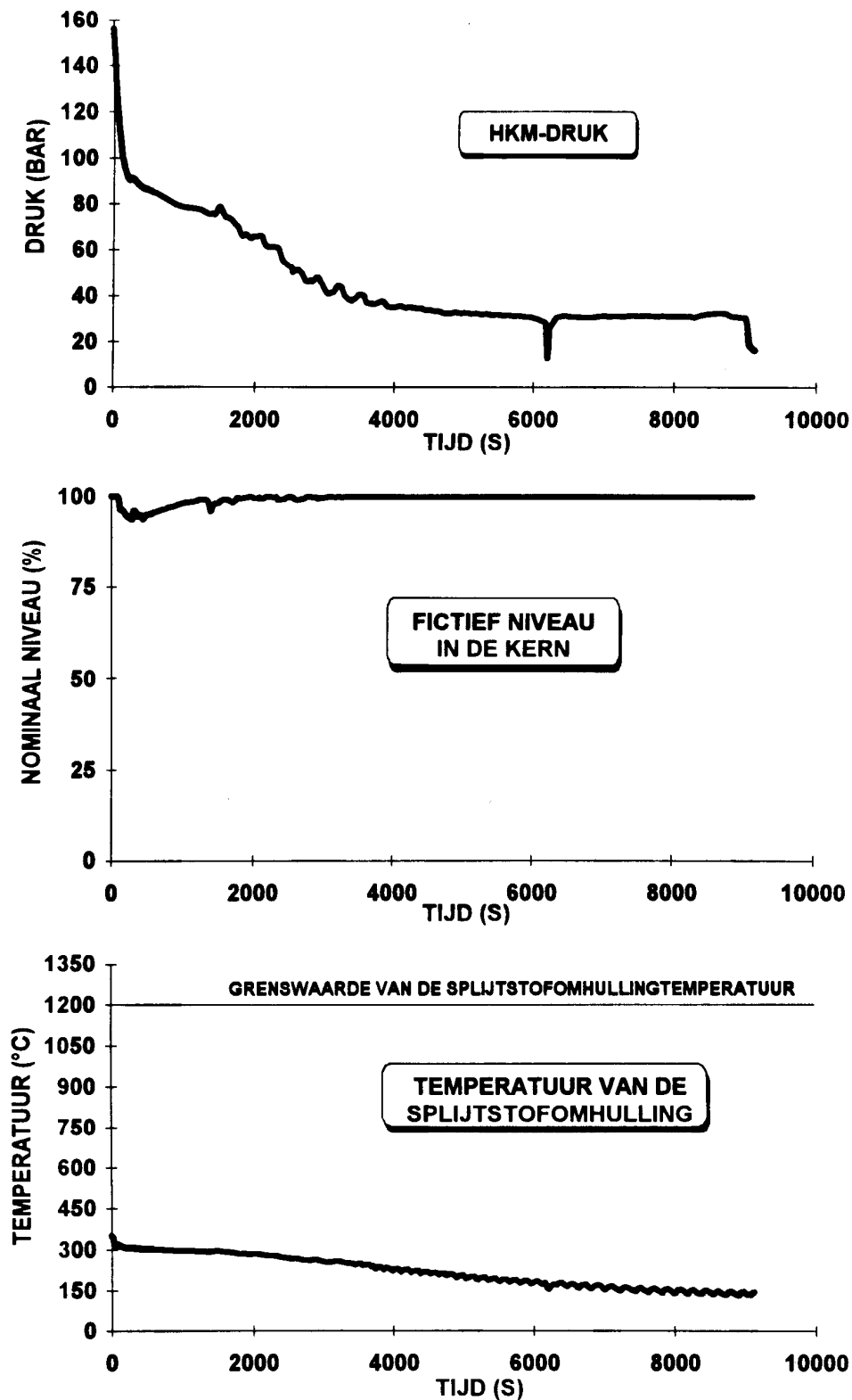
- kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ);
- hoofd- en noodvoedingswatersysteem (RL);
- hoofdstoom-afblaasstation;
- noodstroomverzorgingsinstallatie.

#### 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.



Figuur 15.2.11/1 Onbedoeld openen en open blijven van een drukbeveiligingstoestel van de drukhouder (PIE 7.1.2)

## 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 splijststofomhulling mag niet hoger worden dan 1200 °C;
- 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:

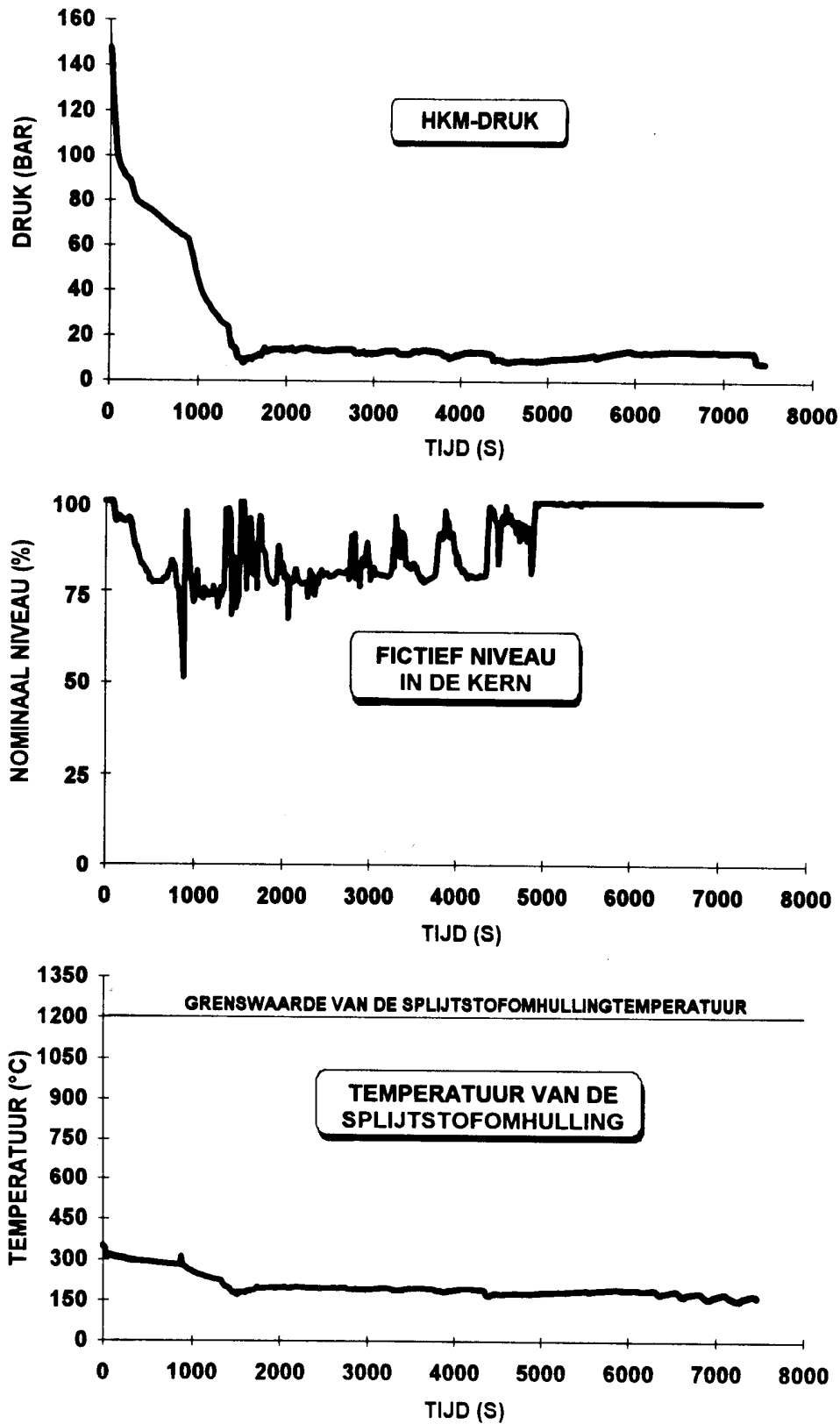
- kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ);
- nakoelketen (TF, VF);
- hoofd- en noodvoedingswatersysteem (RL);
- hoofdstoomafblaasstation;
- noodstroomverzorgingsinstallatie.

### 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.

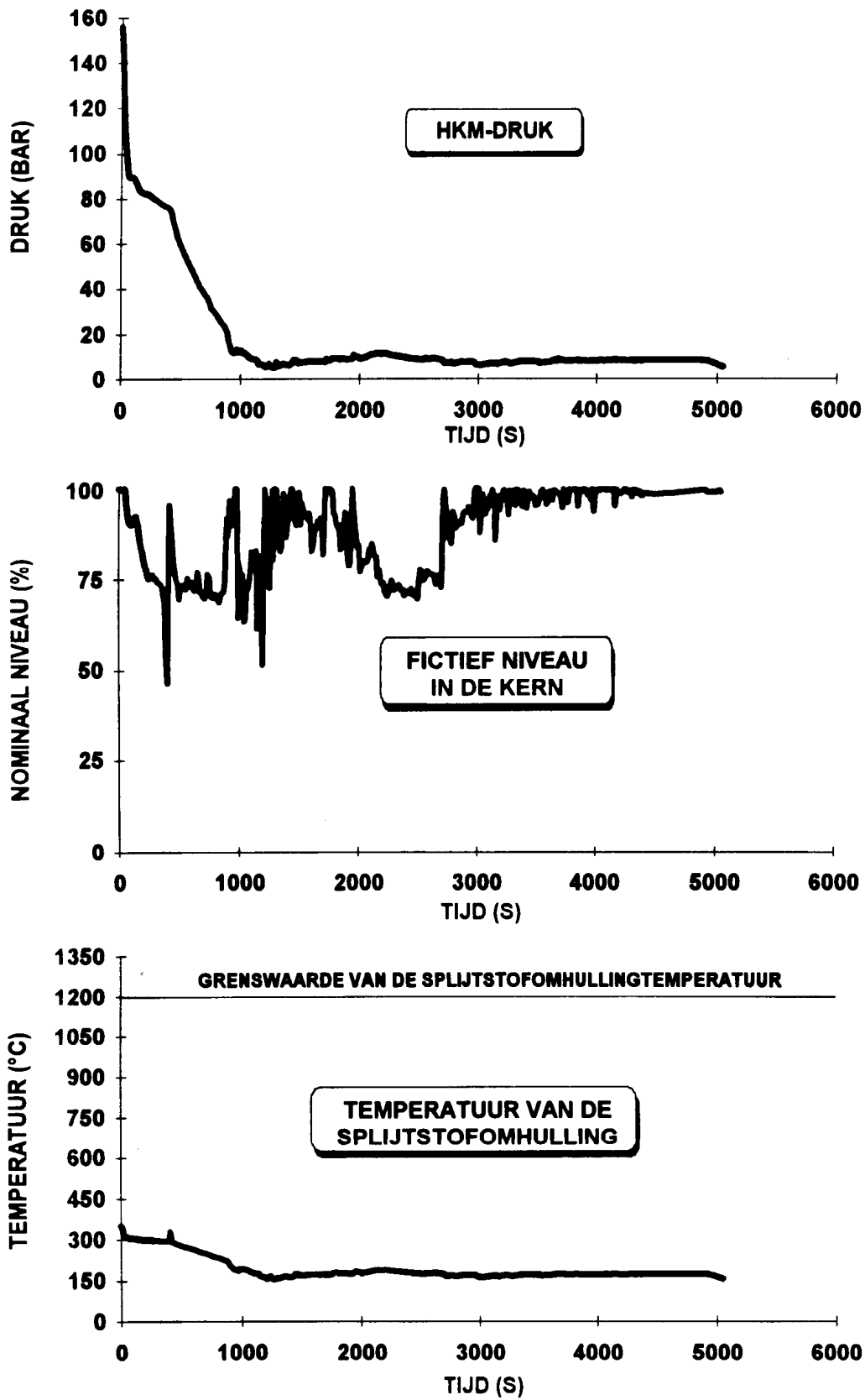
Bij lekgroottes van beperkte omvang is de invloed van de secundaire zijde bepalend voor de thermohydraulische toestand van het primaire systeem. Daarentegen is bij lekkages van grotere omvang de invloed van het verlies van hoofdkoelmiddel bepalend voor de toestand van het primaire systeem en het verloop 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 cm<sup>5</sup>.

Uitgangstoestand voor deze analyse is een bedrijfssituatie met verhoogd vermogen (106 %). Verder wordt in de berekening uitgegaan van een verhoogd vervalwarmtevermogen (veiligheidstoets van 2 $\sigma$ ).

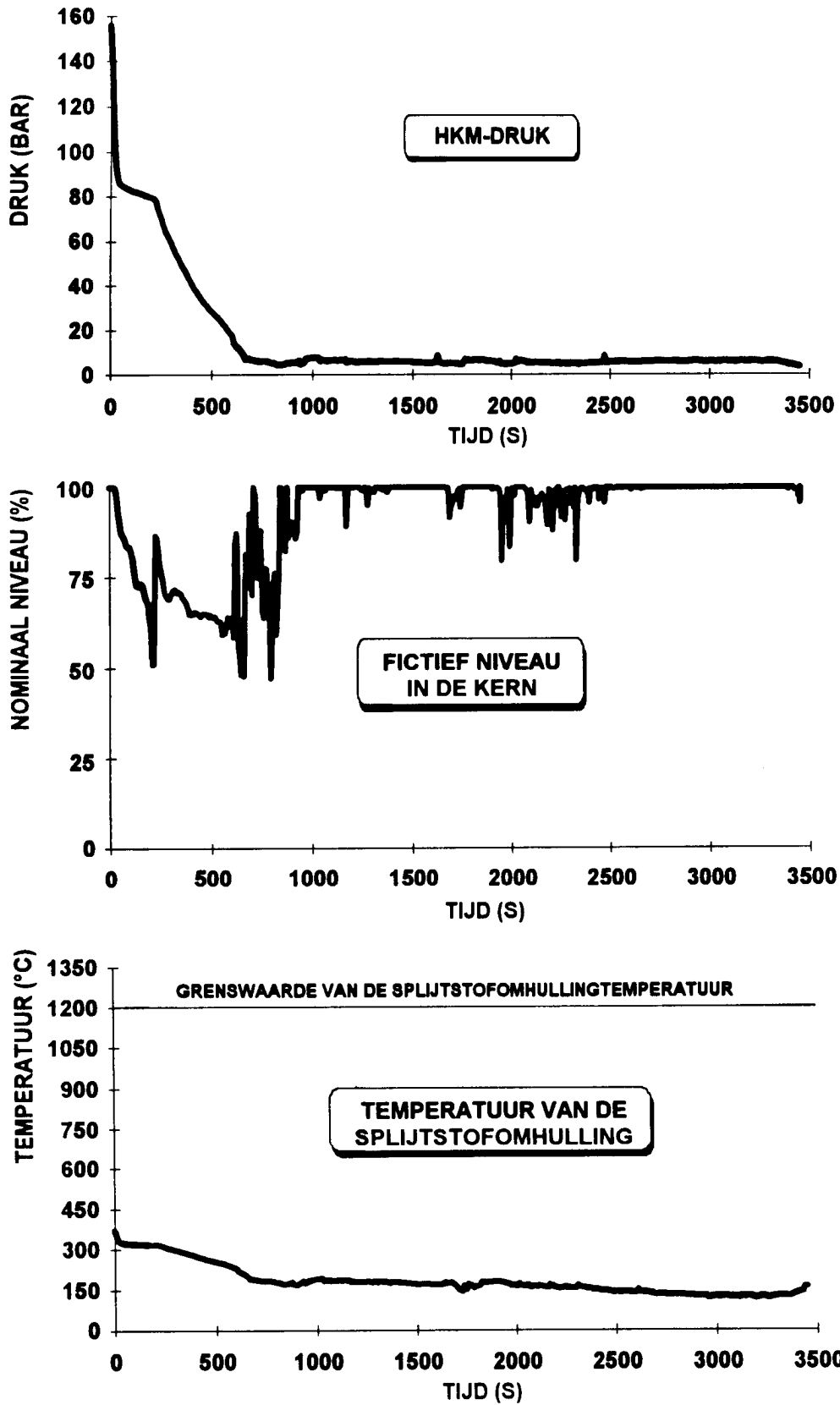


Figuur 15.2.12/1 Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling – 20 cm<sup>2</sup> – (PIE 7.2.2)

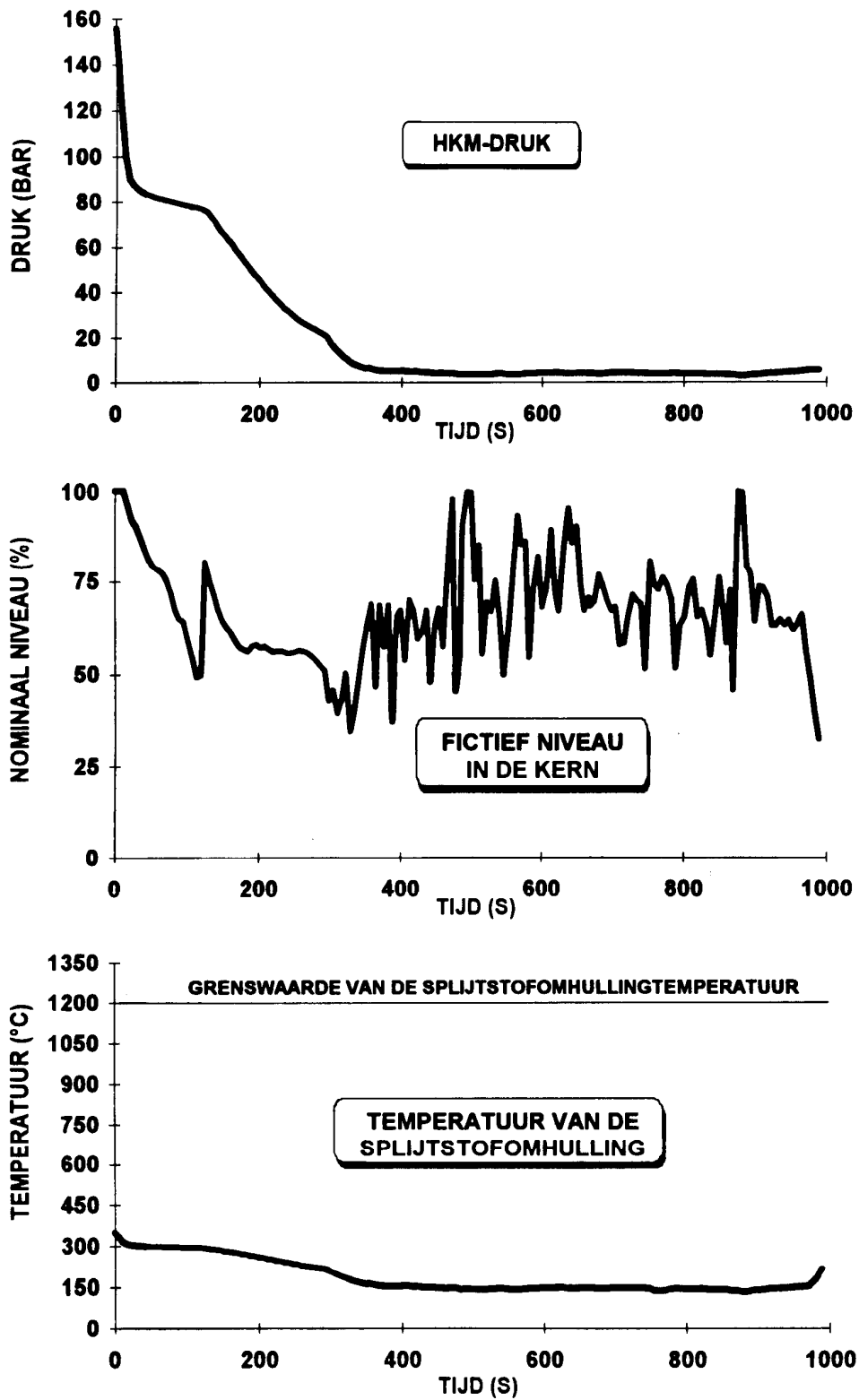




Figuur 15.2.12/2 Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling – 40 cm<sup>2</sup> – (PIE 7.2.2)



Figuur 15.2.12/3 Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling – 80 cm<sup>2</sup> – (PIE 7.2.2)



Figuur 15.2.12/4 Lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling – 160 cm<sup>2</sup> – (PIE 7.2.2)

**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 splijtstofomhulling mag niet hoger worden dan 1200 °C;
- 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);
- 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.

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 kerninundatievoorraadtanks geschiedt na het bijschakelen van de betreffende belastingstrap van het bijschakelprogramma van de noodstroomdiesels. Na het legen van de TJ-voorraadtanks worden de nakoelpompen omgeschakeld op reactorputbedrijf.

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 reactorkern
- inundatie van de reactorkern
- 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 reactorkern vindt stromingsomkering plaats en de kern komt droog te staan. Door het beginnende filmkoken en de radiale temperatuurvereffening in de splijstof, vindt een eerste stijging van de temperatuur van de splijstofomhulling 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 reactorkern. De stijging van de maximale temperatuur van de splijstofomhulling, 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 splijstof en splijstofomhulling.

In de derde fase wordt de reactorkern opnieuw geïnundeerd. Als het waterniveau de onderkant van de kern bereikt, treedt aan de opgewarmde splijstofstaven 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 reactorkern daalt de temperatuur van de splijstofomhulling tot het niveau van de hoofdkoelmiddeltemperatuur.

In de vierde fase, wanneer de reactorkern weer bedekt is, hebben de splijstofomhullingen 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 kerninundatievoorraadtanks 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

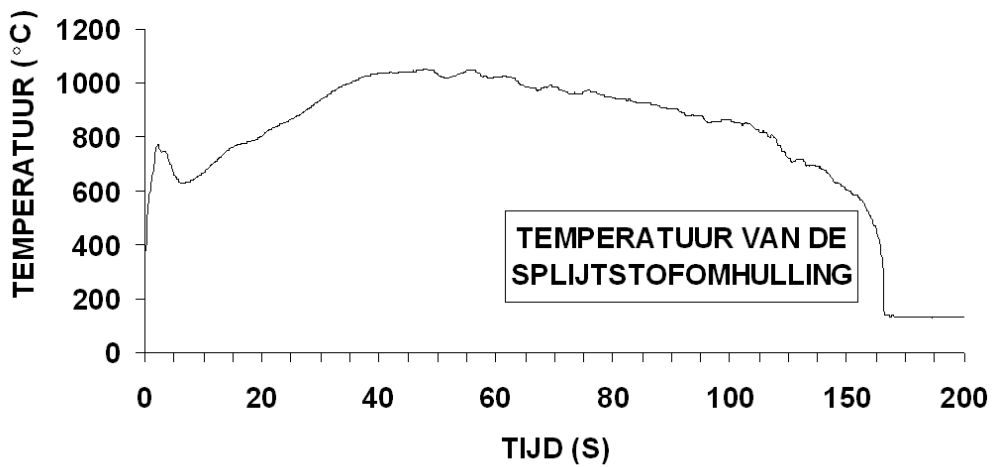
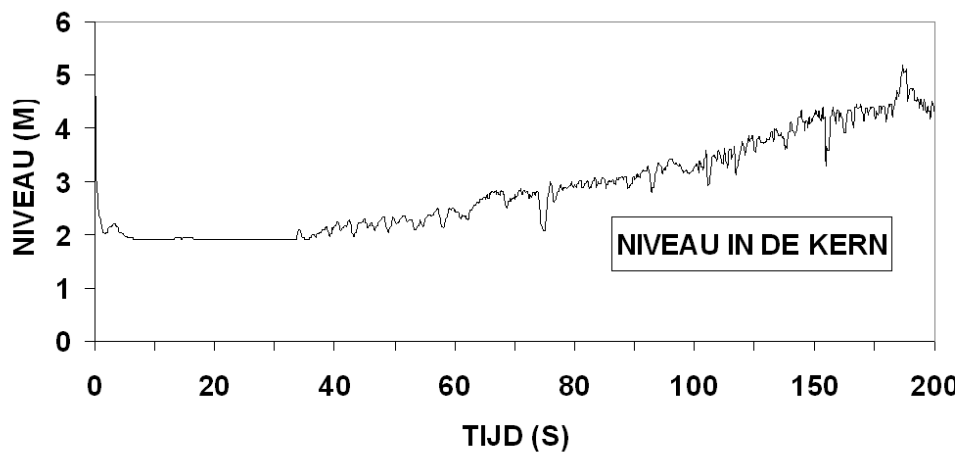
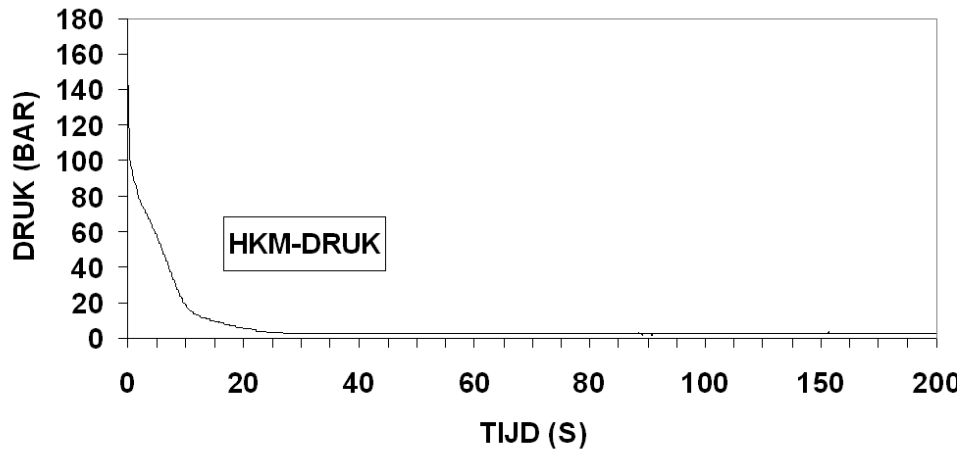
De analyse toont aan, dat bij dit ongeval de berekende maximale temperatuur van de splijstofomhulling ver onder de grenswaarde van 1200 °C blijft, en dat de gehele reactorkern binnen circa 200 s na het begin van het hoofdkoelmiddelverliesongeval gekoeld wordt. Daarmee is aangetoond, dat:

- 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.



Figuur 15.2.13/1 Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding (PIE 7.2.3)



### 15.2.14 **Bezwijken 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.

Vanwege de dalende hoofdkoelmiddeltemperatuur, is het beschouwen van de kerntoestand bij cycluseinde ongunstiger voor het verloop van het ongeval dan bij cyclusbegin. 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-signaal 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" (<sup>16</sup>N-signaal) reactorsnelafschakeling (RESA) zou volgen.

Er wordt echter verondersteld, dat op dit signaal geen RESA volgt.

Door het <sup>16</sup>N-signaal 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 <sup>16</sup>N-signaal wordt het sproeien in de drukhouder door het TA- en het TW-systeem gestart, waardoor de hoofdkoelmiddeldruk sterk daalt.

Omdat 5 s na het <sup>16</sup>N-signaal 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).

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.

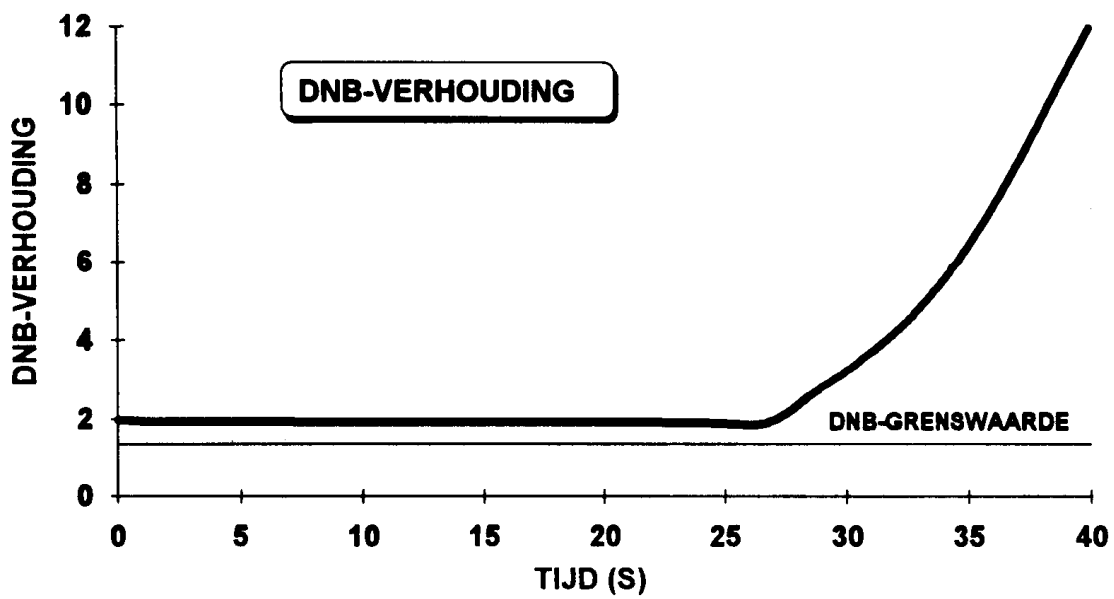
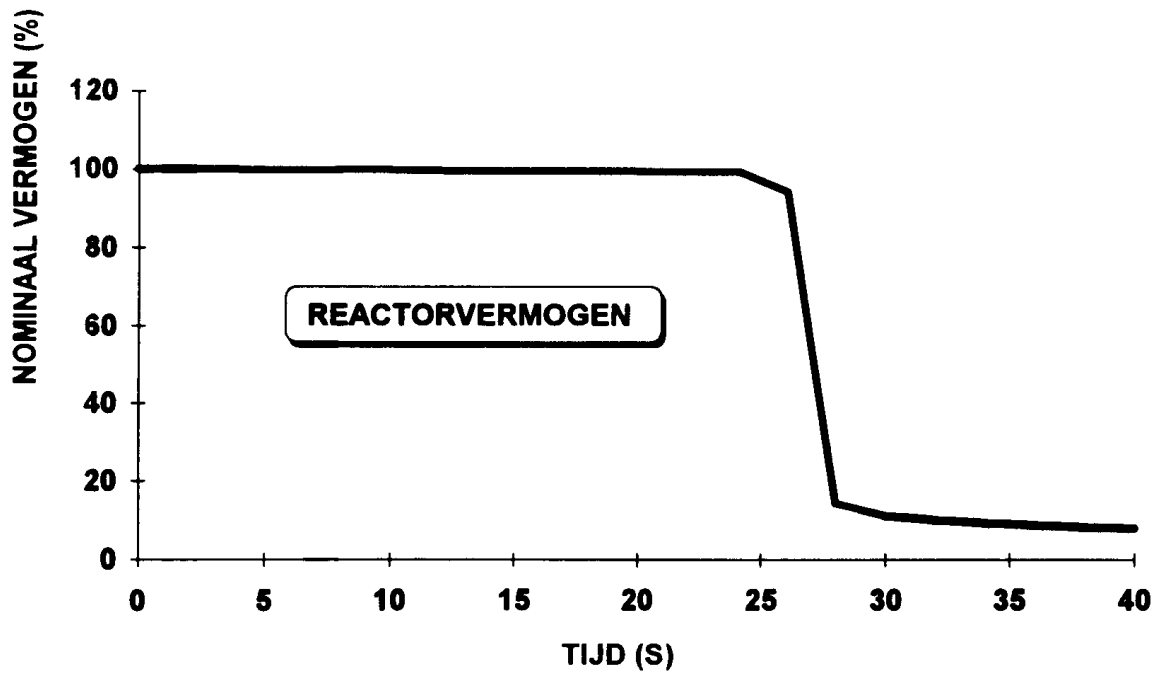
#### 4 Resultaat

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.

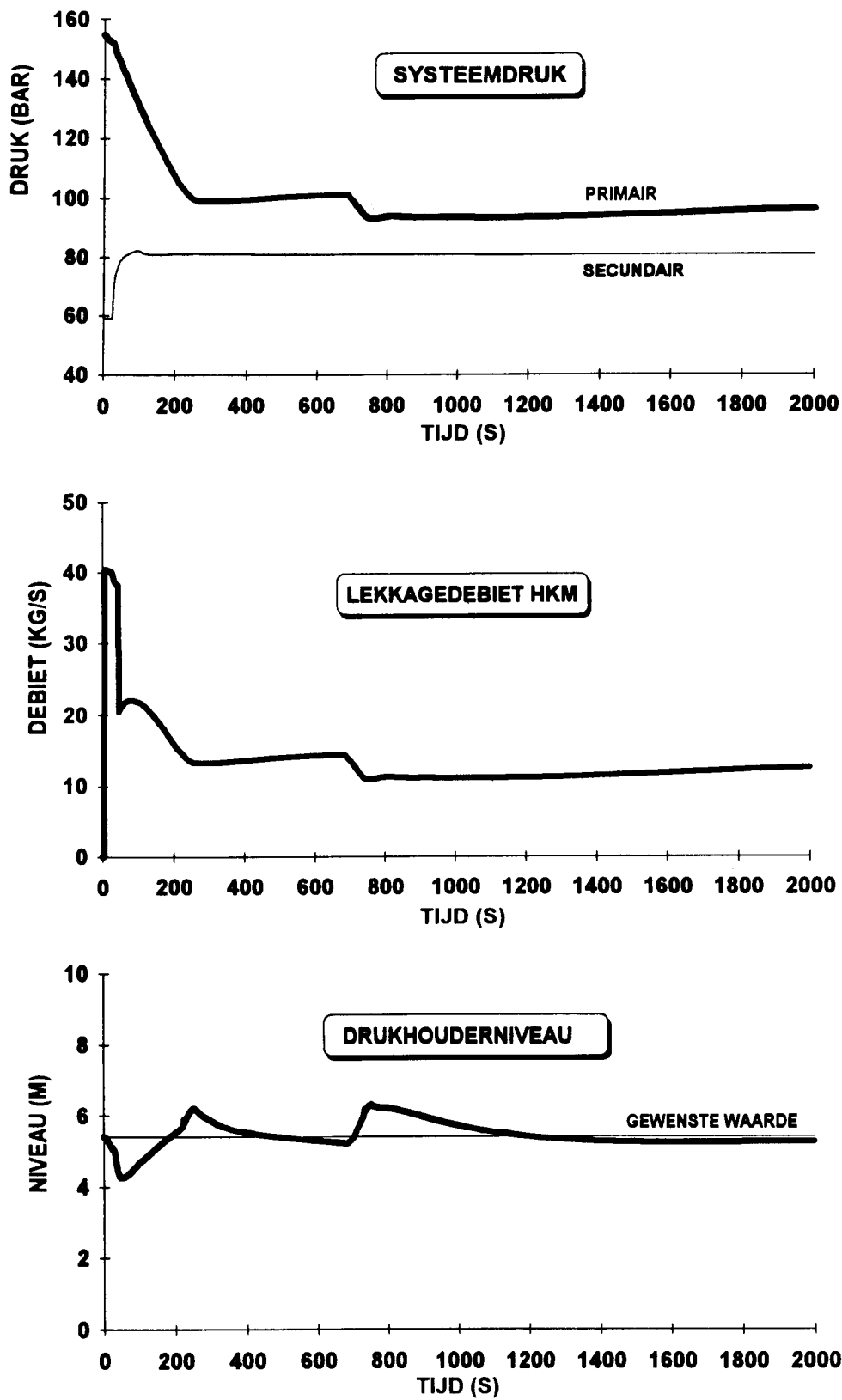
De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.

De thermo-hydraulische beschermdoelstellingen kunnen ook gerealiseerd worden zonder de beschikbaarheid van het primair reservesysteem (TW), maar met het noodvoedingswatersysteem (RL).

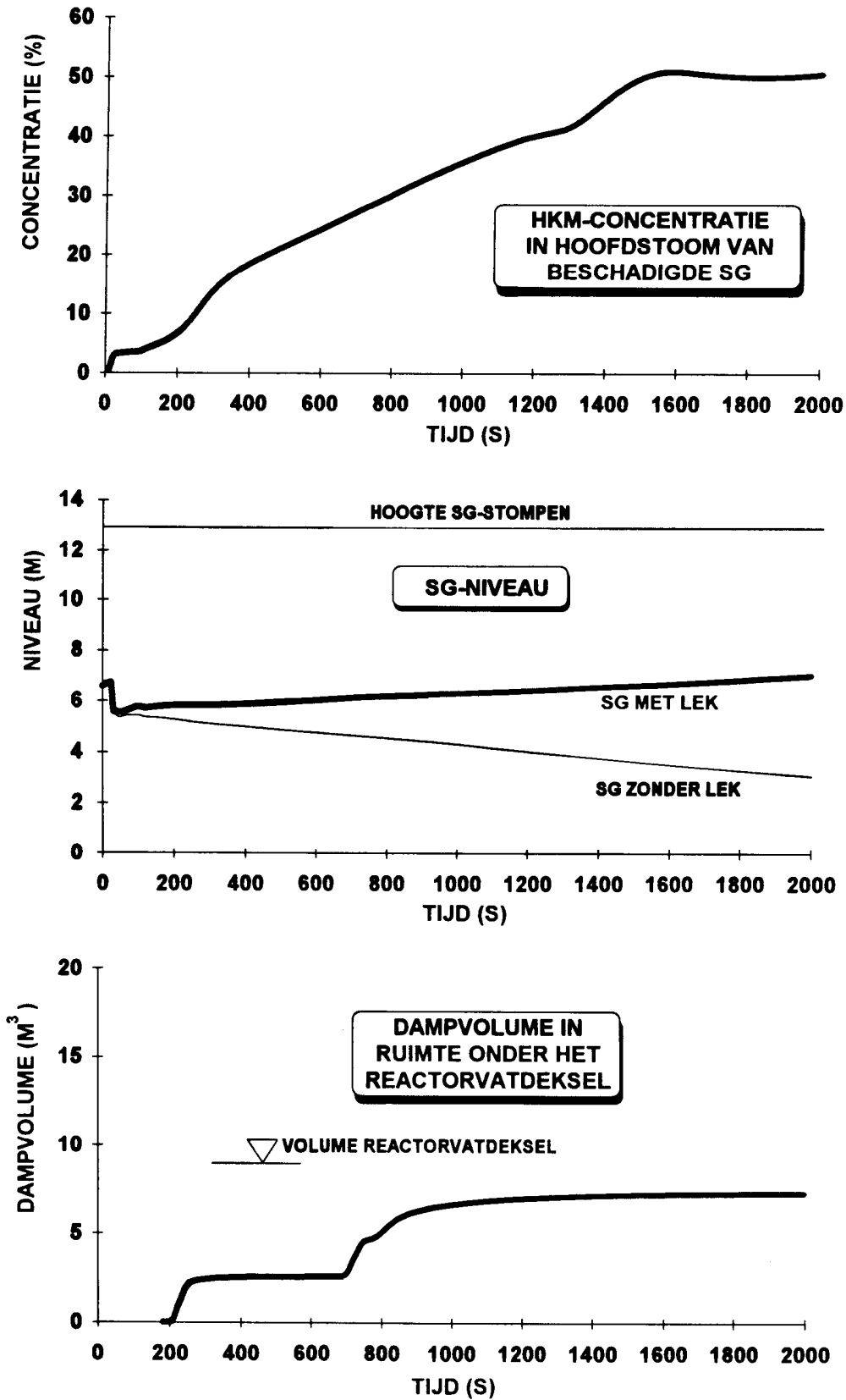
Het niet overschrijden van de dosislimieten als gevolg van de lozing van hoofdkoelmiddel naar de omgeving wordt onderzocht in paragraaf 15.3.7.3.



Figuur 15.2.14/1 Bezwijken van stoomgeneratorpijpen (PIE 7.3.2)



Figuur 15.2.14/2 Bezijken van stoomgeneratorpijpen (PIE 7.3.2)



Figuur 15.2.14/3

Bezwijken van stoomgeneratorpijpen (PIE 7.3.2)

## 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 aan het cycluseinde uitgevoerd, vanwege de grote invloed op de reactiviteit van de hoofdkoelmiddeltemperatuur.

Verder wordt aangenomen, dat de hoofdstoomafsluiters niet functioneren, en dat uit het lek zuivere stoom uitstroomt (maximale energie-afgifte)



### 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 geregelementen 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.

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.

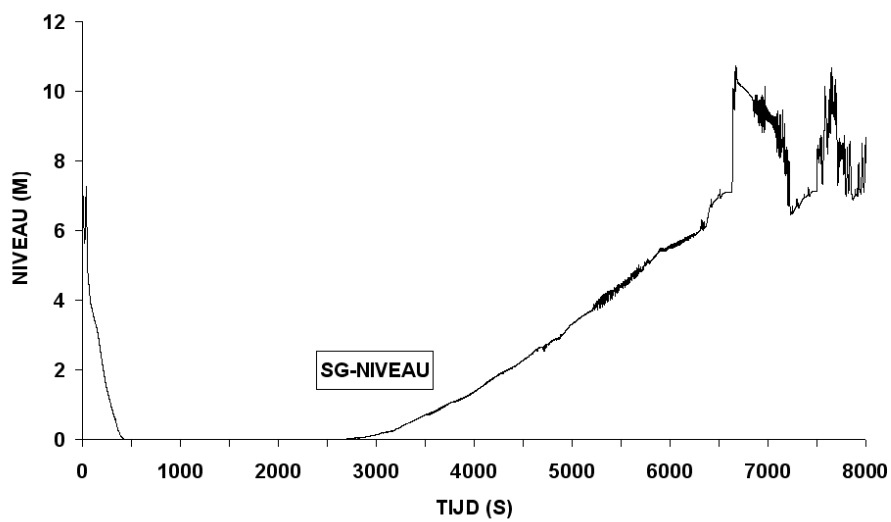
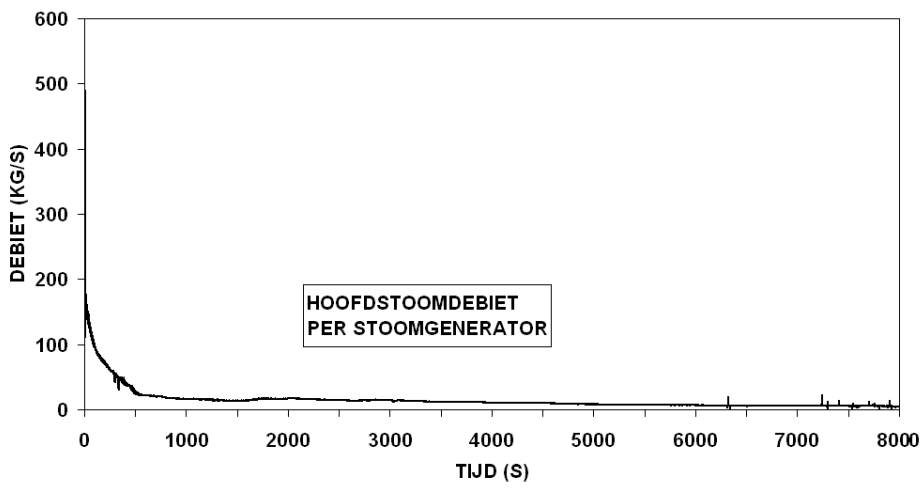
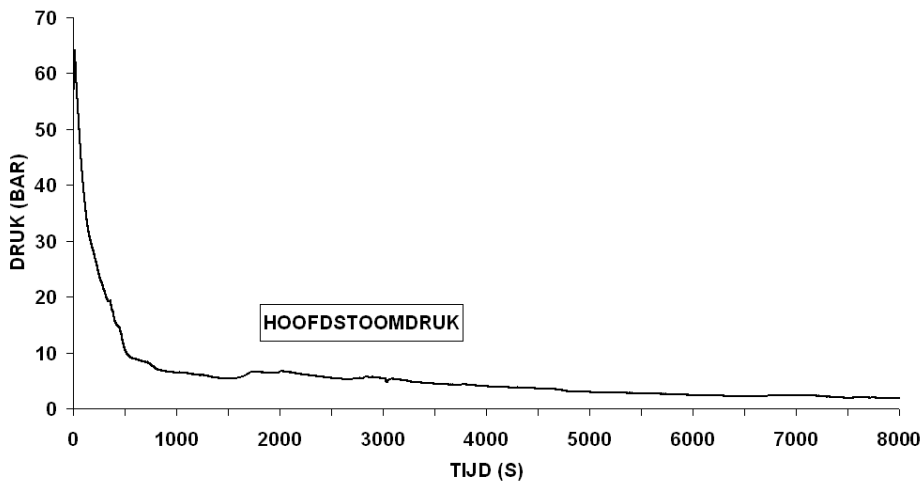
Ongeveer drie uur na het begin van het ongeval heeft de hoofdkoelmiddeltemperatuur bij de reactorintrede zich gestabiliseerd op circa 115 °C, en bevindt de installatie zich bij een hoofdkoelmiddeldruk van circa 157 bar in een stationaire onderkritische toestand, waarbij de restwarmte via beide stoomgeneratoren wordt afgevoerd.

#### 4 Resultaat

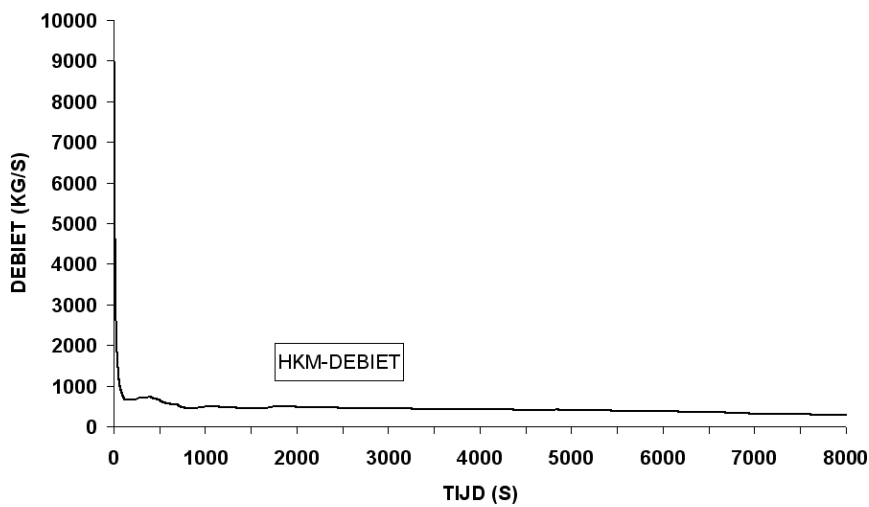
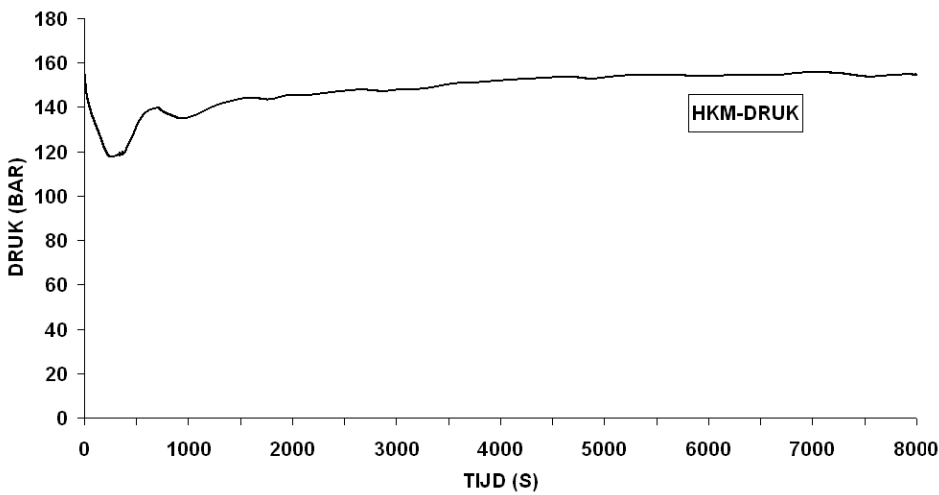
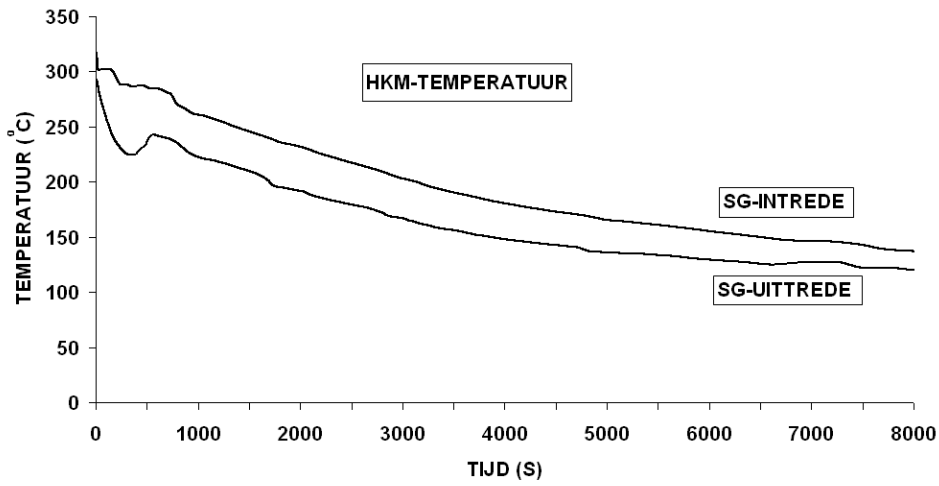
De analyse toont aan, dat het ongeval door het ingrijpen van veiligheidssystemen beheerst wordt. De afvoer van de restwarmte is door de voeding vanuit het RS-systeem gegarandeerd. De reactor wordt kort na het begin van het ongeval weer kritisch. Door de boorzursuppletie via het TW-systeem wordt de reactor 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.

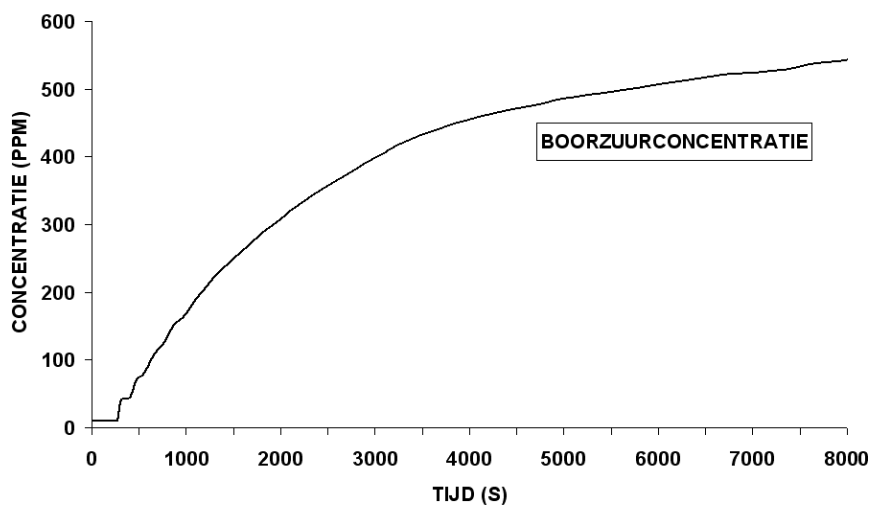
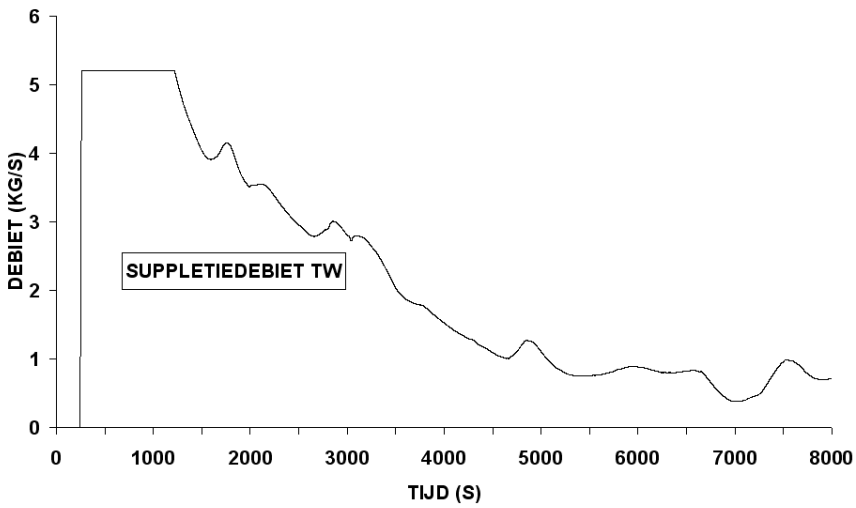
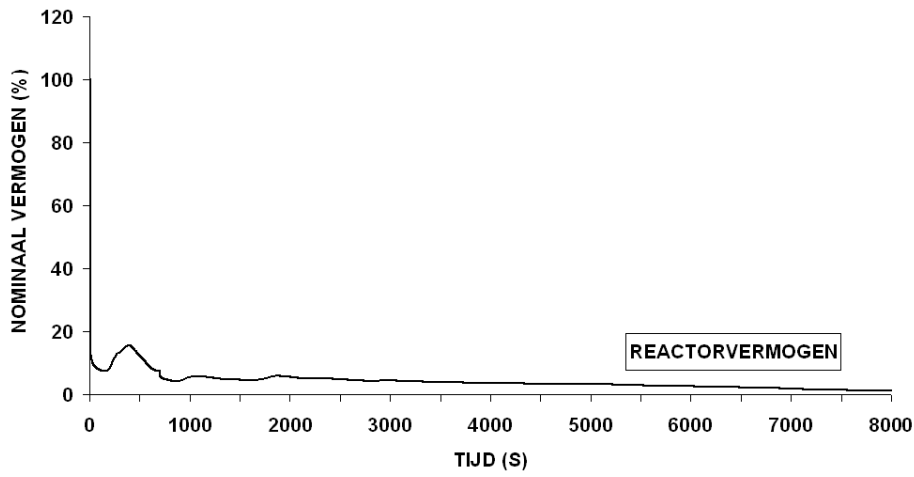
De voor deze gebeurtenis relevante beschermingsdoelstellingen worden gerealiseerd.



Figuur 15.2.15/1 Leckage van hoofdstoomleidingen in geval van een aardbeving (PIE 9.1.1)



Figuur 15.2.15/2 Lekkage van hoofdstoomleidingen in geval van een aardbeving (PIE 9.1.1)



Figuur 15.2.15/3 Lekkage van hoofdstoomleidingen in geval van een aardbeving (PIE 9.1.1)

## 15.2.16 Overtocental 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 cm<sup>5</sup> 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.

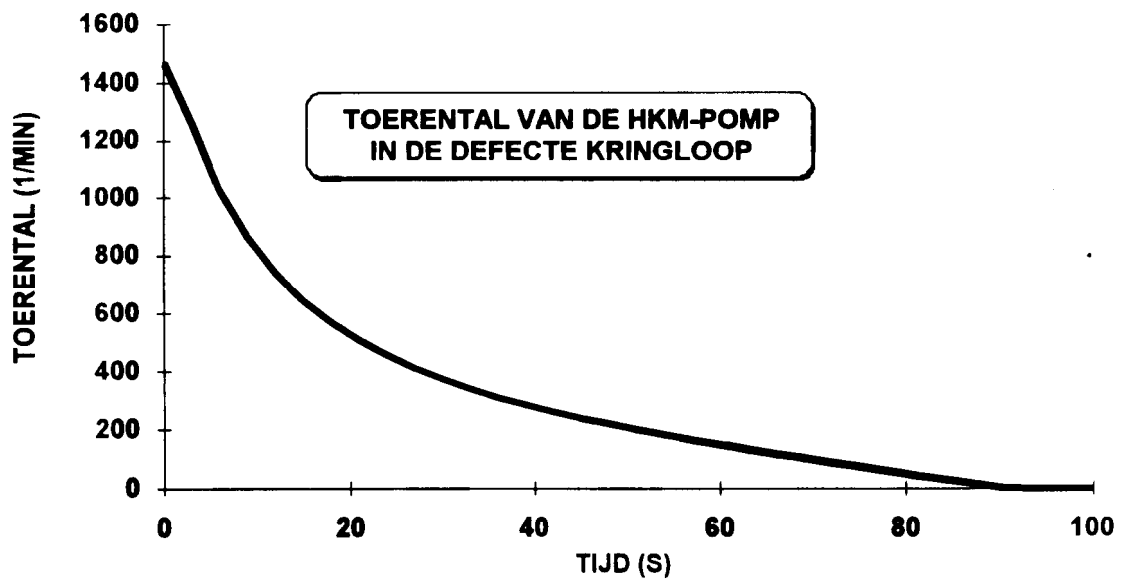
Gelijktijdig met de initiatie van de TUSA wordt het begin van de noodstroomsituatie aangenomen. Daardoor worden de hoofdkoelmiddelpompen spanningsloos en lopen uit. De uitloop van de hoofdkoelmiddelpomp in de defecte kringloop is grafisch weergegeven.

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.

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.



Figuur 15.2.16/1 Overtoerental van een hoofdkoelmiddelpomp tijdens een lekkage van het primair systeem binnen de veiligheidsomhulling (PIE 10.2)



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 uitredetemperatuur 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, -temperatuur en -debiet.

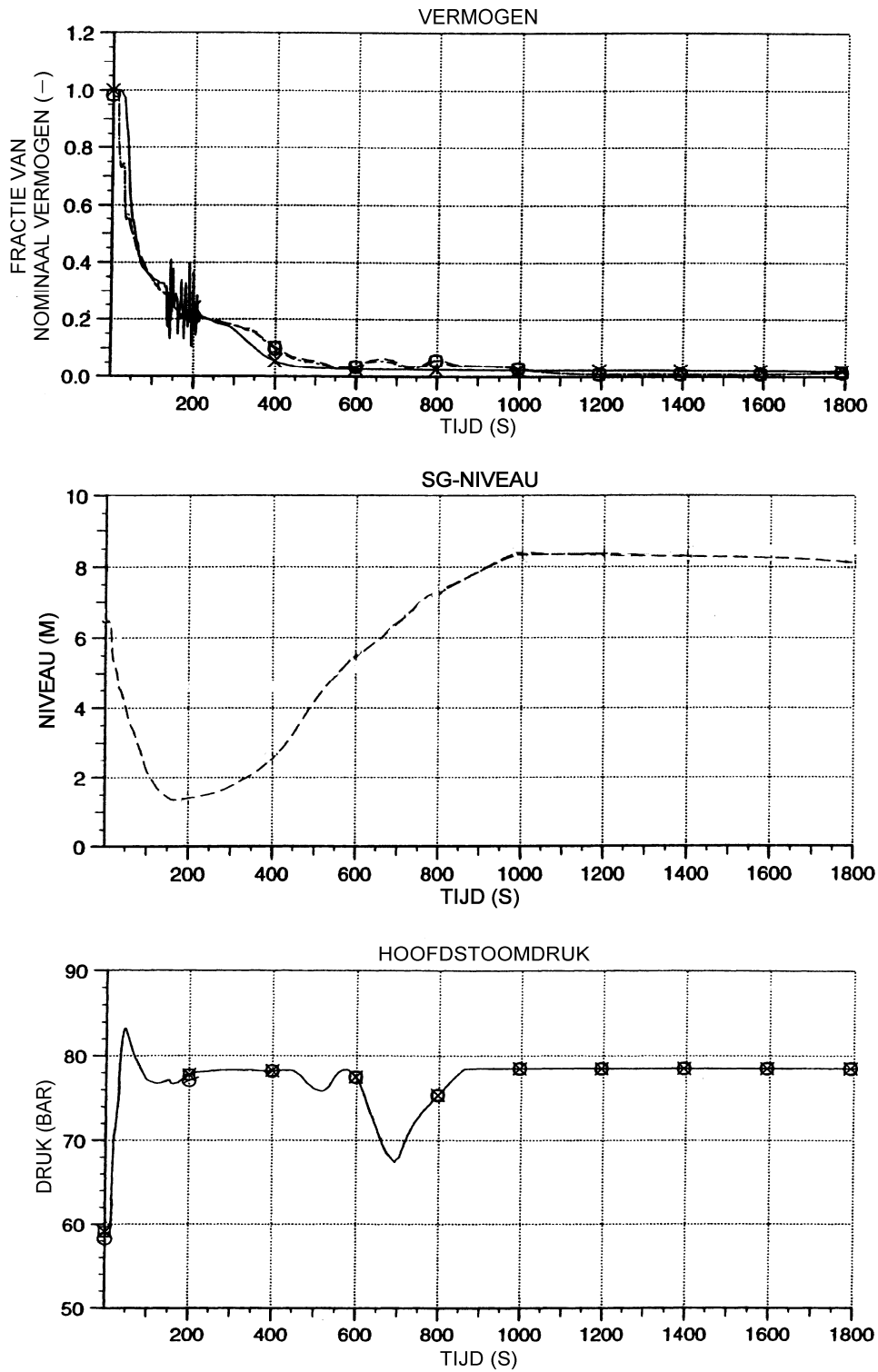
Het reactorvermogen is vervolgens zover gedaald, dat het reactor- en het stoomgeneratorvermogen vrijwel gelijk zijn. De warmteafvoer wordt door het met het noodvoedingswatersysteem (RL) toegevoerde water gegarandeerd.

Vervolgens wordt de langdurige onderkriticaliteit gerealiseerd door toevoeging van boorzuur vanuit het volumeregelsysteem (TA) en het nucleair chemicaliëndoseersysteem (TB).

#### 4 Resultaat

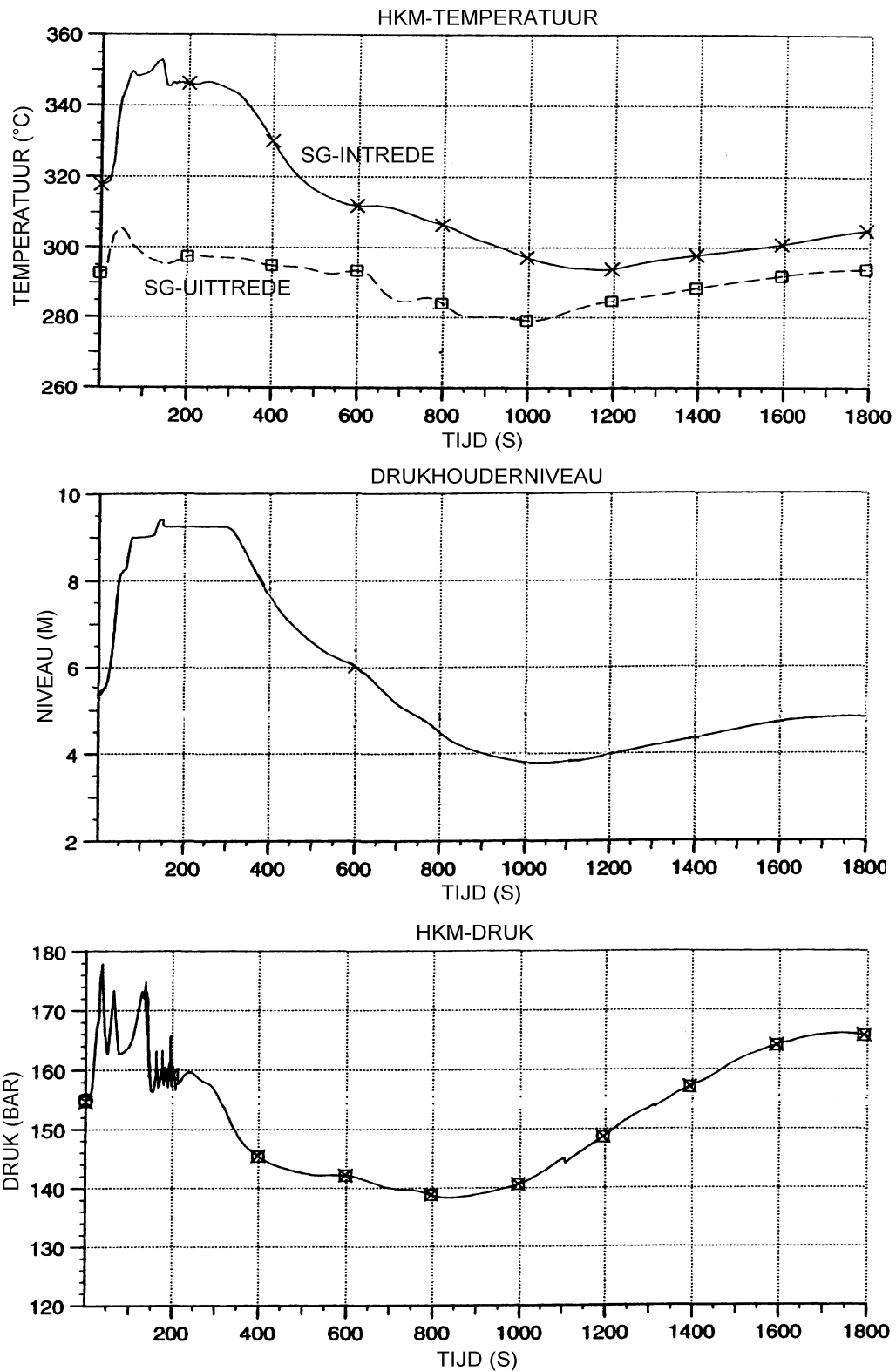
De analyse toont aan, dat de maximaal bereikte waarden voor de hoofdkoelmiddel- en hoofdstoomdruk lager zijn dan de bij dit ongeval maximaal toelaatbare waarden (1,3 x ontwerpdruk, circa 230 bar respectievelijk circa 119 bar). De warmteafvoer is gegarandeerd door de toegevoerde hoeveelheid voedingswater, 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.



Figuur 15.2.17/1

Bedrijfstransiënten waarbij een hypothetisch uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (PIE 10.5)



Figuur 15.2.17/2

Bedrijfstransiënten waarbij een hypothetisch uitvallen van het systeem voor snelle afschakeling wordt verondersteld (PIE 10.5)

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 ontwerpongevallen. 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 ontwerpongevallen de bedoeling is dat het ongeval door het ontwerp wordt beheerst, mag de maximale waarde van de effectieve dosis door een ontwerpongeval het door de overheid gesteld criterium voor dit ontwerpongeval niet overschrijden. Ook mag geen enkel ontwerpongeval 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 ontwerpongevallen moeten getoetst worden aan criteria die zijn gesteld in artikel 18 van het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen. Bij deze toetsing wordt het kansgebied van de ontwerpongevallen 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  $F \geq 10^{-1}$  heeft feitelijk betrekking op normaal bedrijf). De dosiscriteria

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 vermijding 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)
$F \geq 10^{-1}$	0,1	0,04
$10^{-1} > F \geq 10^{-2}$	1	0,4
$10^{-2} > F \geq 10^{-4}$	10	4
$10^{-4} > F \geq 10^{-6}$	100	40

Tabel 15.3.2/1 Dosiscriteria voor kinderen en volwassenen als functie van het kansgebied.

De berekende effectieve dosis is de volg dosis, die afhangt van de te verwachten blootstellingsperiode. Bij inhalatie en ingestie wordt blootstelling beschouwd totdat de stoffen uit het lichaam zijn verwijderd of vervallen. In het algemeen wordt hierbij uitgegaan van de verwachte levensduur van de persoon na inname. Bij volwassenen wordt hierbij uitgegaan van een periode van 50 jaar en bij kinderen van een periode van 70 jaar. Deze perioden worden ook gehanteerd voor de duur van de blootstelling aan de besmette bodem en van het eten van lokaal geproduceerde land- en tuinbouwproducten afkomstig van de besmette bodem.

Omdat voor elk van de vier kansgebieden het criterium voor kinderen het meest stringent is, wordt van de representatieve ontwerpgevallen alleen de maximale dosis van kinderen berekend en getoetst. Omdat de leeftijdsgroep van 1-jarige kinderen bij blootstelling aan concentraties van radioactieve stoffen een hogere dosis ontvangt dan andere leeftijdsgroepen, is deze groep conform de PSA-3 richtlijn als referentiegroep voor de dosisberekening gebruikt. Deze referentiegroep maakt deel uit van de hypothetische groep van permanente bewoners van het gebied direct aan de terreingrens. Dit houdt in dat de referentiegroep na het ongeval tenminste nog 70 jaar in dit gebied blijft wonen.

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 reinigingsacties worden ondernomen.

Omdat de representatieve ontwerpongevallen 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 ontwerpongevallen 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 lokatie 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 lokatie 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 ontwerpongevallen 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 ontwerpongeval



- externe bestraling ten gevolge van op de bodem neergeslagen radioactieve stoffen vanuit de overtrekkende wolk
- inademing van radioactieve stoffen tijdens tijdelijk verblijf in de wolk
- inademing van radioactieve stoffen, die opwarren 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 <sup>131</sup>I) heeft de aanname van extreem etende kinderen voor de ingestiedosis een conservatief karakter.

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.

### 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/kg<sub>ZM</sub> (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).

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 <sup>60</sup>Co) 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 Ongevallen 7.2.2 en 7.2.3
		99,99 Overige ongevallen
aërosolen	99,9	99,9

- 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 te zamen 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 - 90	1,39E+17	1,50E+17	1,08E+17
Y - 91M	8,10E+17	8,25E+17	6,72E+17
Y - 91	1,70E+18	1,73E+18	1,38E+18
Y - 92	1,69E+18	1,71E+18	1,45E+18
Y - 93	1,89E+18	1,92E+18	1,69E+18
ZR- 89	7,68E+10	9,66E+10	6,54E+10
ZR- 93	3,06E+12	3,29E+12	2,67E+12
ZR- 95	2,27E+18	2,29E+18	2,07E+18
ZR- 97	2,12E+18	2,14E+18	2,04E+18
NB- 93M	2,23E+11	2,53E+11	2,03E+11
NB- 94M	1,95E+12	1,97E+12	2,01E+12
NB- 94	3,71E+08	3,98E+08	4,14E+08
NB- 95M	2,52E+16	2,54E+16	2,30E+16
NB- 95	2,29E+18	2,32E+18	2,08E+18

Tabel 15.3.4/2 Activiteit van de kerninventaris aan het einde van de cyclus en na 0 dagen verval (Bq).

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).

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).

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).



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).

Nummer	Ontwerpongeval	Gebeurtenisfrequentie F (per jaar)
1.5.1	Langdurige uitval van de secundaire hoofdkoeling bij bedrijfslekage van stoomgeneratorpijpen	$10^{-1} > F \geq 10^{-2}$
7.2.2 <sup>1)</sup>	Lekkages van het primaire systeem	$10^{-2} > F \geq 10^{-4}$
7.2.3 <sup>2)</sup>	Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding	$10^{-4} > F \geq 10^{-6}$
7.3.2.2	Bezwijken van stoomgeneratorpijpen met een noodstroomsituatie (kortstondig)	$10^{-2} > F \geq 10^{-4}$
7.4.2	Lekkage van een meetleiding die hoofdkoelmiddel bevat buiten de veiligheidsomhulling	$10^{-2} > F \geq 10^{-4}$
8.2	Lekkage in een leiding van het afgassysteem	$10^{-2} > F \geq 10^{-4}$ <sup>3)</sup>
8.4.1	Beschadigingen van splijtstofelementen tijdens het hanteren	$10^{-1} > F \geq 10^{-2}$
9.1.2	Gevolgen van een aardbeving op het reactorhulpgebouw	$10^{-4} > F \geq 10^{-6}$ <sup>4)</sup>

Tabel 15.3.4/3 Representatieve ontwerpongevallen die radiologisch geanalyseerd worden en waarvoor brontermen zijn vastgesteld.

<sup>1)</sup> De bronterm voor ontwerpongeval 7.2.2 valt uiteen in twee deelbrontermen, te weten 7.2.2 a en b die afzonderlijk bepaald zijn.

<sup>2)</sup> De bronterm voor ontwerpongeval 7.2.3 valt uiteen in drie deelbrontermen, te weten 7.2.3 a tot en met c die afzonderlijk bepaald zijn.

<sup>3)</sup> Om ontwerpongeval 8.2 afdekkend te laten zijn voor ontwerpongeval 8.1 mag de dosis de limieten behorende bij een gebeurtenisfrequentie van  $1 > F \geq 10^{-1}$  niet overschrijden.

<sup>4)</sup> Om ontwerpongeval 9.1.2 afdekkend te laten zijn voor ontwerpongeval 8.3 mag de dosis de limieten behorende bij een gebeurtenisfrequentie van  $10^{-2} > F \geq 10^{-4}$  niet overschrijden.

	ENU			c-ERU			40% MOX		
	Reinigingsgraad <sup>1)</sup>		Vrijzettings- graad <sup>2) 3)</sup>	Reinigingsgraad <sup>1)</sup>		Vrijzettings- graad <sup>2) 3)</sup>	Reinigingsgraad <sup>1)</sup>		Vrijzettings- graad <sup>2) 3)</sup>
Nuclide	R=0	R=0,1		R=0	R=0,1		R=0	R=0,1	
	Bq/kg	Bq/kg	Bq/h	Bq/kg	Bq/kg	Bq/h	Bq/kg	Bq/kg	Bq/h
<b>Edelgassen:</b>									
<sup>85m</sup> Kr	7,49.10 <sup>7</sup>	4,60.10 <sup>7</sup>	1,30.10 <sup>12</sup>	7,7.10 <sup>7</sup>	4,7.10 <sup>7</sup>	1,3.10 <sup>12</sup>	6,2.10 <sup>7</sup>	3,8.10 <sup>7</sup>	1,1.10 <sup>12</sup>
<sup>85</sup> Kr	3,82.10 <sup>6</sup>	1,99.10 <sup>5</sup>	2,19.10 <sup>9</sup>	4,1.10 <sup>6</sup>	2,1.10 <sup>5</sup>	2,4.10 <sup>9</sup>	3,1.10 <sup>6</sup>	1,6.10 <sup>5</sup>	1,8.10 <sup>9</sup>
<sup>87</sup> Kr	5,57.10 <sup>7</sup>	4,87.10 <sup>7</sup>	3,42.10 <sup>12</sup>	5,7.10 <sup>7</sup>	5,0.10 <sup>7</sup>	3,5.10 <sup>12</sup>	4,6.10 <sup>7</sup>	4,0.10 <sup>7</sup>	2,8.10 <sup>12</sup>
<sup>88</sup> Kr	1,12.10 <sup>8</sup>	7,92.10 <sup>7</sup>	3,02.10 <sup>12</sup>	1,1.10 <sup>8</sup>	8,1.10 <sup>7</sup>	3,1.10 <sup>12</sup>	9,1.10 <sup>7</sup>	6,4.10 <sup>7</sup>	2,5.10 <sup>12</sup>
<sup>131m</sup> Xe	5,19.10 <sup>6</sup>	3,92.10 <sup>5</sup>	4,37.10 <sup>9</sup>	5,2.10 <sup>6</sup>	3,9.10 <sup>5</sup>	4,4.10 <sup>9</sup>	5,3.10 <sup>6</sup>	4,0.10 <sup>5</sup>	4,5.10 <sup>9</sup>
<sup>133m</sup> Xe	3,60.10 <sup>6</sup>	5,87.10 <sup>5</sup>	7,22.10 <sup>9</sup>	3,6.10 <sup>6</sup>	5,9.10 <sup>5</sup>	7,2.10 <sup>9</sup>	3,6.10 <sup>6</sup>	5,9.10 <sup>5</sup>	7,3.10 <sup>9</sup>
<sup>133</sup> Xe	7,05.10 <sup>8</sup>	7,05.10 <sup>7</sup>	8,18.10 <sup>11</sup>	7,1.10 <sup>8</sup>	7,1.10 <sup>7</sup>	8,2.10 <sup>11</sup>	7,1.10 <sup>8</sup>	7,1.10 <sup>7</sup>	8,2.10 <sup>11</sup>
<sup>135m</sup> Xe	1,59.10 <sup>7</sup>	1,53.10 <sup>7</sup>	4,68.10 <sup>12</sup>	1,6.10 <sup>7</sup>	1,5.10 <sup>7</sup>	4,7.10 <sup>12</sup>	1,7.10 <sup>7</sup>	1,6.10 <sup>7</sup>	4,9.10 <sup>12</sup>
<sup>135</sup> Xe	3,20.10 <sup>8</sup>	1,68.10 <sup>8</sup>	3,62.10 <sup>12</sup>	3,5.10 <sup>8</sup>	1,8.10 <sup>8</sup>	3,9.10 <sup>12</sup>	4,7.10 <sup>8</sup>	2,4.10 <sup>8</sup>	5,3.10 <sup>12</sup>
<sup>138</sup> Xe	5,26.10 <sup>7</sup>	4,88.10 <sup>7</sup>	1,64.10 <sup>13</sup>	5,3.10 <sup>7</sup>	4,9.10 <sup>7</sup>	1,7.10 <sup>13</sup>	5,1.10 <sup>7</sup>	4,7.10 <sup>7</sup>	1,6.10 <sup>13</sup>
<b>Jodium:</b>									
<sup>129</sup> I		1,66.10 <sup>0</sup>	1,77.10 <sup>4</sup>		1,8.10 <sup>0</sup>	1,9.10 <sup>4</sup>		1,9.10 <sup>6</sup>	2,1.10 <sup>4</sup>
<sup>131</sup> I		3,30.10 <sup>7</sup>	3,72.10 <sup>11</sup>		3,3.10 <sup>7</sup>	3,7.10 <sup>11</sup>		3,4.10 <sup>7</sup>	3,8.10 <sup>11</sup>
<sup>132</sup> I		1,12.10 <sup>8</sup>	4,77.10 <sup>12</sup>		1,1.10 <sup>8</sup>	4,8.10 <sup>12</sup>		1,1.10 <sup>8</sup>	4,8.10 <sup>12</sup>
<sup>133</sup> I		1,69.10 <sup>8</sup>	2,46.10 <sup>12</sup>		1,7.10 <sup>8</sup>	2,5.10 <sup>12</sup>		1,7.10 <sup>8</sup>	2,5.10 <sup>12</sup>
<sup>134</sup> I		1,27.10 <sup>8</sup>	1,25.10 <sup>12</sup>		1,3.10 <sup>8</sup>	1,3.10 <sup>13</sup>		1,3.10 <sup>8</sup>	1,2.10 <sup>13</sup>
<sup>135</sup> I		1,75.10 <sup>8</sup>	3,99.10 <sup>12</sup>		1,8.10 <sup>8</sup>	4,0.10 <sup>12</sup>		1,8.10 <sup>8</sup>	4,0.10 <sup>12</sup>
<b>Alkali-metalen:</b>									
<sup>88</sup> Rb	1,03.10 <sup>8</sup>	6,99.10 <sup>7</sup>		1,1.10 <sup>8</sup>	7,1.10 <sup>7</sup>		8,4.10 <sup>7</sup>	5,7.10 <sup>7</sup>	
<sup>134</sup> Cs		1,41.10 <sup>5</sup>	2,66.10 <sup>8</sup>		1,5.10 <sup>5</sup>	2,8.10 <sup>8</sup>		1,3.10 <sup>5</sup>	2,5.10 <sup>8</sup>
<sup>137</sup> Cs		4,93.10 <sup>5</sup>	9,31.10 <sup>8</sup>		5,3.10 <sup>5</sup>	9,9.10 <sup>8</sup>		4,9.10 <sup>5</sup>	9,3.10 <sup>8</sup>
<sup>138</sup> Cs	5,39.10 <sup>7</sup>	5,01.10 <sup>7</sup>		5,4.10 <sup>7</sup>	5,0.10 <sup>7</sup>		5,3.10 <sup>7</sup>	4,9.10 <sup>7</sup>	
<sup>90</sup> Sr		4,93.10 <sup>3</sup>	5,11.10 <sup>7</sup>		5,3.10 <sup>3</sup>	5,5.10 <sup>7</sup>		3,9.10 <sup>3</sup>	4,0.10 <sup>7</sup>
<sup>3</sup> H	2,3.10 <sup>7</sup>	2,3.10 <sup>7</sup>	1,4.10 <sup>9</sup>	2,3.10 <sup>7</sup>	2,3.10 <sup>7</sup>	1,4.10 <sup>9</sup>	2,3.10 <sup>7</sup>	2,3.10 <sup>7</sup>	1,4.10 <sup>9</sup>
<b>Corrosieproducten:</b>									
<sup>51</sup> Cr		7,4.10 <sup>4</sup>			7,4.10 <sup>4</sup>			7,4.10 <sup>4</sup>	
<sup>54</sup> Mn		7,4.10 <sup>3</sup>			7,4.10 <sup>3</sup>			7,4.10 <sup>3</sup>	
<sup>59</sup> Fe		7,4.10 <sup>3</sup>			7,4.10 <sup>3</sup>			7,4.10 <sup>3</sup>	
<sup>58</sup> Co		7,4.10 <sup>4</sup>			7,4.10 <sup>4</sup>			7,4.10 <sup>4</sup>	
<sup>60</sup> Co		2,2.10 <sup>4</sup>			2,2.10 <sup>4</sup>			2,2.10 <sup>4</sup>	
<sup>95</sup> Zr		3,7.10 <sup>3</sup>			3,7.10 <sup>3</sup>			3,7.10 <sup>3</sup>	
<sup>124</sup> Sb		3,7.10 <sup>4</sup>			3,7.10 <sup>4</sup>			3,7.10 <sup>4</sup>	

- 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 weersituaties

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 menlaag (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 weersituatie 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.

### 15.3.6 Wijze van berekenen

Met de in paragraaf 15.3.5 vermelde indeling van de weersituaties 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 ( $\geq 350$  m) bepaald. Combinatie van de maximale dosis per starttijd met de kans van optreden (frequentie) van die starttijd levert de waarschijnlijkheidsverdeling van de maximale dosis voor de 372 starttijden. De 95-percentiel van deze waarschijnlijkheidsverdeling is de dosis, die wordt vergeleken met de dosislimieten.

### 15.3.7 Resultaten ten aanzien van lozingen

De representatieve ontwerpongevallen zijn allen radiologische geanalyseerd voor een ENU, c-ERU en een MOX evenwichtskern. Op basis van de resultaten van deze analyses is voor elk representatief ontwerpongeval de voor ENU, c-ERU en MOX afdekkende analyse bepaald. In deze paragraaf worden enkel deze afdekkende analyses beschreven.

#### 15.3.7.1 Bronterm behorende bij ontwerpongeval 1.5.1

Langdurige uitval van de secundaire hoofdkoeling bij bedrijfslekkage van stoomgeneratorpijpen.  
(figuur 15.3.7.1/1, tabel 15.3.7.1/1 en 2)

#### Afdekkende analyses

Voor het ontwerpongeval 1.5.1 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.

#### Dosiscriterium

Gezien het kansbereik van dit ontwerpongeval ( $10^{-1} > F \geq 10^{-2}$ ), mag het onderstaande dosis criterium, geldig voor de meest restrictieve groep -kinderen-, niet worden overschreden:

$$E(\text{kind}) = 0,4 \quad \text{mSv}$$

#### Specifieke brontermuitgangspunten

Voor de analyse van dit ongeval is het volgende ongevalsverloop aangenomen:

- bij een lekkage tijdens bedrijf van primaire naar secundaire zijde van 100 l/h moet de installatie uit bedrijf worden genomen
- vlak voor de aanvang van de uitbedrijfname ontstaat een noodstroomsituatie.
- 10 uur na het begin van de noodstroomsituatie wordt begonnen met de uitbedrijfname; gedurende deze fase wordt in totaal circa  $200 \cdot 10^3$  kg stoom afgeblazen.
- circa 4 uur daarna wordt de restwarmte-afvoer overgenomen door het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ); gedurende deze fase wordt in totaal circa  $150 \cdot 10^3$  kg stoom afgeblazen.

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  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  en  $^{137}\text{Cs}$  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
H <sub>th</sub> (kind)	0,475	500	Ja

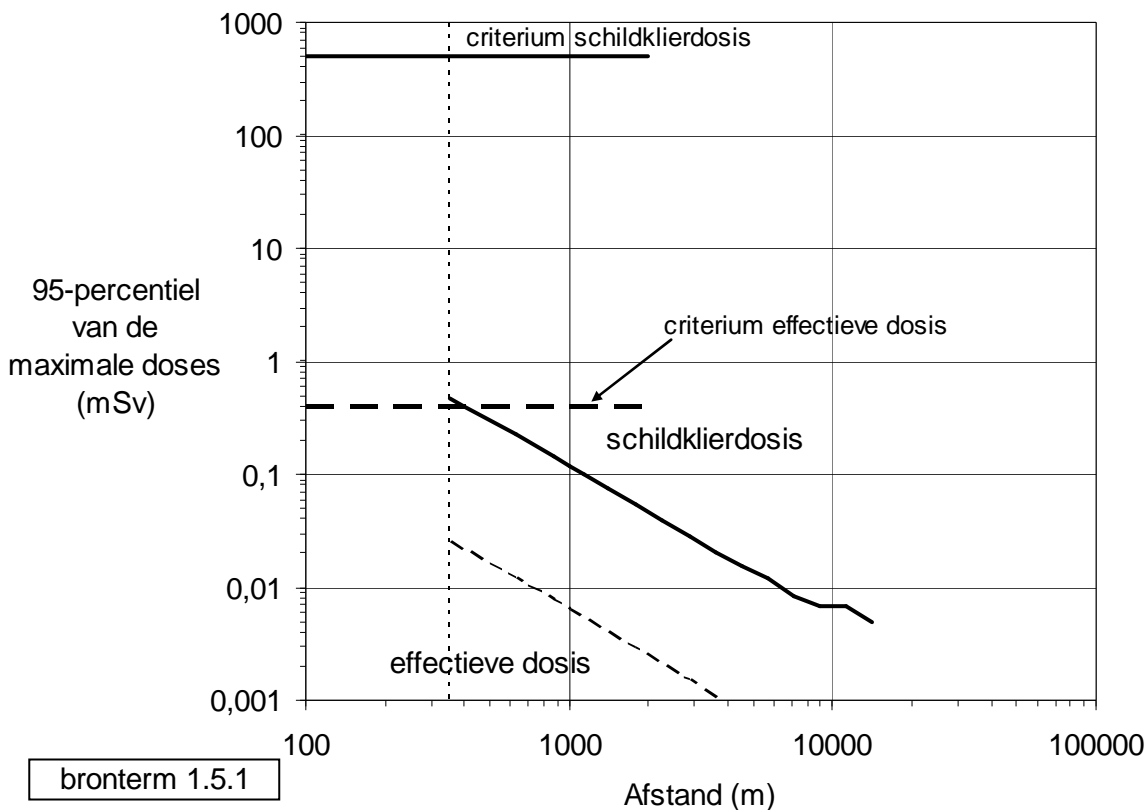
Tabel 15.3.7.1/1 Toetsing van de berekende dosis aan het geldende dosiscriterium bij ontwerpongeval 1.5.1.

#### 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)
<sup>85m</sup> Kr	3,9.10 <sup>10</sup>	elementair		<sup>88</sup> Rb	1,4.10 <sup>8</sup>
<sup>85</sup> Kr	1,6.10 <sup>8</sup>	<sup>129</sup> I	4,8.10 <sup>-1</sup>	<sup>134</sup> Cs	1,0.10 <sup>7</sup>
<sup>87</sup> Kr	4,0.10 <sup>10</sup>	<sup>131</sup> I	2,5.10 <sup>8</sup>	<sup>137</sup> Cs	3,7.10 <sup>7</sup>
<sup>88</sup> Kr	6,5.10 <sup>10</sup>	<sup>132</sup> I	2,8.10 <sup>7</sup>	<sup>138</sup> Cs	1,2.10 <sup>8</sup>
<sup>131m</sup> Xe	4,1.10 <sup>8</sup>	<sup>133</sup> I	4,2.10 <sup>7</sup>	<sup>90</sup> Sr	9,6.10 <sup>3</sup>
<sup>133m</sup> Xe	6,0.10 <sup>8</sup>	<sup>134</sup> I	3,2.10 <sup>7</sup>	<sup>3</sup> H	2,3.10 <sup>10</sup>
<sup>133</sup> Xe	7,1.10 <sup>10</sup>	<sup>135</sup> I	4,4.10 <sup>7</sup>		
<sup>135m</sup> Xe	1,6.10 <sup>10</sup>	aërosol		<sup>51</sup> Cr	1,9.10 <sup>5</sup>
<sup>135</sup> Xe	2,5.10 <sup>11</sup>	<sup>129</sup> I	4,3.10 <sup>0</sup>	<sup>54</sup> Mn	1,9.10 <sup>4</sup>
<sup>138</sup> Xe	4,8.10 <sup>10</sup>	<sup>131</sup> I	2,3.10 <sup>9</sup>	<sup>59</sup> Fe	1,9.10 <sup>4</sup>
		<sup>132</sup> I	2,5.10 <sup>8</sup>	<sup>58</sup> Co	1,9.10 <sup>5</sup>
		<sup>133</sup> I	3,8.10 <sup>8</sup>	<sup>60</sup> Co	5,6.10 <sup>4</sup>
		<sup>134</sup> I	2,8.10 <sup>8</sup>	<sup>95</sup> Zr	9,3.10 <sup>3</sup>
		<sup>135</sup> I	3,9.10 <sup>8</sup>	<sup>124</sup> Sb	9,3.10 <sup>4</sup>

Tabel 15.3.7.1/2 Bronterm 1.5.1: langdurige uitval secundaire hoofdcooling met bedrijfslekke 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 ontwerpgeval 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 ontwerpgeval 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.

Dosiscriterium

Gezien het kansbereik van dit ontwerpgeval ( $10^{-2} > F \geq 10^{-4}$ ), mag het onderstaande dosis criterium, geldig voor de meest restrictieve groep -kinderen-, niet worden overschreden:

$$E(\text{kind}) = 4 \text{ mSv}$$



### Specifieke brontermuitgangspunten

Voor de analyse van dit ongeval is het volgende ongevalsverloop aangenomen:

- Er is een groot lek van 225 cm<sup>2</sup> 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 ontwerpgeval is aangetoond dat bij dit ontwerpgeval geen splijstofschaade optreedt.

Ontwerpgeval 7.2.2 dekt tevens ontwerpgeval 7.1.2 af, waarbij een kleiner lek wordt verondersteld.

Gezien het ongevalsverloop van ontwerpgeval 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 "bypass" van de ringruimte; Gedurende 5 minuten komt de ringruimte op overdruk te staan. Er is daardoor directe lekkage vanuit de ringruimte naar de omgeving.

De verdere uitgangspunten voor de vaststelling van de bronterm zijn:

- Van de nuclideinventaris van het gelekte hoofdkoelmiddel komt 100% van de edelgassen en 25% van de overige nucliden vrij in de atmosfeer van de bol. Deze hete gassen stijgen naar boven in de bol. Het overige deel van de nuclideinventaris blijft achter in het gelekte water op de vloer van de bol.
- De naar de ringruimte gelekte gassen worden via het ongevalsfilter TL070 naar de omgeving geloosd. Het jodium in de ringruimte bestaat voor 50% uit organisch gebonden jodium, de rest is elementair.

- Omdat gedurende geruime tijd de koeling van de splijtstofstaven niet stabiel is wordt verhoging van de waarden voor  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  en  $^{137}\text{Cs}$  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  $9 \cdot 10^{-4}$  volume %. Van de lucht in de ringruimte wordt t.g.v. overdruk 1/75ste-deel naar de omgeving geperst.

De bronterm voor dit ongeval is gegeven in tabel 15.3.7.2/2 (7.2.2a) en 15.3.7.2/3 (7.2.2b).

#### Dosisberekeningen

De resultaten van de dosisberekeningen voor deze brontermen (sommatie van bronterm 7.2.2a en 7.2.2b) zijn hieronder beschreven en weergegeven in figuur 15.3.7.2/1.

#### Effectieve dosis

De maximale effectieve dosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is  $8,2 \cdot 10^{-4}$  mSv.

#### Schildklier dosis

De maximale, schildklierdosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor kinderen, is 0,0147 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 15.3.7.2/1.

Type dosis	Berekende maximale dosis (mSv)	Dosiscriterium (mSv)	Voldoet ja/nee
E (kind)	$8,2 \cdot 10^{-4}$	4	Ja
$H_{th}$ (kind)	0,0147	500	Ja

Tabel 15.3.7.2/1 Toetsing van de berekende dosis aan het geldende dosiscriterium bij ontwerpongeval 7.2.2.

#### Dosiswaarden op 1 km afstand

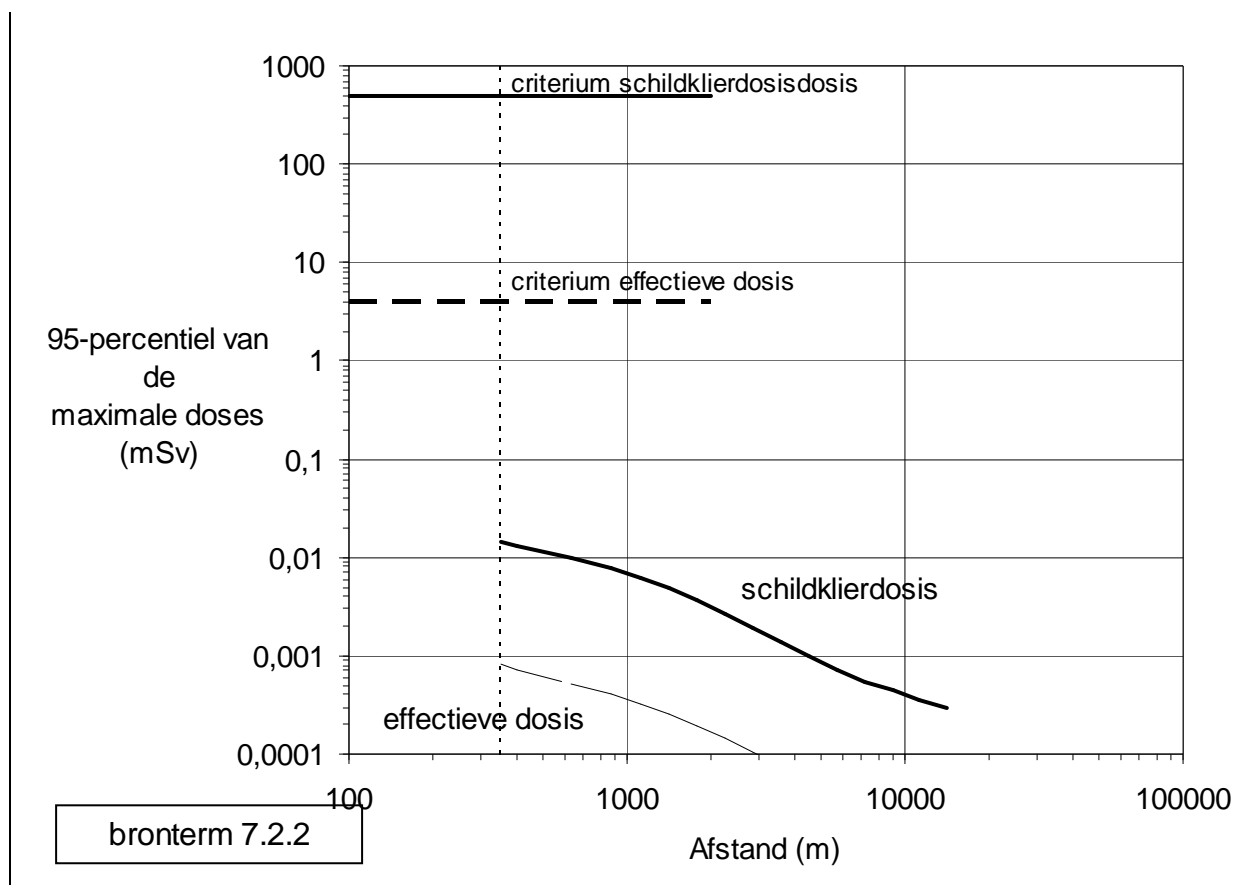
Uit figuur 15.3.7.2/1 kan worden afgelezen dat voor het bewoonde gebied op 1 km afstand de effectieve dosis en de schildklierdosis over 70 jaar na het ongeval respectievelijk circa 0,0004 mSv en 0,007 mSv bedragen.

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
<sup>85m</sup> Kr	6,4.10 <sup>9</sup>	elementair		<sup>88</sup> Rb	2,4.10 <sup>6</sup>
<sup>85</sup> Kr	2,7.10 <sup>7</sup>	<sup>131</sup> I	2,1.10 <sup>7</sup>	<sup>134</sup> Cs	1,7.10 <sup>5</sup>
<sup>87</sup> Kr	6,7.10 <sup>9</sup>	<sup>132</sup> I	2,4.10 <sup>6</sup>	<sup>137</sup> Cs	6,2.10 <sup>5</sup>
<sup>88</sup> Kr	1,1.10 <sup>10</sup>	<sup>133</sup> I	3,5.10 <sup>6</sup>	<sup>138</sup> Cs	2,0.10 <sup>6</sup>
<sup>131m</sup> Xe	6,8.10 <sup>7</sup>	<sup>134</sup> I	2,6.10 <sup>6</sup>		
<sup>133m</sup> Xe	9,9.10 <sup>7</sup>	<sup>135</sup> I	3,7.10 <sup>6</sup>	<sup>90</sup> Sr	1,5.10 <sup>2</sup>
<sup>133</sup> Xe	1,2.10 <sup>10</sup>				
<sup>135m</sup> Xe	2,7.10 <sup>9</sup>	organisch		<sup>51</sup> Cr	3,1.10 <sup>3</sup>
<sup>135</sup> Xe	4,1.10 <sup>10</sup>	<sup>131</sup> I	2,1.10 <sup>8</sup>	<sup>54</sup> Mn	3,1.10 <sup>2</sup>
<sup>138</sup> Xe	7,9.10 <sup>9</sup>	<sup>132</sup> I	2,4.10 <sup>7</sup>	<sup>59</sup> Fe	3,1.10 <sup>2</sup>
		<sup>133</sup> I	3,5.10 <sup>7</sup>	<sup>58</sup> Co	3,1.10 <sup>3</sup>
		<sup>134</sup> I	2,6.10 <sup>7</sup>	<sup>60</sup> Co	9,3.10 <sup>2</sup>
		<sup>135</sup> I	3,7.10 <sup>7</sup>	<sup>95</sup> Zr	1,6.10 <sup>2</sup>
				<sup>124</sup> Sb	1,6.10 <sup>3</sup>

Tabel 15.3.7.2/2 Bronterm 7.2.2a: Leckage van het primaire systeem bij "groot lek" en lozing via de ringruimte.

Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
<sup>85m</sup> Kr	5,6.10 <sup>5</sup>	elementair		<sup>88</sup> Rb	2,1.10 <sup>5</sup>
<sup>85</sup> Kr	2,4.10 <sup>3</sup>	<sup>131</sup> I	1,9.10 <sup>6</sup>	<sup>134</sup> Cs	1,5.10 <sup>4</sup>
<sup>87</sup> Kr	5,9.10 <sup>5</sup>	<sup>132</sup> I	2,1.10 <sup>5</sup>	<sup>137</sup> Cs	5,4.10 <sup>4</sup>
<sup>88</sup> Kr	9,5.10 <sup>5</sup>	<sup>133</sup> I	3,1.10 <sup>5</sup>	<sup>138</sup> Cs	1,8.10 <sup>5</sup>
<sup>131m</sup> Xe	5,9.10 <sup>3</sup>	<sup>134</sup> I	2,3.10 <sup>5</sup>		
<sup>133m</sup> Xe	8,7.10 <sup>3</sup>	<sup>135</sup> I	3,2.10 <sup>5</sup>	<sup>90</sup> Sr	1,4.10 <sup>1</sup>
<sup>133</sup> Xe	1,0.10 <sup>6</sup>				
<sup>135m</sup> Xe	2,3.10 <sup>5</sup>	organisch		<sup>51</sup> Cr	2,7.10 <sup>2</sup>
<sup>135</sup> Xe	3,6.10 <sup>6</sup>	<sup>131</sup> I	1,9.10 <sup>6</sup>	<sup>54</sup> Mn	2,7.10 <sup>1</sup>
<sup>138</sup> Xe	7,0.10 <sup>5</sup>	<sup>132</sup> I	2,1.10 <sup>5</sup>	<sup>59</sup> Fe	2,7.10 <sup>1</sup>
		<sup>133</sup> I	3,1.10 <sup>5</sup>	<sup>58</sup> Co	2,7.10 <sup>2</sup>
		<sup>134</sup> I	2,3.10 <sup>5</sup>	<sup>60</sup> Co	8,2.10 <sup>1</sup>
		<sup>135</sup> I	3,2.10 <sup>5</sup>	<sup>95</sup> Zr	1,4.10 <sup>1</sup>
				<sup>124</sup> Sb	1,4.10 <sup>2</sup>

Tabel 15.3.7.2/3 Bronterm 7.2.2b: Leckage van het primaire systeem bij "groot lek" en bypass van de ringruimte.



Figuur 15.3.7.2/1 95-percentielwaarde van de schildklierdosis en effectieve dosis voor éénjarige kinderen als functie van de afstand voor ontwerp ongeval 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.

#### Dosiscriterium

Gezien het kansbereik van dit ontwerpgeval ( $10^{-4} > F \geq 10^{-6}$ ), mag het onderstaande dosis criterium, geldig voor de meest restrictieve groep -kinderen-, niet worden overschreden:

$$E(\text{kind}) = 40 \text{ mSv}$$

#### Specifieke brontermuitgangspunten

Voor de thermohydraulische analyse van dit ongeval wordt verwezen naar paragraaf 15.2.13.

Gezien het ongevalsverloop worden 3 brontermen onderscheiden voor de volgende situaties:

- lozing via de ringruimte ten gevolge van lekkage uit de op druk staande veiligheidsomhulling (bronterm 7.2.3a)
- lozing ten gevolge van de "bypass" van de ringruimte (bronterm 7.2.3b)
- lozing ten gevolge van een additioneel lek in een leiding van het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) tijdens putbedrijf (bronterm 7.2.3c).

Voor de bepaling van de omvang van de 3 brontermen gelden verder als uitgangspunten:

- Conform de Duitse richtlijnen wordt een breuk van de hoofdkoelmiddelleiding aangenomen.
- Additioneel wordt een lek in een leiding van het kerninundatie- en nakoelsysteem (TJ) in de ringruimte tijdens putbedrijf(recirculatiebedrijf) verondersteld. Dit lek wordt 30 minuten na het begin van de lekkage opgeheven.
- Een fractie van 10% van de splijtstofstaven raakt beschadigd bij het herstellen van de koeling. Dit leidt tot het vrijkomen in het primair koelmiddel van 10% van de in de kern aanwezige edelgassen, jodium en vluchtige vaste stoffen. Bovendien komt er van de niet vluchtige vaste stoffen 1% vrij uit de kern.
- Aangenomen wordt dat alle edelgassen en een kwart van de overige stoffen uit het koelmiddel in het vrije volume van de veiligheidsomhulling vrijkomen. Het in de ringruimte aanwezige jodium bestaat voor 50% uit organisch gebonden jodium en voor 50% uit elementair jodium.
- Voor de brontermen 7.2.3a en c wordt voor elementair jodium overeenkomstig de ontwerpwaarden van 1972 een filterrendement van 99,9% gehanteerd.

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 m<sup>3</sup> primair koelmiddel in de ringruimte weggelekt
- de concentratieverhouding in de ringruimte tussen het jodium in water en lucht na een uur is 10<sup>5</sup>:1.
- het lekwater wordt in een uur tijd afgevoerd is naar het nucleair gebouwonwateringssysteem (TZ) en wordt daar geïsoleerd. In dat uur wordt 3.000 m<sup>3</sup> "besmette lucht" afgevoerd naar het TL070-filter. Hierna moet ten gevolge van het voor dit uur aangenomen concentratie-evenwicht nog 25.000 m<sup>3</sup> "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 ontwerpongeval 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
H <sub>th</sub> (kind)	4,57	500	Ja

Tabel 15.3.7.3/1 Toetsing van de berekende dosis aan het geldende dosiscriterium bij ontwerp ongeval 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)
<sup>83m</sup> Kr	1,92.10 <sup>12</sup>	<sup>126</sup> Sb	2,98.10 <sup>6</sup>	<sup>131m</sup> Xe	1,68.10 <sup>11</sup>
<sup>85m</sup> Kr	4,66.10 <sup>12</sup>	<sup>127</sup> Sb	3,42.10 <sup>8</sup>	<sup>133m</sup> Xe	9,52.10 <sup>11</sup>
<sup>85</sup> Kr	2,38.10 <sup>11</sup>	<sup>128L</sup> Sb	0,00.10 <sup>0</sup>	<sup>133</sup> Xe	3,17.10 <sup>13</sup>
<sup>87</sup> Kr	7,98.10 <sup>12</sup>	<sup>129</sup> Sb	1,11.10 <sup>9</sup>	<sup>135m</sup> Xe	6,54.10 <sup>12</sup>
<sup>88</sup> Kr	1,08.10 <sup>13</sup>	<sup>130L</sup> Sb	1,36.10 <sup>9</sup>	<sup>135</sup> Xe	7,91.10 <sup>12</sup>
<sup>86</sup> Rb	2,78.10 <sup>6</sup>	<sup>131</sup> Sb	3,23.10 <sup>9</sup>	<sup>138</sup> Xe	2,78.10 <sup>13</sup>
<sup>88</sup> Rb	2,78.10 <sup>9</sup>	<sup>132</sup> Sb	0,00.10 <sup>0</sup>	<sup>134m</sup> Cs	1,96.10 <sup>8</sup>
<sup>89</sup> Rb	3,81.10 <sup>9</sup>	<sup>125m</sup> Te	1,30.10 <sup>7</sup>	<sup>134</sup> Cs	8,33.10 <sup>8</sup>
<sup>89</sup> Sr	4,03.10 <sup>8</sup>	<sup>127m</sup> Te	2,76.10 <sup>7</sup>	<sup>136</sup> Cs	2,00.10 <sup>8</sup>
<sup>90</sup> Sr	4,39.10 <sup>7</sup>	<sup>127</sup> Te	3,08.10 <sup>4</sup>	<sup>137</sup> Cs	5,95.10 <sup>8</sup>
<sup>91</sup> Sr	4,94.10 <sup>8</sup>	<sup>129m</sup> Te	2,02.10 <sup>8</sup>	<sup>138</sup> Cs	7,57.10 <sup>9</sup>
<sup>92</sup> Sr	5,22.10 <sup>8</sup>	<sup>129</sup> Te	1,19.10 <sup>9</sup>	<sup>139</sup> Ba	7,08.10 <sup>9</sup>

Tabel 15.3.7.3 /2 Bronterm 7.2.3a: lozing via ringruimte



<sup>93</sup> Sr	0,00.10 <sup>0</sup>	<sup>131m</sup> Te	5,55.10 <sup>8</sup>	<sup>140</sup> Ba	6,93.10 <sup>9</sup>
<sup>90m</sup> Y	3,42.10 <sup>4</sup>	<sup>131</sup> Te	3,45.10 <sup>9</sup>	<sup>140</sup> La	7,17.10 <sup>8</sup>
<sup>90</sup> Y	4,58.10 <sup>7</sup>	<sup>132</sup> Te	5,43.10 <sup>9</sup>	<sup>141</sup> La	6,38.10 <sup>9</sup>
<sup>91m</sup> Y	2,52.10 <sup>8</sup>	<sup>133m</sup> Te	4,09.10 <sup>9</sup>	<sup>142</sup> La	6,22.10 <sup>8</sup>
<sup>91</sup> Y	5,28.10 <sup>8</sup>	<sup>133</sup> Te	3,91.10 <sup>9</sup>	<sup>141</sup> Ce	6,62.10 <sup>8</sup>
<sup>92</sup> Y	5,22.10 <sup>8</sup>	<sup>134</sup> Te	7,02.10 <sup>9</sup>	<sup>143</sup> Ce	6,16.10 <sup>8</sup>
<sup>93</sup> Y	5,86.10 <sup>8</sup>			<sup>144</sup> Ce	5,43.10 <sup>8</sup>
<sup>95</sup> Zr	6,99.10 <sup>8</sup>	<b>Elementair</b>		<sup>143</sup> Pr	6,16.10 <sup>8</sup>
<sup>97</sup> Zr	6,53.10 <sup>8</sup>	<sup>130</sup> I	5,74.10 <sup>7</sup>	<sup>145</sup> Pr	4,18.10 <sup>8</sup>
<sup>95m</sup> Nb	7,75.10 <sup>6</sup>	<sup>131</sup> I	1,95.10 <sup>9</sup>	<sup>147</sup> Nd	2,60.10 <sup>8</sup>
<sup>95</sup> Nb	7,08.10 <sup>8</sup>	<sup>132</sup> I	2,76.10 <sup>9</sup>	<sup>147</sup> Pm	9,61.10 <sup>7</sup>
<sup>97</sup> Nb	6,56.10 <sup>8</sup>	<sup>133</sup> I	3,94.10 <sup>9</sup>	<sup>148m</sup> Pm	1,38.10 <sup>7</sup>
<sup>99</sup> Mo	7,35.10 <sup>8</sup>	<sup>134</sup> I	4,29.10 <sup>9</sup>	<sup>148</sup> Pm	6,38.10 <sup>7</sup>
<sup>101</sup> Mo	6,77.10 <sup>8</sup>	<sup>135</sup> I	3,77.10 <sup>9</sup>	<sup>149</sup> Pm	2,02.10 <sup>8</sup>
<sup>99m</sup> Tc	6,44.10 <sup>8</sup>			<sup>151</sup> Pm	7,29.10 <sup>7</sup>
<sup>101</sup> Tc	6,77.10 <sup>8</sup>	<b>Organisch</b>		<sup>154</sup> Eu	4,64.10 <sup>6</sup>
<sup>103</sup> Ru	5,80.10 <sup>8</sup>	<sup>130</sup> I	5,74.10 <sup>8</sup>	<sup>155</sup> Eu	2,13.10 <sup>6</sup>
<sup>105</sup> Ru	3,94.10 <sup>8</sup>	<sup>131</sup> I	1,95.10 <sup>10</sup>	<sup>156</sup> Eu	8,70.10 <sup>7</sup>
<sup>106</sup> Ru	2,09.10 <sup>8</sup>	<sup>132</sup> I	2,76.10 <sup>10</sup>	<sup>238</sup> Np	3,78.10 <sup>8</sup>
<sup>103m</sup> Rh	5,80.10 <sup>8</sup>	<sup>133</sup> I	3,94.10 <sup>10</sup>	<sup>239</sup> Np	6,71.10 <sup>9</sup>
<sup>105</sup> Rh	3,75.10 <sup>8</sup>	<sup>134</sup> I	4,29.10 <sup>10</sup>	<sup>238</sup> Pu	3,69.10 <sup>6</sup>
<sup>124</sup> Sb	3,88.10 <sup>6</sup>	<sup>135</sup> I	3,77.10 <sup>10</sup>	<sup>239</sup> Pu	1,45.10 <sup>5</sup>
<sup>125</sup> Sb	6,13.10 <sup>7</sup>			<sup>240</sup> Pu	1,86.10 <sup>5</sup>
				<sup>241</sup> Pu	4,64.10 <sup>7</sup>
				<sup>242</sup> Cm	1,74.10 <sup>7</sup>
				<sup>244</sup> Cm	1,31.10 <sup>6</sup>

Tabel 15.3.7.3 /2 Bronterm 7.2.3a: lozing via ringruimte

Bronterm 7.2.3a MOX					
Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
<sup>83m</sup> Kr	1,6.10 <sup>12</sup>	<sup>126</sup> Sb	3,8.10 <sup>6</sup>	<sup>131m</sup> Xe	1,7.10 <sup>11</sup>
<sup>85m</sup> Kr	3,8.10 <sup>12</sup>	<sup>127</sup> Sb	4,3.10 <sup>8</sup>	<sup>133m</sup> Xe	9,5.10 <sup>11</sup>
<sup>85</sup> Kr	1,8.10 <sup>11</sup>	<sup>128L</sup> Sb	6,0.10 <sup>7</sup>	<sup>133</sup> Xe	3,2.10 <sup>13</sup>
<sup>87</sup> Kr	6,4.10 <sup>12</sup>	<sup>129</sup> Sb	1,2.10 <sup>9</sup>	<sup>135m</sup> Xe	6,8.10 <sup>12</sup>
<sup>88</sup> Kr	8,6.10 <sup>12</sup>	<sup>130L</sup> Sb	1,4.10 <sup>9</sup>	<sup>135</sup> Xe	1,1.10 <sup>13</sup>
<sup>86</sup> Rb	6,5.10 <sup>6</sup>	<sup>131</sup> Sb	3,3.10 <sup>9</sup>	<sup>138</sup> Xe	2,7.10 <sup>13</sup>
<sup>88</sup> Rb	2,2.10 <sup>9</sup>	<sup>132</sup> Sb	1,6.10 <sup>9</sup>	<sup>134m</sup> Cs	1,8.10 <sup>8</sup>
<sup>89</sup> Rb	3,0.10 <sup>9</sup>	<sup>125m</sup> Te	1,9.10 <sup>7</sup>	<sup>134</sup> Cs	7,5.10 <sup>8</sup>
<sup>89</sup> Sr	3,1.10 <sup>8</sup>	<sup>127m</sup> Te	4,2.10 <sup>7</sup>	<sup>136</sup> Cs	2,2.10 <sup>8</sup>
<sup>90</sup> Sr	3,2.10 <sup>7</sup>	<sup>127</sup> Te	3,9.10 <sup>8</sup>	<sup>137</sup> Cs	5,6.10 <sup>8</sup>
<sup>91</sup> Sr	4,0.10 <sup>8</sup>	<sup>129m</sup> Te	2,2.10 <sup>8</sup>	<sup>138</sup> Cs	7,4.10 <sup>9</sup>
<sup>92</sup> Sr	4,4.10 <sup>8</sup>	<sup>129</sup> Te	1,3.10 <sup>9</sup>	<sup>139</sup> Ba	6,7.10 <sup>9</sup>
<sup>93</sup> Sr	5,0.10 <sup>8</sup>	<sup>131m</sup> Te	6,0.10 <sup>8</sup>	<sup>140</sup> Ba	6,7.10 <sup>9</sup>
<sup>90m</sup> Y	2,6.10 <sup>4</sup>	<sup>131</sup> Te	3,5.10 <sup>9</sup>	<sup>140</sup> La	6,9.10 <sup>8</sup>
<sup>90</sup> Y	3,3.10 <sup>7</sup>	<sup>132</sup> Te	5,5.10 <sup>9</sup>	<sup>141</sup> La	6,1.10 <sup>8</sup>
<sup>91m</sup> Y	2,1.10 <sup>8</sup>	<sup>133m</sup> Te	4,0.10 <sup>9</sup>	<sup>142</sup> La	6,0.10 <sup>8</sup>
<sup>91</sup> Y	4,2.10 <sup>8</sup>	<sup>133</sup> Te	3,8.10 <sup>9</sup>	<sup>141</sup> Ce	6,3.10 <sup>8</sup>
<sup>92</sup> Y	4,4.10 <sup>8</sup>	<sup>134</sup> Te	6,7.10 <sup>9</sup>	<sup>143</sup> Ce	5,7.10 <sup>8</sup>
<sup>93</sup> Y	5,2.10 <sup>8</sup>			<sup>144</sup> Ce	4,7.10 <sup>8</sup>
<sup>95</sup> Zr	6,3.10 <sup>8</sup>	<b>Elementair</b>		<sup>143</sup> Pr	5,7.10 <sup>8</sup>
<sup>97</sup> Zr	6,2.10 <sup>8</sup>	<sup>130</sup> I	5,3.10 <sup>7</sup>	<sup>145</sup> Pr	4,0.10 <sup>8</sup>
<sup>95m</sup> Nb	7,0.10 <sup>6</sup>	<sup>131</sup> I	2,0.10 <sup>9</sup>	<sup>147</sup> Nd	2,6.10 <sup>8</sup>
<sup>95</sup> Nb	6,3.10 <sup>8</sup>	<sup>132</sup> I	2,8.10 <sup>9</sup>	<sup>147</sup> Pm	8,4.10 <sup>7</sup>
<sup>97</sup> Nb	6,3.10 <sup>8</sup>	<sup>133</sup> I	3,9.10 <sup>9</sup>	<sup>148m</sup> Pm	1,7.10 <sup>7</sup>
<sup>99</sup> Mo	7,2.10 <sup>8</sup>	<sup>134</sup> I	4,2.10 <sup>9</sup>	<sup>148</sup> Pm	6,3.10 <sup>7</sup>
<sup>101</sup> Mo	6,9.10 <sup>8</sup>	<sup>135</sup> I	3,8.10 <sup>9</sup>	<sup>149</sup> Pm	2,0.10 <sup>8</sup>
<sup>99m</sup> Tc	6,3.10 <sup>8</sup>			<sup>151</sup> Pm	8,1.10 <sup>7</sup>

Tabel 15.3.7.3 /2 Bronterm 7.2.3a: lozing via ringruimte

<sup>101</sup> Tc	7,0.10 <sup>8</sup>	<b>Organisch</b>		<sup>154</sup> Eu	5,1.10 <sup>6</sup>
<sup>103</sup> Ru	6,7.10 <sup>8</sup>	<sup>130</sup> I	5,3.10 <sup>8</sup>	<sup>155</sup> Eu	3,0.10 <sup>6</sup>
<sup>105</sup> Ru	5,0.10 <sup>8</sup>	<sup>131</sup> I	2,0.10 <sup>10</sup>	<sup>156</sup> Eu	9,2.10 <sup>7</sup>
<sup>106</sup> Ru	3,1.10 <sup>8</sup>	<sup>132</sup> I	2,8.10 <sup>10</sup>	<sup>238</sup> Np	9,2.10 <sup>7</sup>
<sup>103m</sup> Rh	6,7.10 <sup>8</sup>	<sup>133</sup> I	3,9.10 <sup>10</sup>	<sup>239</sup> Np	6,5.10 <sup>9</sup>
<sup>105</sup> Rh	4,9.10 <sup>8</sup>	<sup>134</sup> I	4,2.10 <sup>10</sup>	<sup>238</sup> Pu	7,1.10 <sup>6</sup>
<sup>124</sup> Sb	5,2.10 <sup>6</sup>	<sup>135</sup> I	3,8.10 <sup>10</sup>	<sup>239</sup> Pu	3,5.10 <sup>5</sup>
<sup>125</sup> Sb	8,8.10 <sup>7</sup>			<sup>240</sup> Pu	
				<sup>241</sup> Pu	1,8.10 <sup>8</sup>
				<sup>242</sup> Cm	1,3.10 <sup>8</sup>
				<sup>244</sup> Cm	9,5.10 <sup>6</sup>

Tabel 15.3.7.3 /2 Bronterm 7.2.3a: lozing via ringruimte

<b>Bronterm 7.2.3b c-ERU</b>					
<b>Nuclide</b>	<b>Activiteit (Bq)</b>	<b>Nuclide</b>	<b>Activiteit (Bq)</b>	<b>Nuclide</b>	<b>Activiteit (Bq)</b>
<sup>83m</sup> Kr	1,88.10 <sup>8</sup>	<sup>126</sup> Sb	2,93.10 <sup>5</sup>	<sup>131m</sup> Xe	1,66.10 <sup>7</sup>
<sup>85m</sup> Kr	4,58.10 <sup>8</sup>	<sup>127</sup> Sb	3,36.10 <sup>7</sup>	<sup>133m</sup> Xe	9,36.10 <sup>7</sup>
<sup>85</sup> Kr	2,34.10 <sup>7</sup>	<sup>128L</sup> Sb	0,00.10 <sup>0</sup>	<sup>133</sup> Xe	3,12.10 <sup>9</sup>
<sup>87</sup> Kr	7,85.10 <sup>8</sup>	<sup>129</sup> Sb	1,09.10 <sup>8</sup>	<sup>135m</sup> Xe	6,43.10 <sup>8</sup>
<sup>88</sup> Kr	1,07.10 <sup>9</sup>	<sup>130L</sup> Sb	1,34.10 <sup>8</sup>	<sup>135</sup> Xe	7,78.10 <sup>8</sup>
<sup>86</sup> Rb	8,52.10 <sup>5</sup>	<sup>131</sup> Sb	3,18.10 <sup>8</sup>	<sup>138</sup> Xe	2,74.10 <sup>9</sup>
<sup>88</sup> Rb	2,74.10 <sup>8</sup>	<sup>132</sup> Sb	0,00.10 <sup>0</sup>	<sup>134m</sup> Cs	1,92.10 <sup>7</sup>
<sup>89</sup> Rb	3,75.10 <sup>8</sup>	<sup>125m</sup> Te	1,28.10 <sup>6</sup>	<sup>134</sup> Cs	8,19.10 <sup>7</sup>
<sup>89</sup> Sr	3,96.10 <sup>7</sup>	<sup>127m</sup> Te	2,72.10 <sup>6</sup>	<sup>136</sup> Cs	1,96.10 <sup>7</sup>
<sup>90</sup> Sr	4,32.10 <sup>6</sup>	<sup>127</sup> Te	3,03.10 <sup>7</sup>	<sup>137</sup> Cs	5,85.10 <sup>7</sup>
<sup>91</sup> Sr	4,86.10 <sup>7</sup>	<sup>129m</sup> Te	1,99.10 <sup>7</sup>	<sup>138</sup> Cs	7,44.10 <sup>8</sup>
<sup>92</sup> Sr	5,13.10 <sup>7</sup>	<sup>129</sup> Te	1,17.10 <sup>8</sup>	<sup>139</sup> Ba	6,96.10 <sup>8</sup>
<sup>93</sup> Sr	0,00.10 <sup>0</sup>	<sup>131m</sup> Te	5,46.10 <sup>7</sup>	<sup>140</sup> Ba	6,81.10 <sup>8</sup>
<sup>90m</sup> Y	3,36.10 <sup>3</sup>	<sup>131</sup> Te	3,39.10 <sup>8</sup>	<sup>140</sup> La	7,05.10 <sup>7</sup>

Tabel 15.3.7.3 /3 Bronterm 7.2.3b: "bypass" ringruimte.

<sup>90</sup> Y	4,50.10 <sup>6</sup>	<sup>132</sup> Te	5,34.10 <sup>8</sup>	<sup>141</sup> La	6,27.10 <sup>7</sup>
<sup>91m</sup> Y	2,48.10 <sup>7</sup>	<sup>133m</sup> Te	4,02.10 <sup>8</sup>	<sup>142</sup> La	6,12.10 <sup>7</sup>
<sup>91</sup> Y	5,19.10 <sup>7</sup>	<sup>133</sup> Te	3,84.10 <sup>8</sup>	<sup>141</sup> Ce	6,51.10 <sup>7</sup>
<sup>92</sup> Y	5,13.10 <sup>7</sup>	<sup>134</sup> Te	6,90.10 <sup>8</sup>	<sup>143</sup> Ce	6,06.10 <sup>7</sup>
<sup>93</sup> Y	5,76.10 <sup>7</sup>			<sup>144</sup> Ce	5,34.10 <sup>7</sup>
<sup>95</sup> Zr	6,87.10 <sup>7</sup>	<b>Elementair</b>		<sup>143</sup> Pr	6,06.10 <sup>7</sup>
<sup>97</sup> Zr	6,42.10 <sup>7</sup>	<sup>130</sup> I	5,64.10 <sup>6</sup>	<sup>145</sup> Pr	4,11.10 <sup>7</sup>
<sup>95m</sup> Nb	7,62.10 <sup>5</sup>	<sup>131</sup> I	1,92.10 <sup>8</sup>	<sup>147</sup> Nd	2,56.10 <sup>7</sup>
<sup>95</sup> Nb	6,96.10 <sup>7</sup>	<sup>132</sup> I	2,72.10 <sup>8</sup>	<sup>147</sup> Pm	9,45.10 <sup>6</sup>
<sup>97</sup> Nb	6,45.10 <sup>7</sup>	<sup>133</sup> I	3,87.10 <sup>8</sup>	<sup>148m</sup> Pm	1,36.10 <sup>6</sup>
<sup>99</sup> Mo	7,23.10 <sup>7</sup>	<sup>134</sup> I	4,22.10 <sup>8</sup>	<sup>148</sup> Pm	6,27.10 <sup>6</sup>
<sup>101</sup> Mo	6,66.10 <sup>7</sup>	<sup>135</sup> I	3,71.10 <sup>8</sup>	<sup>149</sup> Pm	1,99.10 <sup>7</sup>
<sup>99m</sup> Tc	6,33.10 <sup>7</sup>			<sup>151</sup> Pm	7,17.10 <sup>6</sup>
<sup>101</sup> Tc	6,66.10 <sup>7</sup>	<b>Organisch</b>		<sup>154</sup> Eu	4,56.10 <sup>5</sup>
<sup>103</sup> Ru	5,70.10 <sup>7</sup>	<sup>130</sup> I	5,64.10 <sup>6</sup>	<sup>155</sup> Eu	2,09.10 <sup>5</sup>
<sup>105</sup> Ru	3,87.10 <sup>7</sup>	<sup>131</sup> I	1,92.10 <sup>8</sup>	<sup>156</sup> Eu	8,55.10 <sup>6</sup>
<sup>106</sup> Ru	2,06.10 <sup>7</sup>	<sup>132</sup> I	2,72.10 <sup>8</sup>	<sup>238</sup> Np	3,72.10 <sup>7</sup>
<sup>103m</sup> Rh	5,70.10 <sup>7</sup>	<sup>133</sup> I	3,87.10 <sup>8</sup>	<sup>239</sup> Np	6,60.10 <sup>8</sup>
<sup>105</sup> Rh	3,69.10 <sup>7</sup>	<sup>134</sup> I	4,22.10 <sup>8</sup>	<sup>238</sup> Pu	3,63.10 <sup>5</sup>
<sup>124</sup> Sb	3,81.10 <sup>5</sup>	<sup>135</sup> I	3,71.10 <sup>8</sup>	<sup>239</sup> Pu	1,43.10 <sup>4</sup>
<sup>125</sup> Sb	6,03.10 <sup>6</sup>			<sup>240</sup> Pu	1,83.10 <sup>4</sup>
				<sup>241</sup> Pu	4,56.10 <sup>6</sup>
				<sup>242</sup> Cm	1,71.10 <sup>6</sup>
				<sup>244</sup> Cm	1,29.10 <sup>5</sup>

Tabel 15.3.7.3 /3 Bronterm 7.2.3b: "bypass" ringruimte.

Bronterm 7.2.3b MOX					
Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
<sup>83m</sup> Kr	1,6.10 <sup>8</sup>	<sup>126</sup> Sb	3,7.10 <sup>5</sup>	<sup>131m</sup> Xe	1,7.10 <sup>7</sup>
<sup>85m</sup> Kr	3,7.10 <sup>8</sup>	<sup>127</sup> Sb	4,2.10 <sup>7</sup>	<sup>133m</sup> Xe	9,4.10 <sup>7</sup>
<sup>85</sup> Kr	1,8.10 <sup>7</sup>	<sup>128L</sup> Sb	5,9.10 <sup>6</sup>	<sup>133</sup> Xe	3,1.10 <sup>9</sup>
<sup>87</sup> Kr	6,3.10 <sup>8</sup>	<sup>129</sup> Sb	1,2.10 <sup>8</sup>	<sup>135m</sup> Xe	6,7.10 <sup>8</sup>
<sup>88</sup> Kr	8,5.10 <sup>8</sup>	<sup>130L</sup> Sb	1,4.10 <sup>8</sup>	<sup>135</sup> Xe	1,0.10 <sup>9</sup>
<sup>86</sup> Rb	6,4.10 <sup>5</sup>	<sup>131</sup> Sb	3,2.10 <sup>8</sup>	<sup>138</sup> Xe	2,6.10 <sup>9</sup>
<sup>88</sup> Rb	2,2.10 <sup>8</sup>	<sup>132</sup> Sb	1,6.10 <sup>8</sup>	<sup>134m</sup> Cs	1,8.10 <sup>7</sup>
<sup>89</sup> Rb	3,0.10 <sup>8</sup>	<sup>125m</sup> Te	1,9.10 <sup>6</sup>	<sup>134</sup> Cs	7,4.10 <sup>7</sup>
<sup>89</sup> Sr	3,1.10 <sup>7</sup>	<sup>127m</sup> Te	4,1.10 <sup>6</sup>	<sup>136</sup> Cs	2,1.10 <sup>7</sup>
<sup>90</sup> Sr	3,1.10 <sup>6</sup>	<sup>127</sup> Te	3,9.10 <sup>7</sup>	<sup>137</sup> Cs	5,5.10 <sup>7</sup>
<sup>91</sup> Sr	3,9.10 <sup>7</sup>	<sup>129m</sup> Te	2,2.10 <sup>7</sup>	<sup>138</sup> Cs	7,2.10 <sup>8</sup>
<sup>92</sup> Sr	4,3.10 <sup>7</sup>	<sup>129</sup> Te	1,3.10 <sup>8</sup>	<sup>139</sup> Ba	6,6.10 <sup>8</sup>
<sup>93</sup> Sr	5,0.10 <sup>7</sup>	<sup>131m</sup> Te	5,9.10 <sup>7</sup>	<sup>140</sup> Ba	6,5.10 <sup>8</sup>
<sup>90m</sup> Y	2,5.10 <sup>3</sup>	<sup>131</sup> Te	3,5.10 <sup>8</sup>	<sup>140</sup> La	6,8.10 <sup>7</sup>
<sup>90</sup> Y	3,2.10 <sup>6</sup>	<sup>132</sup> Te	5,4.10 <sup>8</sup>	<sup>141</sup> La	6,0.10 <sup>7</sup>
<sup>91m</sup> Y	2,0.10 <sup>7</sup>	<sup>133m</sup> Te	4,0.10 <sup>8</sup>	<sup>142</sup> La	5,9.10 <sup>7</sup>
<sup>91</sup> Y	4,1.10 <sup>7</sup>	<sup>133</sup> Te	3,8.10 <sup>8</sup>	<sup>141</sup> Ce	6,2.10 <sup>7</sup>
<sup>92</sup> Y	4,4.10 <sup>7</sup>	<sup>134</sup> Te	6,6.10 <sup>8</sup>	<sup>143</sup> Ce	5,6.10 <sup>7</sup>
<sup>95</sup> Zr	6,2.10 <sup>7</sup>			<sup>144</sup> Ce	4,7.10 <sup>7</sup>
<sup>97</sup> Zr	6,1.10 <sup>7</sup>	Elementair		<sup>143</sup> Pr	5,6.10 <sup>7</sup>
<sup>95m</sup> Nb	6,9.10 <sup>5</sup>	<sup>130</sup> I	5,3.10 <sup>6</sup>	<sup>145</sup> Pr	3,9.10 <sup>7</sup>
<sup>95</sup> Nb	6,2.10 <sup>7</sup>	<sup>131</sup> I	2,0.10 <sup>8</sup>	<sup>147</sup> Nd	2,5.10 <sup>7</sup>
<sup>97</sup> Nb	6,2.10 <sup>7</sup>	<sup>132</sup> I	2,7.10 <sup>8</sup>	<sup>147</sup> Pm	8,3.10 <sup>6</sup>
<sup>99</sup> Mo	7,1.10 <sup>7</sup>	<sup>133</sup> I	3,9.10 <sup>8</sup>	<sup>148m</sup> Pm	1,6.10 <sup>6</sup>
<sup>101</sup> Mo	6,8.10 <sup>7</sup>	<sup>134</sup> I	4,2.10 <sup>8</sup>	<sup>148</sup> Pm	6,2.10 <sup>6</sup>
<sup>99m</sup> Tc	6,2.10 <sup>7</sup>	<sup>135</sup> I	3,7.10 <sup>8</sup>	<sup>149</sup> Pm	2,0.10 <sup>7</sup>
<sup>101</sup> Tc	6,8.10 <sup>7</sup>			<sup>151</sup> Pm	8,0.10 <sup>6</sup>

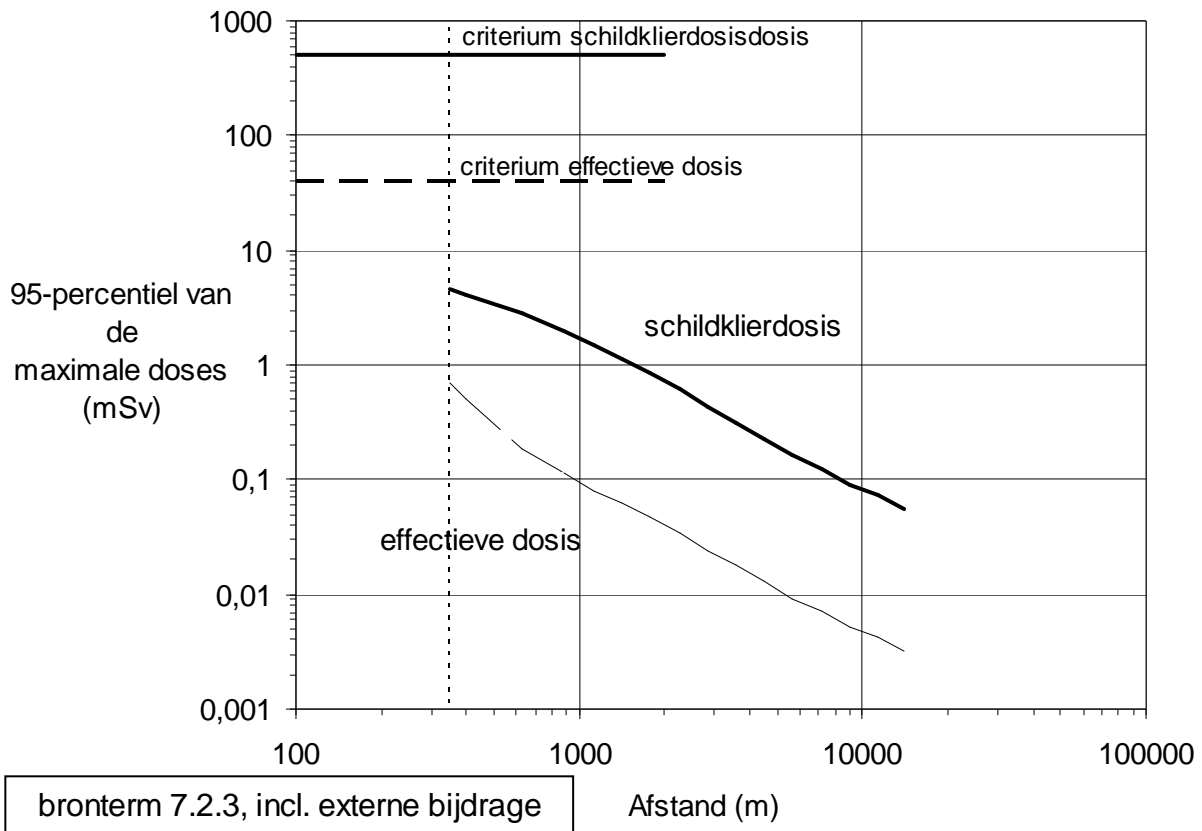
Tabel 15.3.7.3 /3 Bronterm 7.2.3b: "bypass" ringruimte.

<sup>103</sup> Ru	6,6.10 <sup>7</sup>	Organisch		<sup>154</sup> Eu	5,0.10 <sup>5</sup>
<sup>105</sup> Ru	5,0.10 <sup>7</sup>	<sup>130</sup> I	5,3.10 <sup>6</sup>	<sup>155</sup> Eu	2,9.10 <sup>5</sup>
<sup>106</sup> Ru	3,0.10 <sup>7</sup>	<sup>131</sup> I	2,0.10 <sup>8</sup>	<sup>156</sup> Eu	9,1.10 <sup>6</sup>
<sup>103m</sup> Rh	6,5.10 <sup>7</sup>	<sup>132</sup> I	2,7.10 <sup>8</sup>	<sup>238</sup> Np	9,0.10 <sup>6</sup>
<sup>105</sup> Rh	4,8.10 <sup>7</sup>	<sup>133</sup> I	3,9.10 <sup>8</sup>	<sup>239</sup> Np	6,4.10 <sup>8</sup>
<sup>124</sup> Sb	5,1.10 <sup>5</sup>	<sup>134</sup> I	4,2.10 <sup>8</sup>	<sup>238</sup> Pu	7,0.10 <sup>5</sup>
<sup>125</sup> Sb	8,7.10 <sup>6</sup>	<sup>135</sup> I	3,7.10 <sup>8</sup>	<sup>239</sup> Pu	3,5.10 <sup>4</sup>
				<sup>249</sup> Pu	8,6.10 <sup>4</sup>
				<sup>241</sup> Pu	1,8.10 <sup>7</sup>
				<sup>242</sup> Cm	1,2.10 <sup>7</sup>
				<sup>244</sup> Cm	9,3.10 <sup>5</sup>

Tabel 15.3.7.3/3 Bronterm 7.2.3b: "bypass" ringruimte.

Bronterm 7.2.3c c-ERU			
Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
<b>Elementair</b>		<b>Organisch</b>	
<sup>130</sup> I	3,03.10 <sup>8</sup>	<sup>130</sup> I	3,03.10 <sup>9</sup>
<sup>131</sup> I	1,03.10 <sup>10</sup>	<sup>131</sup> I	1,03.10 <sup>11</sup>
<sup>132</sup> I	1,46.10 <sup>10</sup>	<sup>132</sup> I	1,46.10 <sup>11</sup>
<sup>133</sup> I	2,08.10 <sup>10</sup>	<sup>133</sup> I	2,08.10 <sup>11</sup>
<sup>134</sup> I	2,26.10 <sup>10</sup>	<sup>134</sup> I	2,26.10 <sup>11</sup>
<sup>135</sup> I	1,99.10 <sup>10</sup>	<sup>135</sup> I	1,99.10 <sup>11</sup>
Bronterm 7.2.3c MOX			
Nuclide	Activiteit (Bq)	Nuclide	Activiteit (Bq)
<b>Elementair</b>		<b>Organisch</b>	
<sup>130</sup> I	2,8.10 <sup>8</sup>	<sup>130</sup> I	2,8.10 <sup>9</sup>
<sup>131</sup> I	1,1.10 <sup>10</sup>	<sup>131</sup> I	1,1.10 <sup>11</sup>
<sup>132</sup> I	1,5.10 <sup>10</sup>	<sup>132</sup> I	1,5.10 <sup>11</sup>
<sup>133</sup> I	2,1.10 <sup>10</sup>	<sup>133</sup> I	2,1.10 <sup>11</sup>
<sup>134</sup> I	2,2.10 <sup>10</sup>	<sup>134</sup> I	2,2.10 <sup>11</sup>
<sup>135</sup> I	2,0.10 <sup>10</sup>	<sup>135</sup> I	2,0.10 <sup>11</sup>

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

- 15.3.7.4 Bronterm behorende bij ontwerpgeval 7.3.2.2  
 Bezwijken van stoomgeneratorpijpen met een noodstroomsituatie  
 (kortstondig).  
 (Figuur 15.3.7.4/1 en tabel 15.3.7.4/1 en 2).

#### Afdekkende analyses

Voor ontwerpgeval 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 ontwerpgeval ( $10^{-2} > F \geq 10^{-4}$ ), mag het onderstaande dosis criterium niet worden overschreden:

$$E(\text{kind}) = 4 \text{ mSv}$$

#### Specifieke brontermuitgangspunten

De thermohydraulische analyse van dit ongeval (zie paragraaf 15.2.13) laat zien dat gedurende de eerste 30 minuten circa  $28 \cdot 10^3$  kg primair koelmiddel naar de secundaire zijde overstromt en dat gedurende deze tijd circa 3.500 kg primair koelmiddel wordt afgeblazen. Verder wordt aangenomen dat de operator na 30 minuten start met het isoleren van de defecte stoomgenerator. Voordat de isolatie effectief is zijn nog eens 30 minuten verstreken.

Voor de bepaling van de omvang van de bronterm gelden verder als uitgangspunten:

- het lek blijft tijdens het isoleren van de stoomgenerator constant op 14 kg/s. Dit leidt tot het overstromen gedurende deze fase van circa  $25 \cdot 10^3$  kg primair koelmiddel
- op tijdstip  $t = 0$  wordt momentaan als stoom afgeblazen de activiteitsinhoud van circa 7.100 kg primair koelmiddel, zijnde, gezien het radioactieve verval, een conservatieve extrapolatie van de hoeveelheid in de eerste fase
- het hoofdkoelmiddel wordt na menging met secundair water afgeblazen als stoom met 0,25% waterdruppels.
- als massieke activiteiten van het hoofdkoelmiddel 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  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  en  $^{137}\text{Cs}$  met een factor 12,7 verhoogd, samenhangend met de relatief korte duur van het ongeval.
- alle edelgassen uit het overgestroomde primaire koelmiddel (circa  $53 \cdot 10^3$  kg) worden volledig geloosd.
- tritium wordt met de stoom geloosd (circa 7.100 kg)
- aërosolen en jodium worden met de meegesleurde waterdruppels geloosd (circa 18 kg)

15.3-36



- 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
H <sub>th</sub> (kind)	3,48	500	ja

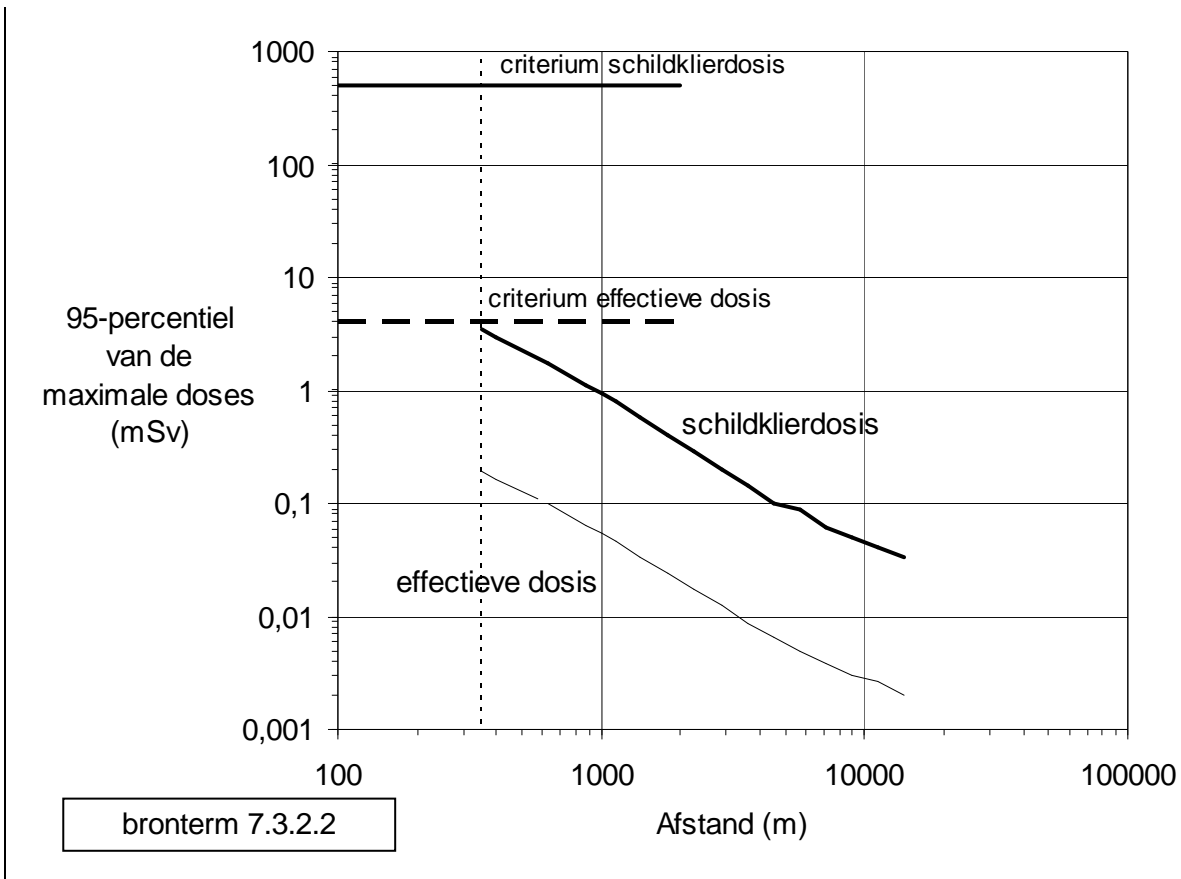
| Tabel 15.3.7.4/2 Toetsing van de berekende dosis aan het geldende dosiscriterium bij ontwerp ongeval 7.3.2.2

#### 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)
<sup>85m</sup> Kr	2,0.10 <sup>12</sup>	<b>elementair</b>		<sup>88</sup> Rb	1,0.10 <sup>9</sup>
<sup>85</sup> Kr	8,5.10 <sup>9</sup>	<sup>131</sup> I	7,6.10 <sup>8</sup>	<sup>134</sup> Cs	3,0.10 <sup>7</sup>
<sup>87</sup> Kr	2,1.10 <sup>12</sup>	<sup>132</sup> I	2,0.10 <sup>8</sup>	<sup>137</sup> Cs	1,1.10 <sup>8</sup>
<sup>88</sup> Kr	3,4.10 <sup>12</sup>	<sup>133</sup> I	3,0.10 <sup>8</sup>	<sup>138</sup> Cs	8,7.10 <sup>8</sup>
<sup>131m</sup> Xe	2,1.10 <sup>10</sup>	<sup>134</sup> I	2,2.10 <sup>8</sup>	<sup>90</sup> Sr	6,8.10 <sup>4</sup>
<sup>133m</sup> Xe	3,1.10 <sup>10</sup>	<sup>135</sup> I	3,1.10 <sup>8</sup>	<sup>3</sup> H	1,6.10 <sup>11</sup>
<sup>133</sup> Xe	3,7.10 <sup>12</sup>				
<sup>135m</sup> Xe	8,4.10 <sup>11</sup>	<b>Aërosol</b>			
<sup>135</sup> Xe	1,3.10 <sup>13</sup>	<sup>131</sup> I	6,9.10 <sup>8</sup>	<sup>51</sup> Cr	1,3.10 <sup>6</sup>
<sup>138</sup> Xe	2,5.10 <sup>12</sup>	<sup>132</sup> I	1,8.10 <sup>9</sup>	<sup>54</sup> Mn	1,3.10 <sup>5</sup>
		<sup>133</sup> I	2,7.10 <sup>9</sup>	<sup>59</sup> Fe	1,3.10 <sup>5</sup>
		<sup>134</sup> I	2,0.10 <sup>9</sup>	<sup>58</sup> Co	1,3.10 <sup>6</sup>
		<sup>135</sup> I	2,8.10 <sup>9</sup>	<sup>60</sup> Co	3,9.10 <sup>5</sup>
				<sup>95</sup> Zr	6,6.10 <sup>4</sup>
				<sup>124</sup> Sb	6,6.10 <sup>5</sup>

Tabel 15.3.7.4/1 Bronterm 7.3.2.2: bezwijken stoomgeneratorpijpen.



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

- 15.3.7.5 Bronterm behorende bij ontwerpgeval 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 ontwerpgeval 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.

#### Dosiscriterium

Gezien het kansenbereik van dit ontwerpgeval ( $10^{-2} > F \geq 10^{-4}$ ), mag het onderstaande dosis criterium niet worden overschreden:

$$E(\text{kind}) = 4 \text{ mSv}$$

#### Specifieke brontermuitgangspunten

Voor dit ongeval wordt het volgende ongevalsverloop aangenomen:

- er wordt verondersteld dat tijdens normaal bedrijf een meetleiding breekt, die door de ringruimte loopt en die primair koelmiddel bevat
- het primair koelmiddel spuit in de ringruimte en wordt daar ontgast
- na 30 minuten wordt het lek door ingrijpen van de operator opgeheven. Gedurende deze 30 minuten lekt in totaal circa 3.500 kg primair koelmiddel in de ringruimte.

Voor de bepaling van de omvang van de bronterm, gelden verder als uitgangspunten:

- 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.
- de hoeveelheid met de stoom vrijkomende activiteit bedraagt:
  - . voor edelgassen 100% van de activiteit van het water
  - . voor de overige nucliden 10% van de activiteit van het water
- voor het vrijkomende jodium wordt een verdeling aangehouden van 10% elementair en 90% als aërosol.
- in verband met het optredende spiking-effect worden de gegeven waarden voor  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  en  $^{137}\text{Cs}$  met een factor 3,37 verhoogd.

De bronterm voor dit ongeval is gegeven in tabel 15.3.7.5/1.

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
H <sub>th</sub> (kind)	2,47	500	ja

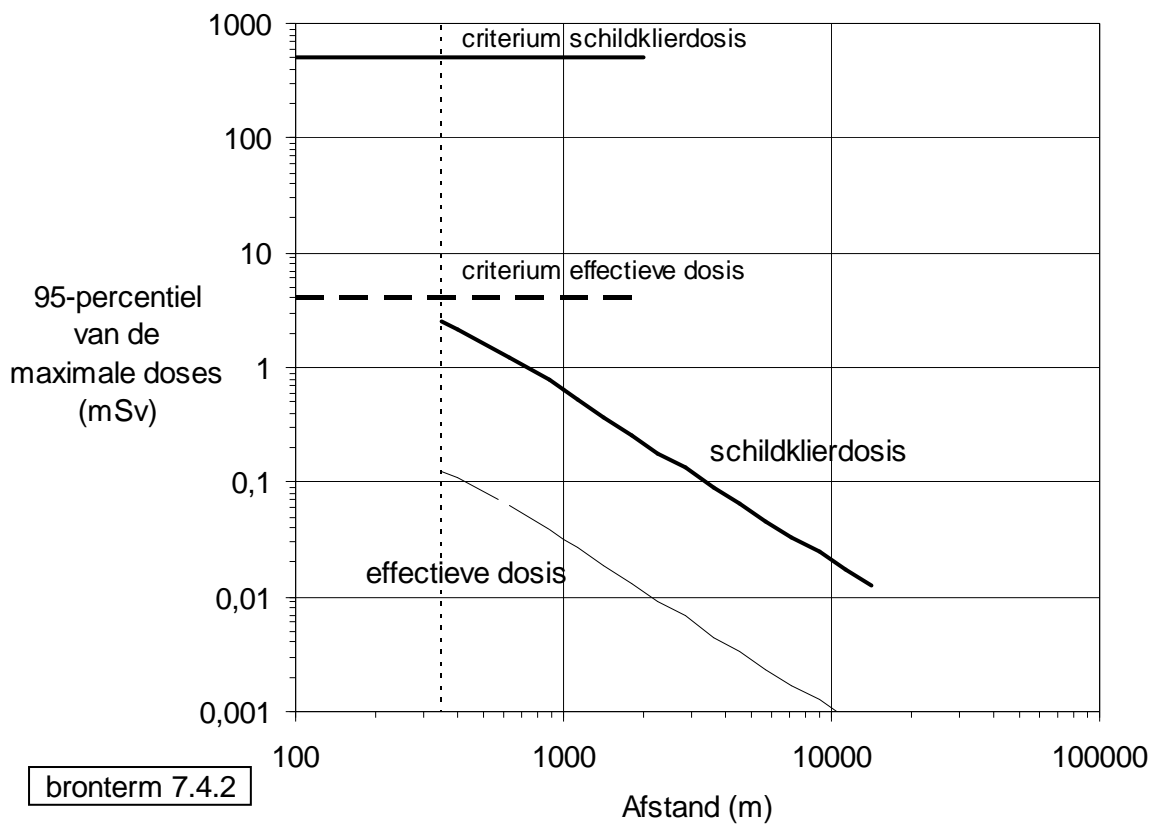
Tabel 15.3.7.5/2 Toetsing van de berekende dosis aan het geldende dosiscriterium bij ontwerpgeval 7.4.2.

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)
$^{85m}\text{Kr}$	$1,3 \cdot 10^{11}$	<b>Elementair</b>		$^{88}\text{Rb}$	$2,0 \cdot 10^7$
$^{85}\text{Kr}$	$5,6 \cdot 10^8$	$^{129}\text{I}$	$2,2 \cdot 10^1$	$^{134}\text{Cs}$	$1,6 \cdot 10^5$
$^{87}\text{Kr}$	$1,4 \cdot 10^{11}$	$^{131}\text{I}$	$1,3 \cdot 10^9$	$^{137}\text{Cs}$	$5,8 \cdot 10^5$
$^{131m}\text{Kr}$	$2,3 \cdot 10^{11}$	$^{132}\text{I}$	$1,3 \cdot 10^9$	$^{138}\text{Cs}$	$1,7 \cdot 10^7$
$^{131m}\text{Xe}$	$1,4 \cdot 10^9$	$^{133}\text{I}$	$2,0 \cdot 10^9$		
$^{133m}\text{Xe}$	$2,1 \cdot 10^9$	$^{134}\text{I}$	$1,5 \cdot 10^9$	$^{90}\text{Sr}$	$1,3 \cdot 10^3$
$^{133}\text{Xe}$	$2,5 \cdot 10^{11}$	$^{135}\text{I}$	$2,0 \cdot 10^9$	$^3\text{H}$	$8,1 \cdot 10^{10}$
$^{135m}\text{Xe}$	$5,5 \cdot 10^{10}$	<b>Aërosol</b>			
$^{135}\text{Xe}$	$8,5 \cdot 10^{11}$	$^{129}\text{I}$	$6,1 \cdot 10^{-1}$	$^{51}\text{Cr}$	$2,6 \cdot 10^4$
$^{138}\text{Xe}$	$1,7 \cdot 10^{11}$	$^{131}\text{I}$	$3,6 \cdot 10^7$	$^{54}\text{Mn}$	$2,6 \cdot 10^3$
		$^{132}\text{I}$	$3,6 \cdot 10^7$	$^{59}\text{Fe}$	$2,6 \cdot 10^3$
		$^{133}\text{I}$	$5,3 \cdot 10^7$	$^{58}\text{Co}$	$2,6 \cdot 10^4$
		$^{134}\text{I}$	$4,0 \cdot 10^7$	$^{60}\text{Co}$	$7,8 \cdot 10^3$
		$^{135}\text{I}$	$5,5 \cdot 10^7$	$^{95}\text{Zr}$	$1,3 \cdot 10^3$
				$^{124}\text{Sb}$	$1,3 \cdot 10^4$

Tabel 15.3.7.5/1 Bronterm 7.4.2: lekkage meetleiding.



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  $10^{-2} > F \geq 10^{-4}$  bedraagt, mag om afdekkend te kunnen zijn voor het ongeval 8.1 ( $1 > F \geq 10^{-1}$ ) de dosis de limieten bij dit laatste ongeval niet overschrijden. Het onderstaande dosis criterium mag daarom niet worden overschreden (zie paragraaf 15.1.2):

$$E(\text{kind}) = 0,04 \quad \text{mSv}$$

#### Specifieke brontermuitgangspunten

Voor dit ongeval wordt het volgende ongevalsverloop aangenomen:

- het koelmiddelreinigings- en ontgassingssysteem (TC) heeft 12 uur voor de aanvang van het ongeval met een maximale capaciteit gewerkt, nadat het de daaraan voorafgaande maand niet gebruikt is
- na 30 minuten wordt het lek in het TC-systeem door ingrijpen van de operator opgeheven.

Voor de bepaling van de omvang van de bronterm gelden verder als uitgangspunten:

- als massieke activiteit van het primair koelmiddel gelden de waarden zoals weergegeven in tabel 15.3.4/4 voor  $R=0$ , omdat het TC-systeem een maand lang niet gebruikt is
- als vrijzettingsgraad worden de waarden gehanteerd zoals weergegeven in tabel 15.3.4/4
- gedurende 12 uur voor aanvang van het ongeval wordt het primair koelmiddel ontgast met de maximale capaciteit van  $32 \cdot 10^3$  kg/h (inhoud primair systeem  $137 \cdot 10^3$  kg)
- alle edelgassen die gedurende 12,5 uur reiniging verwijderd zijn circuleren nog in het systeem en worden rechtstreeks en zonder vertraging geloosd via het normale ventilatiesysteem (TL).

De bronterm voor dit ongeval is gegeven in tabel 15.3.7.6/1.



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
H <sub>th</sub> (kind)	0,012	500	ja

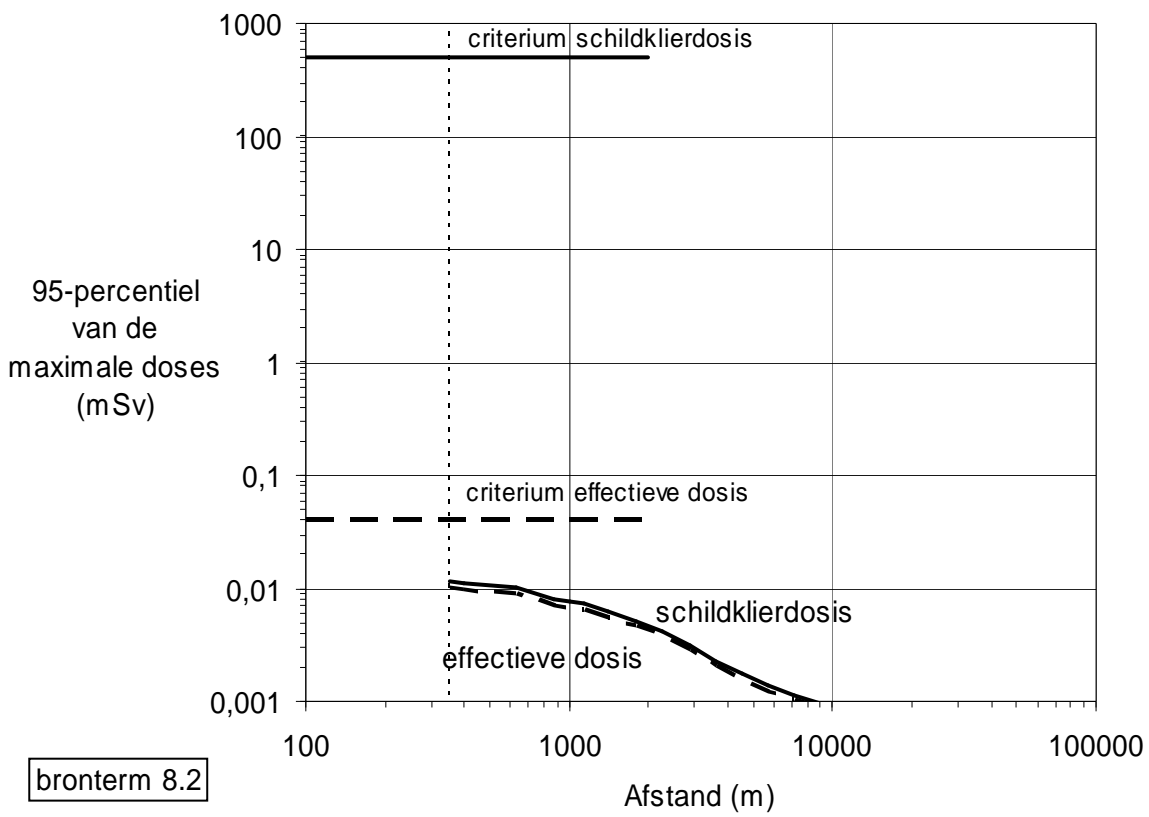
Tabel 15.3.7.6/2 Toetsing van de berekende dosis aan het geldende dosiscriterium bij ontwerp ongeval 8.2.

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)
<sup>85m</sup> Kr	5,01.10 <sup>12</sup>
<sup>85</sup> Kr	4,10.10 <sup>11</sup>
<sup>87</sup> Kr	2,83.10 <sup>12</sup>
<sup>88</sup> Kr	8,04.10 <sup>12</sup>
<sup>131m</sup> Xe	7,17.10 <sup>11</sup>
<sup>133m</sup> Xe	4,74.10 <sup>12</sup>
<sup>133</sup> Xe	1,06.10 <sup>14</sup>
<sup>135m</sup> Xe	4,38.10 <sup>11</sup>
<sup>135</sup> Xe	3,97.10 <sup>13</sup>
<sup>138</sup> Xe	1,17.10 <sup>12</sup>

Tabel 15.3.7.6/1 Bronterm 8.2: lekkage leiding afgassysteem.



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.

15.3.7.7 Bronterm behorende bij ontwerpgeval 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 ontwerpgeval 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 ontwerpgeval ( $10^{-1} > F \geq 10^{-2}$ ), mag het onderstaande dosiscriterium niet worden overschreden:

$$E (\text{kind}) = 0,4 \quad \text{mSv}$$

#### Specifieke brontermuitgangspunten

Voor dit ongeval wordt het volgende ongevalsverloop aangenomen:

- Het betreffende splijtstofelement is gedurende 2,5 vollastjaren in de reactor gezet
- het ongeval bij het transport in het reactor- of splijtstofopslagbassin treedt 50 uur na het afschakelen van de reactor op
- één rij splijtstofstaven (15 stuks) wordt beschadigd.

Verdere uitgangspunten voor vaststelling van de bronterm zijn:

- De bij dit ongeval beschouwde radionucliden zijn  $^{133}\text{Xe}$ ,  $^{131}\text{I}$  en  $^{133}\text{I}$ .
- Uit de nuclideninventaris van de beschadigde splijtstofelementen komen 10% van de edelgassen vrij in de atmosfeer van de bol en 5% van het jodium komt terecht in het bassinwater.
- De evenwichtsconcentratieverhouding tussen bassinwater (1500 m<sup>3</sup>) en lucht (20000 m<sup>3</sup>) is voor jodium 10<sup>5</sup>:1. Jodium in lucht is voor 90% in elementaire en voor 10% in organisch gebonden vorm.

De bronterm voor dit ongeval is gegeven in tabel 15.3.7.7/1.

#### Dosisberekeningen

De resultaten van de dosisberekeningen voor deze bronterm zijn hieronder beschreven en weergegeven in figuur 15.3.7.7/1.

#### Effectieve dosis

De maximale waarde van de effectieve dosis ontvangen buiten de terreingrens, berekend voor een kind, is 0,0099 mSv.

#### Schildklier dosis

De maximale waarde van de schildklierdosis ontvangen buiten de terreingrens, is circa 0,196 mSv.

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
H <sub>th</sub> (kind)	0,196	500	ja

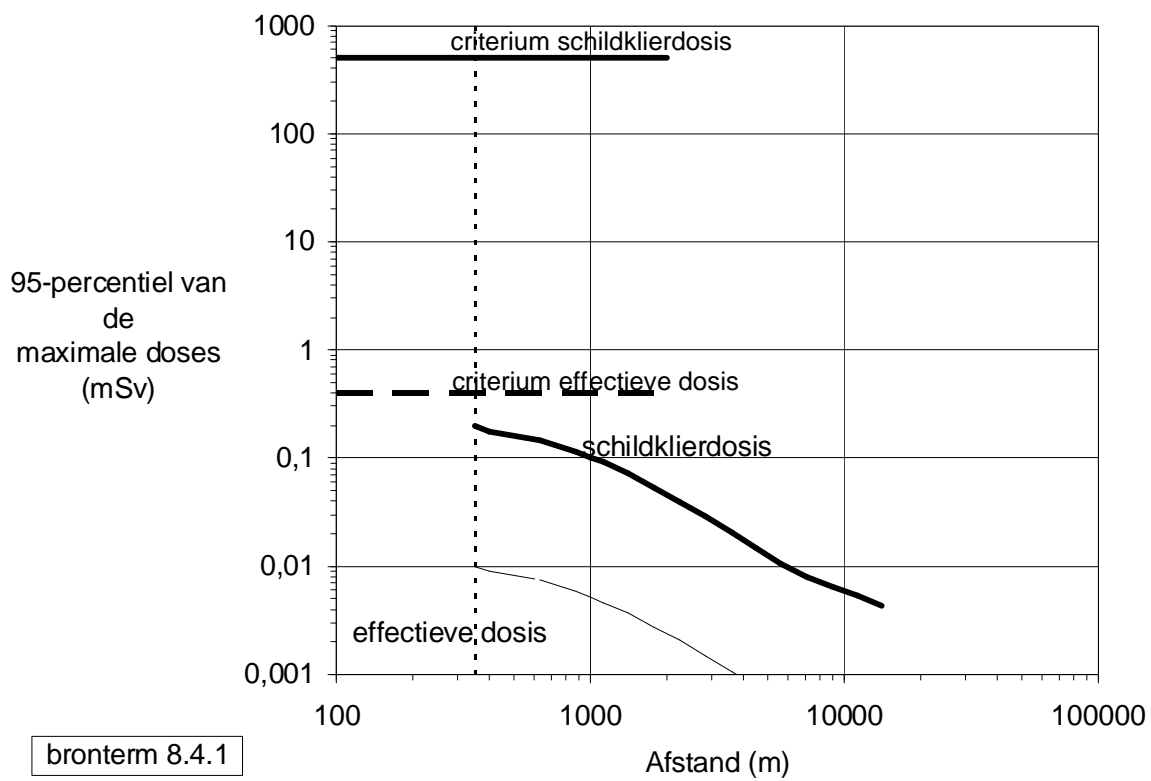
Tabel 15.3.7.7/2 Toetsing van de berekende dosis aan het geldende dosiscriterium bij ontwerpgeval 8.4.1

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)
<sup>131</sup> I	5,2.10 <sup>8</sup>
<sup>133</sup> I	1,2.10 <sup>8</sup>
<sup>133</sup> Xe	1,3.10 <sup>13</sup>

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.

- 15.3.7.8 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  $10^{-4} > F \geq 10^{-6}$  bedraagt, mag om afdekkend te kunnen zijn voor het ongeval 8.3 ( $10^{-2} > F \geq 10^{-4}$ ) de dosis de limieten bij dit laatste ongeval niet overschrijden. Het onderstaande dosis criterium mag daarom niet worden overschreden (zie paragraaf 15.1.2):

$$E(\text{kind}) = 4 \text{ mSv}$$

#### Specifieke brontermuitgangspunten

Voor de bepaling van de omvang van de bronterm gelden als uitgangspunten:

- als bepalend voor de lozing worden de verdamperconcentraattanks (TT) beschouwd
- voor de massieke activiteiten van het verdamperconcentraat worden (gemiddelden plus twee sigma) waarden gebruikt die gebaseerd zijn op de bedrijfservaring van de laatste tien jaar
- de massieke activiteiten van  $^{134}\text{Cs}$  en  $^{137}\text{Cs}$  zijn geschaald met de kerninventaris
- in de TT-tanks zijn alleen de langer levende nucliden aanwezig; toch is voor het radiologisch relevante  $^{131}\text{I}$  ( $T_{1/2} = 8,04$  dagen) aangenomen dat de massieke activiteit conform tabel 15.3.4/4 voor  $R = 0,1$  aanwezig is.
- de concentratie in de verdampte vloeistof bedraagt 5% van de concentratie in de niet-verdampte vloeistof, m.u.v. jodium
- de concentratieverhouding van jodium in water en lucht in de betreffende ruimte is  $10^5: 1$ . Voor vrijkomend jodium geldt een verdeling in 50% elementair en 50% organisch.
- op de omhulling door het gebouw en op de werking van de filterinstallaties mag niet meer worden vertrouwd.
- voor de bepaling van de radiologische gevolgen wordt uitgegaan van een ventilatievoud van 1x per dag gedurende 7 dagen.

De bronterm voor dit ongeval is gegeven in tabel 15.3.7.8/1.

#### Dosisberekeningen

De resultaten van de dosisberekeningen voor deze bronterm zijn hieronder beschreven en weergegeven in figuur 15.3.7.8/1.

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
H <sub>th</sub> (kind)	0,733	500	ja

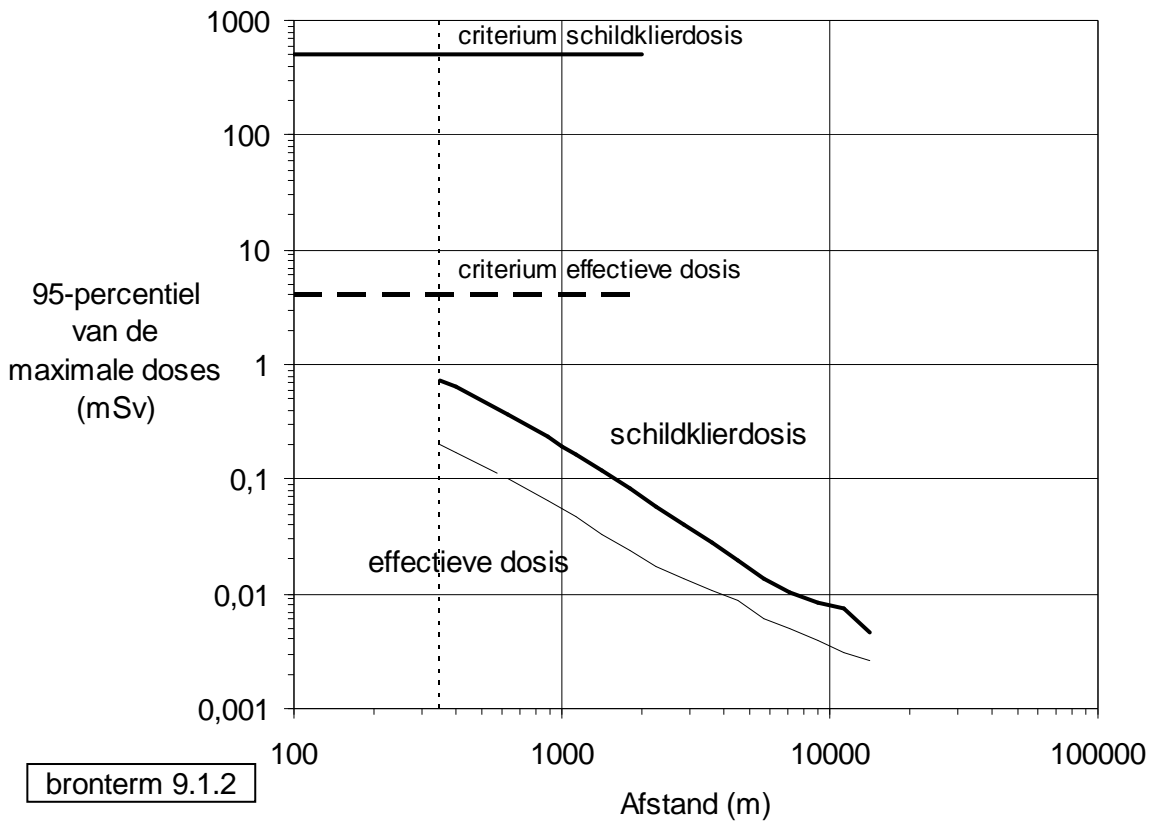
Tabel 15.3.7.8/2 Toetsing van de berekende dosis aan het geldende dosiscriterium bij ontwerpongeval 9.1.2.

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		<sup>54</sup> Mn	8,0.10 <sup>7</sup>
<sup>131</sup> I	3,1.10 <sup>8</sup>	<sup>110m</sup> Ag	4,4.10 <sup>6</sup>
organisch		<sup>137</sup> Cs	1,7.10 <sup>7</sup>
<sup>131</sup> I	3,1.10 <sup>8</sup>	<sup>134</sup> Cs	5,5.10 <sup>6</sup>
		<sup>57</sup> Co	5,1.10 <sup>6</sup>
<sup>60</sup> Co	2,4.10 <sup>9</sup>	<sup>24</sup> Na	1,9.10 <sup>6</sup>
<sup>58</sup> Co	3,2.10 <sup>8</sup>	<sup>59</sup> Fe	6,4.10 <sup>6</sup>
<sup>124</sup> Sb	2,4.10 <sup>7</sup>	<sup>3</sup> H	5,8.10 <sup>8</sup>
<sup>51</sup> Cr	1,7.10 <sup>8</sup>	<sup>123m</sup> Te	8,6.10 <sup>5</sup>
<sup>95</sup> Nb	4,0.10 <sup>7</sup>	<sup>239</sup> Np	4,2.10 <sup>5</sup>

Tabel 15.3.7.8/1 Bronterm 9.1.2: gevolgen aardbeving.



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.



### 15.3.8 Resultaten ten aanzien van externe straling (directe straling).

Bij twee van de radiologisch representatieve ontwerpgevallen blijft er activiteit in de veiligheidsomhulling achter, te weten bij:

- Ontwerpgeval 7.2.2: Lekkage van het primaire systeem bij "groot lek"
- Ontwerpgeval 7.2.3: Breuk van de hoofdkoelmiddelleiding

Bij deze ontwerpgevallen wordt slechts een deel van de activiteit geloosd naar buiten. Personen in de omgeving kunnen dan worden bestraald door de gammastraling van de nucliden die in de veiligheidsomhulling blijven hangen. Om de bijbehorende blootstellingsdosis te bepalen zijn voor beide ontwerpgevallen daarom afschermingsberekeningen uitgevoerd met het programma MICROSHIELD.

Voor de berekening van de bij deze ongevallen vrijkomende activiteit in de veiligheidsomhulling is gebruik gemaakt van de vrijkomende fracties van de kerninventaris (zie paragraaf 15.3.7.2 en 15.3.7.3).

	Ontwerpgeval 7.2.2	Ontwerpgeval 7.2.3
Edelgassen	1	0,1
Jodium	0,25	0,025
Overige stoffen	0,25	
- Vluchtige vaste stoffen		0,025
- Niet vluchtige vaste stoffen		0,0025

Bij de afschermberekeningen is conservatief aangenomen dat de bovenvermelde fracties gedurende 70 jaar in de bol blijven hangen en dat de aerosolen niet uitzakken. Er worden ook geen reinigingsoperaties verondersteld.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een staaldikte van gemiddeld 2,5 cm (veiligheidsomhulling) en een betondikte van 60 cm (secundaire afscherming).

De dosis is berekend op de terreingrens, waarvoor een afstand is aangehouden van 350 m. Het dosistempo is op de eerste dag hoog, vooral door de aanwezigheid van kortlevende edelgassen. Daarna neemt het dosistempo snel af, totdat het uiteindelijk wordt bepaald door voornamelijk <sup>137</sup>Cs. De grootste dosisbijdrage wordt in de eerste dagen ontvangen.

Uit het resultaat van de berekening blijkt, dat een volwassen persoon die zich gedurende 70 jaar na het ongeval op 350 meter van de veiligheidsomhulling (terreingrens) bevindt, een dosis ten gevolge van de directe straling van maximaal 1,3 mSv zal ontvangen (tabel 15.3.8/1). Uitgaande van het feit dat de bestraalde persoon deel uitmaakt van de in 15.3.2 beschreven referentiegroep, d.w.z. de groep eenjarige kinderen die permanent nabij de terreingrens woont, wordt rekening gehouden met een wooncorrectiefactor van 0,25. Deze factor houdt rekening met verblijf binnen de woning gedurende een deel van de dag waarbij de bestraalde persoon wordt afgeschermd. Tevens wordt wegens de geringere lichaamsafmetingen van kinderen gedurende de eerste 16 levensjaren een correctiefactor van 1,5 toegepast op de in tabel 15.3.8/1 vermelde berekende dosis voor volwassenen. De door de referentiegroep ontvangen dosis gedurende de resterende 54 jaren wordt niet gecorrigeerd. Met inachtneming van de correctiefactoren wordt de externe dosis ontvangen door bestraling vanuit de veiligheidsomhulling gesommeerd over een periode van 70 jaar minder dan 0,46 mSv (tabel 15.3.8/2).

De externe dosis op 350 meter is voor ontwerpgeval 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 ontwerpgeval 7.2.2	Extern dosis bij ontwerpgeval 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	$4,4 \cdot 10^{-7}$	$5,5 \cdot 10^{-3}$

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 ontwerpgeval 7.2.2	Extern dosis bij ontwerpgeval 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, is de indien aangenomen wordt dat een persoon zich gedurende 10 uur per dag buiten bevindt, is de dosis circa 0,02 mSv.

### 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 ontwerpgevallen. Het betreft de doses op een afstand van 350 m en criteria voor de referentiegroep kinderen.

Ontwerp- Ongeval	Effectieve dosis (mSv)		Schilddklierdosis (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 ontwerpgevallen.

Uit tabel 15.3.9/1 blijkt dat bij alle representatieve ontwerpgevallen de doses in zeer ruime mate voldoen aan de betreffende dosiscriteria.