

Optimaliseren aspecten Bovengrondse opslag

*Studie naar de optimalisatie van KSA, splijtstof en
HAVA opslag bij COVRA*

H.W. de Wit

E.L.M.J. van Wonderen

Arnhem

12 januari 2000

P26067/99.52528, Rev. 1/P

Company profile

NRG offers a wide range of high quality services to energy utilities, government organisations and various branches of industry - including the nuclear, financial services and medical sectors. NRG operates independently of all equipment suppliers: this independence combined with our expertise and experience in research and development, engineering and consultancy, and plant and system operation support makes NRG a reliable partner.

NRG recognises the uniqueness of every product and process: in close co-operation with our clients we develop practical custom-made solutions.

NRG Petten

Westerduinweg 3
P.O. Box 25
1755 ZG Petten
The Netherlands

phone

+31 224 56 49 50

fax

+31 224 56 39 12

e-mail

info@nrg-nl.com

NRG Arnhem

Utrechtseweg 310
P.O. Box 9035
6800 ET Arnhem
The Netherlands

phone

+31 26 356 60 09

fax

+31 26 351 80 92

internet

www.nrg-nl.com

Optimaliseren aspecten**Bovengrondse opslag**

*Studie naar de optimalisatie van
KSA, splijtstof en HAVA opslag bij
COVRA*

H.W. de Wit
E.L.M.J. van Wonderen

Arnhem, 12 januari 2000

P26067/99.52528, Rev. 1/P

In opdracht van CORA

auteur : H.W. de Wit/E.L.M.J. van Wonderen

beoordeeld: A.J. Geutjes

40 blz PPT/HdW/HGo

goedgekeurd : G.M. van Dijk

p26067_99.52528, rev. 1 rapport

© NRG 2000

Behoudens hetgeen met de opdrachtgever is overeengekomen, mag in dit rapport vervatte informatie niet aan derden worden bekendgemaakt en is NRG niet aansprakelijk voor schade door het gebruik van deze informatie.

Inhoudsopgave

Lijst van tabellen	5
Lijst van figuren	5
Samenvatting	6
Lijst van gebruikte afkortingen	7
1 Inleiding	8
1.1 Isoleren	8
1.2 Beheersen	8
1.3 Controleren	9
2 Probleemstelling	9
3 Uitvoering	11
4 Normstelling	11
4.1 Definitie van radioactief afval	11
4.2 Reductievoorwaarde	13
5 Hoeveelheden hoog radioactief- en kernsplijtings afval	14
6 Bepaling reductie HAVA	16
6.1 Inleiding	16
6.2 EPZ-afval	17
6.3 GKN-afval	18
6.4 ECN/NRG/HFR/IRI-afval	19
6.5 Ontmantelings afval	21
6.6 Reductie	21
7 Risico-schatting	24
7.1 Omgevingsfactoren	25
8 HABOG, schatting van de investeringen	27
9 Overwegingen, kostenreductie	30
9.1 Optie 1	30
9.2 Optie 2	30
9.3 Optie 3	31
9.4 Optie 4	31
10 Conclusies	32
Literatuur	34
bijlage A Inventarisatie afval in HABOG	35
A.1 Nuclideninventaris van een verglaasde container	35
A.2 Nuclideninventaris van een brandstofelement na 3 jaar koeltijd in GBq	36

A.3	Nuclideninventaris van HAVA in drums in TBq	37
bijlage B	Overzicht invoergrootheden Microshield berekeningen	39

Lijst van tabellen

tabel 1	Afleverschema van afval (vaten, manden en drums) naar het HABOG ^[1]	15
tabel 2	Totale hoeveelheden hoogactief- en kernsplijtings afval in volume en activiteit na circa 100 jaar, ^[2]	16
tabel 3	Hoeveelheden afval van EPZ en bijbehorende dosistempi	17
tabel 4	Hoeveelheden afval van GKN en bijbehorende dosistempi	18
tabel 5	Hoeveelheden afval van ECN/NRG/HFR/LFR/HOR en bijbehorende dosistempi	19
tabel 6	Onderverdeling vaten ILW in diverse typen waste	22
tabel 7	Hoeveelheden vaten die in principe in het LOG kunnen worden opgeslagen	23
tabel 8	Overzicht van storingen en ongevallen bij de opslag van laag- en middel radioactief afval in de opslaggebouwen met de kans van optreden	24
tabel 9	Maximale individuele risico buiten de terreingrens ten gevolge van emissies bij de maatgevende ongevallen	25
tabel 10	Optie 2 Kostenschatting	31
tabel 11	Optie 3 Kostenschatting	31
tabel 12	Optie 4 Kostenschatting	32

Lijst van figuren

figuur 1	Dwarsdoorsnede HABOG opslagruimten	29
----------	------------------------------------	----

Samenvatting

In Nederland is gekozen voor een tijdelijk bovengrondse opslag van radioactief afval. De opslagtermijn is vastgesteld op zeker 100 jaar, bij de daarvoor opgerichte COVRA. Na die periode wordt een wijze van opberging voorzien waarbij zowel de opbergveiligheid als de terugneembaarheid van het afval is gewaarborgd.

In een eerdere studie zijn voor- en nadelen tegen elkaar afgewogen indien deze bovengrondse opslag wordt verlengd van 100 jaar naar 300 jaar. Daarbij is vooral aandacht besteed aan de reductie van de bulk van LAVA dat na zo'n verlengde periode als normaal, dus niet radioactief afval, kan worden afgehandeld.

Aspekten met betrekking tot het hoog radioactief afval zijn in voornoemde studie summier behandeld. In de onderhavige studie worden optimalisatieaspecten voor opslag van hoogradioactief- en kernsplijtings afval alsnog beschouwd.

Basis voor de beschouwingen is het feit dat een deel van het hoog actief afval ten gevolge van het natuurlijk verval wellicht na een termijn van 300 jaar niet meer tot deze categorie hoort.

De volgende punten zijn daarbij beschouwd:

- de normstelling
- de inventarisatie van het opgeslagen HAVA, KSA en splijtstof
- de bepaling van het nucleaire verval en daarmee de reductie van de benodigde opslagcapaciteit
- de risicoschatting bij de opslag van tot MAVA/LAVA vervallen HAVA
- de kostenaspecten voor verschillende opties.

Geconcludeerd wordt dat naast waarborging van IBC en terugneembaarheid bij een verlenging van de opslag van dit afval bij COVRA van 100 naar 300 jaar:

- het opgeslagen KSA en splijtstofelementen gedurende de gehele periode van 300 jaar als hoog radioactief afval moeten worden behandeld en dan voor eindberging aangeboden
- het ontmantelings afval voor het grootste gedeelte (> 95%) reeds na 100 jaar als vervallen tot MAVA/LAVA kan worden opgeslagen
- van het overige opgeslagen HAVA ca 35 % na 200 jaar zodanig is vervallen dat het als MAVA/LAVA kan worden opgeslagen, waarbij aan de risicocriteria wordt voldaan
- dit overige HAVA als geheel na 300 jaar als MAVA/LAVA voor eindopberging kan worden aangeboden, met uitzondering van de 50 H&E vaten waarin de 700 ECN HAVA drums zijn opgeslagen. In deze configuratie blijven deze vaten onder de categorie HAVA vallen
- de wijziging in behandeling van oorspronkelijk hoog radioactief afval dat vervallen is tot laag- of middel radioactief afval afhankelijk van de in te vullen optie een kostenbesparing tot ca 25 % kan opleveren in vergelijking met de aanname uit de voorgaande studie dat de bestaande opslagcapaciteit iedere 100 jaar wordt vervangen.

Lijst van gebruikte afkortingen

AVG	Afval Verwerkings Gebouw
BNFL	British Nuclear Fuels, plc
COG	Container Opslag Gebouw
COGEMA	Compagnie Generale des Matieres Nucleaires
CORA	Commissie Opslag Radioactief Afval
COVRA	Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval N.V.
ECN	Energie-onderzoek Centrum Nederland
EPZ	N.V. Electriciteits Productie maatschappij Zuid-Nederland
GKN	N.V. Gemeenschappelijke Kernenergiecentrale Nederland
HABOG	Hoog radioactief afval Opslag Gebouw
HAVA	Hoog radioactief Vast Afval
HEU	High Enriched Uranium
HFR	Hoge Flux Reactor
HOR	Hoger Onderwijs Reactor
H&E	Cemented Waste Hulls & End caps
IBC	Insluiten, Beheersen en Controleren
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRI	Interfacultair Reactor Instituut
KEW	Kern Energie Wet
KSA	KernSplijtings Afval
LAVA	Laag radioactief Vast Afval
LFR	Lage Flux Reactor
LOG	Laag & middel radioactief afval Opslag Gebouw
MAVA	Middel radioactief Vast Afval
MID	Maximale Individuele Dosis
MTR	Maximaal Toegestaan individueel Risico
NVR	Nederlandse Veiligheids Richtlijnen (voor kerncentrales)
SOG	Splijtstof Opslag Gebouw
VOG	Verarmd uranium Opslag Gebouw
VROM	Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne

1 Inleiding

Radioactieve stoffen vervallen met een specifieke halfwaardetijd, al dan niet via eveneens radioactieve dochterproducten, tot stabiele nucliden. De halfwaardetijden variëren van onderdelen van seconden tot meerdere miljarden jaren. Radioactieve afvalstoffen waarvan de radioactiviteit binnen zeer korte tijd zover is vervallen dat er geen radiologische risico's voor de omgeving resteren, behoeven niet of slechts een korte tijd opgeslagen te worden. Voor de zeer lang levende hoog radioactieve stoffen is wel een blijvende eindopberging noodzakelijk ter isolering van het milieu.

Het grootste deel qua volume van het afval is weinig tot matig radioactief. Bij nadere beschouwing van de nuclideninventaris in dit deel van het afval, blijkt dat voor het gros van de nucliden de halfwaardetijd kort of matig lang is. In het medisch afval zijn veel nucliden kortlevend ($t_{1/2} < \text{jaar}$). In het afval van kernenergiecentrales zijn de nucliden ^{60}Co ($t_{1/2} = 5,27 \text{ jaar}$), ^{137}Cs ($t_{1/2} = 30,17 \text{ jaar}$) en ^{90}Sr ($t_{1/2} = 28,5 \text{ jaar}$) dominant.

In de nota Radioactief Afval van 1984 ^[6] is het overheidsbeleid inzake radioactief afval vastgelegd. Uitgangspunt van het beleid is het waarborgen van de bescherming van mens en milieu tegen de gevaren van radioactieve stoffen. Invulling daaraan wordt gegeven met het criterium "Isoleren, Beheersen en Controleren" (IBC-criterium). Een belangrijk facet daarbij is de terugneembaarheid van het afval.

1.1 Isoleren

Teneinde uitvoering te kunnen geven aan dit beleid is één Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) opgericht. Deze vennootschap dient faciliteiten te ontwikkelen om voor een interimperiode (100 jaar) al het in Nederland aangeboden radioactief afval bovengronds op te slaan op een wijze waarbij dit geheel van het milieu geïsoleerd wordt en kan blijven. De verwachting is dat binnen dat tijdsbestek een passende oplossing t.a.v. de eindopberging ter definitieve isolering in alle rust tot wasdom kan komen en de faciliteiten voor een blijvende eindopberging dan beschikbaar zullen zijn. Daarbij wordt in de eerste plaats gedacht aan opberging in de diepe ondergrond, maar bovengrondse opslag wordt niet uitgesloten geacht.

1.2 Beheersen

Vanuit de optiek van het milieubeleid voldoet een periode met bovengrondse opslag geheel aan het criterium van Beheersen en aan de eis van terugneembaarheid. Het streven is erop gericht dat toekomstige generaties niet worden geconfronteerd met een onomkeerbare oplossing. Bovengrondse opslag is blijvend omkeerbaar en beheersbaar. Daarnaast kunnen zich in de toekomst technologische ontwikkelingen voordoen die het mogelijk maken het afval geheel of gedeeltelijk onschadelijk te maken c.q. te hergebruiken. tevens lijken de kosten van deze vorm van berging laag in vergelijking tot die van ondergrondse berging.

1.3 Controleren

Bij bovengrondse opslag is aan het criterium van Controleren eenvoudig te voldoen door voldoende ruimten tussen de stapelingen vrij te houden. Hierdoor blijft ieder afzonderlijk collo bereikbaar en zonodig terugneembaar voor nadere inspectie c.q. herverpakking.

Als nu in plaats van de voorziene 100 jaar, het afval voor 300 jaar verantwoord bovengronds kan worden opgeslagen, is zelfs voor het ^{137}Cs de activiteit met een factor 1000 verminderd. Veel van het laag- en middel actief afval is dan nauwelijks radioactief meer en kan dan worden afgevoerd als normaal huishoudelijk, industrieel of chemisch afval.

Internationaal is het algemeen gebruikelijk op een controleerbare wijze het laag- en middel actief afval ondiep te begraven. Het toezicht en de inkapseling zijn daarbij ook voor een periode van 300 jaar voorzien, waarna de risico's verwaarloosbaar worden geacht ^[7].

In een eerdere studie ^[1], uitgevoerd door KEMA t.b.v. CORA, zijn relevante aspecten m.b.t. de verlenging van de opslag van laag- en middel actief afval in detail beschouwd.

De conclusies van deze studie zijn dat voor de hele periode

- IBC gewaarborgd is
- de terugneembaarheid blijvend is
- de verlenging van de levensduur technisch geen probleem is
- de reductie van resterend afval dat alsnog naar de eindberging moet worden afgevoerd zeer aanzienlijk is
- de besparing op investeringen ook aanzienlijk is.

In deze studie is m.b.t. hoogactief afval en kernsplijtings afval aangenomen dat t.g.v. de aanwezigheid van dominerende langlevende nucliden voor de hele periode van 300 jaar opslag gerealiseerd moet worden, waarna afvoer naar de eindopberging volgt. Gelet op de ontwerpcriteria voor de gebouwen waarin dit afval wordt opgeslagen is aangenomen dat na iedere honderd jaar nieuwe opslaggebouwen worden gebouwd ter vervanging van de bestaande. De kostenaspecten hiervan zijn in het totale overzicht meegenomen. Een differentiatie naar aangeboden hoogactief afval en een daarop gebaseerde mogelijk optimalisatie van de opslag was geen onderdeel van de toenmalige studie.

In een vervolgoopdracht is NRG gevraagd optimalisatieaspecten voor opslag van hoogactief- en kernsplijtings afval alsnog te beschouwen. Dit rapport levert de resultaten van deze beschouwing.

2 Probleemstelling

Bij de beschouwing van de levensduurverlenging van COVRA van 100 jaar naar 300 jaar zijn aspecten als verschillen in splijtstof afkomstig van verschillende centrales, de verschillen in HAVA en grote bronnen uit ziekenhuizen en industrie, en de aantoonbaarheid van de geschiktheid tot vrijgave van vervallen (laag) actief materiaal niet aan de orde gekomen.

Met betrekking tot splijtstof kan in principe onderscheid worden gemaakt in het aanbod van de onderzoeksreactoren en de vermogensreactoren (voor E-productie). Met de laatste als norm zijn de opslagfaciliteiten ontworpen. Gelet op de verschillen in de splijtstof van beide groepen is de vraag gewettigd of t.a.v. de splijtstof van de onderzoeksreactoren een verdere optimalisatie van de opslag (IBC en 300 jaar) mogelijk is.

Met betrekking tot HAVA kan er onderscheid worden gemaakt tussen HAVA afkomstig van opwerkingsactiviteiten, ontmantelings afval van de beide kernreactoren en overige sterke bronnen afkomstig uit niet-nucleaire activiteiten (bv. ziekenhuizen en industrie); ook hier kan worden nagegaan of een verdere optimalisatie mogelijk is.

De doelstelling van dit project was in eerste instantie het nagaan of de zeer langdurige opslag (van 100 naar 300 jaar) van de splijtstof van onderzoeksreactoren en het “afwijkend” HAVA verder geoptimaliseerd zou kunnen worden in vergelijking met de als norm genomen opslag van de splijtstof van de vermogensreactoren resp. HAVA.

De aandacht zou hierbij vooral gericht zijn op consequenties van de afwijkende samenstelling van voornoemd afval bij een dergelijke opslag. Een andere aanpak en behandeling van dit afval zou wellicht voordeel kunnen opleveren m.b.t. voorwaarden voor opslag (eenvoudige gebouwen) en bedrijfsvoering.

Een eerste inventarisatie van de verschillen tussen het “aanbod” van de vermogens- en van de onderzoeksreactoren toonde aan dat m.b.t. splijtstof geen voordeel te halen viel. Wel bleek dat een nadere differentiatie van HAVA, maar dan naar nuclide-inventaris met bijbehorende vervaltijden en niet zozeer naar leverancier, wel meer mogelijkheden bood.

Na ruggespraak met COVRA en de betrokken producenten van het hoogactief- en kernsplijtings afval en na overleg met de programmacoördinator CORA is uiteindelijk als doelstelling van dit project gedefinieerd:

de beschouwing van aspecten van belang voor een nadere optimalisatie van de opslag van hoogactief- en kernsplijtings afval bij een verlenging van de duur van deze opslag bij COVRA van 100 naar 300 jaar. Daarbij zal de aandacht nu vooral gericht zijn op de differentiatie van het afval naar inventaris en het verval van HAVA waardoor in het verloop van de beschouwde periode op basis van de huidige criteria, dit HAVA of een deel ervan niet meer als HAVA behandeld hoeft te worden. Naast een vermindering van de eisen m.b.t. de opslag kan ook een reductie worden verwacht van de hoeveelheid HAVA die aan het einde van de opslagperiode voor eindopberging wordt aangeboden.

3 Uitvoering

Als basis voor een herziening van de behandeling en de manier van opslag van hoogactief (HAVA), kernsplijtings afval (KSA) en splijtstofelementen gelden de teruggang in radioactiviteit van dit afval en de normen waaraan dit afval moet voldoen om als hoog- dan wel laagactief te worden gekarakteriseerd en opgeslagen.

De uitvoering van dit project omvatte dan ook de volgende onderwerpen:

- de normstelling
- de inventarisatie van het opgeslagen HAVA, KSA en splijtstof
- de bepaling van het nucleaire verval en daarmee de reductie van de benodigde opslagcapaciteit
- de risico-inschatting bij de opslag van tot LAVA vervallen HAVA
- de kostenaspecten (investeringsreductie) voor verschillende opties
- de conclusies en aanbevelingen .

In de volgende paragrafen worden deze onderwerpen nader behandeld.

4 Normstelling

4.1 Definitie van radioactief afval

Wat volgens de huidige Nederlandse normgeving onder radioactief materiaal wordt verstaan, staat omschreven in de Kernenergiewet en de op die wet gebaseerde regelgeving in het Besluit Stralenbescherming Kernenergiewet ^[8]. De normering blijft beperkt tot de Nederlandse wetgeving, omdat COVRA alleen een acceptatieplicht heeft voor Nederlands radioactief afval.

In artikel 1 lid 1 onder d Kernenergiewet worden "radioactieve stoffen" gedefinieerd als *"materie, welke ioniserende stralen uitzendt, alsmede stoffen welke zodanige materie bevatten, één en ander met uitzondering van splijtstoffen en ertsen"*.

In ditzelfde artikellid worden onder e "ioniserende stralen" vervolgens gedefinieerd als *"röntgen- en gammastralen, alsmede corpusculaire stralen, welke in staat zijn ionenvorming te veroorzaken"*.

In de toelichting op het definitie-artikel 1 lid 1 sub d Kernenergiewet staat:

"Onder d wordt een definitie gegeven van radioactieve stoffen. Deze definitie is zeer ruim, zelfs zozeer dat vrijwel alle materie en voorwerpen op aarde onder deze definitie vallen. Radio-isotopen vormen immers van nature een bestanddeel van de bodem, het water en de lucht en alles wat uit die bodem is voortgekomen of daarop leeft. De grenzen waarboven de Kernenergiewet van toepassing is zijn gegeven in het Besluit stralenbescherming Kernenergiewet, waarin onder meer het oude Radioactieve-stoffenbesluit Kernenergiewet is opgenomen. Radioactieve stoffen zijn alleen stoffen die ioniserende straling uitzenden."

Artikel 29 stelt regels over radioactieve stoffen:

Art.29 lid 1; *Het is verboden zonder vergunning bij algemene maatregel van bestuur aan te wijzen radioactieve stoffen of in daarbij aan te wijzen gevallen radioactieve stoffen te bereiden, te vervoeren, voorhanden te hebben, toe te passen, binnen Nederlands grondgebied te brengen of te doen brengen, danwel zich daarvan te ontdoen.*

Het Besluit Stralenbescherming Kernenergiewet ^[8] moet dus de grenzen aangeven, nodig voor de beantwoording van de vraag voor welke radioactieve stoffen een vergunning nodig is en voor welke niet. Een en ander is geregeld in hoofdstuk II van dit besluit.

In artikel 6 zijn de uitzonderingen opgesomd op de regel dat voor het bereiden, voorhanden hebben of het toepassen van radioactieve stoffen vergunning nodig is.

Art.6. 1. *Het in artikel 29, eerste lid, van de wet vervatte verbod zonder vergunning radioactieve stoffen te bereiden, voorhanden te hebben of toe te passen geldt met betrekking tot alle radioactieve stoffen, met uitzondering van:*

- a. *Radioactieve stoffen waarvan de activiteit minder bedraagt dan 100 becquerel (2,7 nanocurie) per gram;*
- b. *vaste natuurlijke radioactieve stoffen waarvan de activiteit minder bedraagt dan 500 becquerel (14 nanocurie) per gram;*
- c. *rubidium-87, samarium-147, rhenium-187, indium-115, en neodymium-144.*

2. *Het in het eerste lid genoemde verbod geldt niet met betrekking tot radioactieve stoffen die tezamen als één bron van straling kunnen worden beschouwd, indien de activiteit van die radioactieve stoffen minder bedraagt dan:*

- a. *bij de zeer hoog radioactieve stoffen 5 kilobecquerel*
- b. *bij de hoog radioactieve stoffen 50 kilobecquerel*
- c. *bij de matig radioactieve stoffen 0,5 megabecquerel*
- d. *bij de laag radioactieve stoffen 5 megabecquerel*

4. *Onze Ministers stellen regelen vast met betrekking tot de indeling van radioactieve nucliden volgens hun radiotoxiciteit als bedoeld in het tweede lid.*

Voor het zich ontdoen van deze stoffen is e.e.a. geregeld in artikel 7.

Deze lijst van indeling staat weergegeven in een bijlage van het Besluit.

In artikel 7 worden regels gegeven voor het zich ontdoen van radioactieve stoffen. De relevante regels zijn:

Art. 7.1 *Het in artikel 29, eerste lid, van de wet vervatte verbod zich zonder vergunning van Onze Ministers van radioactieve stoffen te ontdoen geldt met betrekking tot alle radioactieve stoffen, met uitzondering van:*

- a. *radioactieve stoffen waarvan de activiteit minder bedraagt dan 100 becquerel (2,7 nanocurie) per gram*
 - b. *vaste natuurlijke radioactieve stoffen waarvan de activiteit minder bedraagt dan 500 becquerel (14 nanocurie) per gram*
 - c. *rubidium-87, samarium-147, rhenium-187, indium-115 en neodymium-144.*
3. *Het in het eerste lid bedoelde verbod geldt voorts niet voor:*
- c. *het zich ontdoen van radioactieve afvalstoffen door afgifte aan een door Onze Ministers erkende ophaaldienst voor radioactieve afvalstoffen.*

De in de artikelen 6 en 7 genoemde activiteitsgrenzen waar beneden geen vergunning nodig is, zijn in overeenstemming met de Euratom-basisnormen.

Binnenkort zullen de vigerende Nederlandse normen aangepast worden aan recentelijk nieuw geformuleerde richtlijnen van de Europese Commissie. Deze aanpassing zal een wezenlijke invloed hebben op de omvang en hoeveelheden van het radioactief afval.

4.2 Reductievoorwaarde

Bij de COVRA wordt slechts onderscheid gemaakt in twee categorieën afval; hoog radioactief afval en laag-/middel radioactief afval. Afval dient dan respectievelijk in HABOG te worden opgeslagen of in het LOG.

Op grond van de huidige indeling zal ontmantelings afval worden opgeslagen als hoogradioactief afval. Evenzo worden alle vaten met afval afkomstig van de opwerkingsfabrieken (BNFL en COGEMA) evenals de vaten afkomstig van de onderzoeksreactoren beschouwd als afval dat dient te worden opgeslagen in het HABOG, het gebouw bestemd voor hoogradioactief (eventueel warmte producerend) afval.

De definitie van hoogradioactief afval zoals vermeld in het Programma van Eisen ^[4] dat in het HABOG dient te worden opgeslagen geeft als te beschouwen afval:

“het radioactief afval met een dosistempo aan het oppervlak van meer dan 10 mSv/h, ervan uitgaande dat de vaten met afval geen hoger risico met zich meebrengen dan in het veiligheidsrapport voor de opslag van laag- en middelradioactief afval in beschouwing is genomen (vergunningsvoorwaarde 15)”.

Op basis van deze definitie mag als uitgangspunt worden genomen dat radioactief afval opgeslagen in het HABOG na een zekere vervaltijd in het LOG mag worden opgeslagen als het voldoet aan de volgende eisen:

- 1 het oppervlaktedosistempo lager is dan 10 m Sv/h
- 2 het individueel risico de beschouwde limietwaarde van 10^{-6} /jaar niet overschrijdt*.

* Eis nr. 2 heeft betrekking op het maximaal toegestaan individueel risico (MTR). In het veiligheidsrapport (dat is opgenomen als bijlage 4 behorend bij de aanvraag tot wijziging van de KeW-vergunning van COVRA N.V., d.d. 15 augustus 1995) worden de risico's van de opslag van hoog radioactief afval getoetst aan dit criterium. Dit criterium is afkomstig van het ministerie VROM/SVS document: Handleiding "Beleidsstandpunten Stralingshygiene ten behoeve van vergunningsverlening", 15 december 1993. Het MTR stelt dat het risico van overlijden van een individu ten gevolge van een (industriële) activiteit aan de terreingrens niet hoger mag zijn dan 10^{-6} per jaar.

Een verdere afhandeling van dit en soortgelijk laag radioactief afval is behandeld in de eerder door KEMA uitgevoerde studie ^[1]. Hierbij is beschouwd dat na 300 jaar voor een groot deel van dit opgeslagen laag radioactief afval de vrijgavegrens wordt overschreden. Dit deel zal dan als niet radioactief afval kunnen worden afgevoerd in plaats van aangeboden voor eindberging. Knelpunt in dit traject is het op niet destructieve wijze aantonen dat de inhoud van de vrijgegeven vaten aan de vrijgave-eisen voldoet. Het verdient aanbeveling dit aspect in eventuele vervolgstudie op te nemen.

5 Hoeveelheden hoog radioactief- en kernsplijtings afval

Op termijn wordt afval ontstaan bij de verwerking van gebruikte splijtstofstaven uit de Nederlandse kernenergiecentrales terugverwacht uit de buitenlandse opwerkingsfabrieken. Daarnaast moet ontmantelings afval van de beide kernenergiecentrales en uitgewerkte splijtstofstaven uit de Nederlandse onderzoeksreactoren worden opgeslagen. Voor dit sterk stralende en deels warmte producerend afval is een apart gebouw voorzien, het HABOG. Bedacht moet worden dat sommige nucliden in enkele afvalsoorten langlevend zijn zodat ook na 300 jaar de activiteit nog nauwelijks is verminderd.

Met betrekking tot het ontmantelings afval is op dit moment nog weinig bekend (eind 1999). De hoeveelheid (aantal vaten) en concentratie en spectrum van radionucliden hangt af van een aantal factoren waaronder:

- mate van scheiding (bijvoorbeeld peeling van niet gecontamineerd beton van gecontamineerd)
- de tijd tussen einde bedrijf en aanbieden bij COVRA (o.a. afhankelijk van wachttijd en ontmantelingsduur)
- type opslagvaten

In het Programma van Eisen wordt vermeld dat HAVA het afval vrijkomend bij de toekomstige ontmanteling van bestaande reactoren en andere faciliteiten omvat. Aangenomen wordt dat dit afval in eerste instantie wordt opgeslagen in het HABOG omdat wordt verondersteld dat de oppervlakte dosis hoger zal zijn dan 10 mSv per uur.

Een overzicht van de verwachte aflevering van afvalvaten naar het HABOG is gegeven in tabel 1. In bijlage A is een nadere specificatie naar de nuclideninventaris en de activiteiten gegeven.

tabel 1 Afleverschema van afval (vaten, manden en drums) naar het HABOG ^{[9][10][11]}

*) [jaar]	Verglaasd afval vaten		Splijtstofelementen (manden met 33 stuks)			HAVA vanaf COGEMA			HAVA BNFL	ECN	
	COG EMA	BNFL	HFR	IRI	LFR	H&E drums	CBFC drums	Bitum. drums	Drums	HAVA Drums	Fuel Mand
1	28		10	2						100	3
2	28		4			27	12	24		100	
3			4			27		24		100	
4			3			27		12		100	
5		21	3			15			32	100	
6			2	1					32		
7	28		2			15	12				
8			2			15					
9			2								
10	28		2			12					
11	28	21	2		1	15	12		32	100	
12	28		2			30	5		32		
13	9		1			19					
14			1								
15			2	2						100	
Totaal	205	42	42	5	1	202	41	60	128	700	3

*) gerekend vanaf voltooiing HABOG

De verwachte hoeveelheden in volume [m³] en de maximaal te verwachte activiteit in EBq, zijn overeenkomstig de gegevens uit de MER ^[2], gegeven in tabel 2.

tabel 2 Totale hoeveelheden hoogactief- en kernsplijtings afval in volume en activiteit na circa 100 jaar, ^[2]

Afvalcategorie	Volume (m ³)	Activiteit (EBq = 10 ¹⁸ Bq)
Warmteproducerend en hiermee gelijkgesteld afval		
- splijstofelementen, regelementen, splijstof(resten)	40	980
- kernsplijtings afval (KSA)	70	9.620
Niet-warmteproducerend afval (HAVA)		
- ontmantelings afval	2000	20
- opwerkings afval	810	300
- overig hoogactief afval	120	16

6 Bepaling reductie HAVA

6.1 Inleiding

Omdat slechts sprake is van afval dat opgeslagen kan worden in het HABOG (Hoog radioactief afval) danwel in het LOG (Laag-/middel radioactief afval) kan reductie van hoog radioactief afval plaatsvinden indien het hoog radioactief afval door het verval voldoet aan de eerder genoemde eisen (zie paragraaf 4.2).

Voordat een inschatting kan worden gegeven van reductie van hoogradioactief afval opslag capaciteit, dient dus eerst onderzocht te worden of er afval is dat na 100 of 200 jaar een oppervlaktedosis heeft dat onder de 10 mSv/h valt. Vervolgens dient men na te gaan of het afval dat voldoet aan dit criterium geen hoger risico met zich meebrengt dan in het veiligheidsrapport voor de opslag van laag- en middelradioactief afval in beschouwing is genomen (vergunningsvoorwaarde 15). Indien hieraan eveneens wordt voldaan kan dit afval in aanmerking komen voor opslag in het LOG (middel & laag radioactief afval opslag gebouw).

Daarnaast kan worden beschouwd wat de hoeveelheid aan afval is na een opslag van 300 jaar als HAVA nog voor eindopberging moet worden aangeboden met een restant aan LAVA waarvoor andere (minder zware) eisen gelden voor eindopberging.

Met behulp van het programma MicroShield zijn berekeningen uitgevoerd aan de hand van beschikbare inventarissen van de diverse afvalsoorten. De onzekerheid van de berekeningen mag worden verondersteld te liggen ruim binnen een factor 2 (in de meeste gevallen 20 à 30 %). In bijlage B is een overzicht gegeven van invoer grootheden aan de hand van een voorbeeld van typische invoerwaarden voor een HAVA afvalsoort.

In de navolgende tabellen is vermeld welke vaten met hoog radioactief afval worden verwacht te worden opgeslagen in de HABOG, afkomstig van de verschillende bedrijven. Verder zijn de oppervlakedosistemporen vermeld ten tijde van de binnenkomst, na 100 jaar verval, 200 jaar verval en tenslotte 300 jaar verval. Daar waar een groter of kleiner dan teken is gehanteerd zijn geen berekeningen uitgevoerd aangezien in die gevallen eenvoudig kan worden vastgesteld of het dosistempo onder of boven de 10 mSv/h grens ligt.

6.2 EPZ-afval

Afval van EPZ is afkomstig van de kerncentrale Borssele (spleijstofelementen), en wordt verwerkt door COGEMA (F), die het afval van het opwerkingsproces naar het land van herkomst terugstuurt. Tabel 3 geeft het overzicht van het COGEMA afval inclusief de berekende oppervlakedosis initieel, na 100 jaar, na 200 jaar en na 300 jaar. Als de limietgrens voor LAVA bereikt is wordt alleen dit aangegeven (zie paragraaf 4.2).

tabel 3 Hoeveelheden afval van EPZ en bijbehorende dosistemporen

Type afval	Specificatie	Aantal vaten	Opp. Dosis [mSv/h]	Opp. Dosis Na 100 jaar [mSv/h]	Opp. Dosis Na 200 jaar [mSv/h]	Opp. Dosis Na 300 jaar [mSv/h]
Vitrified waste	300-AQ-016 rev0 HUKTS804	205	3600000	160000	16000	> 10
Cemented waste Hulls & End cap	300-AQ-025 rev0 HUKTS805	202	54000	95	9.6	< 10
Bituminous Waste	300-AQ-025 rev0 HUKTS803	60	640	14	1.4	< 10
Cement-wrapped Technological waste (zone 4)	300-AQ-044 rev1 HUKTS808	41	7.3	< 10	< 10	< 10

Het resultaat vermeld in tabel 3 toont dat uitgaande van een gemiddelde “Cemented waste Hulls & End Caps” vat na 200 jaar in principe in aanmerking komt voor opslag als middelradioactief afval. Aangezien de oppervlakte dosis zich dicht tegen de grenswaarde bevindt kan veiligheidshalve gesteld worden dat voor slechts de helft van het aantal vaten na 200 jaar een verplaatsing naar opslag van het middelradioactief mogelijk zal zijn. De aanname hierachter is dat de spreiding in oppervlakedosiswaarden door het productieproces van het afval symmetrisch rond het gemiddelde zal komen te liggen. In dat geval zal derhalve de helft van het aantal vaten een dosiswaarde hebben boven de 10 mSv/h en dus niet geschikt zijn voor verplaatsing naar het LOG.

Voor “bituminous waste” zullen alle vaten in aanmerking komen na 200 jaar. Het “cement-wrapped Technological waste (zone 4) “is in principe direct geschikt voor opslag als middelradioactief afval aangezien volgens de specificaties een gemiddeld afvalvat een oppervlakte dosis heeft van 7.3 mSv/h.

Na 300 jaar kan met uitzondering van het verglaasd afval (205 vaten) het overige afval als laag radioactief afval worden beschouwd en afgehandeld.

6.3 GKN-afval

Afval van GKN is afkomstig van de kerncentrale Dodewaard, en wordt verwerkt door BNFL (UK), die het afval van het opwerkingsproces naar het land van herkomst terugstuurt.

tabel 4 Hoeveelheden afval van GKN en bijbehorende dosistempi

Type afval	Specificatie	Aantal	Dosis aan opp. [mSv/h]	Dosis aan opp. Na 100 jaar [mSv/h]	Dosis aan opp. Na 200 jaar [mSv/h]	Dosis aan opp. Na 300 jaar [mSv/h]
Vitrified waste	Vitrified residue spec., BNFL March 1990 HUKTS810	42	2000000	>10	>10	>10
ILW (Cemented Hulls & Ends)	Intermediate Level Residues Specification, BNFL, March 1990 HUKTS811	128	5800	92	9.6	<10
ILW (MEB Crud)			340	0.005	0.0004	<10
ILW (Barium Carbonate Slurry)			1.2	< 10	< 10	< 10
ILW (centrifuge cake slurry)			1500	82	8.2	<10
ILW (MEB Crud / Barium Carbonate Slurry)			1.2	0.074	0.0074	<10

Het resultaat vermeld in tabel 4 toont dat uitgaande van een gemiddelde Intermediate Level Waste (ILW = HAVA) “Cemented Hulls & Ends” vat na 200 jaar in principe in aanmerking komt voor opslag als middel radioactief afval. Aangezien de oppervlakte dosis zich dicht tegen de grenswaarde bevindt kan ook hier (zie ook paragraaf 6.2) veiligheidshalve gesteld worden dat

voor slechts de helft van het aantal vaten na 200 jaar een verplaatsing naar opslag voor het middel radioactief afval mogelijk is. Dit geldt eveneens voor de “Centrifuge Cake Slurry” afvalvaten. Het “Barium Carbonate Slurry” afvalvat is in principe direct geschikt voor opslag als middel radioactief afval aangezien volgens de specificaties een gemiddeld afvalvat een oppervlakte dosis heeft van 1.2 mSv/h. De “MEB Crud” en “mixed MEB Crud/Barium Carbonate Slurry” afvalvaten zijn reeds na 100 jaar dusdanig vervallen dat deze geschikt zijn voor opslag als middelradioactief afval. Na 300 jaar resteert als nog op te slaan HAVA, het verglaasde afval; de overige vaten kunnen als LAVA verder worden afgehandeld.

6.4 ECN/NRG/HFR/IRI-afval

Afval afkomstig van ECN/NRG/HFR/IRI betreft brandstof elementen van de onderzoeksreactoren (LFR/HFR/HOR) en hoogradioactief afval voornamelijk afkomstig van experimenten. Het betreft zowel splijtstof afval en gewoon hoogradioactief afval.

De reactorelementen zullen worden aangeleverd in manden. Vervolgens zullen deze worden ondergebracht in stalen vaten en dichtgelast. Deze vaten hebben een diameter van circa 75 cm en een hoogte van ca. 1 meter. De vaten met elementen van de HFR & HOR bevatten ieder 33 stuks elementen. De LFR elementen betreffen 29 stuks in één vat. Het afval van ECN wordt aangeleverd in ECN afvalvaten.

tabel 5 Hoeveelheden afval van ECN/NRG/HFR/LFR/HOR en bijbehorende dosistempi

Type afval	Specificatie	Aantal	Dosis aan opp. [mSv/h]	Dosis aan opp. Na 100 jaar [mSv/h]	Dosis aan opp. Na 200 jaar [mSv/h]	Dosis aan opp. Na 300 jaar [mSv/h]
LFR- elementen	HUKTS813	1x 29 elements in 1 basket	2000	14	1.5	<10
HFR- elementen	HUKTS812 revA HEU F-type	42x 33 elements in 1 basket	1500000	18000	1800	180
HOR- elementen	HUKTS814 revA HEU / LEU	5x 33 elements in 1 basket	>10	>10	>10	>10
ECN- drums, not containing fissile material	HUKTS815	700 in 50 H&E	≈ 89000	≈ 940	≈ 95	9.5
(Irridiated) fissile material	HUKTS815	3 baskets	?	?	?	?
ECN HAVA	HUKTS815 revA., Table 1/500 drums	500	6400	67	6.8	0.68

Het stralingsniveau op 1 meter afstand van één LFR element is berekend op 20.4 mSv/h in overeenstemming met een gemeten waarde van 20-30 mSv/h voor een element. Na 100 jaar komt

dit uit op 0.16 mSv/h en na 200 jaar op 0.016 mSv/h. Aangezien de exacte geometrie en afschermingen vooralsnog niet bekend zijn ten aanzien van het opslagvat met de mand van 29 elementen, zijn de berekeningen uitgevoerd met behulp van een modelmatige benadering. De verwachting is echter dat de gepresenteerde uitkomsten binnen een factor 2 à 3 correct zullen zijn. Dezelfde redenering geldt voor de berekeningen aan de afvalvaten met HFR elementen. In dit geval is de berekening uitgevoerd voor een vat met fully irradiated F-type elementen. In document HUKTS812 rev A worden ook C-type elementen vermeld. Deze elementen hebben echter een geringere nuclideinventaris dan de F-type elementen. Een specificatie van de typen HFR elementen wordt gegeven in ^[10].

Op dit moment is geen inventaris voorhanden voor de HOR elementen anders dan de specificatie ^[11]. De verwachting is echter dat de HOR elementen vergelijkbare stralingstempri opleveren als de HFR HEU elementen.

Dit betekent in dat geval dat het dosistempo aan het oppervlak van het vat ook na 200 jaar verval hoger zal zijn dan 10 mSv/h.

Ook ten aanzien van de radionuclide-inventaris van “(irradiated) fissile material” zijn op dit moment geen gegevens voorhanden. Deze 3 vaten worden dan ook niet meegenomen in de overweging voor opslag in de laag- en middel radioactief afval gebouwen.

In document HUKTS815 rev. A (1995) betreffende ECN HAVA afval is sprake van 500 ECN afval vaten met een gemiddeld dosistempo aan het oppervlak van 6 Sv/h. De gepresenteerde activiteitsinventaris (tabel 1) is gedeeld door 500 vaten om de inhoud te modelleren van 1 vat. Dit geeft inderdaad een berekende dosistempo van 6.36 Sv/h. Uitgaande van deze ECN vaatjes, blijkt dat deze na 200 jaar voldoen aan de eis van <10 mSv/h.

In document HUKTS817 rev. E wordt gesteld dat uiteindelijk 700 ECN HAVA drums worden aangeleverd (hierin zijn dus de voornoemde 500 meegenomen), die in 50 H&E vaten zullen worden opgeslagen, ofwel 14 HAVA vaatjes per H&E vat. Indien geen sprake is van extra aan te brengen afschermingen (beton) dan kan men grofweg stellen dat de dosistempri aan het oppervlak van een H&E een factor 14 hoger zijn dan de waarden voor de HAVA vaatjes. Deze waarden zijn ook vermeld in tabel 5.

Uitgaande van bovenstaande gegevens kan men bepalen welke hoeveelheden vaten in principe in aanmerking zouden kunnen komen voor opslag in de laag- en middelradioactief afval opslaggebouwen, mits zij voldoen aan vergunningsvoorwaarde 15. Dit is vermeld in tabel 7. Hieruit kan worden geconcludeerd dat HFR en HOR-elementen ook na 300 jaar nog als hoogactief materiaal aangeboden zullen worden voor de eindopberging. LFR-elementen kunnen na 200 jaar als LAVA worden opgeslagen, terwijl het ECN-HAVA in de oorspronkelijke verpakking na 200 jaar reeds voor de helft, na 300 jaar vrijwel volledig als LAVA kan worden beschouwd. Echter, t.g.v. de samenvoeging tot 50 vaten (waardoor de activiteits inhoud per vat evenredig toeneemt),

blijft het merendeel ook na 300 jaar nog tot de categorie HAVA behoren. De stralingsdosis aan het oppervlak ($\cong 90$ mSv/h) blijft boven de grenswaarde van 10 mSv/h.

6.5 Ontmantelings afval

In het Programma van Eisen wordt vermeld dat HAVA het afval vrijkomend bij de toekomstige ontmanteling van bestaande reactoren en andere faciliteiten omvat. Aangenomen wordt dat zoals reeds eerder vermeld, dit afval in eerste instantie wordt opgeslagen in het HABOG.

In het rapport “Inventarisatie en mogelijkheden voor bovengrondse opslag voor 300 jaar van radioactief afval bij COVRA ^[1]” wordt een hoofdstuk gewijd aan de afname van de gewogen specifieke activiteit als functie van de tijd. Aangezien een groot gedeelte van het afval het kortlevende Co-60 betreft is de afname van het stralingsniveau de eerste 100 jaar aanzienlijk. Uitgaande van de correctheid van de in dat rapport gehanteerde aannames wordt veronderstelt dat dit ontmantelings afval na 100 jaar ruim onder 10 mSv/h grens zal komen te liggen, en in aanmerking komt te worden opgeslagen in het LOG.

6.6 Reductie

Met betrekking tot de 2000 m³ ontmantelings afval van de kerncentrales kan op dit moment geen exacte uitspraak worden gedaan over de aantallen vaten waarin dit zal worden opgeslagen. In het reeds eerder aangehaalde rapport “Inventarisatie en mogelijkheden voor bovengrondse opslag voor 300 jaar van radioactief afval bij COVRA “ ^[1]” wordt een afschatting gemaakt van het aantal door COVRA geaccepteerde type vaten. In die berekening wordt uitgegaan van 5150 m³ ontmantelings afval, welke opgeslagen zal worden in 23620 vaten van het type 220 liter en 423 vaten van het type 1000 liter met huls. In het Programma van Eisen is sprake van 2000 m³, dat aangemerkt zal worden als hoogradioactief (HAVA), ofwel circa 40% van het totale ontmantelings afval. Dit wil zeggen dat van de 23620 vaten ontmantelings afval er ca. 9180 vaten van het type 220 liter in het HABOG dient te worden opgeslagen, benevens de 423 vaten van het type 1000 liter met huls.

Na 100 jaar kunnen ca. 9000 vaten ontmantelings afval worden verwijderd uit het HABOG gebouw. Hierbij is de aanname dat ca. 5% nog niet voldoende vervallen is.

Van het overige hoog radioactief materiaal kan voor het Intermediate Level Waste (ILW) afkomstig van BNFL, in totaal 128 vaten diverse typen, slechts een uitspraak over de verschillende typen vaten gedaan worden door dit aantal op te delen. Hiertoe kan gebruik worden gemaakt van opgegeven specificaties over het aantal te produceren drums per ton verwerkt uranium, tabel 6 geeft de verdeling per verwerkt ton U.

tabel 6 Onderverdeling vaten ILW in diverse typen waste

Type	Drums/tU
MEB crud	0.04
HULLS & ENDS	0.71
Barium Carbonate Slurry	0.048
Centrifuge Cake Slurry	0.0145
MEB crud / Barium Carbonate slurry	0.088

In tabel 7 is een overzicht gegeven van de hoeveelheden vaten die worden aangeboden, de hoeveelheden die na 100 jaar en na 200 jaar kunnen worden overgeplaatst naar het LOG en de verdeling naar HAVA en MAVALAVA voor eindopslag na 300 jaar.

Uit deze tabel blijkt dat 294 vaten met KSA en splijstofelementen zeer hoge stralingstempels hebben, die ook na een vervalperiode van 300 jaar nog ver boven de 10 mSv/h grens liggen. Deze vaten zullen dus altijd in het HABOG moeten worden opgeslagen en na 300 jaar als hoog radioactief afval voor eindopberging worden aangeboden.

Van de overige vaten zouden in principe na 200 jaar 280 (66 + 214) vaten in aanmerking komen voor opslag buiten het HABOG. Dit is ca. 35% van het totaal aantal vaten (280/779). Het merkwaardige feit doet zich voor dat indien de 700 vaatjes ECN-HAVA niet bijeen worden gebracht in de 50 H&E-vaten, deze vaatjes ook na 200 jaar voor het merendeel in aanmerking komen voor opslag buiten HABOG. In deze situatie zou dan 70% van het oorspronkelijke HAVA na 200 jaar in aanmerking komen voor opslag buiten het HABOG.

Uit tabel 7 kan verder worden geconcludeerd dat na 300 jaar opslag nog 347 vaten hoog radioactief afval voor de eindopberging zullen worden aangeboden. Hierin zijn inbegrepen de 50 H&E drums waarin de oorspronkelijke 700 ECN HAVA vaten zijn verzameld. Het restant van het oorspronkelijke HAVA, dan nog 432 vaten, is dan al zover vervallen dat het als MAVALAVA kan worden afgehandeld.

tabel 7 Hoeveelheden vaten die in principe in het LOG kunnen worden opgeslagen

Type afval (volume per vat in m ³ ^[4])	Hoeveelheden vaten				
	Aanlevering	Overplaatsing naar LOG na 100 jaar	Overplaatsing Naar LOG Na 200 jaar	Restant na 300 jaar	
				HAVA	tot MAVA/LAVA vervallen
COGEMA Vitrified Waste (0.2)	205	0	0	205	0
COGEMA Cemented waste Hulls & End caps (1.7)	202	0	101	0	202
COGEMA Bituminous Waste (0.24)	60	0	60	0	60
COGEMA Cement-wrapped (1.2) Tech. Waste (zone 4) (1.2)	41	41	0	0	41
BNFL Vitrified waste (0.2)	42	0	0	42	0
BNFL ILW (Cemented Hulls & Ends) (0.6)	101	0	51	0	101
BNFL ILW (Barium Carbonate Slurry) (0.6)	7	7	0	0	7
BNFL ILW (centrifuge cake slurry) (0.6)	2	0	1	0	2
BNFL ILW (MEB Crud / Barium Carbonate Slurry) (0.6)	12	12	0	0	12
BNFL ILW (MEB Crud) (0.6)	6	6	0	0	6
LFR-elementen (0.44)	1	0	1	0	1
HFR-elementen (0.44)	42	0	0	42	0
HOR-elementen (0.44)	5	0	0	5	0
ECN (Irridiated) fissile material (0.44)	3	0	0	3	0
ECN HAVA (0.05)*	(700)	(0)	(700)	(0)	(700)
In H&E drums	50	0	0	50	0
* TOTAAL	(1429)	(66)	(914)	(297)	(1132)
	779	66	214	347	432

* Tussen haakjes het aantal vaatjes ECN HAVA indien niet verpakt in H&E drums. Bij het totaal aantal vaten is dit ook weergegeven tussen haakjes.

7 Risico-schatting

Zoals reeds eerder vermeld zijn de bovenstaande resultaten alleen geldig indien het afval geen hoger risico met zich meebrengt dan in het veiligheidsrapport voor de opslag van laag- en middel radioactief afval in beschouwing is genomen (vergunningsvoorwaarde 15).

In het onderstaande wordt gekeken of opslag van de vaten afkomstig van het HABOG in de Laag- en Middenradioactief Opslag gebouwen al dan niet voldoet aan de risicocriteria. Hiertoe wordt gebruik gemaakt van de analyses die reeds zijn uitgevoerd ten behoeve van de wijziging van de Kew-vergunning van COVRA N.V.^[2]). Verder wordt ook aandacht besteed aan omgevingsfactoren die voor deze beschouwing van belang kunnen zijn (zie paragraaf 7.1).

De risico's zijn voor een aantal scenario's berekend voor de huidige te verwachten radionuclide-inventaris en vermeld in bijlage 4 behorend bij de aanvraag tot wijziging van de Kew-vergunning. Deze berekeningen hebben tot doel na te gaan in hoeverre de opslag voldoet aan de criteria van het Nederlandse risico-beleid.

Hiertoe wordt gebruikt gemaakt van de criteria Individueel Risico en Groepsrisico. Het groepsrisico is echter dusdanig klein dat het geen rol van betekenis speelt en wordt ook hier verder niet in beschouwing genomen.

In de ongevalsanalyses is onderscheid gemaakt tussen storingen, ongevallen en extreme ongevallen. De analyses betreffen zowel het Afvalverwerkingsgebouw (AVG), de opslaggebouwen voor laag- en middel radioactief afval en het Hoog radioactief Afval Behandelings- en OpslagGebouw (HABOG). De qua risico maatgevende ongevallen voor de opslaggebouwen voor laag- en middel radioactief afval worden met hun bijbehorende codering^[2], in tabel 8 vermeld.

tabel 8 Overzicht van storingen en ongevallen bij de opslag van laag- en middel radioactief afval in de opslaggebouwen met de kans van optreden

Ongeval code	Oorzaak	Kans per jaar
LOG 1/ COG 1/ VOG 1	Neerstortend vliegtuig	$5 \cdot 10^{-8}$
LOG 2/ COG 2/ VOG 2	Gaswolkexplosie	$1 \cdot 10^{-6}$
LOG 3/ COG 3/ VOG 3	Overstroming	$1 \cdot 10^{-6}$

Van deze ongevallen worden voor Gaswolkexplosie en Overstroming concrete getallen genoemd ten aanzien van het conditioneel individueel risico (d.w.z. het risico gegeven het ongeval). Deze getallen tezamen met de kans van optreden vormen het totale individuele risico voor volwassenen per jaar. Zie tabel 9.

tabel 9 Maximale individuele risico buiten de terreingrens ten gevolge van emissies bij de maatgevende ongevallen

Ongeval	Conditioneel risico volwassenen per jaar	Kans optreden van het ongeval per jaar	Individueel Risico per jaar
Neerstortend vliegtuig	$<2 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-8}$	$<10^{-13}$
Gaswolkexplosie	$2 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-12}$
Overstroming	$5 \cdot 10^{-11}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-17}$

Hierbij moet nog bedacht worden dat het conditioneel risico bij overstroming ervan uitgegaan is dat al het afval dat in het AVG, de LOG's COG's en VOG's aanwezig is, in aanraking komt met water.

De maatgevende ongevallen voor het laag- en middel radioactief afval in de opslaggebouwen met betrekking tot optredende risico's voor de omgeving zijn geselecteerd aan de hand van de berekende emissies voor alle geanalyseerde ongevallen. Deze selectie heeft plaatsgevonden op basis van een vergelijking van de geëmitteerde activiteit in verschillende nuclidegroepen, waarbij de geloosde activiteit is omgerekend naar radiotoxiciteitseenheden (Re).

Bij het ongeval "neerstortend vliegtuig" zijn de vrijkomende hoeveelheden activiteit dusdanig laag dat deze in de vergunningsaanvraag niet geselecteerd is. In ieder geval zal het conditioneel risico voor dit ongeval lager zijn dan $2 \cdot 10^{-6}$, en het individueel risico dus lager dan 10^{-13} per jaar. Dit is derhalve aangegeven in tabel 9.

De vraag is nu in hoeverre deze uitkomsten zich wijzigen door afval afkomstig uit HABOG onder te brengen in één of meerder gebouwen voor het laag- en middel radioactief afval. Gezien de ruime marge die aanwezig is tussen de gevonden waarde van $2 \cdot 10^{-12}$ /jaar, die geldig is voor de huidige radionuclide-inventaris, en de streefwaarde 10^{-8} /jaar en de limietwaarde van 10^{-6} /jaar wordt het zeer waarschijnlijk geacht dat het onderbrengen van de 66 vaten na 100 jaar en de 214 vaten na 200 jaar geen enkel probleem zal opleveren ten aanzien van deze criteria.

Uiteraard kan deze conclusie aan de hand van berekeningen geverifieerd worden indien een verdere onderbouwing gewenst is.

7.1 Omgevingsfactoren

Omdat gekeken wordt naar een levensduur van de COVRA voor een periode van 300 jaar is het zaak om directe invloeden vanuit de omgeving, hun wijzigingen over deze periode en gebeurtenissen die daaraan ten grondslag kunnen liggen nader te beschouwen.

In de eerder genoemde studie inzake de verlengen van de opslagduur voor LAVA ^[1], is dit uitgebreid behandeld. Als belangrijke factoren zijn beschouwd:

- klimaatveranderingen
- zeespiegelstijgingen
- landdaling
- geologische stabiliteit
- landgebruik

Dit leidde tot de volgende conclusies met betrekking tot de gebouwen en het daarin opgeslagen radioactief afval.

Klimaatveranderingen

Over de beschouwde periode wordt een temperatuurstijging van gemiddeld enkele graden verwacht. Dit heeft wellicht tot gevolg een stijging van de zeespiegel en een toename in intensiteit en frequentie van stormen. Ook kunnen stromingen langs de kust wijzigen. Met betrekking tot de temperatuurstijging als zodanig, is het onwaarschijnlijk dat een gemiddelde stijging van enkele graden invloed kan hebben op de constructie van de gebouwen en de stabiliteit van het afval.

Zeespiegelstijging

Gebaseerd op IPCC projecties, projecties van Rijkswaterstaat voor de betreffende locatie en waarschijnlijkheidsverdelingen, is geconcludeerd dat tot 2100 de overstromingskans voor het COVRA terrein beperkt is. De projectie voor het jaar 2300 laten zien dat zonder extra zeewering het terrein wellicht niet te handhaven is, technische mogelijkheden zijn evenwel voorhanden om afdoende beveiliging te garanderen. Daarbij is het HABOG zodanig ontworpen dat het waterdicht is tot een hoogte van 10m. + NAP. Deze ontwerphoogte komt overeen met een waterhoogte die een kans van optreden heeft van circa $10^{-6}/a$ voor de COVRA situatie in 2100 (deze waarde is gehanteerd in tabel 8 en 9).

Landdaling

De schatting van de bodemdaling voor de komende 300 jaar wordt geschat op 40 tot 170 mm. In feite is deze waarde al minder dan de onzekerheid in de zeespiegelstijging. Een bodemdaling zal dan ook niet wezenlijk bijdragen tot een verhoging van de overstromingskans van het COVRA terrein over deze periode.

Geologische stabiliteit

Hierbij wordt voornamelijk gedacht aan seismische activiteiten. De vestigingsplaats is gelegen in een gebied met lage seismische activiteit. Dit houdt in dat bewegingen die een drastische of voor de gebouwen desastreuze wijziging in de ondergrond kunnen veroorzaken als verwaarloosbaar mogen worden beschouwd. Daarbij is het HABOG ontworpen conform de NVR 3.10 die als eis kent het bestand zijn tegen versnellingen die een kans van optreden hebben van $10^{-6}/a$ (horizontaal $1m/s^2$, vertikaal $0,67m/s^2$).

Landgebruik

Bij een verlenging van de opslag is het zeer waarschijnlijk dat het gebruik van de omgeving een andere bestemming zal krijgen dan de huidige. Deze verlenging mag hiervoor geen belemmering vormen. Als norm geldt dat als gevolg van de opslag de Maximale Individuele Dosis (MID) de 1 mSv.a^{-1} niet mag worden overschreden. Aangetoond is dat de totale stralingsdosis bij bewoning in de directe omgeving volledig wordt gedomineerd door de directe straling (99%). Deze blijft conform de regelgeving $0,15 \text{ mSv.a}^{-1}$ en leidt tot een totale dosis voor de omgeving van $0,038 \text{ mSv.a}^{-1}$.

Conclusie

Aangegeven is dat de beschouwde omgevingsfactoren naar verwachting weinig of geen invloed zullen hebben. Een bijkomend aspect is dat het in meerderheid verschijnselen betreft die slechts langzaam in de tijd veranderen waardoor, indien nodig, tijdig afdoende tegenmaatregelen kunnen worden genomen.

8 HABOG, schatting van de investeringen

Bij het verlengen van de levensduur van de LOG's tot 300 jaar om het verplaatsen van het afval naar de eindopberging uit te stellen en in het geval van het laag- en middel actieve afval, tot vrijgave van het grootste deel van dat afval te komen ^[1], dient ook de levensduur van het HABOG verlengd te worden. In het HABOG is opgeslagen KSA, warmte producerend HAVA, niet warmte producerend HAVA en splijstofelementen van de Nederlandse onderzoeksreactoren. De opslagmodules van dit gebouw zijn verdeeld in drie opslagmodules voor KSA en de splijstofelementen en drie opslagmodules voor het HAVA. Een opslagmodule van elke groep van drie opslagmodules is reserve en staat dus leeg om eventueel radioactief afval over te kunnen pakken.

De opslagmodules voor KSA en splijstofelementen zijn intern voorzien van een roestvaststalen frame met daaraan opslagcilinders waarin het afval wordt geplaatst via een plug in de laadvloer ^[2]. Uitgangspunt is dat de interne delen van de opslagmodules een 100-jarige levensduur hebben en daarna dienen te worden vervangen. Gezien de uitvoering van de interne delen van deze modules kunnen deze niet verwijderd worden en herplaatst zonder delen van het gebouw af te breken. Daarom dienen er nieuwe modules te worden gebouwd, waarmee al rekening is gehouden bij het ontwerp.

In de HAVA opslagmodules is geen vast binnenframe, maar worden de HAVA opslagvaten vrijgestapeld eventueel m.b.v. een los frame voor een aantal vaten tegelijkertijd. De belading geschiedt m.b.v. van een op afstand bestuurd kraan. Zie verder voor een beschrijving ^[2].

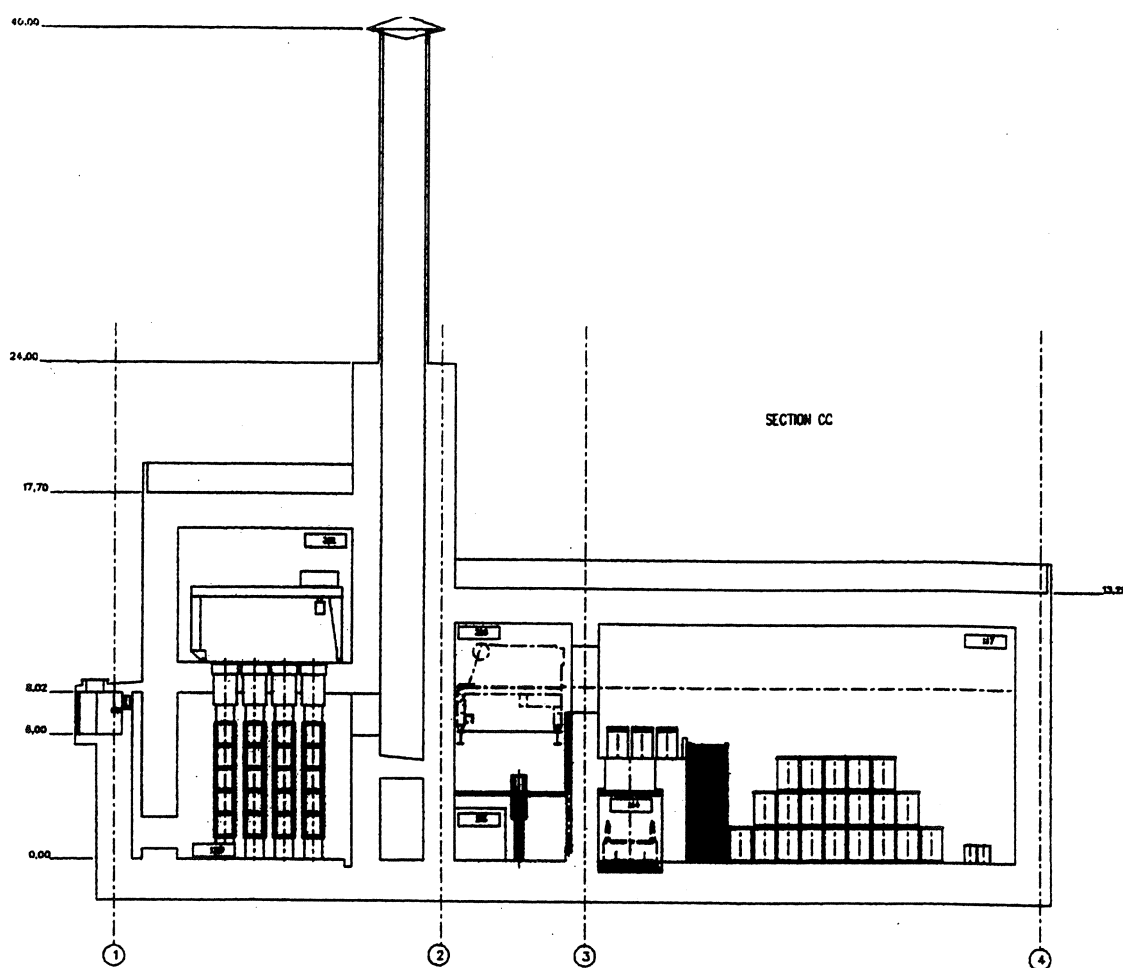
Om tot een kostenschatting te komen voor de nieuwbouw van de opslagmodules, zijn de volgende aannames gedaan:

- de totale kosten van het huidige HABOG ontwerp zullen ca. MNLG 241 bedragen
- naast de nieuwbouw van de opslagmodules dient de laadmachine te worden vernieuwd en het bewakingssysteem van de opslagcilinders (pijpen gevuld met inert gas waarin de KSA cilinders en cilinders met splijststofelementen worden opgeslagen)
- het behandelingsgebouw wordt daar in stand gehouden waar nodig zoals de behandelingsruimte voor het kunnen herstellen van de insluiting van de splijststofelementen in hun cilinder en het bewakings/besturingssysteem. Voor de afloop van de 300 jaar wordt een eenvoudig afvoergebouw gebouwd (plaatsingsmogelijkheid met laadmachine in container en plaatsen van container op vrachtwagen) aan het eind van de laatst gebouwde opslagmodules
- door het verval van het hoog radioactief afval zou het mogelijk zijn om de afscherming te verminderen en over te gaan tot compactere plaatsing. Echter het gebouw dient nog steeds te voldoen aan de externe invloeden (o.a. neerstortend vliegtuig) waardoor de externe wanddikte gelijk dient te blijven. Tevens wordt omdat dit een grove schatting betreft aangenomen dat een gelijk aantal modules zullen worden gebouwd
- in de kostenschatting wordt meegenomen het nodige onderhoud gedurende honderd jaar opslag.

De kosten van de bouw van de opslagmodules inclusief de laadmachines (KSA/splijststofelementen en de kraan voor het HAVA) en bewakings-/besturingssysteem wordt geraamd op basis van de huidige begroting op MNLG 100. De overige kosten van gedeeltelijke instandhouding van het behandelingsgebouw de onderhoudskosten en het te bouwen afvoergebouw wordt gemiddeld geraamd op MNLG 50 per 100 jaar. Als schatting wordt derhalve aangenomen dat gemiddeld MNLG 150 per modules vervanging benodigd is indien alle zes modules (drie voor KSA/splijststof waarvan een reserve en drie voor HAVA waarvan ook een reserve wordt vervangen). Dit bedrag is tweemaal nodig om tot een handhaving van de opslag tot 300 jaar te komen.

Van de geschatte bouwkosten voor alle opslagmodules, wordt geschat dat 65 MNLG nodig is voor de bouw van de drie KSA/splijststof modules en 35 MNLG voor de drie HAVA modules. Gezien de gemeenschappelijkheid van muren en de laadmachines wordt er vanuit gegaan dat nieuwbouw van een module voor KSA/splijststof ca. 20 MNLG kost inclusief de interne delen van de opslagruimte (pijpen/pluggen/ophangingen) en de laadmachine 5 MNLG (de afscherming van de laadmachine kan verminderd worden na 100 jaar). Voor het HAVA wordt 10 MNLG per module geraamd en ook 5 MNLG voor de op afstand bestuurbare kraan.

Onderstaande figuur 1 geeft een dwarsdoorsnede van het opslaggebouw, met aan de linkerzijde een opslagmodule voor KSA/splijststof en aan de rechterzijde een opslagmodule voor HAVA.



figuur 1 Dwarsdoorsnede HABOG opslagruimten

Voor de KSA/splijststof modules geldt ook dat de warmteafgifte na 100 jaar (en later) sterk verminderd is zodat eventueel de luchtkanalen zouden kunnen worden verkleind en ook de schoorsteen verlaagd. De nieuwe modules te bouwen na 100 jaar en na 200 jaar dienen dan herontworpen te worden. Voor de huidige schatting wordt er vanuit gegaan dat het gebouw ook na 100 en na 200 jaar nog steeds tegen neerstortende vliegtuigen ontworpen en gebouwd dient te zijn zodat de muurdikte ondanks de lagere stralingsniveaus van het afval gehandhaafd dient te blijven. Alleen ter plaatse van de ventilatiekanalen zou wat gewonnen kunnen worden. Voor de afschattingen in dit rapport wordt dit buiten beschouwing gelaten. In hoofdstuk 7 is een afschatting van de risico's gegeven na de eerste 100 jaar. Op basis daarvan zou het ontwerp tegen neerstortende vliegtuigen in heroverweging genomen kunnen worden.

9 Overwegingen, kostenreductie

De instandhouding van het HABOG vraagt meer dan een inventarisatie van de levensduur van de afzonderlijke materialen. Algemeen kan worden gesteld dat de verwachte levensduur staat of valt met het beheer van het gebouw. De in bijlage D ^[1] genoemde onderhoudsaspecten en frequenties zullen bewaakt moeten worden om een verlengde levensduur zeker te stellen. Tevens zullen de conclusies uit de controles vertaald moeten worden naar het verdere verloop van de instandhouding van het gebouw.

Daarnaast dient de beheerder toe te zien op adequaat handelen in geval van mechanische beschadigingen. Onderhoud en reparaties verricht door de oorspronkelijke leverancier biedt de meeste waarborg ten aanzien van de verwachte levensduur.

Een levensduurverlenging van 100 naar 300 jaar voor het HABOG is mogelijk mits volgens schema wordt geïnspecteerd en onderhoud wordt gepleegd. Bepaalde componenten moeten op gezette tijden worden vervangen.

Voor de levensduur verlenging van het HABOG tot 300 jaar met name voor de opslagruimten zijn verschillende opties mogelijk

9.1 Optie 1

De eenvoudigste optie is de volledige vervanging van de opslagmodules (3 voor KSA/splijtstof en 3 voor HAVA). Daarmee wordt ook hier een levensduurverlenging van 100 naar 300 jaar voor het HABOG gerealiseerd. De investering voor deze optie bedraagt MNLG 300.

Dit is gebaseerd op de investeringschattingen van MNLG 50 per 100 jarige periode voor onderhoud en instandhouding en MNLG 100 per 100 jarige periode voor de herbouw van de 6 opslagmodules ^[1].

9.2 Optie 2

Zoals blijkt uit hoofdstuk 6, kan de bulk van het HAVA, namelijk 95% van het ontmantelingsafval, na 100 jaar opslag worden verplaatst naar het LOG. Nog eens 100 jaar later volgt dan nog 8%, waarvan de hoofdmoot nog steeds wordt gevormd door ontmantelingsafval. Het KSA wordt buiten beschouwing gelaten omdat dit in de andere opslagmodules is opgeslagen en ook niet zal voldoen aan de norm voor laag- en middel actief afval na 100 of 300 jaar. Bovenstaand betekent simpelweg dat na 100 jaar één opslagmodule voor HAVA niet meer gebouwd hoeft te worden. Na de tweede periode van 100 jaar zijn nog steeds een module plus een reserve nodig voor het opslaan van het resterende HAVA.

Als nu overplaatsing van het HAVA geoorloofd is, is de investering om het HABOG 300 jaar in stand te houden dan als volgt.

tabel 10 Optie 2 Kostenschatting

Millenium	Maatregel verlenging levensduur	MNLG
Tweede 100 jaar	Onderhoud	50
	Herbouw 3 KSA modules	65
	Herbouw 2 HAVA modules	25
Derde 100 jaar	Onderhoud	50
	Herbouw 3 KSA modules	65
	Herbouw 2 HAVA modules	25
Totaal		280

Aangenomen is dat bij de LOG opslaggebouwen voldoende opslagcapaciteit voorhanden is danwel door afvoer van vrijgevallen LAVA voorhanden komt, dat een overplaatsing heel goed mogelijk is ^[1]. De besparing door deze aanpak is op het totaal ten aanzien van de schatting voor de eenvoudigste optie gering.

9.3 Optie 3

Een derde mogelijkheid zou zijn om de reserve modules zowel voor het KSA en het HAVA zodanig te conserveren, dat deze intern de 100 jarige perioden doorstaan. Met name de interne delen van de derde KSA opslagmodule dienen geconserveerd te worden. Dit kan bijvoorbeeld door een geconditioneerd milieu in de opslagruimte aan te brengen. Dit zal enige extra investeringen gedurende de 100 jarige perioden met zich meebrengen. Dit wordt conservatief geschat op MNLG 10. Dit levert dan het volgende herbouw schema op en geschatte investeringen. Rekening is gehouden met een vermindering van het aantal HAVA modules met 1.

tabel 11 Optie 3 Kostenschatting

Millenium	Maatregel verlenging levensduur	MNLG
Tweede 100 jaar	Conservering reserve modules	10
	Onderhoud	50
	Herbouw 2 KSA modules	45
	Herbouw 1 HAVA module	15
Derde 100 jaar	Conservering reserve modules	10
	Onderhoud	50
	Herbouw 2 KSA modules	45
	Herbouw 1 HAVA modules	15
Totaal		240

9.4 Optie 4

Een alternatieve mogelijkheid zou zijn om de HAVA modules qua civiele uitvoering niet te herbouwen, maar te hergebruiken. Voordat de levensduur van de interne delen is bereikt wat in de

HAVA opslagmodules niet meer is dan de kraan aansluitingen, de beveiliging en bewakingssystemen en enkele andere onderdelen, moet een HAVA module ontladen worden in de reserve module. De interne onderdelen in de nu lege HAVA ruimte worden vervangen en het HAVA wordt weer terug geplaatst. Voor het hergebruik van de twee HAVA modules is 7 MNLG geschat in voor de tweede 100 jarige periode; 1 MNLG per module voor de systeemvloer en civiele onderhoudsaspecten intern en MNLG 5 voor de kraan en de bewaking/beveiligings-systemen. Voor de “derde” 100 jarige periode geldt hetzelfde.

Als dit wordt overwogen en ook rekening houdend met het feit dat na 100 jaar maar twee HAVA modules nodig zijn en de reserve KSA module hergebruikt kan worden, dan wordt de kostenafschatting als volgt:

tabel 12 Optie 4 Kostenschatting

Millenium	Maatregel verlenging levensduur	MNLG
Tweede 100 jaar	Conservering reserve modules	10
	Onderhoud	50
	Herbouw 2 KSA modules	45
	Hergebruik 1 HAVA module	7
Derde 100 jaar	Conservering reserve modules	10
	Onderhoud	50
	Herbouw 2 KSA modules	45
	Hergebruik 1 HAVA module	7
Totaal		224

Een dergelijke aanpak zou een aanzienlijk grotere besparing opleveren dan de eerst genoemde. Echter het hergebruiken van de modules zowel voor KSA (met conservering) en het HAVA zal nader onderzocht dienen te worden of dit voor die lange periode een technische reële oplossing is. En zo ja dient een reëler kostenschatting van het hergebruik gemaakt te worden.

Een ander punt is dat de modules op dit moment zowel voor KSA als voor HAVA per 6 gebouwd worden. Bovenstaande opties gaan er vanuit dat er bijvoorbeeld twee KSA modules aangebouwd kunnen worden en geen HAVA modules (zie optie 4). Omdat in het ontwerp een aantal ontwerp-uitgangspunten zitten zoals tegen vliegtuigongevallen beschermd en er onderdelen van de midden-gang gebruikt worden voor (nuts)voorzieningen, etc. (zie figuur 1), zal op een aantal plekken het ontwerp aangepast dienen te worden of opnieuw doorgerekend.

10 Conclusies

Aangetoond is dat ook een verlenging van de duur van bovengrondse opslag van hoogradioactief- en kernsplijtings afval van 100 naar 300 jaar goed mogelijk is en een aantal voordelen biedt.

Naast het al eerder ^[1] aangegeven voordeel dat IBC en terugneembaarheid gewaarborgd zijn, liggen deze voordelen vooral op het gebied van de reductie van de hoeveelheid HAVA door natuurlijk verval en daaraan gekoppeld een kostenbesparing bij een aangepast beleid m.b.t. handhaving van een (gereduceerde) opslagcapaciteit voor HAVA.

Ook de reductie van de hoeveelheid HAVA die voor eindopberging na 300 jaar zal worden aangeboden levert voordeel op in de zin dat ook hier een verminderde capaciteit nodig zal zijn.

Als eindconclusie van deze studie geldt dat bij een verlenging van de opslag van HAVA, KSA en splijtstofelementen, zoals deze bij COVRA worden opgeslagen, van 100 naar 300 jaar:

- het opgeslagen KSA en de splijtstofelementen gedurende de gehele periode van 300 jaar als hoog radioactief afval moeten worden behandeld en ook voor eindopberging moeten worden aangeboden
- het ontmantelings afval voor het grootste gedeelte (> 95%) reeds na 100 jaar als vervallen tot MAVA/LAVA kan worden opgeslagen
- van het overige opgeslagen HAVA ca. 35 % na 200 jaar zodanig vervallen is, dat het als MAVA/LAVA kan worden opgeslagen, waarbij aan de risicocriteria wordt voldaan (zie paragraaf 4.2)
- dit overige HAVA als geheel na 300 jaar als MAVA/LAVA voor eindopberging kan worden aangeboden, met uitzondering van de 50 H&E vaten waarin de 700 ECN HAVA drums, zijn opgeslagen. In deze configuratie blijven deze vaten onder de categorie HAVA vallen
- de wijziging in behandeling van oorspronkelijk hoog radioactief afval dat vervallen is tot laag- of middel radioactief afval afhankelijk van de in te vullen optie in vergelijking met de eerder beschouwde oplossing van enkel het vervangen van de bestaande opslagcapaciteit een kostenbesparing tot ca. 25 % kan opleveren.

Literatuur

- [1] L.C. Scholten, Inventarisatie en mogelijkheden voor bovengrondse opslag voor 300 jaar van radioactief afval bij COVRA, KEMA rapport 41436-NUC 98-5472, 29 juli 1998
- [2] COVRA 1995, Milieueffect rapport (Behorend bij de aanvraag tot wijziging van de KEW vergunning van COVRA N.V.), rapport nr. MER-COVRA N.V., rev. 0, 15 augustus 1995
- [3] Bijlage B behorend bij de vergunning in het kader van de KEW, 30 augustus 1989
- [4] Programma van Eisen HABOG, COVRA N.V. HUKTS802, april 1996, revisie E
- [5] Basic design Phase III HABOG, 1996. COVRA N.V.
- [6] Nota Radioactief afval, VROM, 1984
- [7] Proceedings Int. symposium on Experience in the Planning and Operation of low level Waste Disposal Facilities IAEA, 1996
- [8] Besluit stralen bescherming kernenergie, Staatcourant 465
- [9] COVRA jaarverslag 1996, met toelichting COVRA
- [10] Information package HFR HEU elements, HUKTS812 rev. A, 950104
- [11] Information package HOR elements. HUKTS814 rev. A, 7 April 1995

bijlage A Inventarisatie afval in HABOG

A.1 Nuclideninventaris van een verglaasde container

(volgens opgave van de fabrikanten)

COGEMA *)	
Nuclide	Bq
Ru+Rh	3.24E15
Cs+Ba	1.12E16
Sr+Y	6.73E15
overigen	6.94E15
Am	3.96E13
Cm	1.00E14
Pu	1.18E12
Np	klein
U	klein

BNFL **)		
Nuclide	α -Bq	β -Bq
Am	7.44E13	
Np	1.57E10	6.05E11
Cm	3.81E13	
U	3.07E07	
Pu	4.75E11	1.79E13
Ru+Rh		7.97E14
Cs+Ba		1.08E16
SR+Y		7.35E15
Sb+Te		1.18E14
Ce+Pr		5.05E14
Pm		1.98E15
Sm		1.21E13
Eu		3.48E14
overigen	4.82E08	1.35E12

*) 8 jaar na verwijdering uit een PWR reactor

**) 6 jaar na verwijdering uit een BWR reactor

A.2 Nuclideninventaris van een brandstofelement na 3 jaar koeltijd in GBq

Nuclide	T1/2	HFR	LFR	HOR
Kr-85	10.73 j	2.57E3	7.00E-1	
Sr-90	29.1 j	2.33E4	2.25E1	
Y-90	2.67 d	2.33E4	2.25E0	
Ru-106	1.01 j	4.65E3	-	
Rh-106	29.8 m	4.65E3	-	
Sb-125	2.73 j	5.96E2	-	
Te-125m	58 d	1.43E2	-	
Cs-134	2.06 j	1.23E4	-	
Cs-137+	30.2 j	2.42E4	2.39E1	
Ce-144	285 d	3.76E4	-	
Pr-144	17.3 m	3.77E4	-	
Pr-144m	7.2 m	4.53E2	-	
Pm-147	2.62 j	2.61E4	-	
Eu-154	8.61 j	9.48E2	-	
Eu-155	4.96 j	3.35E2	-	
U-235	7.04E8 j		1.52E-2	3.92E-4
Pu-238	87.8 j	4.34E2	4.74E-6	
Pu-239	24E3 j	2.73E0	1.41E-3	8.63E-3
Pu-240	6.5E3 j	2.06E0	8.25E-6	2.97E-2
Pu-241	14.4 j	9.50E2	9.77E-7	
Am-241	433 j	5.25E0	-	
Cm-242	163 d	1.44e0	-	
Cm-244	18.1 j	5.05E0	-	

A.3 Nuclideninventaris van HAVA in drums in TBq

Nuclide	COGEMA			BNFL	ECN
	H&E drums	CBFC-2 drums ¹⁾	Bitum. drums ²⁾	drums	HAVA drums ³⁾
H-3	10.4			21.3	40.11
Na-22					55.15
Cr-51					742
Mn-54					606.7
Fe-55	91.8			3.68	
Fe-58					30.08
Fe-59					436.2
Zn-65					75.21
Co-58					215.6
Co-60	83.6			9.46	917.5
Ni-63	15.8			3.56	45.12
Kr-85	0.7			0.09	
Sr-90+	8.7			1.13	
Ru-106+	8.7			1.23	55.15
In-115					35.1
Cd-115					45.12
Sn-119m	14.8				
Sn-121m				3.13	
Sb-125	20.1			9.78	35.1
Te-125m				2.25	
Cs-134	4.4			0.29	366

Nuclide	COGEMA			BNFL	ECN
	H&E drums	CBFC-2 drums ¹⁾	Bitum. drums ²⁾	drums	HAVA drums ³⁾
Cs-137+	13.5			9.02	737
Ce-144+	9.6			0.01	511.4
Pm-147	3.0			0.25	
Eu-154	0.2			1.21	
W-187					65.18
Pu-238	0.01			0.018	
Pu-239	0.35			0.010	
Pu-240	0.14			0.011	
Pu-241	2			1.11	
Pu-242	0.03				
Am-241	0.02			0.025	
Cm-244	0.02			0.006	

¹⁾ nuclide inventaris wordt per drum gespecificeerd met garantie vooraf dat β/γ -activiteit < 3.15 TBq en α -activiteit < 0.63 TBq

²⁾ gegarandeert wordt dat $A1 + 80A2 \leq 5.18$ TBq
 waarin A1= totale β/γ -activiteit, behalve van Pu-241
 A2= totale α -activiteit (Pu-241= 30(α -totaal))

³⁾ totale inhoud van 500 drums op 93-02-25

bijlage B Overzicht invoergrootheden Microshield berekeningen

De MicroShield berekeningen betreffen hoofdzakelijk cilindrische bronnen en cilindrische afschermingen.

De invoerwaarden betreffen de volgende grootheden en bijgevoegd is een voorbeeld van de BNFL MEB Crud/BaCO₃ Slurry ^[4]:

- Afstand middelpunt vat tot oppervlakte vat: 36.74 cm
- Hoogte vatinhoud: 101.5 cm
- Berekeningspunt dosis vanaf onderkant vat: 50.75 cm
- Vat radius: 36.5 cm
- Dikte van vatwand: 0.23 cm
- Lucht spleet tussen buitenkant vat en dosispunt: 0.01 cm
- Bron volume (volgt uit ingevoerde waarden): 0.425 m³

Veronderstelt wordt dat het vatinhoud qua afschermingskarakteristieken vergelijkbaar is met beton.

- De gehanteerde dichtheid is: 2.62 g/cm³
- Dichtheid metaal van het vat: 7.86 g/cm³

Radionuclide inhoud van mixed MEB/barium Carbonate slurry residue vat (brandstof 10 jaar na reactorbedrijf):

Nuclide	Bq/vat	Nuclide	Bq/vat	Nuclide	Bq/vat
Kr-85	4.12E+08	Ce-144	7.16E+06	U-237	1.16E+05
Co-60	1.90E+11	Pr-144	7.24E+06	U-238	1.84E+04
Mn-54	3.10E+07	Pm-147	5.71E+08	Np-237	1.53E+04
Sr-90	3.36E+09	Eu-152	2.00E+05	Np-239	8.68E+05
Y-90	3.36E+09	Eu-154	1.99E+08	Pu-238	1.30E+08
Tc-99	9.52E+05	Eu-155	1.06E+08	Pu-239	1.99E+07
Ru-106	3.02E+07	Ra-226	2.34E-02	Pu-240	3.07E+07
Rh-106	3.02E+07	Ac-227	4.85E-01	Pu-241	4.73E+09
Sb-125	3.58E+07	Pa-231	1.76E+00	Am-241	1.06E+08
I-129	3.60E+08	U-233	2.42E+00	Am-242	3.95E+05
Cs-134	2.85E+08	U-234	6.90E+04	Am-243	8.68E+05
Cs-135	2.14E+04	U-235	1.16E+03	Cm-242	3.28E+05
Cs-137	4.85E+09	U-235m	1.99E+07	Cm-243	7.39E+05
Ba-137m	4.59E+09	U-236	1.56E+04	Cm-244	6.56E+07

Build-up factor (verhoging dosis door scattering) gebaseerd op de Taylor methode.

Integratieparameters (d.w.z. bron opdeling in blokjes ter verhoging nauwkeurigheid):

- Aantal van laterale hoeksegmenten: 25
- Aantal van azimuthale hoeksegmenten: 25
- Aantal van radiale segmenten: 25

