

MAART 1997

ECN-C--96-087



CONCEPT ONTWERP TERUGHAALBARE BERGING IN STEENZOUT

Eindrapport 1996 METRO I

J.J. HEIJDR
J. PRIJ

The Netherlands Energy Research Foundation ECN is the leading institute in the Netherlands for energy research. ECN carries out basic and applied research in the fields of nuclear energy, fossil fuels, renewable energy sources, policy studies, environmental aspects of energy supply and the development and application of new materials.

ECN employs more than 700 staff. Contracts are obtained from the government and from national and foreign organizations and industries.

ECN's research results are published in a number of report series, each series serving a different public, from contractors to the international scientific world.

The C-series is for contract reports that contain the results of contract research. The contractor's name can be found on page 2.

Het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) is het centrale instituut voor onderzoek op energiegebied in Nederland. ECN verricht fundamenteel en toegepast onderzoek op het gebied van kernenergie, fossiele-energiedragers, duurzame energie, beleidsstudies, milieuaspecten van de energievoorziening en de ontwikkeling en toepassing van nieuwe materialen.

Bij ECN zijn ruim 700 medewerkers werkzaam. De opdrachten worden verkregen van de overheid en van organisaties en industrieën uit binnen- en buitenland.

De resultaten van het ECN-onderzoek worden neergelegd in diverse rapportenseries, bestemd voor verschillende doelgroepen, van opdrachtgevers tot de internationale wetenschappelijke wereld.

De C-serie is de serie voor contractrapporten. Deze rapporten bevatten de uitkomsten van onderzoek dat in opdracht is uitgevoerd. De opdrachtgever staat vermeld op pagina 2.

Netherlands Energy Research Foundation ECN
P.O. Box 1
NL-1755 ZG Petten
the Netherlands
Telephone : +31 224 564949
Fax : +31 224 564480
WWW : <http://www.ecn.nl/>

This report is available on remittance of Dfl. 35 to:
ECN, Facility Services,
Petten, the Netherlands
Postbank account No. 3977703.
Please quote the report number.

© Netherlands Energy Research Foundation ECN

Energieonderzoek Centrum Nederland
Postbus 1
1755 ZG Petten
Telefoon : (0224) 56 49 49
Fax : (0224) 56 44 80
WWW : <http://www.ecn.nl/>

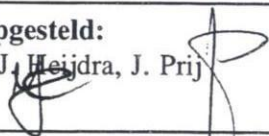



Dit rapport is te verkrijgen door het overmaken van f 35,- op girorekening 3977703 ten name van:
ECN, Faciliteiten
te Petten
onder vermelding van het rapportnummer.

© Energieonderzoek Centrum Nederland

CONCEPT ONTWERP TERUGHAALBARE BERGING IN STEENZOUT

Eindrapport 1996 METRO I

J.J. HEJDRA
J. PRIJ

| Revisie | | |
|--|---|---|
| Concept, December 1996 | | |
| Definitief, Maart 1997 | | |
| Opgesteld: J. J. Heijdra, J. Prij  | Vrijgegeven: J.B. Grupa  | ECN Nucleaire Energie Nucleaire technologie |
| Gecontroleerd: J.B. Grupa  | Goedgekeurd : H.T. Klippel  12/3/97 | |

Onderstaand onderzoek is uitgevoerd in het kader van het programma voor onderzoek naar terughaalbare opberging van radioactief afval in de Nederlandse ondergrond. Mede gefinancierd door het Ministerie van Economische zaken en gecoördineerd door de wetenschappelijke begeleidingscommissie Commissie Opslag Radioactief Afval.

Abstract

Een werkbare definitie van het begrip terughaalbare opslag is gepresenteerd. Gebaseerd op deze definitie is een concept ontwerp gemaakt van een faciliteit voor terughaalbare opslag in steenzout. Een technische oplossing voor het plaatsen en terugnemen van de containers met hoog actief warmtegenererend afval wordt gepresenteerd. Het concept wordt geëvalueerd op zijn geschiktheid wat betreft de stralings- en temperatuur belasting voor de ondergronds verblijvende werknemers.

INHOUD

| | |
|---|----|
| 1. INLEIDING | 5 |
| 2. EISEN EN RANDVOORWAARDEN | 7 |
| 2.1 Definitie van terughaalbaarheid | 7 |
| 2.2 Hoeveelheid afval | 8 |
| 2.3 Transmutatie | 9 |
| 3. DETAIL CONCEPT OPBERGING | 11 |
| 3.1 Opbergholten | 11 |
| 3.2 Overpack | 13 |
| 3.3 Afschermingsberekeningen voor de mijngangen | 13 |
| 3.3.1 Berekening van de nuclideninventaris in het KSA | 13 |
| 3.3.2 Berekening van de benodigde dikte van de zoutprop | 14 |
| 3.3.3 Discussie en Conclusies | 14 |
| 3.4 Temperatuurberekeningen | 15 |
| 4. GLOBALE PLANNING VAN DE MIJN | 17 |
| 4.1 Schachten | 17 |
| 4.2 Ondergrondse ruimten | 17 |
| 5. HET TERUGHALEN | 19 |
| 5.1 Plaatsbepaling van de container | 19 |
| 5.2 Vrijmaken van de container | 19 |
| 6. INVLOED VAN MEER EN ANDERSOORTIG AFVAL | 21 |
| 6.1 Grotere hoeveelheid afval | 21 |
| 6.2 Direct opgeborgen splijstof | 21 |
| 7. DISCUSSIE EN CONCLUSIES | 23 |
| LITERATUUR | 25 |

AFKORTINGEN EN BEGRIPPEN

| | |
|------------------|---|
| Cogema container | Roestvrij stalen cilindrische container gevuld met in glas gegoten afval dat resteert na het opwerken van gebruikte splijtstof. |
| HAW | H igh A ctive W aste, Radioactief afval dat een hoge stralingsdosis afgeeft en daarnaast een aanzienlijke hoeveelheid warmte. |
| KSA | K ern S plijtings A fval, het materiaal wat resteert nadat de brandstof in een reactor voor energie opwekking gebruikt is. |
| LWR | L ight W ater R eactor Een met natuurlijk water gekoelde kernreactor. |
| NEA | N uclear E nergy A gency. Organisatie van de OECD, O rganisation for E conomic C o-operation and D evelopment voor samenwerking op het gebied van de ontwikkeling van kernenergie als een veilige milieuvriendelijke en economische energiebron. |
| PROSA | P robabilistic S afety A ssessment. Onderzoeksproject naar de veiligheid van ondergronds opgeborgen nucleair afval met gebruik van probabilistische methoden. |

1. INLEIDING

Omdat hoog actief afval dat bij de productie van nucleaire energie ontstaat gedurende een zeer lange tijd een gevaar voor de gezondheid kan vormen moet het voor lange tijd geïsoleerd worden van mens en milieu. Ondergrondse berging in geologisch stabiele formaties is een mogelijkheid om de gewenste langdurige isolatie te bewerkstelligen met behulp van door de mens gemaakte en natuurlijke barrières. Omdat de door de mens gemaakte barrières tegen ongewenste vrijzetting een levensduur hebben die gezien op de geologische tijdschaal zeer kort is, wordt bij het ontwerp van een opbergfaciliteit groot belang gehecht aan de natuurlijke barrières. Om deze redenen wordt een geologische berging over het algemeen gezien als een eindopberging waarbij de aanwezigheid van het afval de toekomstige generaties zo min mogelijk zal belasten. In Nederland is door de overheid het standpunt geformuleerd dat ondergrondse opberging alleen is geoorloofd indien het afval terughaalbaar is. Voor die terughaalbaarheid kunnen diverse redenen worden aangevoerd zoals onder meer hergebruik, veiligheid en verdere bewerking. Omdat nadere invulling van het begrip terughaalbaarheid zijn weerslag kan hebben op het ontwerp, de kosten en de veiligheid van de opbergfaciliteit zal eerst een bruikbare definitie van terughaalbaarheid gegeven moeten worden.

Bij de in het verleden beschouwde concepten is de eis van terughaalbaarheid niet in beschouwing genomen en derhalve is er onderzoek nodig naar technische oplossingen die terughaalbare opslag in zout of klei mogelijk maken. Daarnaast moet onderzocht worden of en in welke mate terughaalbaarheid van invloed is op de veiligheid. Zowel de veiligheid tijdens het bedrijf van de opbergfaciliteit als de lange termijn veiligheid welke van belang is voor de na ons komende generaties.

Omdat het begrip terughaalbaarheid door de regelgever nog niet duidelijk omschreven is wordt een invulling van dit begrip gepresenteerd die kan dienen om het ontwerp van een terughaalbare opslag te kunnen uitvoeren. Daarnaast worden in dit rapport voorstellen gedaan voor overige eisen en randvoorwaarden die door de regelgever moeten worden gegeven en die nog niet gedefinieerd zijn.

Er wordt een concept gepresenteerd voor een terughaalbare berging in steenzout. Een keuze voor de manier van opbergen wordt gemotiveerd en met behulp van berekeningen aan het dosistempo in de galerij en de temperatuur van het zout en in de galerij wordt de haalbaarheid van het concept aangetoond.

Er wordt aandacht besteed aan de wijze van terughalen van het hoog actieve afval en een globaal overzicht van het ontwerp van de gehele mijn wordt gegeven.

Zoals elk constructief ontwerp is het ontwerpen van een ondergrondse opbergfaciliteit een iteratief proces waarbij een ontwerp moet worden gecreëerd alvorens aan dit ontwerp gerekend kan worden. De uitkomsten van de diverse berekeningen worden vervolgens gebruikt om het ontwerp aan te passen waarna opnieuw gerekend kan worden etc. Naast berekeningen die moeten aantonen dat aan de eisen en veiligheid voldaan wordt moeten ook de kosten geëvalueerd worden en moet aangetoond worden dat ook wat betreft het economische aspect de optimale oplossing is gekozen.

Deze studie naar de kosten valt buiten het kader van dit projectdeel en zal uitgevoerd worden in het project METRO2.

2. EISEN EN RANDVOORWAARDEN

Naast de functionele eisen waaraan een ontwerp moet voldoen zullen er ook altijd randvoorwaarden zijn die de keuzevrijheid in het ontwerpproces beperken en waarbinnen de ontwerper zijn oplossingen moet vinden. Daarnaast zullen er tijdens het ontwerp aannamen gedaan moeten worden ten aanzien van eisen en randvoorwaarden die niet of nog niet bekend zijn en eventueel later door berekeningen of modelstudies getoetst kunnen worden en mogelijk een bijstelling van het ontwerp noodzakelijk maken.

De belangrijkste eisen en randvoorwaarden die als uitgangspunt dienen voor het ontwerpen van een terughaalbare opslagfaciliteit zijn in dit hoofdstuk vermeld.

2.1 Definitie van terughaalbaarheid

Bij het opstellen van een nadere omschrijving van het begrip terughaalbaarheid is naast het kabinetsstandpunt [1] gebruik gemaakt van de NEA publicatie NEA/NE(95)4 "Collective opinion of the radioactive waste management committee on the environmental and ethical basis of geological disposal"[2].

De belangrijkste overwegingen uit beide publicaties welke een rol gespeeld hebben bij het formuleren van het begrip terughaalbaarheid zijn:

Uit het kabinetsstandpunt:

- *Een bergingsfaciliteit moet, ongeacht de locatie, zodanig zijn ingericht dat de veiligheid maximaal is in reguliere en uitzonderlijke of onverwachte situaties.*
- *Het afval moet ook op langere termijn terughaalbaar zijn.*
- *De gekozen wijze van berging dient als geheel een proces te betreffen dat met het oog op beheersbaarheid in principe omkeerbaar is.*
- *De eis van terughaalbaarheid heeft als gevolg dat toekomstige generaties worden belast met een zorgplicht voor het hoog toxisch afval. Naar verwachting weegt het nadeel van de inspanning die dit vergt in tijd en geld echter niet op tegen de voordelen van de mogelijkheid tot interventie, herbestemming en relocatie.*

Uit het NEA standpunt:

- *Een zeer belangrijke tekortkoming bij de strategie van het doorgeven van de zorgplicht is de aanname van stabiliteit van de toekomstige generaties en de continuïteit van het vermogen om de noodzakelijke veiligheidsmaatregelen te nemen en bestuurlijke keuzes te maken.*
- *De strategie voor het opbergen van radioactief afval moet niet gebaseerd zijn op de veronderstelling van stabiliteit van de samenleving, evenmin op die van technologische vooruitgang; daarentegen moet zij erop gericht zijn als nalatenschap voor de toekomstige generaties een passief veilige situatie te creëren welke geen actieve bemoeienis meer vergt.*

Een mogelijke oplossing die voldoet aan bovenstaande ogenschijnlijk tegengestelde eisen is gevonden doordat het ondergronds bergen van afval een langdurige operatie is welke in een aantal fasen plaats vindt. De overgang van de ene naar de andere fase kan naar believen uitgesteld worden, waardoor zolang als wenselijk is een situatie kan worden gecreëerd die enerzijds het terugnemen niet onmogelijk maakt en anderzijds een zekere mate van passieve veiligheid biedt. Bij het aldus ontstane concept wordt al het afval ondergronds geborgen en de opbergholten zodanig afgedicht dat voldoende veiligheid geboden wordt ingeval van onverwachte situaties zoals het onderlopen of verwaarlozen van de mijn. De mijn blijft in bedrijf en het afval is zodanig toegankelijk dat elke afvalcontainer individueel teruggenomen kan worden zonder de overige containers daarbij te verstoren. De opberging is zodanig dat overal in de mijn waar personeel of machines toegang hebben het stralingsniveau laag genoeg is om geen ongewenste persoonlijke dosis te veroorzaken.

Het bovengeschetste model introduceert een vorm van ondergrondse interim opslag voor een beperkte tijd. Gedurende deze periode kan het besluit genomen worden tot definitieve afsluiting of, bij het ontbreken van voldoende draagvlak voor dit besluit, kan de periode naar believen verlengd worden. Bij het ontwerp van de mijn en vooral bij de berekening van de kosten zal een nadere bepaling van deze interim periode noodzakelijk zijn. Omdat maatschappelijke en economische modellen de toekomstige ontwikkelingen ten hoogste voor een periode van 20-30 jaar kunnen voorspellen, zal daar waar kwantificering van de interim periode noodzakelijk is, uitgegaan worden van een periode van 25 jaar. Een besluit tot verlenging van de interim periode dan wel tot definitieve afsluiting van de mijn moet uiterlijk aan het eind van deze periode genomen zijn. Ook bij definitieve afsluiting van de mijn is het in beginsel niet onmogelijk het afval terug te halen. Door het aanleggen van een volledig nieuwe mijn kan in alle gevallen het afval weer beschikbaar gemaakt worden. In [3] wordt aangetoond dat het aanleggen van een nieuwe mijn al na een periode variërend van 40 tot 100 jaar goedkoper is dan het in bedrijf houden van een faciliteit.

Als verdere randvoorwaarde is gesteld dat iedere afvalcontainer individueel teruggehaald moet kunnen worden zonder de overige containers daarbij te verstoren. Daarnaast moeten de galerijen toegankelijk zijn voor inspectie. De periode waarin het afval weer aan het maaiveld gebracht moet kunnen worden is verondersteld van gelijke orde van grootte te zijn als de periode nodig voor het opbergen van het afval.

2.2 Hoeveelheid afval

Bij de bepaling van de hoeveelheid op te bergen afval wordt uitgegaan van het afval van de huidige centrales. Het is niet bekend of het nucleaire vermogen in Nederland nog uitgebreid wordt, maar de optie wordt open gehouden. Daarom wordt naast het afval van de huidige centrales, eveneens aangegeven wat de consequenties voor de kosten en de veiligheid zijn van uitbreiding van het nucleair vermogen. Omdat er op het moment geen reële schatting voorhanden is van het in de toekomst te installeren vermogen zullen de consequenties van uitbreiding van het vermogen alleen kwalitatief behandeld worden

Er wordt van uit gegaan dat de centrales hun huidige contracten voor opwerking van de bestraalde splijtstof handhaven. Dit houdt in dat het afval van de huidige centrales als verglaasd opwerkingsafval ter beschikking komt. De nuclideninventaris en de warmte productie zijn gebaseerd op de aanname dat de brandstof drie jaar na ontladen wordt opgewerkt en dat vervolgens het verglaasde afval 50 jaar bovengronds in een interim opslagfaciliteit blijft.

Het kernsplijtingsafval van de eventueel in de toekomst te installeren centrales kan opgewerkt worden en als verglaasd afval opgeslagen worden dan wel direct als afgewerkte splijtstof opgeslagen worden. Omdat een keuze voor een van deze alternatieven op het moment nog niet voor de hand ligt, worden beide in beschouwing genomen. Voor kwantificering van de afval hoeveelheden zal gebruikt gemaakt worden van de PROSA studie [4].

In de onderhavige studie wordt de eis van terughaalbaarheid alleen voor het kernsplijtingsafval gehanteerd. Het overige niet hoog toxische afval wordt gedacht te zijn opgeslagen in een definitieve mijn dan wel in een ondiepe berging te land.

2.3 Transmutatie

Er wordt voor deze studie vanuit gegaan dat eventuele transmutatie van het hoog actieve afval geen of weinig invloed heeft op het ontwerp en de kosten van de opbergfaciliteit. De gevolgen voor de veiligheid op lange termijn van mogelijke transmutatie worden niet binnen METRO beschouwd maar zullen in andere projecten uitgewerkt worden.

3. DETAIL CONCEPT OPBERGING

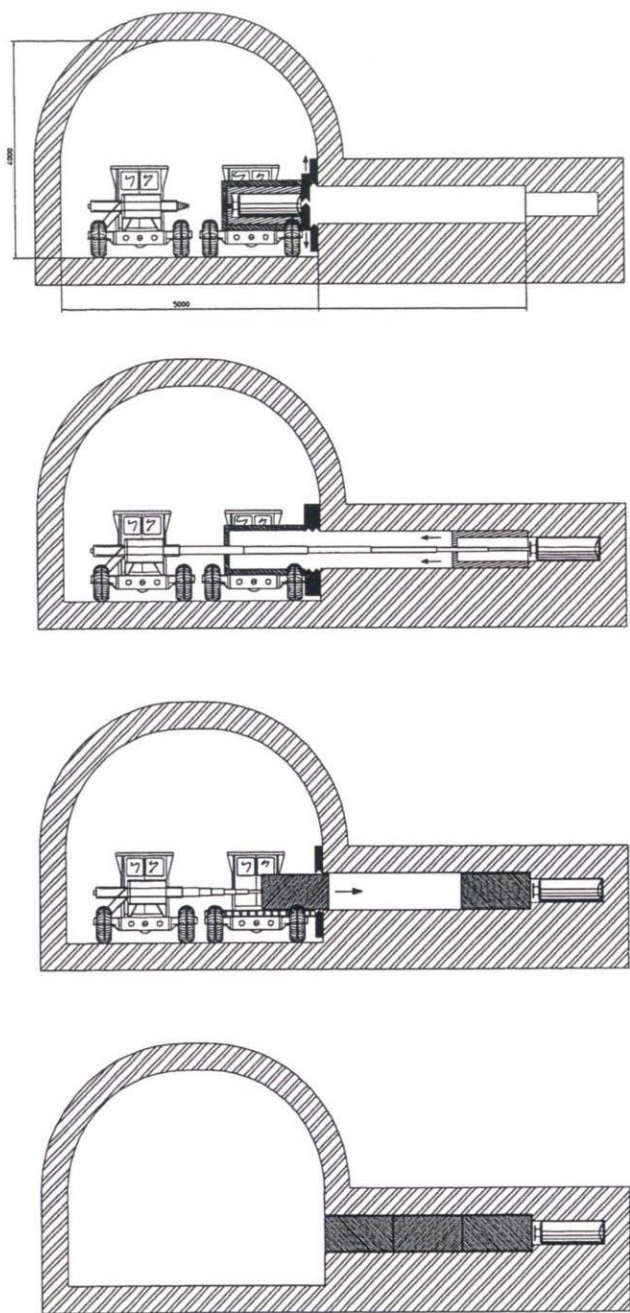
Bij het gekozen concept van een interim opslag periode waarin de mijn in bedrijf blijft en de opberggalerijen toegankelijk blijven, is de manier van opbergen van de container in de galerij bepalend voor de mate van terughaalbaarheid. In [5] worden een aantal alternatieven gegeven voor terughaalbare opslag zoals opslag in de galerij en opslag in boorgaten in de wanden en vloeren van de galerijen. In deze studie werd al aangegeven dat de opslag in diepe boorgaten de terughaalbaarheid zeer zal bemoeilijken. Hierdoor komen alleen de opslag in relatief ondiepe boorgaten of de opslag in de galerijen in aanmerking. Bij opslag in galerijen zoals die ook toegepast is in [3] kunnen de containers niet individueel teruggehaald worden. Bovendien zijn de kosten van de gebruikte afschermcontainer van dezelfde orde van grootte als de kosten voor het aanleggen van de complete mijn. Vanwege deze hoge kosten en om onnodig gebruik van grondstoffen te vermijden is in eerste instantie een oplossing gezocht waarbij geen dikwandige container nodig is. Het afval moet in dit geval ondergronds in een afschermende container naar de definitieve opberglocatie vervoerd worden. Op de plaats van berging zal de afscherming door het omringende gesteente gewaarborgd moeten worden. Deze methode lijkt zich moeilijk te verenigen met opslag in de galerijen. Voor verbuisde boorgaten gelden dezelfde bezwaren wat betreft corrosie en duurzaam gebruik van materialen als bij toepassing van een dikwandige container.

3.1 Opbergholten

Bij het opbergen van het HAW is gekozen voor opberging in ondiepe boorgaten welke in horizontale richting in de zijkanten van de galerijen geboord worden. Na het plaatsen van de container wordt het boorgat nagevuld met steenzout. De keuze van dit concept is gebaseerd op de volgende overwegingen:

- Het navullen met zout garandeert een goede geleiding van de vervalwarmte in het gastgesteente en daarnaast functioneert het zout ook nog als afscherming tegen de straling.
- Bij korte horizontale boorgaten kan iedere container individueel worden teruggehaald door middel van een kernboring met een boor welke voldoende groter is dan de container. Hierbij hoeft geen gebruik gemaakt te worden van voorzieningen op de container zoals hijsogen of nokken. Deze kunnen door de gesteentedruk beschadigd raken of door corrosie onbruikbaar worden.
- Bij korte horizontale boorgaten kunnen aan weerszijden van de galerij gaten geboord worden waardoor minder lengte galerij noodzakelijk is vergeleken met boorgaten in de vloer.
- Bij het boren van gaten zowel in de vloer als in de wand is de boor apparatuur ingewikkeld en moeten zowel de hoogte als de breedte van de galerij voldoende zijn om de boor te kunnen manoeuvreren
- Het alternatief van berging rechtstreeks in de galerijen en daarna navullen vereist aanzienlijk meer te mijnen holruimte en bovendien kan hierbij niet elke container individueel worden teruggehaald.

Het gekozen concept en de wijze van bergen is weergegeven in figuur 3.1.



Figuur 3.1 *Het plaatsen van de HAW containers en het afdichten van het boorgat.*

Bij het navullen van de boorgaten is gekozen voor het gebruik van voorgeperste cilinders van steenzout. Het alternatief van vullen met zoutgruis en compactie in het gat is verworpen omdat dit moeilijker te automatiseren is en dus aanwezigheid van werkers in de nabijheid van het open gat vereist. Bovendien geeft het voorgeperste zout een betere barrière tegen ongewenste vrijzetting van nucliden in geval van calamiteiten. De straling door de spleten tussen boorgat en zoutprop wordt tegengegaan

door het gat getrapd te boren waarbij de diameter van de afdichtende cilinders groter is dan de diameter ter plaatse van de afvalcontainer.

3.2 Overpack

Als het afval verpakt wordt in een afschermd container (overpack) die bestand is tegen de gesteentedruk en die er tevens zorg voor draagt dat het stralingsniveau aan de buitenzijde voldoende laag is, zal het terughalen relatief eenvoudig en veilig plaats kunnen vinden. De veiligheidsstudies binnen het PROSA project [4] hebben aangetoond dat een overpack ten behoeve van de veiligheid op de lange termijn niet noodzakelijk is. Daarnaast staan de nadelen van een container die langdurig bestand is tegen corrosie en gesteentedruk:

- Kosten zijn hoger. De vermindering van de kosten wegens eenvoudiger opberging weegt niet op tegen de productiekosten van de container.
- Er wordt mogelijk waardevol materiaal aan de kringloop onttrokken.
- Mogelijk problemen met vorming van corrosiegassen ten gevolge van anaërobe corrosie.
- Bij een zware of omvangrijke overpack zullen de schachten en infrastructuur duurder worden.

Bij het ontbreken van een overpack zal bij het terughalen de mogelijkheid van gecontamineerd zout rond de container moeten worden beschouwd. Bovendien is kans op beschadiging van de Cogema container bij het terughalen niet denkbeeldig. Hierbij dient echter te worden overwogen dat de mogelijkheid moet bestaan dat de berging zonder veel moeite over kan gaan in een eindberging en dat daarbij de aanwezigheid van een afschermcontainer nadelig kan zijn.

3.3 Afschermingsberekeningen voor de mijngangen

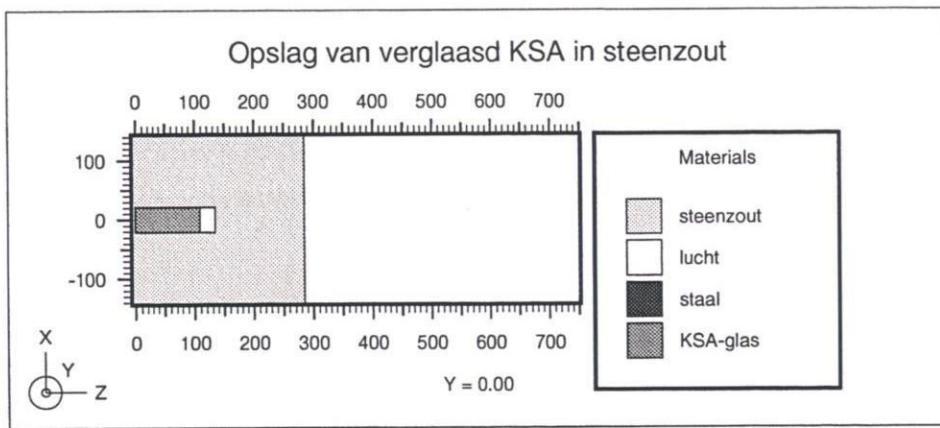
Teneinde terughaalbaarheid te garanderen moeten de galerijen open blijven en moet onderhoud gepleegd worden omdat anders tengevolge van de voortschrijdende convergentie de galerij onbruikbaar zou worden. Daarnaast is ook vanwege inspectie de aanwezigheid van personeel in de galerijen noodzakelijk. Om de stralingsbelasting van het personeel binnen de daarvoor gestelde normen te houden moet het steenzout waarmee de boorgaten nagevuld worden voldoende afscherming bieden. Gebaseerd op conservatieve aannamen is een minimale dikte bepaald die nodig is om bovenvermelde afscherming te bewerkstelligen.

3.3.1 Berekening van de nuclideninventaris in het KSA

Voor de berekening van de nuclideninventaris van het KSA werd het programma ORIGEN-S [6] gebruikt. Als splijtstof werd LWR-splijtstof (3,3% verrijkt) gekozen. De splijtstof werd tot een opbrand van 33 MWd/(kg uranium) bestraald. Er werd aangenomen dat opwerking en verglazen van het KSA 3 jaren na beëindiging van de bestraling plaatsvindt. Uit een tabel gegeven in [7] werd opgemaakt, dat het glas in een container het KSA van 1333 kg uranium kan opnemen (bij 33 MWd/(kg uranium) opbrand). Na interim opslag van 50 jaar gaat het verglaasde KSA dan de zoutmijn in.

3.3.2 Berekening van de benodigde dikte van de zoutprop

Voor de berekening van het dosistempo in de mijngangen werd het afschermingsprogramma MARMER [8] gebruikt. Doel van de berekening is de bepaling van de dikte van de zoutprop waarachter het verglaasde KSA opgeborgen moet worden, zo dat het dosistempo in de mijngang beneden de limiet voor radiologisch werkers blijft (10 $\mu\text{Sv/h}$). Het model voor de MARMER berekeningen is te zien in figuur 1. Het verglaasde KSA ($\rho = 2.73 \text{ g/cm}^3$) is opgeborgen in een stalen container met 0.5 cm wanddikte die voor ca. 80% gevuld is. Voor de massadichtheid van het steenzout werd een waarde van 1.93 g/cm^3 gebruikt, dit komt overeen met 90% van de natuurlijke dichtheid. Dosistempen werden berekend voor het oppervlak van het weer opgevlude boorgat, en 2 m en 4 m verder in de mijngang.



Figuur 3.2 Het MARMER-model voor berekening van de dosistempi.

De resultaten zijn weergegeven in tabel 1.

Tabel 3.1 Berekende dosistempi in de mijngang.

| dikte van de zoutprop (cm) | dosistempo ($\mu\text{Sv/h}$) | | |
|-------------------------------|---------------------------------|-------------|-------------|
| | zoutoppervlak | 2 m afstand | 4 m afstand |
| 100 | 102 | 17 | 6.8 |
| 150 | 0.14 | 0.032 | 0.014 |

De resultaten van tabel 1 laten zien, dat een 1 m dikke zoutprop niet, maar een 1.5 m dikke zoutprop wel ruim voldoende is voor de gestelde limiet aan het dosistempo van $10 \mu\text{Sv/h}$ (per 17.5 cm zout gaat het dosistempo een factor 10 omlaag). Uit de berekeningen volgt dus een minimale dikte van de zoutprop van 1.25 m. Aangezien de uitgevoerde berekeningen vrij eenvoudig zijn en dus vrij grote onzekerheden bevatten, wordt een minimale dikte van 1.50 m aanbevolen.

3.3.3 Discussie en Conclusies

Aangezien de vraagstelling om een globale schatting te maken van de benodigde dikte van de afschermende zoutprop voor verglaasd KSA, werden de benodigde

berekeningen vrij eenvoudig gehouden. Zo is geen rekening gehouden met het verschil tussen het steenzout van de mijn en het samengeperste zoutgruis van de afschermprop en ook voor de nucliden inventaris zijn aannamen gedaan wat betreft de samenstelling en de burn-up. De inbegrepen onzekerheden vertalen zich in een ca. 20 cm dikkere zoutprop (factor 10 reductie). Voor de minimale dikte wordt een waarde van 1.50 m aanbevolen.

Vanwege de voortschrijdende convergentie van de galerijen moeten deze van tijd tot tijd bijgewerkt worden om voldoende werkruimte te behouden en een voldoende veilig gewelf te garanderen. Daarom en vanwege de mogelijke aanwezigheid van inhomogeniteiten en microscheuren is gekozen voor een dikte van de zoutprop van 3 m.

3.4 Temperatuurberekeningen

De temperatuurverhoging ten gevolge van de vervalwarmte van het afval moet beperkt blijven om verblijf in de galerijen mogelijk te maken en de terughaalbaarheid te garanderen. Bovendien kan bij hogere temperaturen de stabiliteit van de galerijen verminderen en kunnen chemische omzettingen in het zout optreden.

Gebaseerd op het bovenbeschreven concept van opbergen is een berekening gemaakt van de te verwachten temperatuur in de nabijheid van de afval container en in de galerij ter plaatse van een container.

Hiervoor is gebruik gemaakt van het programma TASTE dat temperaturen berekend voor een aantal lijnvormige warmtebronnen in een homogeen isotroop medium. De afnemende warmte afgifte van de container is hierbij benaderd als de som van een beperkt aantal exponentieel afnemende bronnen.

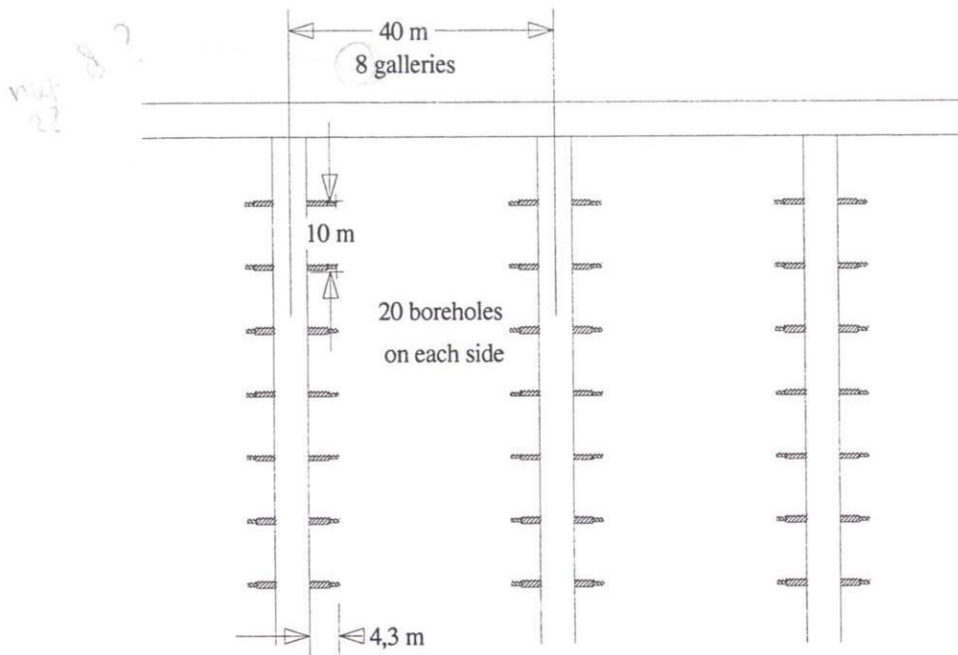
De fout in deze benadering ten opzichte van berekeningen die alle aanwezige isotopen in aanmerking nemen is kleiner dan 1%. [9]

De aanwezigheid van een galerij is bij deze berekeningen verwaarloosd. Door het ontbreken van de koelende werking van de ventilatie lucht kunnen de temperaturen als een bovengrens voor de verwachten temperaturen beschouwd worden.

De lay-out van de mijn gebruikt bij de temperatuurberekeningen is weergegeven in tabel 3.2 en in figuur 3.3.

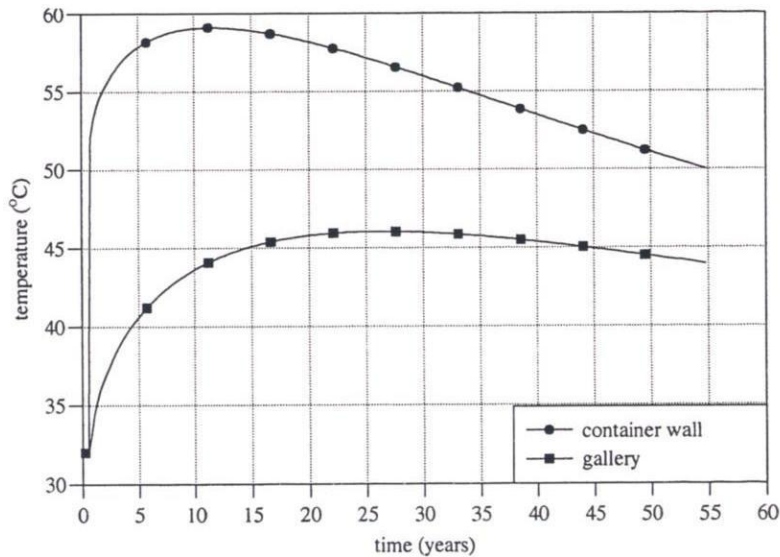
Tabel 3.2 *Geometrie van de mijn voor HAW containers.*

| | |
|--|-------|
| Afstand tussen de galerijen: | 40 m |
| Aantal galerijen: | 8 |
| Afstand tussen de boorgaten in de galerij: | 10 m |
| Aantal containers per galerij: | 40 |
| Diepte van de boorgaten: | 4.3 m |



Figuur 3.3 Layout van de mijn t.b.v. temperatuurberekeningen.

Gebaseerd op het bovengeschetste ontwerp is de maximale temperatuur aan de containerwand 68 °C en in de galerij 46 °C. Het verloop van de temperaturen in de tijd is voor deze twee locaties is weergegeven in figuur 3.4.



Figuur 3.4 Verloop van de temperatuur aan de containerwand en in de galerij.

4. GLOBALE PLANNING VAN DE MIJN

Ten behoeve van de kostenberekening in het vervolg van dit project zal een globale planning van de mijn gegeven worden. Deze planning is in overeenstemming met eerder uitgevoerde studies [3] [10].

4.1 Schachten

Er is nog weinig ervaring opgedaan met hellende tunnels als toegang tot de mijn bij de te verwachten diepte van 800 m beneden het maaiveld. Bovendien is het de verwachting dat het afdekkpakket veel watervoerende lagen bevat. Daarom is gekozen voor conventionele schachten die met behulp van de vriesmethode afgediept zullen worden. In [3] is een uitgebreide beschrijving gegeven van het afdiepen en bekleden van de schachten voor een opbergfaciliteit in steenzout. Hierbij is er van uitgegaan dat de top van het zout op een diepte van 300 m beneden het maaiveld ligt en dat de schacht wordt afgediept met behulp van boren en schieten. Bij het afzinken wordt de stabiliteit van de schacht gewaarborgd door een ondersteuningsconstructie van beton elementen welke op regelmatige afstand afgesteund worden in de schachtwand. Bij het bereiken van de top van de zoutkoepel wordt een fundatie gebouwd waarop een schachtvoering van staal en gewapend beton wordt opgetrokken. Hierna wordt de schacht verder afgediept in het zout en worden de aanzetten op verdiepingsniveau gemaakt. Dit alles nog door middel van boren en schieten. Na het verwijderen van de tijdelijke hijsinstallatie wordt de definitieve ophaalinstallatie geplaatst en kan met de aanleg van de ondergrondse werken begonnen worden.

4.2 Ondergrondse ruimten

De uitvoering van de ondergrondse ruimten is gebaseerd op die beschreven in [10] waarbij een vanuit een infrastructuur zone rond de schachten twee parallelle hoofdgalerijen gedreven zijn die verbonden zijn door een aantal dwarsgalerijen waarin de feitelijke opberging plaats vindt.

In de infrastructuur zone bevinden zich de werkplaatsen, opstelruimten voor uitrusting en voertuigen, diesel opslag en electriciteitsdistributie. Rond de schachten en de infrastructuur bevindt zich een veiligheidszone waarin geen afval zal worden opgeslagen.

De ondergrondse ruimte wordt aangelegd door middel van freesmachines of "roadheaders" omdat boren en schieten een te grote kans op scheuren en breuk veroorzaakt. Het transport van het gemijnde zout zal met laadschop en truck gebeuren. Voor de opberggalerijen moet de breedte voldoende zijn om twee voertuigen naast elkaar te kunnen plaatsen en om de boringen in de zijwanden te kunnen maken. Een breedte van 5 m wordt hiervoor aangenomen. De hoogte wordt voornamelijk bepaald door de vorm van een stabiel gewelf boven het vlakke gedeelte van de zijwanden waarin de boringen aangebracht zijn. Deze hoogte wordt gesteld op 4 m. Gezien de relatief geringe omvang van de mijn zal geen rail infrastructuur aangelegd worden maar zal alle transport met wiel- en indien noodzakelijk rupsvoertuigen plaatsvinden.

5. HET TERUGHALEN

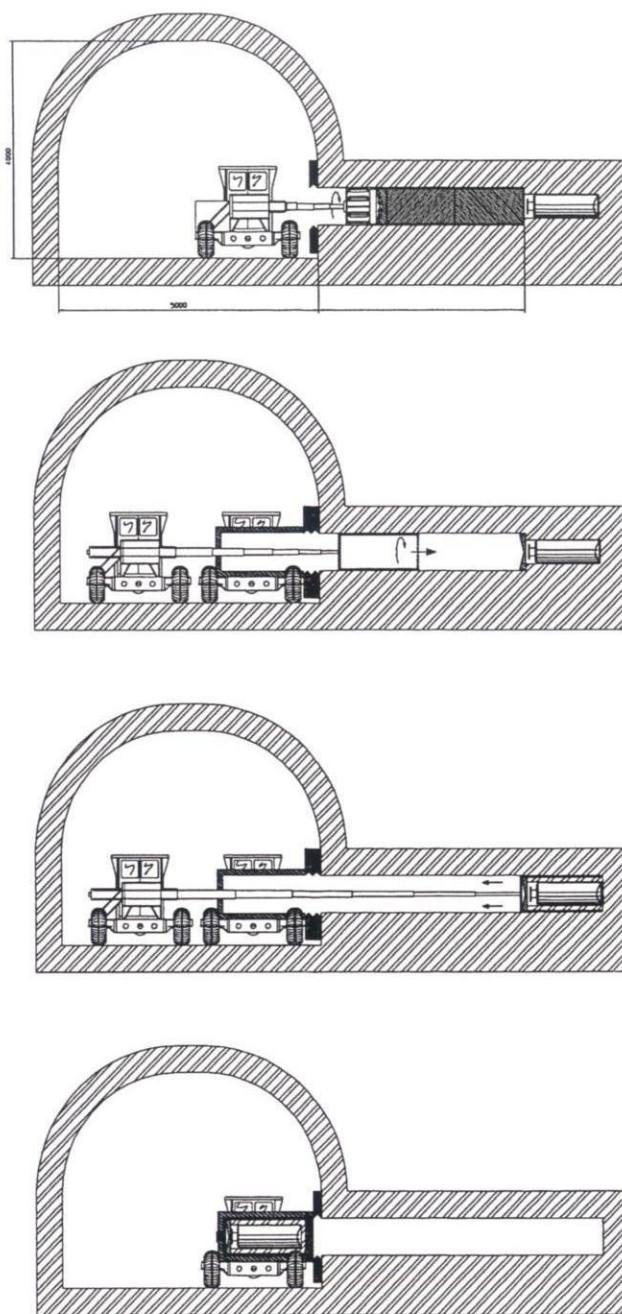
Tijdens de operationele periode moet de mogelijkheid blijven bestaan het hoog actieve afval uit de opbergfaciliteit te halen en weer naar het maaiveld te transporteren. De reden voor het terugnemen is nog niet bekend en er zijn geen eisen geformuleerd over de snelheid van terugnemen en de hoedanigheid waarin het afval weer ter beschikking moet zijn. Bij de methode zoals die hieronder wordt aangegeven is er van uitgegaan dat het terughalen een operatie is welke dient te geschieden in een tempo vergelijkbaar met het tempo van opbergen. Bovendien wordt er van uitgegaan dat de operatie kan plaatsvinden onder omstandigheden die een normale voorbereiding, planning en mobilisatie van uitrusting en personeel mogelijk maakt. In geval van calamiteiten zal van geval tot geval overwogen moeten worden of tot terughalen overgegaan zal worden, zo ja op welke wijze, en zo nee hoe de overgang naar langdurige isolatie door natuurlijke geologische processen bewerkstelligd of bespoedigd kan worden.

5.1 Plaatsbepaling van de container

Er is geen reden om aan te nemen dat de locatie van de container in hoge mate zal afwijken van de oorspronkelijke positie bij plaatsing. Het "opdrijven" of "zinken" van de container in het plastische zout zal door het geringe verschil in dichtheid van zout en container nauwelijks een rol spelen. De convergentie van de galerij zal ter plaatse van de container een zeer geringe radiale verplaatsing naar de galerij ten gevolg hebben. De locatie van de container op het moment van terugnemen moet echter nauwkeurig bekend zijn hetgeen met gangbare exploratie technieken zoals radar en sonar mogelijk is.

5.2 Vrijmaken van de container

Als de locatie van de container bepaald is zal allereerst een afschermend schild met een "shutter" constructie geplaatst worden. Vervolgens wordt door dit via de shutter een boring naar de container toe gemaakt met een conventionele boor tot op enkele decimeters voor de afvalcontainer. Daarna wordt een speciale kernboor geplaatst die in een afscherpende transport container past. Deze container heeft aan de "werkzijde" eveneens een shutter systeem. Na het openen van beide shutters wordt met behulp van een boorinstallatie die aan de galerijzijde van de container aangesloten kan worden de kernboor via het gat naar de afvalcontainer gebracht en vervolgens wordt de afvalcontainer tezamen met een hoeveelheid omringend zout "uitgeboord" en in de afscherpende container getrokken. Na sluiting van de shutters wordt vervolgens de gehele container en kernboor naar de schacht gereden, naar het maaiveld gebracht en daar in een gereedstaande transport container overgeladen. Het systeem van terughalen is weergegeven in figuur 5.1.



Figuur 5.1 *Het terughalen van de HAW container.*

6. INVLOED VAN MEER EN ANDERSOORTIG AFVAL

6.1 Grotere hoeveelheid afval

Het afval van de huidige centrales leidt tot een relatief kleine opslagfaciliteit. De vaste kosten van boven- en ondergrondse infrastructuur en schachten zijn hierbij hoog ten opzichte van de kosten van het drijven van extra opberggalerijen. Een verandering van de hoeveelheid op te bergen afval zal daarom niet snel leiden tot een noodzaak tot verandering van het concept van de mijn. Als de hoeveelheid afval significant vermeerderd, te denken valt aan een aantal grote centrales, zal het huidige concept leiden tot een zeer groot oppervlakte beslag ondergronds. Bij het huidige concept met 300 hoog actieve containers is ongeveer 2300 m galerij noodzakelijk. Bij exploitatie van een aantal nieuwe centrales, zullen al snel enkele duizenden containers opgeborgen worden, dit leidt alleen al voor het hoog actieve afval tot een totale lengte te drijven galerij van 15 tot 20 km. Het ligt voor de hand bij dergelijke hoeveelheden de eisen inzake terughaalbaarheid opnieuw te evalueren. Hierbij kan bijvoorbeeld de eis dat elke container individueel teruggehaald moet kunnen worden, verzacht worden en kunnen meerdere containers per boorgat geplaatst worden. Gezien het resultaat van de stralings- en temperatuur berekeningen zal dit niet leiden tot ontoegankelijkheid van de galerijen. De methode van opbergen en van terughalen lijkt eveneens relatief eenvoudig aan te passen aan de aanwezigheid van meerdere containers in een boorgat.

6.2 Direct opgeborgen splijtstof

Omdat de dikwandige container om eerder genoemde redenen niet wenselijk is worden twee mogelijkheden van verpakken van de splijtstof beschouwd. Bij de eerste mogelijkheid worden de splijtstofpenen zodanig verkleind dat ze in een container passen welke dezelfde uitwendige afmetingen heeft als een Cogema container voor verglaasd afval. Dit geeft het voordeel dat alle apparatuur die noodzakelijk is voor het bergen en terughalen van de Cogema containers ook gebruikt kan worden voor de containers met afgewerkte splijtstof. Het verkleinen van de splijtstofpenen vereist een uitgebreide bovengrondse faciliteit en leidt tot de vorming van secundair afval. Bovendien moet rekening gehouden worden met het vrijkomen van vluchtige nucliden (Kr, Xe, ^3H) bij het verkleinen van de splijtstofpenen.

Bij de tweede mogelijkheid worden de splijtstofelementen in zijn geheel in een dunwandige container opgeslagen. Hierdoor worden de risico's bij het demonteren en conditioneren kleiner en zal er minder secundair afval ontstaan. In [11] wordt hiervoor een container van 4.3 m lengte en 0.7 m diameter genoemd met een totaalgewicht van 7.5 ton. Elke container bevat vier splijtstofelementen met in totaal 1.8 ton uranium.

Het plaatsen en terugnemen van een dergelijke container kan in beginsel met vergelijkbare apparatuur als de standaard Cogema container. Vanwege de grotere lengte van de container zal ter plaatse van een boorgat in de wand de breedte van de galerij vergroot moeten worden of de gaten moeten onder een kleinere hoek met de galerij-as geboord worden zodat de containers in een visgraat patroon komen te liggen.

7. DISCUSSIE EN CONCLUSIES

In dit rapport is gekozen voor een vorm van ondergrondse berging van radioactief afval waarbij de mijn gedurende een zekere periode in bedrijf blijft als ondergrondse interim opslag. Tijdens deze periode kan het afval relatief eenvoudig teruggehaald worden, in het hier beschreven model door verwijdering van een drie meter lange afsluiting van steenzout.

De belangrijkste overwegingen voor de keuze van het bovenvermelde concept zijn het feit dat de mijn naar een veilige toestand moet evalueren ook als toekomstige generaties geen zorg meer aan de mijn kunnen of willen besteden en de mogelijkheid om de mijn op eenvoudige wijze af te sluiten wanneer besloten wordt om het afval niet terug te nemen.

Na het definitieve afsluiten van de mijn is het echter niet onmogelijk het afval terug te halen. Met moderne mijnbouw methoden kunnen tot op zeer grote diepten, bij hoge temperaturen en onder zeer extreme omstandigheden delfstoffen gewonnen worden. Het aanleggen van een nieuwe mijn en het terughalen van de afvalcontainers moet geacht worden met de bestaande technologie mogelijk te zijn. Het is zelfs waarschijnlijk dat een terughaalbare optie niet veel extra voorzieningen noodzakelijk maakt bij de aanleg van de opbergfaciliteit.

Bij de keuze van een periode van ondergrondse interim opslag moet rekening gehouden worden met :

- De maatschappelijke en economische ontwikkelingen.
- De economische levensduur van apparatuur in installaties in de mijn.
- De kosten van het lopende onderhoud.

Op basis van deze overwegingen wordt een interim periode van 25 jaar gedefinieerd. Tijdens deze periode, of uiterlijk aan het eind ervan, moet gekozen worden tussen het definitief sluiten van de mijn of het aanpassen van de mijn en de installaties voor een volgende periode van interim opslag.

Bij de keuze voor berging in een ondergrondse interim opslag is de hoeveelheid ondergrondse holruimte groter dan bij het in het verleden beschouwde concept van diepe boorgaten. De meerkosten van deze extra galerijen zijn echter gering ten opzichte van de kosten van schachten en bovengrondse infrastructuur. Bij het feitelijk terughalen zal een speciale machine geconstrueerd moeten worden maar deze is grotendeels gebaseerd op bestaande technologie.

Naast deze vermeerdering van de kosten voor ondergrondse constructie zijn er bij de bovengeschetste keuze voor ondergrondse interim opslag, additionele kosten voor het in bedrijf houden van de opbergmijn. Deze kosten moeten afgezet worden tegen het bieden van de mogelijkheid aan de na ons komende generaties het afval op eenvoudige wijze en gecontroleerd terug te halen.

In het concept zoals dat in dit rapport beschreven is, wordt er van uit gegaan dat de COGEMA container die het verglaasde afval bevat niet extra wordt verpakt in een extra container (overpack) die bestand is tegen de gesteentedruk. Daarom is er bij dit concept rekening gehouden met de mogelijkheid dat een COGEMA container bij het terughalen beschadigd is. Een afschermdende overpack zou de kans op beschadiging verkleinen maar heeft een toename van de kosten tot gevolg. Deze toename wordt niet alleen veroorzaakt door de kostprijs van de overpack, de schachten en installaties in de mijn zullen ook aangepast moeten worden aan het gewicht van de overpack. Daarnaast kan de grotere hoeveelheid metaal in de overpack aanleiding geven tot vorming van corrosiegassen.

Het spreekt vanzelf dat de gekozen strategie waarbij het afval zonder afschermende container in het zout ligt en door middel van een kernboring teruggehaald wordt, een compromis is tussen redelijke kosten en duurzaam materiaal gebruik enerzijds en een redelijke mate van terughaalbaarheid anderzijds. Daarnaast biedt de keuze voor ondergrondse interim opslag de mogelijkheid dat de faciliteit ingeval van onverwachte gebeurtenissen of calamiteiten zonder menselijk ingrijpen in een veilige toestand komt te verkeren en als eindopberging beschouwd kan worden. De redenen voor het terughalen en de eisen die de regelgever aan terughaalbare opslag stelt zullen van grote invloed zijn op de haalbaarheid van dit compromis.

LITERATUUR

- [1] *Kabinetsstandpunt over de vraag of de diepe ondergrond mag en kan worden gebruikt voor het opbergen van afval.* (NMP-actie 62)
- [2] Nuclear Energy Agency. *The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal of Long-lived Radioactive Wastes.* A Collective opinion of the NEA Radioactive waste Management Committee. OECD 1995.
- [3] J.J. Heijdra, J. Bekkering, J.v.d. Gaag, P.H.v.d. Kleyn, J. Prij: *Retrievability of radioactive waste from a deep underground disposal facility.* EUR 16197. European Commission, 1995.
- [4] J. Prij: *Prosa, Probabilistic Safety Assessment. Final Report.* Petten November 1993.
- [5] W.M.G.T. van den Broek et al.: *Retrievability of radioactive waste. Final report* OPLA project MIJBO-1A/54595. TU Delft, April 1993.
- [6] O.W. Hermann, R.M. Westfall: *ORIGEN-S - Scale System Module to calculate Fuel Depletion, Actinide Transmutation, Fission Product Buildup and Decay and Associated Radiation Source Terms.* ORNL, Oktober 1981.
- [7] R.J. Heijboer, J.B.M. de Haas, A. van Dalen, P.B.J.M. Benneker: *Nuclide-Inventaris, Warmteproductie en Gammastraling van Kernsplijtingsafval; Eindrapportage; Deelrapport 11, ECN-Petten, maart 1988.*
- [8] J.L. Kloosterman: *MARMER a Flexible Point-Kernel Shielding Code, User Manual, Version 2, II-131-89-03/2, Delft, June 1990.*
- [9] C.T.J. Jong: *Veiligheidsevaluatie van opbergconcepten in steenzout (VEOS). Eindrapportage deelrapport 4.* ECN / RIVM, juli 1987.
- [10] Van Hattum & Blankevoort. *Locatie onafhankelijke studie inzake de aanleg, bedrijfsvoering en afsluiting van mogelijke faciliteiten voor de definitieve opberging van radioactief afval in steenzoutformaties in Nederland.* Beverwijk, April 1986.
- [11] J. Marievoet, G. Volckaert, A. Snyers, J. Wibin: *First performance assessment of the disposal of spent fuel in a clay layer.* EUR 16752 EN. European Commission, 1996.

