

Analyse, inform and activate

LAKA

Analyseren, informeren, en activeren

Stichting Laka: Documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie

De Laka-bibliotheek

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

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

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

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

The Laka-library

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

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

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

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

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



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

Verwerking en opslag van radioactief vast afval afkomstig van de kernenergiecentrales in Nederland

Verwerking en opslag van radioactief vast afval afkomstig van de kernenergiecentrales in Nederland

A forecast is given of the amounts of radioactive wastes to arise from the operation of nuclear power stations in the Netherlands. Various treatment and storage methods are compared and as the best solution for low and medium level solid wastes storage in a solution-mined cavity in rock salt is proposed. Possibilities for storage of high level wastes are also indicated.

Door de directie van het RCN werd eind 1971 een werkgroep, bestaande uit J. Hamstra, L. Smeets, B. Verkerk en H. J. Wervers, ingesteld, die werd belast met de taak, een prognose te geven van het toekomstige aanbod van radioactief afval door de kerncentrales en hiervoor veilige en economische wijzen van verwerking en opslag vast te stellen. De werkgroep verzocht en verkreeg de medewerking van vertegenwoordigers van de centrale overheid en van de elektriciteitsproducenten. Bij het overleg waren betrokken de heren dr. J. L. Baas en drs. G. Seegers van het ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne, en ir. A. Tiktak en ir. S. H. Woldringh, verbonden aan de kerncentrale van respectievelijk Borssele en Dodewaard.

Het resultaat van de studie werd neergelegd in een rapport dat aan de betrokken ministers en aan andere belangstellenden werd toegezonden en dat nu in ATOOMENERGIE wordt afgedrukt.

De werkgroep spreekt bij deze haar dank en waardering uit voor de waardevolle bijdragen door voornoemde heren, geleverd aan de totstandkoming van dit rapport.

Veel dank is de werkgroep ook verschuldigd aan de heer drs. H. M. Harsveldt van de Rijks Geologische Dienst en de heren G. Politiek en ir. Th. H. Wassmann van de afdeling Delfstoffen van AKZO Zout Chemie NV voor de door hen verschaft informatie met betrekking tot een mogelijk gebruikmaken van zoutvoorcomens in Nederland.

1. Inleiding

Door de overheid werd indertijd het beheer over de met de bevoegde ophaaldienst verzamelde radioactieve afvalstoffen overgedragen aan het Reactor Centrum Nederland te Petten. Van 1963 tot 1970 werd nog geen 100 m³ niet-samengeperst afval opgehaald, afkomstig van ziekenhuizen en laboratoria. Door het inbedrijfkomen in 1969 van de kerncentrale in Dodewaard ontstond een sterke toename in het aanbod van laag-actief vast afval. In 1970 alleen reeds bedroeg het aanbod 120 m³, terwijl voor 1971 een aanbod werd vastgesteld van 180 m³ niet-samengeperst laag-actief vast afval. Deze toename benadrukt de noodzaak het aanbod van al het radioactief vast afval van de kerncentrales, die in de komende twintig jaar in Nederland gebouwd zullen worden, nader te kwantificeren en

voor dit afval veilige en economische wijzen van verwerking vast te stellen.

2. Uitgangspunten

2.1. Algemeen

De werkgroep beperkte haar rapportage tot het radioactief vast afval. De radioactieve gassen en vloeistoffen, tijdens het reactorbedrijf geproduceerd, worden door adequate filter- en reinigingsinstallaties zodanig in activiteit verlaagd, dat zij binnen de gestelde lozingsnormen gespuid kunnen worden. De actief geworden filters en het slib afkomstig van de reinigingsinstallaties zijn als vast afval mede in de hierna volgende prognoses verwerkt. De uit bestraalde splijtstof afkomstige afvalstoffen worden bij de opwerkingsfabrieken in het buitenland opgeslagen. Aangezien geen zekerheid

TABEL I

Totaal vermogen aan kernenergiecentrales geïnstalleerd

1970 - 1980	licht-waterreactoren	50 + 450 + 600 + 600	.	.	.	.	.	.	.	1.700 MW
1980 - 1985	licht-waterreactoren	8 × 750	.	.	.	.	.	.	.	6.000 MW
1985 - 1990	licht-waterreactoren	5 × 1000	.	.	.	.	.	.	.	5.000 MW
1990 - 1995	licht-waterreactoren	4 × 1000	.	.	.	.	.	.	.	4.000 MW
1995 - 2000	kweekreactoren	3 × 1000	.	.	.	.	.	.	.	3.000 MW
Totaal in 2000			.	.	.	.	.	.	.	19.700 MW

bestaat dat deze procedure ook in de toekomst gehandhaafd kan worden, is ook deze categorie afval in de studie betrokken.

2.2. Prognose nucleair elektriciteitsproductievermogen

In de door het Nederlands Economisch Instituut (NEI) opgestelde economische evaluatie van een snelle natriumgekoelde kernreactor (1) wordt een prognose gegeven van de elektriciteitsproductie, die uitkomt op een totaal geïnstalleerd vermogen van 56.822 MW in het jaar 2000. Van de zijde van de elektriciteitsproducenten werd recent aangekondigd (2) dat na 1980 de helft van het nieuw te installeren vermogen door kerncentrales zal worden opgewekt. Gebaseerd op de gegevens van het NEI betekent dat een totaal nucleair vermogen van rond 18.000 MW, te installeren van 1980 tot 2000. Op grond van deze gegevens en van informatie van de elektriciteitsproducenten zelf (4) heeft de werkgroep deze rapportage gebaseerd op de aannamen in tabel I*).

Het verschil dat te constateren valt in de hoeveelheden vast afval geproduceerd door drukwaterreactoren en kokend-waterreactoren is, door aanname van een fifty-fifty verdeling niet meer van invloed op de verdere berekeningen. Figuur 1 toont de prognose voor het inbedrijfkomen van kernenergiecentrales die de grondslag vormt voor de verdere berekeningen van het geproduceerde radioactief vast afval.

2.3. Rubricering van radioactief vast afval

Voor deze rapportage werd de navolgende door het IAEA (International Atomic Energy Agency) te Wenen opgestelde rubricering aangehouden (3).

Categorie 1: Laag-actief vast afval (LAVA). Bevat β - en γ -emitters (en een te verwaarlozen hoeveelheid α -emitters), waarvan de stralingsdosis op het oppervlak van de verpakking**) kleiner is dan 0,2 röntgen per uur.

Categorie 2: Middel-actief vast afval (MAVA). Bevat β - en γ -emitters (en een te verwaarlozen hoeveelheid α -emitters), waarvan de stralingsdosis op het oppervlak van de verpakking**) hoger is dan 0,2 en ten hoogste 2 röntgen per uur.

Categorie 3: Hoog-actief vast afval (HAVA). Bevat β - en γ -emitters (en een te verwaarlozen hoeveelheid α -emitters), waarvan de stralingsdosis op het oppervlak van de verpakking**) hoger is dan 2 röntgen per uur.

Categorie 3 wordt nader onderverdeeld in HAVA, direct afkomstig van de kerncentrales en HAVA, afkomstig van de splijtstofopwerking. Het laatste wordt overeenkomstig de internationale terminologie High Level Waste (HLW) genoemd.

2.4. Prognose aanbod LAVA

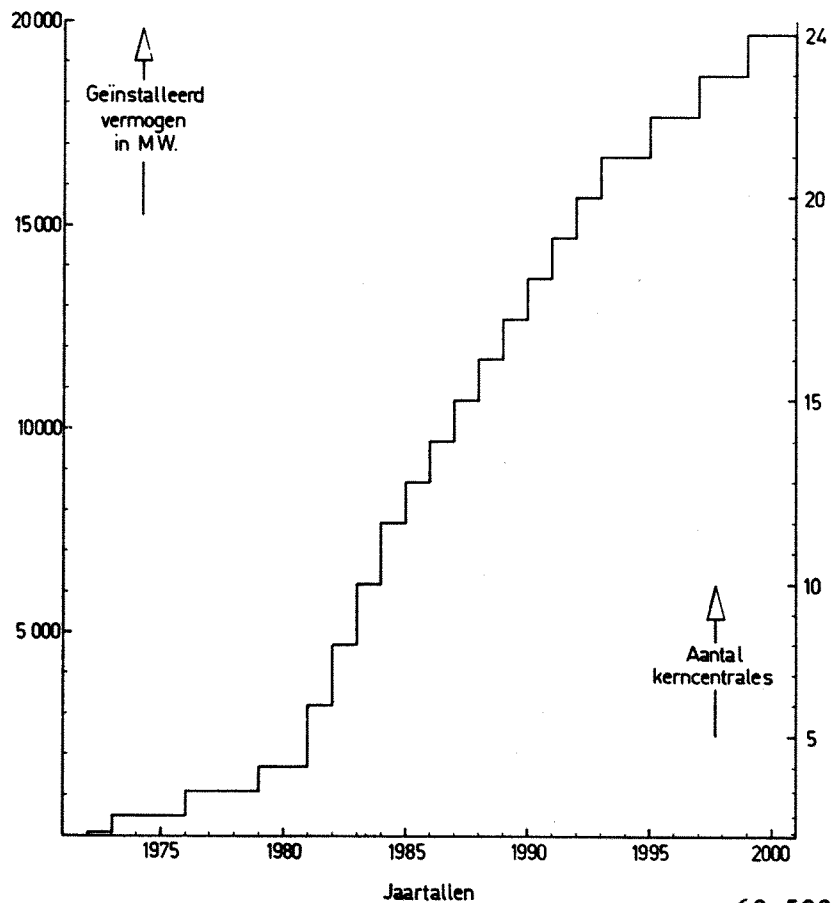
De hoeveelheid LAVA die per kerncentrale geproduceerd zal worden is weinig afhankelijk van het type reactor. Veeleer wordt het aanbod van dit afval beïnvloed door het al dan niet richten van de bedrijfsvoering op het beperken van dit afval. Het zorgvuldig gescheiden houden van gewoon afval van het radioactief besmette materiaal is één van de mogelijkheden. In het algemeen gaat het om papier, glaswerk, gecontamineerd gereedschap, beschermende kleding en plastic folies.

De voorspelling van het LAVA-aanbod is gebaseerd op een bedrijfsvoering, gericht op een zo beperkt mogelijke afvalproductie. Daardoor komt deze prognose lager uit dan af te leiden valt uit

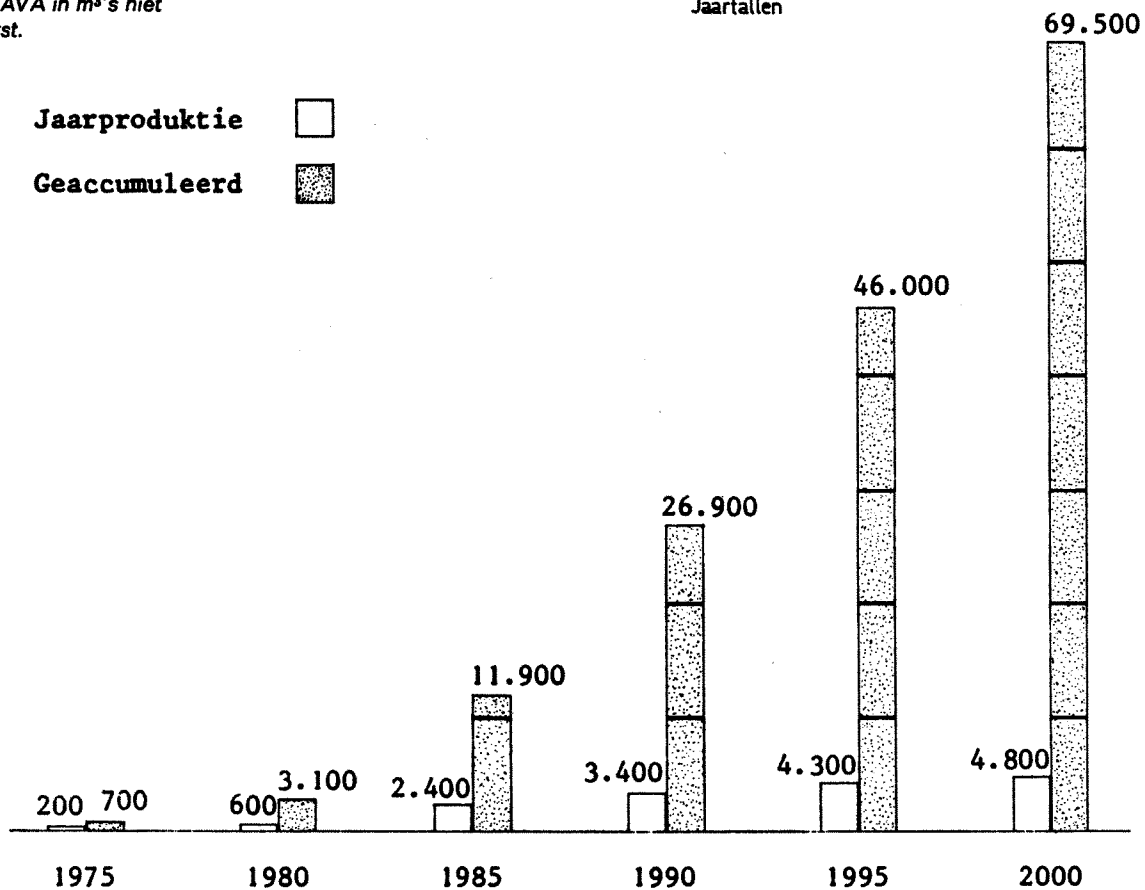
*) In de Nota inzake Kernenergiebeleid, recentelijk aangeboden aan de Tweede Kamer der Staten-Generaal worden voor de periode na 1990 aanmerkelijk hogere cijfers genoemd. Deze konden echter niet meer in rekening worden gebracht in het onderhavige rapport.

**) D.w.z. verpakking zonder afschermwaarde.

Figuur 1. Het in bedrijfkomen van kernenergiecentrales.



Figuur 2. LAVA in m³s niet samengeperst.

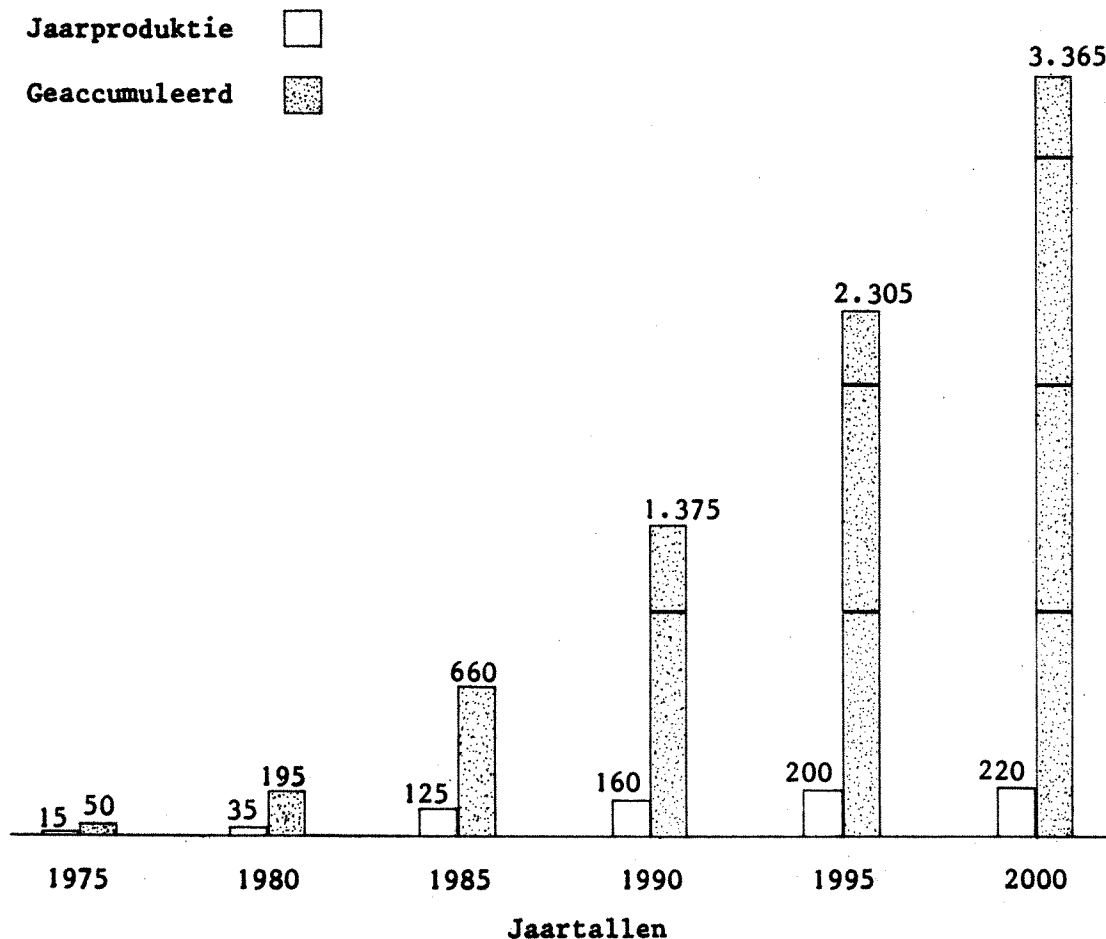


enkele praktijkgegevens uit de Verenigde Staten. Voor de Borssele-reactor (450 MW) is de prognose van bedrijfszijde 12 m³ samengeperst afval en 10 m³ aan luchtfilterelementen per jaar. Voor de Dodewaard-reactor (50 MW) is de schatting 9 m³ per jaar in samengeperste toestand. Op grond daarvan is voor de Dodewaard-reactor 100 m³ en voor alle verdere reactoren, ongeacht het type en het vermogen, 200 m³ per jaar niet-samengeperst aangehouden. Dit leidt tot de prognose voorgesteld in figuur 2.

2.5. Prognose aanbod MAVA

Tot MAVA worden gerekend de afgewerkte harsen van ionenwisselaars, uitgezonderd die van het primaire systeem, precoat en indamper-residu. De productie hiervan is afhankelijk van het type reactor, de omvang van de circuits en de mate waarin corrosie dan wel besmetting met splijtingsproducten in het primaire systeem is opgetreden. Bij gebrek aan goed interpreteerbare bedrijfsgegevens van andere in bedrijf zijnde reactoren is voor de prognose uitgegaan van de navolgende gegevens uit Dodewaard en Borssele (4, 5).

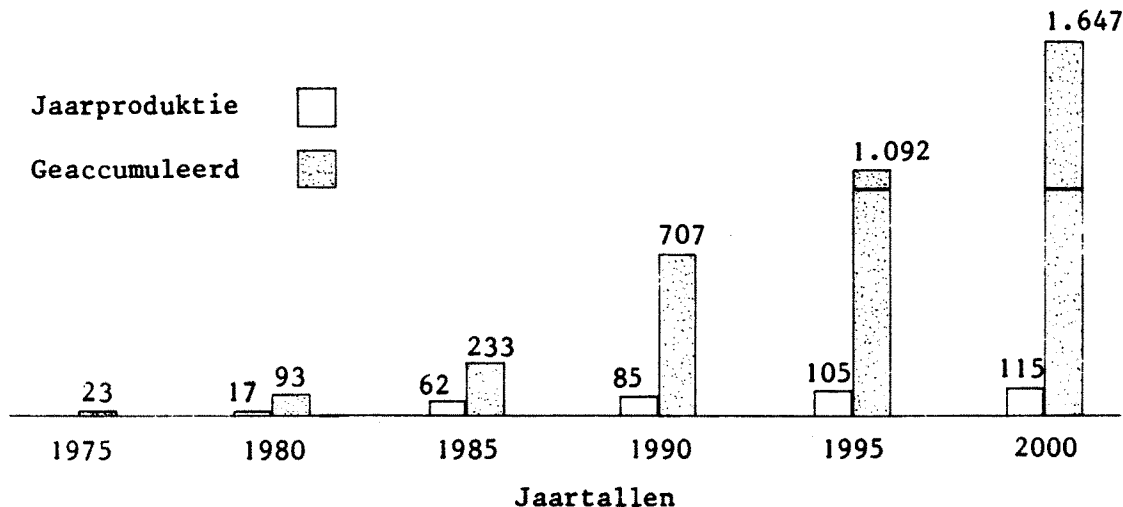
Figuur 3. MAVA in m³s.



	hoeveelheid in m ³ s per jaar	specifieke activiteit in Ci/m ³
Harsen, Dodewaard	2	1
Precoat, Dodewaard	1	10
Precoat, Borssele	12	5
Indamper-residu, Dodewaard	0,5	10
Indamper-residu, Borssele	30	0,2
Precoat en indamper-residu van Borssele na indikken, ca.	8	8

Op grond hiervan wordt een jaarproductie van 5 m³ voor de Dodewaard-reactor en 10 m³ voor alle andere reactoren aangehouden. Dit leidt tot de opstelling in figuur 3.

Tot MAVA kunnen ook appendages en andere systeemonderdelen behoren, waarvan de omvang bijzonder moeilijk in een jaarproductie is samen te vatten. Voor deze prognose is daarom met dit actieve schroot geen rekening gehouden.



Figuur 4. HAVA in m³s, verspreid in Nederland.

2.6. Prognose aanbod HAVA

Tot HAVA worden gerekend harsen uit het primaire systeem, filters, houders van splijtstofelementen, regelstaven, kerninstrumentatie en, eenmalig, de tijdelijke absorbtieplaten of -staven van een nieuw opgestarte reactor.

Sterker nog dan voor MAVA geldt voor HAVA dat de productie afhankelijk is van het type reactor en de mate waarin corrosie dan wel besmetting met splijtingsproducten in het primaire systeem is opgetreden.

Voor de Dodewaard-reactor werd opgegeven een jaarproductie aan afvalharsen van 2 m³ met een specifieke activiteit van 50 Ci/m³. Bij gebrek aan goed interpreteerbare bedrijfsgegevens van andere in bedrijf zijnde reactoren is op grond van de prognose voor de Borssele-reactor volstaan met de aanname van 5 m³ HAVA per jaar voor de overige kerncentrales. Uitgaande van een totale bedrijfsduur voor een kerncentrale van 40 jaar, blijft de totale hoeveelheid HAVA beperkt tot 200 m³ per kerncentrale.

De verspreid in Nederland geaccumuleerde hoeveelheden HAVA zijn aangegeven in figuur 4.

2.7. Prognose aanbod HLW

Voor het aanbod van HLW, afkomstig van de splijtstofopwerking, is de prognose opgesteld zoals in figuur 5 wordt getoond.

*) In afwijking van de gehanteerde prognose (2.2) is deze berekening gemaakt met de aanname van 16.500 MW in 2000. Door tijdgebrek en ook omdat de verschillen slechts gering zijn werden de uitgebreide berekeningen niet opnieuw uitgevoerd.

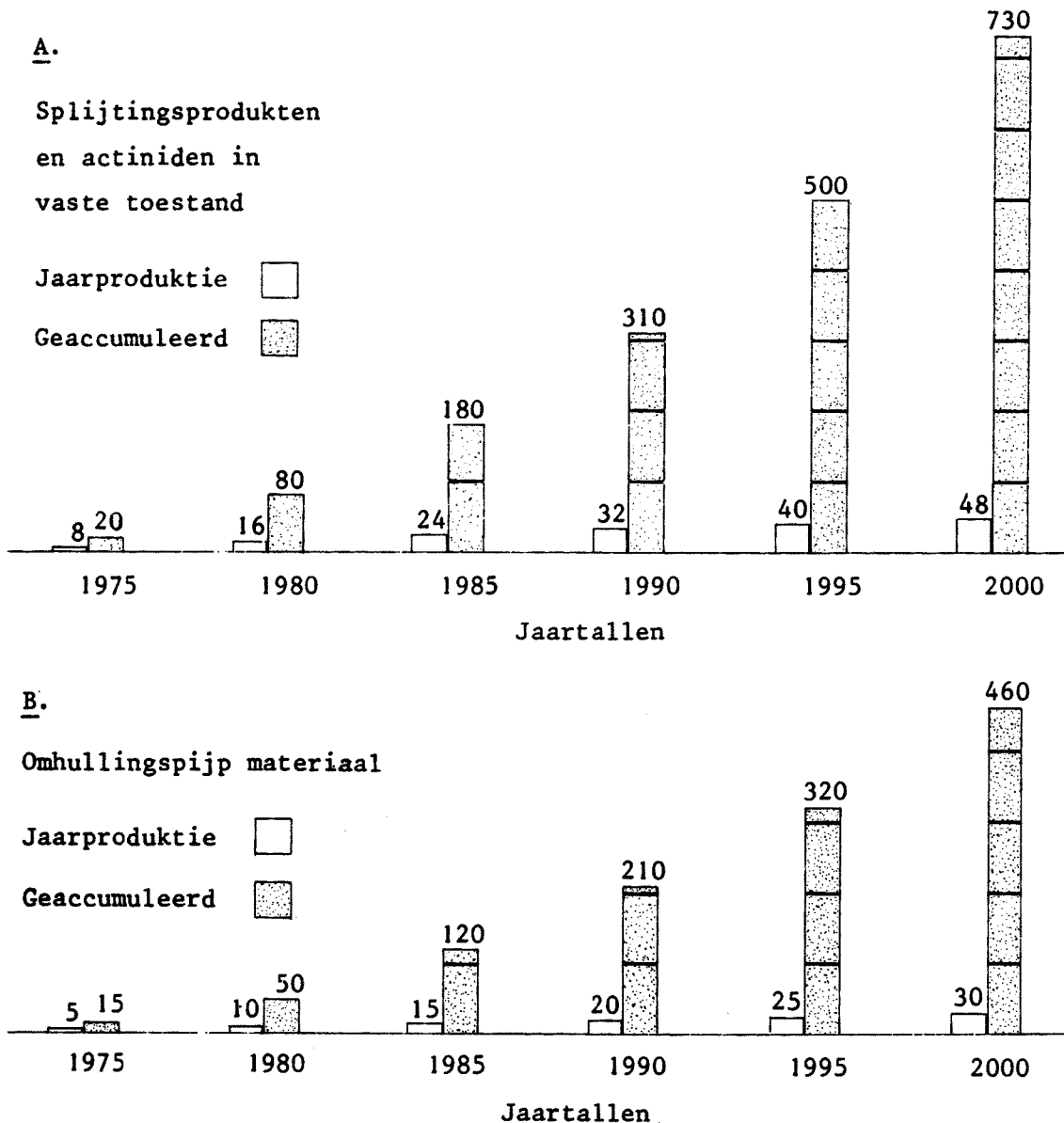
3. Verwerking van het radioactief vast afval

3.1. Algemeen

Ondanks de grote variatie in de mate van besmetting met radioactiviteit dan wel in de mate van activering van de verschillende materialen en ondanks de inhomogene samenstelling, waarin het radioactief vast afval veelal wordt aangeboden, dient het aantal verwerkingsmethoden voor dit afval uit praktische overwegingen beperkt te blijven. Verwerken van afval betekent in dit verband het afval op een praktische wijze brengen in een zodanige vorm, dat het veilig en milieu-verantwoord kan worden opgeborgen. Waar mogelijk wordt daarbij gebruik gemaakt van radioactief verval. Voor Nederland zijn de mogelijkheden tot opbergen van radioactief vast afval naar de mening van de werkgroep beperkt tot:

- het afzinken naar de oceaانبodem op daarvoor geschikt geoordeelde plaatsen in een voorgeschreven verpakking (dumpen);
- het begraven op enkele meters diepte onder het maaiveld in speciale verpakking (monolieten);
- het opslaan in daartoe ingerichte silo's en bunkers op een daarvoor aangewezen terrein;
- het opbergen van afval in daartoe geschikt bevonden diep gelegen geologische formaties, waarbij met name gedacht is aan de zoutvoorkomens in Nederland**); en
- het inrichten van een eiland in de Noordzee, waarop en waarin een combinatie van sub b en sub d mogelijk is.

**) De werkgroep heeft medegebruik van de Duitse zoutmijn te Asse niet beschouwd, omdat reeds eerder hierover een politieke beslissing van de Duitse regering noodzakelijk gebleken was.



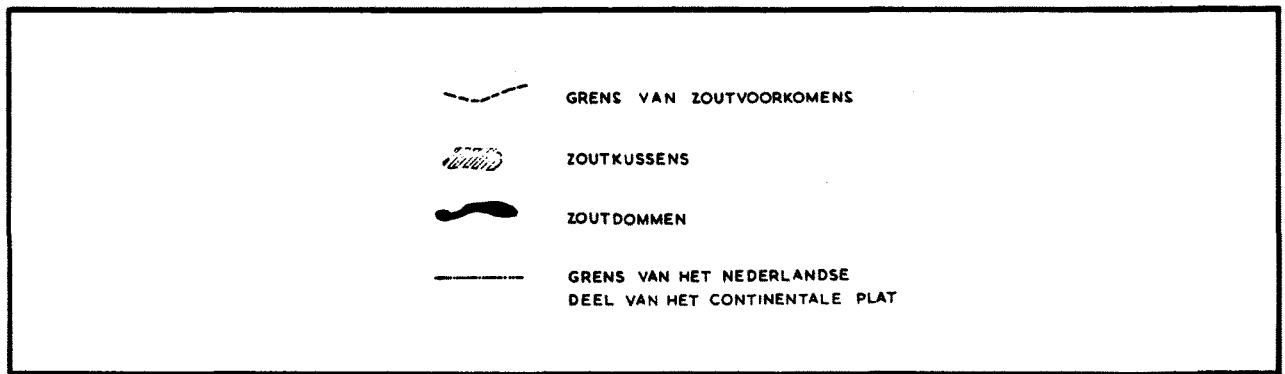
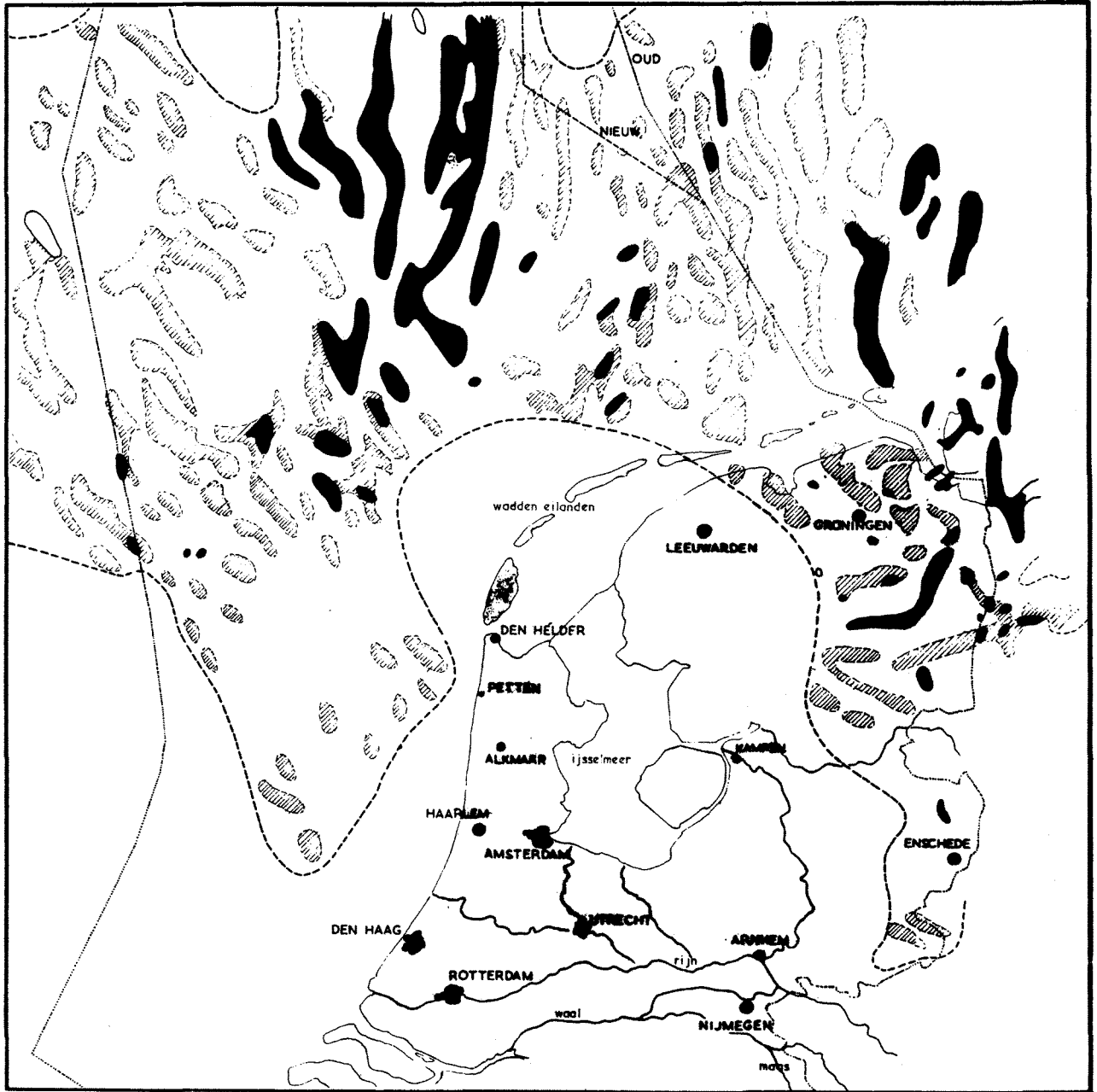
Figuur 5. HLW in m³'s.

Tot dusver is voor Nederland het probleem van verwerking van radioactief afval beperkt gebleven tot LAVA en MAVA. Dit werd meerdere malen in ENEA-verband gedumpt in de Atlantische Oceaan (6). Voor de vrij grote hoeveelheid LAVA verdient continuering van het dumpen voorkeur, tenzij op grond van economische overwegingen een alternatieve opbergmogelijkheid voor deze grote kwantiteit mogelijk blijkt (zie 3.2.5).

De lage ligging van het land en de relatief hoge grondwaterstand sluiten het onverpakt begraven van het radioactief afval op enkele meters diepte onder de grond uit. Met uitzondering van de steenzoutlagen bestaat ook voor opberging op grotere

diepten de mogelijkheid, dat het afval in contact komt met grondwater. Het wordt wel mogelijk geacht LAVA in te storten in blokken van gewapend beton en stapelingen van deze blokken op een gecontroleerd terrein door afdekking met grond aan te passen aan de omgeving (zie 3.2.4).

Opbergsilo's of bunkers op daarvoor aangewezen terreinen zijn binnen onze landsgrenzen een technisch mogelijke oplossing. Betwijfeld wordt of het inbeslagnemen van terrein voor permanente bovengrondse opslag op heel lange termijn bezien voor ons land een verantwoorde oplossing zal zijn. Zo deze oplossing toch verkozen wordt, dan dwingen de gelimiteerde terreinafmetingen en bouwhoogte



Figuur 6. Zoutvoorkomens in Nederland en het Nederlandse deel van het Continentale Plat.

van de beginne af tot minimalisering van het op te bergen volume.

Gelet op de desbetreffende publikaties (7, 8, 9) en na een eerste overleg met deskundigen lijkt het mogelijk één van de in ons land aanwezige zoutvoorkomens te bestemmen voor opslag van radioactief afval, een oplossing die de werkgroep reëel en attractief voorkomt. Voor LAVA en MAVA wordt daarbij gedacht aan het uitloggen van een hoge holte met kleine diameter, die via een vulpijp van beperkte diameter volgestort kan worden. Voor opbergen van HAVA en met name HLW is het aanleggen van een opbergmijn in een zoutvoorkomen een mogelijke oplossing, die nader bestudeerd dient te worden.

Zo bij de terreinkeuze voor de verwerkingsgebouwen bovengronds boven de opbergruimten overwegende bezwaren aangevoerd zouden worden, dan is het zelfs denkbaar het gebruik van één van de zoutvoorkomens onder de Noordzee te betrekken bij de terreinkeuze-procedure, en daarboven een werkeiland aangelegd te denken. De kosten voor een dergelijk project lijken vooralsnog prohibitief, tenzij het eiland ook voor andere activiteiten benut zou kunnen worden. Daarbij wordt gedacht aan verwerking van chemisch afval, dan wel het aanleggen van een kerncentralepark.

Voor een globale indicatie van een aantal gepubliceerde zouthorsten in Nederland en voor onze kust zij verwezen naar figuur 6.

3.2. Verwerking van LAVA

3.2.1. Verwerking aangepast aan het deponeren op de oceaانبodem

De in de loop der jaren bij het RCN ontwikkelde verwerkingswijze voor LAVA gaat uit van een volumereductie met een factor 5 door samenpersen in een 90-tons schrootpers. Om het afval na persen voldoende vormvast te maken en het gewicht van de geperste blokken gunstig te beïnvloeden, wordt het afval in 90 l vaten aangevoerd en met vat en al verperst. Gemiddeld vijf van deze samengeperste vaten kunnen in-gebetonneerd worden in een 200 l dumpvat, daarin ca. 85 l nuttige ruimte vullend binnen een betonmulling.

De verwerkingskosten per m³ niet-samengeperst afval bedragen f 1000,-.

Deze kosten zijn gebaseerd op de huidige verwerkingsinstallatie te Petten (capaciteit 14 m³ niet-samengeperst afval per dag, dat is ca. 3200 m³ per jaar).

De noodzakelijke opeenvolgende bewerkingen en met name de betonverwerking vragen om voldoende grote aantallen te verwerken vaten per storting. Zouden er meerdere kerncentrales op één terrein opgesteld worden dan is het denkbaar, dat het

LAVA ter plaatse dumpklaar gemaakt wordt. Vooralsnog blijft het aanbod van LAVA uit het gehele land binnen de capaciteit van één centrale verwerkingsinstallatie. Zolang dumpen in de oceaan van dit soort afval toepassing blijft vinden, waarvoor de werkgroep sterk geporteerd is, kan het RCN deze verwerking verzorgen.

3.2.2 Verwerking aangepast aan een lokale permanente bovengrondse opslag

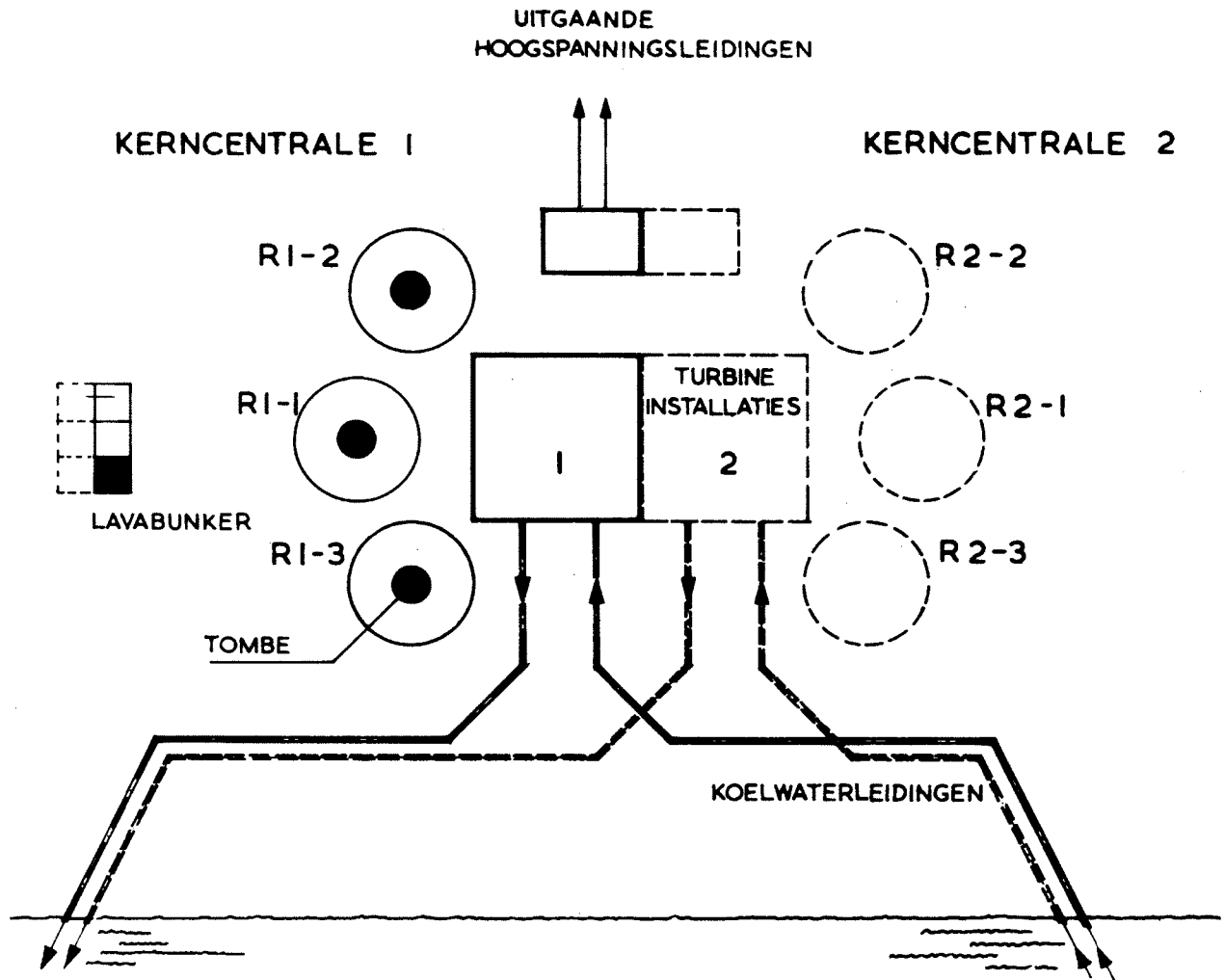
Stellen wij vast dat een deel van de kerncentrale na buitenbedrijfstelling en na ontmanteling ter plaatse voor tenminste 100 jaar gecontroleerd in stand wordt gehouden, dan kan overwogen worden daaraan een opslagvoorziening voor het geproduceerde LAVA toe te voegen. Uitgaande van een bedrijfstijd van 40 jaar, een jaarproductie van 200 m³ niet-samengeperst LAVA, en een volumereductie met een factor 5 door samenpersen, wordt een opslagcapaciteit berekend van 1600 m³ per kerncentrale. Houden wij verder rekening met 400 m³ LAVA, afkomstig van een gedeeltelijke ontmanteling, dan is de benodigde opslagbunkerinhoud, bij een vullingsgraad van 80%, ca. 2500 m³ per kerncentrale. Een bunker van 12 m hoogte en een grondvlak van 15 bij 16 m is derhalve voldoende groot. Gedacht is aan een onderverdeling van deze bunker, een eenvoudige persinstallatie in een verplaatsbare opstelruimte op de bunker, het meepersen van de 90 l ophaalvaten, het bedrijven van de persinstallatie eenmaal per veertien dagen door twee man centralepersoneel en voldoende tussenopslagruimte voor de ophaalvaten.

De verwerkingskosten per m³ niet-samengeperst afval bedragen f 450,-.

Of de hiervoor geschetste oplossing ook reëel mogelijk is, hangt af van de grootte van het beschikbare terrein rondom de kerncentrale en de reserveringen, die daarop gemaakt zijn voor de op lange termijn steeds weer nieuw te bouwen vervangingskernreactoren, die achtereenvolgens dezelfde koelwatercapaciteit benutten en hun elektrisch vermogen afleveren aan dezelfde uitgaande hoogspanningslijnen (zie figuur 7). Laten de eindige afmetingen van het centraleterrein de aanleg van een lokale afvalopslag niet toe, dan kunnen voorzieningen getroffen worden, het LAVA van alle centrales door een ophaaldienst af te voeren naar een centraal gelegen opslagvoorziening.

3.2.3 Verwerking aangepast aan een permanente centrale bovengrondse opslag

Verondersteld wordt dat een terrein van ca. 5 ha beschikbaar gesteld kan worden waarop opslagloodsen gebouwd worden en waar centraal al het LAVA geperst wordt en waar het bedienend perso-



Figuur 7. Schets opstelling van vervangingsreactoren op lange termijn bezien.

- R 1-1 Eerst geïnstalleerde kernreactor.
- R 1-2 Eerste vervangingsreactor.
- R 1-3 Tweede vervangingsreactor.
- R 2-1 Tweede te installeren kernreactor ter verdubbeling van centrale vermogen.
- R 2-2 Eerste vervangingsreactor.
- R 2-3 Tweede vervangingsreactor.

neel tevens een zekere bewakingstaak over het geheel uitoefent. Gebaseerd op een jaarlijks aanbod van 3200 m³ niet-samengeperst afval, een jaarproduktie die na 1985 bereikt zal worden, bedragen de verwerkingskosten voor deze oplossing per m³ niet-samengeperst afval f 540,-.

Wanneer het samenpersen reeds op de kerncentrales zou plaatsvinden, dan komen de verwerkingskosten te liggen op f 545,- per m³ niet-samengeperst afval.

3.2.4. Verwerking in monolieten

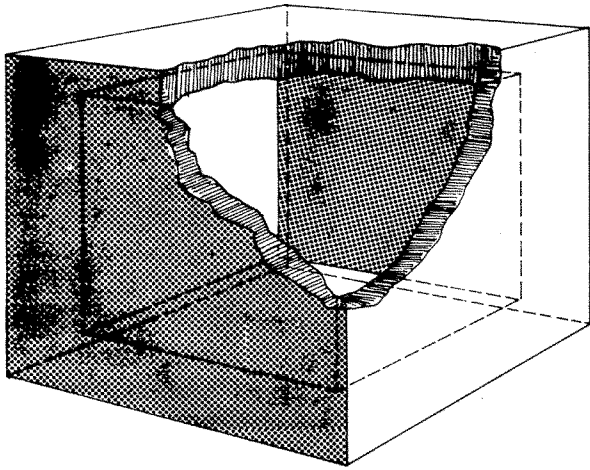
Verondersteld is dat een goede kwaliteit gewapend

beton ondergronds na 100 jaar slechts een heel geringe aantasting zal vertonen en dat analoog aan hetgeen er met delen van ontmantelde reactoren zal gebeuren ook LAVA verantwoord in gewapend beton ingestort kan worden (10). Gedacht is aan blokken met een ribbe van 160 cm en een gewicht van ca. 6 ton, die qua formaat nog redelijk hanteerbaar zijn (zie figuur 8). Het instorten kan bij het RCN plaatsvinden, waarna deze monolieten ter plaatse in het duinlandschap opgestapeld, door het overkomende stuifzand bedekt zullen raken.

De verwerkingskosten per m³ niet-samengeperst afval werden voor deze oplossing berekend op f 660,-.

De prognose is dat 12.000 m³ niet-samengeperst LAVA geproduceerd wordt tot en met 1985. Zou al dat LAVA verwerkt moeten worden in monolieten, dan zijn daarvoor 1500 stuks nodig, die tweehoog gestapeld een strook grond van 30 bij 90 m in beslag zullen nemen.

De werkgroep acht deze werkwijze aanvaardbaar



Figuur 8. Schets betonmonoliet. Nuttige inhoud $120 \times 120 \times 120$ cm. Te vullen met pakketten 38×38 hoog 15 tot 60 cm, geperst in een 90-tons schrootpers.

uitsluitend als compromisoplossing, wanneer onverhoopt het zeedumpen gestaakt zou moeten worden en de aanbevolen stortholte (zie 3.2.5) nog niet beschikbaar is.

3.2.5. Verwerking aangepast aan een ondergrondse opslag

Zoals reeds werd vermeld onder 3.1. moet het mogelijk zijn in één van de zoutvoorkomens een stortholte uit te logen en deze daarna als droge opslagruimte te gebruiken. Bij een natte opslagruimte wordt de door het afval te verdringen pekkel radioactief besmet, waardoor het afvalverwerkingsprobleem alleen maar groter zou worden. Een droge stortholte geeft het voordeel dat de door het afval te verdringen lucht gemakkelijk door filters te reinigen zal zijn.

Analoog aan het dumpen in de oceaan is het in deze holte gestorte afval niet meer terug te halen. Uit economische overwegingen is de toegankelijkheid van zo'n stortholte beperkt door een buis met een diameter van ca. 30 of 45 cm, waarbinnen een dumppliftmechanisme de pakketten afval tot in de stortholte zal moeten brengen.

Gedacht mag worden aan een verbuizing tot 400 m diepte en een stortholte van 400 tot 500 m diepte. Rekenen wij met een holtediameter van 20 m, dan levert dat een holte van ca. 30.000 m^3 op, waarvan bij een vullingsgraad van 70% ca. 20.000 m^3 nuttig gebruikt zal worden (zie figuur 9).

Door de grote stapelhoogte zal zeker inklinken van het afval plaatsvinden.

Verondersteld is dat voor een gunstig gelegen en kwalitatief goed zoutvoorkomen de aanlegkosten voor een stortholte beperkt kunnen blijven tot

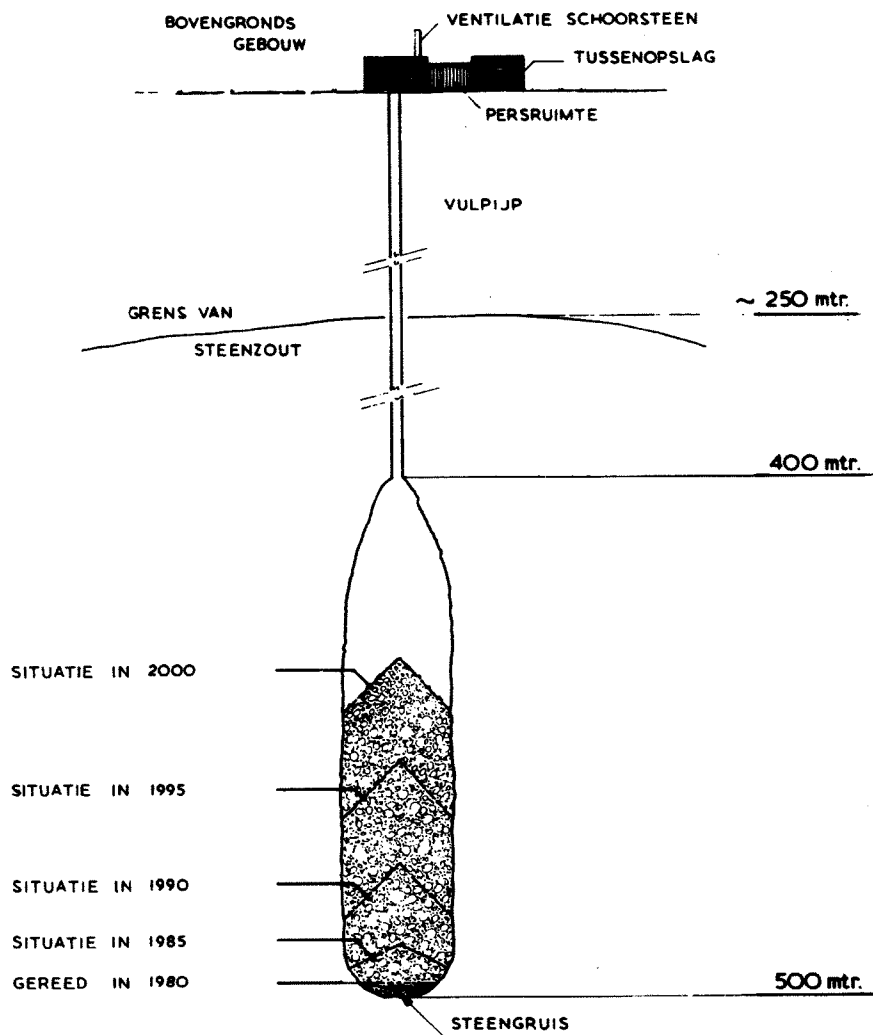
f 3.500.000,-. Een belangrijk aspect hierbij is de mogelijkheid de af te voeren pekkel naar een bestaand pekkeltransportnet te kunnen verpompen. De verwerkingskosten per m^3 niet-samengeperst afval werden voor een ondergrondse opslag berekend op f 600,-.

3.2.6. Enkele kanttekeningen bij de verwerking van LAVA

Bij alle hiervoor aangegeven verwerkingsmethoden is ervan uitgegaan, dat de ophaalvaten eenmalig gebruikt worden en mee tot afvalpakketten verperst worden. Het voordeel hiervan is tweërlei. Het aantal handelingen met mogelijk radioactief materiaal wordt beperkt, doordat niet hoeft te worden overgepakt of uitgepakt, terwijl bovendien het buitenom het afval gelegen vat na samenpersen de vormvastheid bewerkstelligt van het geperste afvalpakket. Alleen voor de oplossing onder 3.2.5 is het mogelijk te denken aan bulktransport van het afval. Tegenover de besparing in transportkosten staat dan echter wel extra verpakkingsmateriaal om het afval vormvast in een cilindrische vorm te brengen, aangepast aan de dumppliftvoorziening.

De bovengrondse en ondergrondse oplossingen zijn wat de kosten per m^3 betreft in orde van grootte aan elkaar gelijk, zodat economische overwegingen bij de uiteindelijke keuze nauwelijks een rol hoeven te spelen. Met het dumpen heeft het opbergen van afval in een ondergrondse stortholte het grote voordeel, dat na beëindiging van het aanbod van afval geen verdere bewaking van de opbergplaats nodig is, omdat de toegangspijp kan worden afgedicht en alle bovengrondse werken kunnen worden opgeruimd.

Bij alle hiervoor behandelde verwerkingsmogelijkheden is uitsluitend sprake geweest van samenpersen van het LAVA. Verbranding van het afval is, gelet op de hoeveelheden en de aard van het materiaal waar het hier om gaat, om de navolgende redenen buiten beschouwing gebleven. In tegenstelling tot de betrekkelijk simpele persmethode, die zonder enig bezwaar met onderbrekingen kan worden uitgevoerd, vereist een verbrandingsinstallatie veel aandacht en bij voorkeur een continue aanvoer van de te verbranden produkten. Niet alleen vraagt een verbrandingsoven een grote investering, ook de bedieningskosten zijn hoog en de installatie vergt veel onderhoud. Zolang dan ook wat de grootte van de opbergcapaciteit betreft volstaan kan worden met een volumereductie met een factor 5, zoals dat met persen mogelijk is, komt het verbrandingsproces niet voor toepassing in aanmerking. Dit zou wel het geval kunnen zijn wanneer zeedumpen nog vele jaren zou worden toegepast. Dan immers levert de grotere volumereductie



Figuur 9. Schets van een stortholte in een zoutvoorkomen, gebaseerd op de prognose van het aanbod LAVA en MAVA. De stortholte is ca. 30.000 m³ groot met een diameter van ca. 20 m.

die met verbranding bereikt kan worden economische voordelen op.

3.3. Verwerking van MAVA

3.3.1. Verwerking aangepast aan het deponeren op de oceaانبodem

Door het RCN wordt voor verwerking van slib en afgewerkte harskorrels, die tot de categorie van het MAVA gerekend kunnen worden, een 200 l dumpvat toegepast, waarin binnen de betonafscherming 20 l nuttige bergruimte is. Zolang het dumpen van dit soort afval mogelijk blijft, is het denkbaar, dat van betonafscherming voorziene vaten ter plaatse bij de kerncentrales gevuld worden met MAVA en ter plaatse geheel afgewerkt worden voor dumpen. De verwerkingskosten per m³ MAVA werden berekend op f 12.500,-.

3.3.2. Verwerking aangepast aan een lokale permanente bovengrondse opslag

De hoeveelheid MAVA die jaarlijks door een kern-

centrale geproduceerd wordt is gering. Gebaseerd op een bedrijfsduur van 40 jaar zou per centrale ca. 400 m³ MAVA geproduceerd worden. Het vergt een betrekkelijk kleine investering van ca. f 100.000,- om hiervoor een ondergrondse betonnen kelder aan te leggen, voorzien van een roestvrij stalen binnenbekleding. Afschreven over 40 jaar kan de rente en aflossing voor deze investering omgerekend worden in een m³-prijs, groot f 840,-. Eerst bij ontmanteling van de kerncentrale kan dan beslist worden of het door natuurlijk verval van de kortlevende radioisotopen gemakkelijker te hanteren afval al dan niet afgevoerd zal worden.

3.3.3. Verwerking aangepast aan een centrale opslagvoorziening

Gelet op het gestelde onder 3.2.2 tot en met 3.2.6 wordt voor een centrale verwerking van het MAVA uitsluitend het opbergen in een ondergrondse stortholte nader in beschouwing genomen. Voor transport van de kerncentrales naar de centrale opslag-

voorziening wordt verondersteld, dat over een transportwagen beschikt kan worden, die aan alle wettelijke daaraan te stellen eisen voldoet en waarin het MAVA in bulk afgeschermd vervoerd kan worden. Daarbij dient gezocht te worden naar het juiste compromis tussen een voldoende lange opslag bij de kerncentrale voor benutting van het natuurlijk verval van kortlevende radioisotopen, de praktische uitvoerbaarheid van de betrekkelijk weinig in gebruik zijnde transportwagen, en de hanteerbaarheid van het MAVA bij de opslagvoorziening. Verondersteld wordt, dat het MAVA, hetzij in een daartoe passend formaat klein vat, hetzij in beton of bitumen in cilindrische vorm vastgemaakt, geschikt gemaakt wordt voor de dumpliftvoorziening bij de stortholte.

De verwerkingskosten per m³ MAVA werden berekend op f 2.900,-.

3.4. Verwerking van HAVA

Zoals reeds gesteld werd in 2.6 blijft de hoeveelheid HAVA door een kerncentrale gedurende de totale bedrijfstijd van 40 jaar beperkt tot ca. 200 m³. Aangezien de hoge specifieke activiteit zowel van de afgewerkte harsen uit het primaire systeem als van uit bedrijf genomen reactoronderdelen langere opslag ter plaatse noodzakelijk maakt, heeft de werkgroep aangenomen, dat bij iedere kerncentrale voldoende opslagcapaciteit gemaakt wordt voor het te produceren HAVA. Verwerking van het HAVA zal eerst nader ter discussie komen, wanneer de ontmanteling van de centrale moet worden voorbereid. Dan zal de verwijdering van het HAVA een probleem zijn van dezelfde orde als het verwijderen van andere geactiveerde onderdelen van de reactorinstallatie.

3.5. Verwerking van HLW

Voor verwerking van HLW in de vorm van glasblokken of gelijksoortige eindvormen moet niet alleen met de sterke radioactieve straling, maar ook met de ontwikkeling van vervalwarmte rekening worden gehouden. Of opslag van HLW in gunstig gelegen steenzoutlagen een zinvolle oplossing zal zijn moet uit een nadere bestudering van de in principe aanwezige mogelijkheden blijken. Valt deze studie gunstig uit, dan moet in verband met de warmteontwikkeling in ieder geval gerekend worden met een ruime onderlinge afstand tussen opslagpijpen voor de blokken HLW (11 en 12).

In tegenstelling tot de stortholte voor berging van LAVA en MAVA moet voor opslag van HLW gedacht worden aan de aanleg van een zoutmijn. Dit is een bijzonder kostbare zaak waarvan wij ons wel een beeld kunnen vormen, maar waarvoor een enigszins betrouwbare kostenraming op dit moment

onmogelijk te maken is. Ter gedachtebepaling gaan wij uit van twee verticale hoofdschachten op ca. 100 m onderlinge afstand, de eerste hoofdgang met zijgangen op 800 m diepte en de laatste aan te leggen verdieping op ca. 500 m diepte.

Afhankelijk van de leeftijd van de splijtingsproducten en de daaruit vrijkomende vervalwarmte is een bepaalde spreiding van de cilindrische blokken HLW in het steenzout noodzakelijk, opdat de temperatuur in het gesteente niet te hoog oploopt. Denken wij aan weerszijden van de hoofdgang de 14 zijgangen 100 m lang, dan zijn er op 7 m hart op hart in één verdieping 280 vulpijpen te maken. Denken wij iedere vulpijp met 2 cilindrische bussen van 15 cm diameter en 3 m lengte gevuld en afgesloten met een prop steenzout van eveneens 3 m, dan kan zodoende per verdieping 40 m³ HLW opgeborgen worden. Nadat de vulpijpen in een zijgang gevuld zijn wordt deze met los steenzout, afkomstig uit een nog in aanleg zijnde zijgang gevuld. Denken we de zijgangen verspringend aangebracht ten opzichte van de vorige verdieping, dan kan op iedere 15 m een verdieping worden aangelegd. In 20 verdiepingen is zodoende 800 m³ HLW op te bergen, wat voldoende is tot na 2000.

Schatten we het openleggen en opvullen van een dergelijke mijn zeer globaal op f 50.000.000,- investeringen en doorlopend werk voor tenminste 10 man, dan is op basis daarvan een berekening te maken van de verwerkingskosten, die sluit op f 250.000,- per m³ HLW.

Aangezien per ton verwerkte splijtstof ongeveer 0,1 m³ HLW ontstaat, bedragen de opslagkosten per kg U f 25,-. In vergelijking tot de opwerkingskosten die naar verwachting tot het jaar 2000 zullen oplopen tot ca. \$ 40,- per kg U en in vergelijking tot de transportkosten van het HLW, die geraamd worden op \$ 2,- per kg U (13), is de hiervoor berekende prijs voor permanente opslag van het HLW alleszins acceptabel.

4. Ontmantelen van reactorinstallaties

4.1. Algemeen

Wat er met de reactorinstallaties moet gebeuren van verouderde en buiten bedrijf gestelde kerncentrales is een vraag waarop vooralsnog geen eenduidig antwoord te geven is. Aangezien de vestigingsplaatsen in Nederland schaars zullen zijn mag verondersteld worden dat op langere termijn bezien een mogelijk hergebruik van het door een buiten bedrijf gestelde kerncentrale in beslag genomen terrein nagestreefd zal worden.

Uiteraard zullen de sloopwerkzaamheden aan de tijdens het reactorbedrijf geactiveerde of besmet geraakte onderdelen van de reactorinstallatie aanzienlijk vergemakkelijkt worden wanneer het slopen

eerst jaren na het buitengebruikstellen plaatsvindt. Informaties over elders reeds uitgevoerde sloopwerkzaamheden aan reactorinstallaties verricht zijn schaars. Om echter enig inzicht te krijgen over de hoeveelheden radioactief afval die geproduceerd zullen worden wanneer een reactorinstallatie gesloopt wordt, kan het navolgende worden aangekend.

Verreweg de belangrijkste onderdelen uit het oogpunt van activering zijn het reactorvat, de kernmantel en de ondersteuningsplaten. Ook de componenten uit het reinigingssysteem zullen aandacht vergen.

Naar schatting betreft het 300 ton materiaal, stapelbaar en samenvoegbaar tot ca. 150 m³.

De activering van het beton is niet bijzonder groot. Toch moet gerekend worden op ca. 200 m³ weggehakt beton, dat als LAVA behandeld zou dienen te worden.

5. Conclusies en aanbevelingen

In het voorgaande zijn reeds verschillende proposities naar voren gekomen, die bij deze in de vorm van conclusies en aanbevelingen als volgt worden samengevat.

5.1. LAVA

- Het scheiden aan de bron verdient aanbeveling, maar vergt echter een bijzonder goede discipline van het bedrijfs personeel, zonder dat de zekerheid bestaat dat fouten uitgesloten zijn.
- Het sorteren achteraf is praktisch niet uitvoerbaar.
- Aan verwerking op een centraal punt, hetzij ter voorbereiding van dumping, hetzij voorafgaand aan ondergrondse opslag wordt de voorkeur gegeven.
- Het dumpen in de oceaan is een verantwoorde methode, waarmee derhalve kan worden doorgegaan.
- De werkgroep is echter van mening dat in daarvoor geschikte zoutvoorkomens de beste opslag gevonden kan worden. Op korte termijn dient nagegaan te worden welke zoutformatie in Nederland voor het maken van een droge stortholte in aanmerking komt. Hierbij dient eveneens de nodige aandacht besteed te worden aan de terreinkeuze-procedure en de bovengrondse werken. Een dergelijke ondergrondse opslagvoorziening zou omstreeks 1980 bedrijfs gereed kunnen zijn, hetgeen in verband met het aanbod van afval wenselijk geacht wordt.
- Zo onverhoopt het dumpen zou moeten worden gestaakt op een tijdstip waarop nog geen stortholte beschikbaar is, dan kan het instorten in beton en de opslag van de monolieten in het

dunterrein bij het RCN - of elders - als aanvaardbare compromis-oplossing worden toegepast.

- Het aanbod tot het jaar 2000 betreft een hoeveelheid afval die zeer wel te hanteren is. Gelet op de hierboven vermelde mogelijkheden wordt vooralsnog aan het samenpersen de voorkeur gegeven boven het verbranden van LAVA. Op langere termijn bezien en mogelijke verbeteringen in de verbrandingstechniek verwachting, zou verbranding van LAVA uit het oogpunt van economische volumereductie aantrekkelijk kunnen worden.

5.2. MAVA

- Omdat de geproduceerde hoeveelheden gering zijn en transport van afgeschermd MAVA zowel als het dumpen of opbergen ervan naar verhouding duur, beveelt de werkgroep aan bij iedere centrale voldoende opslagcapaciteit te voorzien om de gehele produktie van MAVA gedurende de levensduur van de kerncentrale te kunnen bergen. Na buitenbedrijfstelling kan dan, als onderdeel van een ontmantelingsprocedure, over de verwerking van MAVA nader beslist worden.
- Als een ondergrondse opslagcapaciteit voor LAVA beschikbaar is, kan het jaren in opslag geweest zijnde MAVA, met behulp van afgeschermd transport, in 'bulk' naar deze opslagplaats worden vervoerd en onafgeschermd opgeslagen worden.

5.3. HAVA

- De werkgroep beveelt eveneens aan om voorzieningen te treffen, opdat ionenwisselaars uit het primaire systeem ter plaatse kan worden opgeslagen voor een aantal jaren.
- Ook voor andere typen HAVA, zoals reactoronderdelen, geldt eenzelfde conclusie.
- Eerst op langere termijn valt te bezien welke transportvoorzieningen getroffen kunnen worden om dit afval af te voeren naar een in bedrijf zijnde stortholte of opslagmijn.

5.4. HLW

- Hiervoor komt, na een tussenopslag in gekoelde tanks bij de splijtstofopwerkfabrieken, alleen een opslag in stabiele geologische formaties in aanmerking.
- Op korte termijn dient een internationaal overleg te worden aangevat om tijdig te komen tot een ook voor Nederland toegankelijke veilige bergplaats voor HLW elders in Europa.
- Parallel daaraan dienen de mogelijkheden voor de aanleg van een opslagmijn op Nederlands grondgebied nader te worden onderzocht. Ten-

Comparative study of nuclear and conventional propulsion for large containerships

Naar aanleiding van mijn kritiek in het nummer maart 1971 van dit tijdschrift over bovengenoemde studie van de Stichting Kernvoortstuwning Koopvaardij schepen heeft de heer Kruseman, de schrijver van het rapport, tijdens een gesprek aan boord van NS 'Otto Hahn' mij zijn standpunt nader verduidelijkt. Dit geschiedde nogmaals uitvoeriger in zijn artikel in dit tijdschrift van juni 1972. De

plaatsing van dit artikel ondervond vertraging door allerlei oorzaken.

In mijn kritiek op het rapport van genoemde stichting meende ik te moeten constateren dat de heer Kruseman zich partijdig had opgesteld tegen de toepassing van kernenergie in de koopvaardij. Deze indruk is door het bovengenoemde gesprek weggenomen.

Ir. M Muysken.

einde een evenwichtige ontwikkeling van de kernenergie-opwekking in Nederland veilig te stellen, is de werkgroep van mening dat ook dit onderzoek op korte termijn dient aan te vangen. Als futuristische oplossing suggereert de werkgroep in deze studie te betrekken de bouw van een 'multi-purpose' eiland in de Noordzee. Wanneer zou blijken dat de zoutvoorkomens in de nabijheid van onze kust niet al te diep gelegen zijn. Naar onze mening zou een dergelijk eiland aan een kernenergiepark plaats kunnen bieden terwijl, mogelijk in internationaal verband, ook aan de oprichting aldaar van een splijtstofopwerkingsfabriek gedacht kan worden.

De werkgroep beveelt tenslotte de directie van het RCN aan:

1. Maatregelen te nemen en de middelen daarvoor te verwerven opdat tot omstreeks 1980 ook het LAVA van de kerncentrales in Petten verwerkt zal kunnen worden, hetzij voor dumpen in de oceaan, hetzij ter verwerking in monolieten.
2. Werkgroepen te formeren, met inschakeling van deskundigen van buiten het RCN, voor de keuze van een zoutformatie, het nader uitwerken van de aanleg van een stortholte en het verrichten van een bijbehorende terreinkeuzeprocedure.
3. Een programma van eisen te doen opstellen waaraan een opslagmijn voor HLW uitsluitend uit nucleair-technisch oogpunt zal moeten voldoen.
4. Een werkgroep te formeren die het onderzoek naar de aanleg van een opslagmijn ter hand neemt.

5. Bij de overheid aan te dringen op internationaal overleg ter verkrijging van toegang tot een opslag voor HLW elders in Europa en op continuering van het dumpen in de oceaan uitsluitend voor LAVA.

Literatuur

1. Economische evaluatie van een snelle natriumgekoelde kernreactor en van de Nederlandse bijdrage in de ontwikkelingskosten daarvan, Stichting Het Nederlands Economisch Instituut, Rotterdam, oktober 1971.
2. J. H. Bakker, Uitspraak gedaan tijdens de conferentie Kernenergie in Nederland, Stand van zaken en toekomstige ontwikkeling, Petten, 30 mei 1972.
3. Standardisation of Radioactive Waste Categories, Techn. Report Series No. 101, IAEA, Vienna, 1970.
4. Persoonlijke mededeling S. H. Woldringh.
5. Persoonlijke mededeling A. Tiktak.
6. Radioactive Waste Disposal Operation into the Atlantic 1967, ENEA, Paris, september 1968.
7. J. I. S. Zonneveld, Tussen de bergen en de zee, 1971, p. 44 en 45.
8. H. Krause e.a., Project of a Salt Cavity for the Storage of Radioactive Wastes, Proc. Symp. on the Disposal of Radioactive Wastes into the Ground, Vienna, 1967.
9. S. Serata, F. F. Gloyna, Principles of Structural Stability of Underground Salt Cavities, J. Geophys. Res., 65, No. 9, 2979, 1960.
10. Y. Marque e.a., Evolution dans la gestion des déchets solides d'activité intermédiaire au centre de Saclay, Proc. Symp. Management of Low- and Intermediate Level Radioactive Wastes, IAEA, Vienna, 1970.
11. R. L. Bradshaw e.a., Storage of Waste Solids and Liquids in Salt Formations, Proc. Symp. Treatment and Storage of High-level Radioactive Wastes, IAEA, Vienna, 1963.
12. Siting of Fuel Reprocessing Plants and Waste Management Facilities, ORNL-4451, July 1970.
13. The Future of Reprocessing in Europe, A Foratom Study, February 1970.

Collectie Stichting Laka

www.laka.org

Gedigitaliseerd 2021

Collectie Stichting Laka

www.laka.org
Gedigitaliseerd 2021