

Radioactief afval

Frodo Klaassen¹ en Roland Jansma, Nuclear Research and consultancy Group (NRG),
Postbus 25, 1755 ZG Petten

Inleiding

In Europa wordt 35% van alle stroom met kernenergie geproduceerd. Zoals bij alle vormen van energieproductie, wordt daarbij ook afval geproduceerd, dat deels wordt hergebruikt. Omdat het afval gedurende lange tijd een potentieel gevaar kan vormen, moet het geïsoleerd worden van onze leefomgeving. Hiervoor zijn meerdere technische oplossingen voorhanden. Om deze verder te verbeteren wordt onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van veilige bovengrondse en ondergrondse opslag. Ook wordt er onderzoek gedaan naar methoden om de levensduur van het afval te bekorten (transmutatie) of het afval in geologisch stabiele mineralen op te slaan (immobilisatie).

Wat is radioactief afval?

Radioactief afval is afval dat ioniserende straling afgeeft. Teveel van deze straling is schadelijk voor de mens. Daarom dient radioactief afval te worden afgeschermd van de biosfeer.

Radioactief afval kan worden ingedeeld in ruwweg drie soorten.

- Laag- en middelactief afval. Engels: LLW, Low Level Waste
Dit is afval, dat maar een geringe radioactiviteit bevat, en dat relatief eenvoudig bovengronds kan worden opgeslagen in betonnen of metalen vaten. Het komt onder andere uit ziekenhuizen, (nucleaire) laboratoria, van nucleaire energieopwekking en uit de olie- en gasindustrie. Veel van dit afval zal volgens de huidige normen na circa 100 jaar niet meer als radioactief afval geclassificeerd worden.
- Hoogactief niet warmteproducerend afval. Engels: ILW, Intermediate Level Waste
Omdat het hoogradioactief is, moet het goed afgeschermd over langere periodes bewaard worden. Dit afval wordt geperst en in beton gegoten.
- Hoogactief warmteproducerend afval. Engels: HLW, High-Level Waste
Dit betreft opgebrande splijtstof en het verglaasde afval dat na opwerking terugkomt. Dit noemt men wel KernSplijtingsAfval (KSA). Dit afval is langlevend (orde 100.000 jaar) en warmte producerend, vooral gedurende de eerste 100 jaar. Een kerncentrale² van 500 MWe genereert per jaar één kubieke meter van dit afval. Hoewel het maar een klein deel van het totale afvalvolume beslaat, bevat het een groot deel van de radioactiviteit.

In Tabel 1 staat een overzicht van de totale hoeveelheid Nederlands radioactief afval, te verwachten in 100 jaar [1]. Deze getallen vormen de basis voor de vergunningsverlening aan de COVRA en zijn dus ruime (over)schattingen van wat men werkelijk verwacht [2].

¹ Email: klaassen@nrg-nl.com

² Lichtwaterreactor, het type kerncentrale dat het meest in de wereld wordt gebruikt.

De vetgedrukte items zijn afkomstig uit nucleaire elektriciteitsopwekking, plus een gedeelte van het LLW. Uit het overzicht blijkt dat KSA bijna 97% van de totale radioactiviteit veroorzaakt en maar een marginaal deel van het volume inneemt. Het grootste (volume)gedeelte (98%) van het radioactieve afval in Nederland is laag- en middelactief, dat nauwelijks bijdraagt aan de radioactiviteit. De uranium tails³ vormen een aparte categorie; dit afval, dat nauwelijks radioactief is, is afkomstig van de verrijking van uranium door URENCO.

Deze factsheet gaat vooral in op aspecten van het kernsplijtingsafval (categorie 3 in Tabel 1). Dit afval wordt vrijwel uitsluitend door nucleaire energieopwekking geproduceerd.⁴ Doordat het zeer radioactief en langlevend is, is een langdurige en veilige opslag van KSA noodzakelijk, hetgeen uitgebreide technische voorzieningen vereist. Deze noodzaak is een belangrijk aspect waardoor kernenergie regelmatig onderwerp van discussie is.

Tabel 1. Verwachte hoeveelheden radioactief afval door de COVRA te verzamelen in 100 jaar. Vetgedrukte items betreffen afval door elektriciteitsopwekking in kerncentrales. Gegevens uit Milieueffectrapport van COVRA NV, 15 augustus 1995 [1]

	Verwacht volume (m ³)		Radioactiviteit (TBq)*	
	Percentage		Percentage	
Categorie 1 (LLW)				
LLW**	158000	98.1%	15100	0.14%
Uranium tails***	1300ton		0.07	
Categorie 2 (ILW)				
Ontmanteling van kerncentrales	2000	1.2%	20000	0.18%
ILW uit opwerking	810	0.5%	300000	2.7%
ILW uit onderzoeksreactoren	120	0.1%	16000	0.15%
Categorie 3 (HLW)				
Opgebrande splijtstof	40	0.02%	980000	9.0%
Verglaasd KSA	70	0.04%	9620000	87.9%

* Een terabecquerel (TBq) is een eenheid van radioactiviteit

** Een gedeelte van het LLW komt ook uit kerncentrales

*** Afkomstig uit de verrijkingsactiviteiten van URENCO, met name voor kerncentrales in het buitenland

Productie en verwerking van radioactief afval

Radioactief afval ontstaat bij vele menselijke activiteiten. Het ontstaat onder meer in ziekenhuizen, bij wetenschappelijk onderzoek, bij het winnen van olie en gas, bij de energieopwekking in kolencentrales, en bij het opwekken van energie middels kernsplijting in kerncentrales. Radioactief afval heeft, in tegenstelling tot chemisch afval, de gunstige eigenschap dat de radiotoxiciteit - dit is de mate waarin het afval voor de mens gevaarlijk is - na langere of kortere tijd verdwijnt. Echter, de hoogactieve gebruikte splijtstof van kernreactoren verliest zijn radioactiviteit maar langzaam; het gaat om een periode van tien- tot honderdduizenden jaren. Gedurende de lange 'vervalperiode' moet

³ Verarmd uranium, een product dat vrijkomt bij de verrijking van natuurlijk uranium.

⁴ De onderzoeksreactoren in Petten en Delft produceren slechts een klein deel van het KSA.

het voldoende geïsoleerd worden van mens en milieu. De Nederlandse splijtstof van kerncentrales gaat naar buitenlandse fabrieken waar bruikbare stoffen (circa 96%) er uitgehaald worden voor hergebruik. Dit noemt men opwerking. De reststoffen worden in de opwerkingsfabrieken met een soort stabiele glasvorm gemengd die daarna in speciale containers wordt gegoten. Dit wordt verglazen genoemd.

Radioactief afval, beheer en beleid in Nederland

Nederland kent het beleid van een centrale inzameling van al het radioactieve afval door de COVRA NV, de centrale organisatie voor radioactief afval. COVRA beschikt al jaren over opslagfaciliteiten voor laag- en middelactief afval. Recentelijk is daar een opslagfaciliteit voor hoogactief afval bijgekomen, het zogenoemde HABOG. Deze HABOG is groot genoeg voor al het KSA dat men, volgens Tabel 1, verwacht. Bij de eventuele bouw van een nieuwe kerncentrale of verlenging van de levensduur van de bestaande installaties in Nederland, zou de capaciteit van het HABOG wel vergroot moeten worden.

Op het terrein van COVRA zal al het afval langdurig (tenminste 50 - 100 jaar) bovengronds worden opgeslagen. Het voornemen is om na die periode het afval in een geschikte ondergrondse eindberging onder te brengen. De daarvoor benodigde voorzieningen zullen in de tussenliggende periode moeten worden opgebouwd.

Het beleid van de overheid voorziet tevens in onderzoek van beperkte omvang naar een veilige eindberging van radioactief afval in de diepe ondergrond. Hierbij wil men aansluiten bij Europees onderzoek en tevens participeren in een buitenlandse ondergrondse testfaciliteit.

De strategie voor een definitieve eindberging is vooralsnog, dat kernafval zodanig wordt opgeslagen, dat het altijd mogelijk is het uit de eindberging terug te halen. Dit noemt men wel 'terughaalbaarheid'. Er zijn diverse opbergconcepten voor de veilige eindberging van radioactief afval. Alle gaan uit van een ontwerp met meerdere barrières (defense in depth) tussen het afval en de leefomgeving van de mens (de 'biosfeer'). Deze vele 'blokkades' zorgen ervoor, dat gevaarlijke stoffen, mochten zij vrij komen uit de verpakking, op weg naar de biosfeer tegengehouden, vertraagd en verdund worden. Bovendien zouden de stoffen tijdens deze zeer langdurige reis (gedurende honderdduizenden, soms miljoenen jaren) steeds meer radioactiviteit en daarmee hun schadelijkheid verliezen, waardoor de uiteindelijke mogelijke blootstelling van de bevolking beneden de toegestane waarden blijft. Hieraan zijn uitgebreide analyses gedaan voor diverse ondergrondse eindbergingsfaciliteiten, bijvoorbeeld door de Commissie Opberging Radioactief Afval (CORA). De analyses betreffen onder meer gepostuleerde ernstige ongevallen, zoals onderlopen met grondwater. De maximale stralingsdosis wordt bereikt honderdduizend jaar na de gepostuleerde ongevallen of later, en is op dat moment slechts een klein deel (minder dan 1%) van de natuurlijke achtergrondstraling [3].

Twee strategieën: directe opberging versus opwerking

Internationaal kan men twee strategieën waarnemen in de behandeling van hoogradioactief kernsplijttingsafval (KSA). Een aantal landen, zoals de Verenigde Staten, Finland en Zweden, hanteren voorlopig een strategie van 'directe eindberging', waarbij

de opgebrande splijtstof zonder opwerking wordt opgeborgen in een ondergrondse eindbergingsfaciliteit. Andere landen, zoals Frankrijk, Japan en Nederland, hebben een opwerkingsstrategie. Hierbij worden nuttige componenten, zoals uranium en plutonium, uit de splijtstof gewonnen, waarna het overgebleven afval wordt verglaasd. Overigens moet ook na opwerking het verglaasde afval voor zeer lange tijd ondergronds bewaard worden. Nederland heeft ervoor gekozen het verglaasde afval niet direct geologisch te eindbergen, maar eerst tijdelijk (voor circa 100 jaar) bovengronds op te slaan.

Plutonium neemt binnen de discussie over kernafval, ten opzichte van andere afvalcomponenten, een bijzondere plaats in. Enerzijds is plutonium op termijn (na enkele honderden jaren) voor 90% verantwoordelijk voor de radiotoxiciteit⁵ van kernafval. Anderzijds is het ook een splijtstof, waarmee elektriciteit kan worden opgewekt door middel van MOX splijtstof (mengsel van plutoniumoxide en uraniumoxide), in huidige of toekomstige generaties reactoren.

Beide strategieën (directe eindberging of opwerking) hebben hun voordelen en nadelen, maar zijn allebei technisch haalbaar en staan een veilige verwerking van KSA voor. In Tabel 2 staat een overzicht van de hoeveelheden benodigde grondstof en KSA voor beide strategieën: namelijk 1) zonder opwerking en 2) met een enkele recycle-stap en gebruik van MOX splijtstof. Getallen zijn genormeerd op 1 TWhe elektriciteitsproductie (de elektriciteitsvraag in Nederland in 2003 was ongeveer 115 TWhe). De opwerkingsstrategie verbruikt minder natuurlijk uranium en levert minder KSA op.

Tabel 2. Hoeveelheden grondstof en afval bij directe eindberging en bij opwerking. Getallen zijn genormeerd op 1 TWhe elektriciteitsproductie [4].

		Directe eindberging	Opwerking en gebruik van MOX splijtstof
Grondstof	Natuurlijk uranium	20513 kg	17881 kg
	Uranium splijtstof (na verrijking)	2394 kg	2088 kg
Afval	Uranium tails	18119 kg	15510 kg
	KSA in de vorm van opgebrande splijtstof	2394 kg	309 kg*
	Verglaasd KSA	0 kg	113 kg**
Voor hergebruik beschikbaar	(licht) verrijkt uranium	0 kg	1949 kg

* Opgebrande MOX-splijtstof.

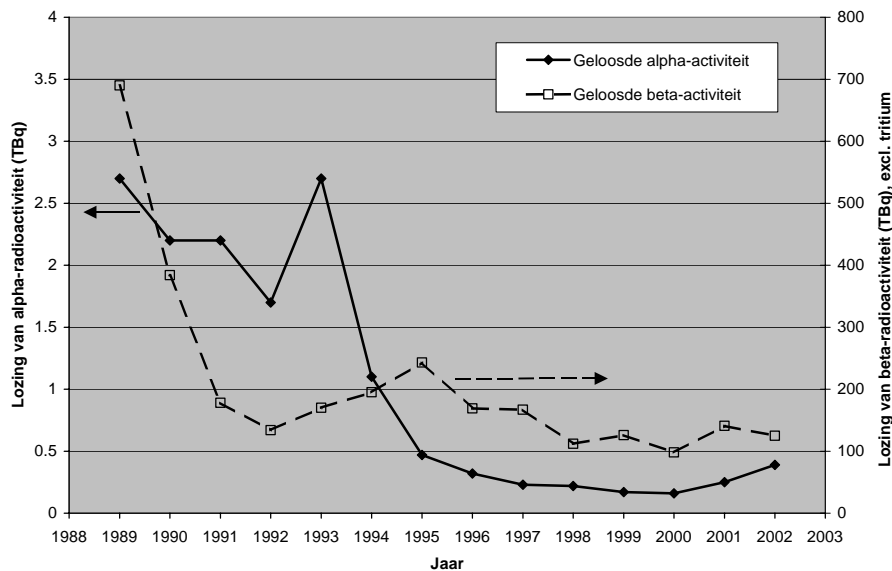
** Wordt verglaasd met ca. 700 kg glas.

Zowel een directe eindbergingsstrategie als een opwerkingsstrategie vereisen een eindberging voor hetzij splijtstof, hetzij restproducten van opwerking. De Verenigde Staten zijn ver gevorderd met het bouwen van een eindberging in Yucca Mountain, in de woestijn van Nevada, maar de vergunningsprocedure wordt daar herhaaldelijk vertraagd

⁵ De radiotoxiciteit is een maat voor de potentiële schadelijkheid van radioactieve stoffen voor het leefmilieu.

door juridische procedures. In Scandinavië (Zweden, Finland) verloopt de realisatie van een eindbergingsfaciliteit aanzienlijk soepeler. Door de Scandinavische overheden wordt dit toegeschreven aan de actieve communicatie (in een vroeg stadium) met de lokale bevolking.

Een nadeel van opwerking is dat er bij het proces radioactieve stoffen vrijkomen, die in geringe hoeveelheden, via lucht of water, in het milieu komen. De lozingshoeveelheden zijn weliswaar de laatste decennia sterk afgenomen (zie Figuur 1 en ref. [5]). Niettemin vormt het vrijkomen van deze radioactieve stoffen voor sommigen een belangrijk argument tegen opwerking en tevens tegen kernenergie. Ook is er discussie over de mogelijke proliferatie-risico's. In Tabel 3 zijn een aantal voor- en nadelen van eindberging en opwerking naast elkaar gezet.



Figuur 1. In zee geloosde, jaarlijkse hoeveelheden alpha en beta radioactiviteit door opwerkingsfabrieken in Europa (La Hague en Sellafield). Tritium (een vorm van waterstof) is hierin niet meegenomen (totale lozing in 2002 ongeveer 43 gram). Getallen uit ref. [5].

Tabel 3. Enkele voor- en nadelen van directe eindberging en opwerking.

Directe eindberging	
Voordelen	Nadelen
<ul style="list-style-type: none"> • Alle radiotoxische stoffen worden “contained”, i.e. opgesloten in de opgebrande splijtstof, opgeslagen. • Geen vrijkomen van radioactiviteit tijdens het opwerkingsproces. • Geen opwerkingsstap nodig, wat scheelt in kosten / transporten etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Geen hergebruik van nuttige splijtstof, die 96% van het afval uitmaakt, hierdoor is ook meer mijnbouw nodig. • Bij het gebruik van meer mijnbouw, komt tevens meer radioactiviteit vrij • Extra stap (en dus extra kosten) voor het conditioneren van splijtstof nodig. • Grotere volumes HLW in opslag.

Opwerking	
Voordelen	Nadelen
<ul style="list-style-type: none"> • Reductie van het volume <i>en</i> radiotoxiciteit van het hoogactief afval • Hergebruik van nuttige grondstoffen, hetgeen de omvang van mijnbouw beperkt. • Verglaasd afval is inert, de glasmasa is een goede barrière [3]. 	<ul style="list-style-type: none"> • Extra kosten voor opwerking nodig. • Kernafval wordt “ontleed”. Dit heeft tot gevolg dat enige radioactiviteit vrijkomt in het leefmilieu (dosis voor werknemers, lozingen). • Productie van additioneel radioactief afval (LLW en ILW). • Verglaasd afval kan met huidige technieken niet getransmuteerd worden

Verkorting van de levensduur van kernsplijtingsafval

Er is de laatste jaren steeds meer belangstelling voor de mogelijkheid van levensduurverkorting van kernafval door ‘transmutatie’. Hierbij is de levensduur gedefinieerd als de periode, dat de radiotoxiciteit van het kernafval is gedaald tot het niveau van het oorspronkelijke uraniumerts.

Bij transmutatie worden lang-levende componenten uit kernafval opnieuw bestraald en omgezet, getransmuteerd, in kort(er) levende en stabiele elementen. Dit proces kan gebeuren in een kerncentrale, of in speciaal ontworpen afvalreactoren. Bij transmutatie wordt tevens elektriciteit opgewekt. In feite is het gebruik van MOX splijstof een eerste stap om de levensduur van KSA te verkleinen, omdat het zeer radiotoxische plutonium wordt hergebruikt en als het ware wordt ‘opgebrand’. Voor een substantiële levensduurreductie dient een geavanceerde route van meerdere recycle-stappen gevolgd te worden. Bij 95% transmutatie van KSA daalt de levensduur van ca. 130.000 jaar⁶ tot iets meer dan 10000 jaar, bij 98% transmutatie tot iets meer dan 2000 jaar [6]. Eindberging van radioactief afval op deze (sub-geologische) tijdschalen is eenvoudiger. Op kleine schaal zijn met onderzoek goede resultaten geboekt. Zo zijn er alternatieve splijstofconcepten ontwikkeld, waarmee plutonium sneller kan worden afgebroken [8]. Ook is in de Hoge Flux Reactor in Petten een bestralingstest uitgevoerd, waarmee americium, na plutonium het meest radiotoxische element in kernafval, voor 99.8% is getransmuteerd. De implementatie van transmutatie op industriële schaal vereist wel verdere ontwikkeling en substantiële investeringen.

Verder onderzoek in internationaal verband richt zich enerzijds op het perfectioneren van concepten voor de eindberging van afval in geologisch stabiele lagen in de ondergrond. Anderzijds is er onderzoek dat gericht is op het opsluiten van bepaalde afvalcomponenten in geo-chemisch stabiele materialen en/of mineralen (immobilisatie). De voornaamste doelstelling van dit onderzoek is vast te stellen hoe kernafval zich gedurende lange tijd, i.e. op geologische tijdschalen, gedraagt en hoe de immobiliteit verder verhoogd kan worden.

⁶ In oudere publicaties, zoals [7], wordt een levensduur van 250 duizend jaar genoemd. Het verschil wordt met name veroorzaakt door een herwaardering van de radiotoxiciteit van uraniumerts, volgens de nieuwste internationale richtlijnen voor stralingshygiëne (ICRP 72).

Referenties

[1] COVRA N.V., *Milieueffectrapport behorend bij de aanvraag tot wijziging van de KeW vergunning van COVRA N.V.*, 15 augustus 1995

[2] COVRA N.V., persoonlijke communicatie (2005)

[3] Commissie Opberging Radioactief Afval (CORA) eindrapport (2001), *Terugneembare berging, een begaanbaar pad?*

[4] Nuclear Energy Agency (OECD 2002), *Accelerator-driven Systems (ADS) and Fast Reactors (FR) in Advanced Nuclear Fuel Cycles*

[5] OSPAR Commission (2004), *Liquid Discharges from Nuclear Installations in 2002*

[6] J. Magill *et al.*, Nuclear Energy **42** (2003), 263-277

[7] Energieonderzoek Centrum Nederland (1998), *Levensduurverkorting Radioactief Afval, Optie voor de aanpak van het kernafvalprobleem*

[8] Nuclear Research and consultancy Group (NRG), jaarverslag 2003