

Een veilig onderkomen voor radioactief afval

Radioactief afval ontstaat op verschillende plaatsen in ons land: o.a. in ziekenhuizen, laboratoria en in kerncentrales. Omdat dit afval gedurende een zeer lange tijd - langer dan duizenden jaren - een potentieel risico vormt, moet het zeer zorgvuldig opgeslagen worden. Door de mens aan het maaiveld aangelegde constructies garanderen de gewenste isolatie slechts voor een periode van enige honderden jaren, daarom is een andere oplossing nodig. Wereldwijd is onderzoek gaande of opberging van dit afval in bepaalde diepe geologische formaties de mogelijkheid biedt voor een isolatie die voldoende lang is om de radioactiviteit en daarmee het potentiële risico van het afval te laten vervallen tot een voldoende laag niveau. In Nederland is het onderzoek geconcentreerd op opberging van het afval in de steenzoutformaties die in het Noordoosten van ons land in de bodem voorkomen. Uit de gemaakte veiligheidsanalyses blijkt dat de risico's van deze vorm van opberging erg laag zijn en pas in een verre toekomst optreden. Ook blijkt dat de huidige kwaliteit van het afdek-pakket boven de zoutformatie voor de grootte van de risico's niet zo belangrijk is.

Jan Prij

In de tot nu toe uitgevoerde veiligheidsstudies^{1,2} rond de berging van radioactief afval is gebruik gemaakt van de scenario-aanpak. Hierbij wordt uitgegaan van een aantal scenario's waarvan de veiligheidsconsequenties deterministisch of probabilistisch worden berekend. Hierbij is een scenario doorgaans gedefinieerd als een combinatie van verschijnselen, gebeurtenissen en processen (FEPs, features, events and processes) waarin radionucliden uit het afval vrijkomen en na een eventueel transport in de leefwereld van de mensen komen en daar een stralingsbelasting geven. Bij de deterministische consequentieanalyse van een scenario worden de processen vrij gedetailleerd doorgerekend met een verzameling vaste en tijdsafhankelijke parameterwaarden. Het kiezen van deze waarden is vaak een probleem omdat sommige parameters mettertijd veranderen of gewoon niet precies bekend zijn. Dit laatste is ondermeer het geval omdat van de Nederlandse zoutformaties weinig locatiespecifieke gegevens beschikbaar zijn. In de eerste Nederlandse studie¹

zijn de waarden zo gekozen dat verwacht mag worden dat de uiteindelijke gezondheidsrisico's worden overschat. Door het kiezen van deze zgn. conservatieve waarden is het onderling vergelijken van concepten moeilijk vanwege de mate van conservatisme, die per scenario en per opbergconcept verschilt.

In een tweede studie² is de probabilistische consequentieanalyse van een scenario gebruikt waarbij het probleem van de parameterkeuze voor een deel wordt onderzocht door te rekenen met een statistische verdeling van de parameters. Deze aanpak is erg geschikt om gevoeligheidsanalyses uit te voeren en daarmee de parameters op te sporen die het risico het sterkst beïnvloeden. De werkwijze bestaat uit de volgende stappen:

- i) selecteren van scenario's,
- ii) maken van een rekenmodel voor de consequentieanalyse,
- iii) bepalen van de parameters en hun kansverdeling,
- iv) risicoberekeningen,
- v) gevoeligheidsberekeningen.

Het uitgevoerde onderzoek is gebaseerd op de thans beschikbare mijnbouwkundige technieken en is beperkt tot de risico's die kunnen optreden nadat de opbergmijn is afgesloten.

Uitgangspunt voor de scenarioselectie is een opbergmijn die een aantal in serie geschakelde al dan niet kortgesloten barrières bevat zoals de afvalmatrix, het afvalvat, de opvulling van de gaten en kamers, de afdichtingspropen en dammen en het minstens 200 m dikke isolatieschild van zout om de opbergmijn. Alle mogelijke FEPs zijn beschouwd die op een of andere wijze met het opgeborgen afval te maken hebben. Een wezenlijk onderdeel van de systematiek is dat van elke FEP wordt nagegaan en gedocumenteerd welke rol deze speelt, in welke barrière(s) en gedurende welke tijd. De systematiek is zo opgezet dat het erg eenvoudig is om voor een nieuwe FEP na te gaan hoe deze in de veiligheidsanalyse meegenomen moet worden. Als resultaat van de methodiek zijn 22 mogelijke scenario's geïdentificeerd. Deze zijn onder te verdelen in:

1. Subrosiescenario's. Dit is de zgn. normale evolutie van het opbergsysteem waarbij nucliden uit de zoutformatie kunnen vrijkomen doordat het isolatieschild in het grondwater oplost (subrosie). De nucliden kunnen vervolgens door het grondwater uit de afvalvaten worden uitgelooft en naar de biosfeer worden getransporteerd. De natuurlijke stijging van de zoutformatie en de mogelijke erosie aan het maaiveld worden in dit scenario ook meegenomen (zie figuur 1).

2. Grondwaterinbreukscenario's. Dit zijn ongeluksscenario's waarbij wordt aangenomen dat het isolatieschild is kortgesloten en er grondwater in de opbergruimte stroomt. Nadat de vaten zijn aangetast zal het grondwater de nucliden uit de afvalvaten uitlogen. Het dan besmette water kan uit de opbergruimte worden geperst door de gesteentedruk en het visceuse gedrag van het zout. Uiteindelijk zal ook in dit scenario het grondwater de nucliden in de biosfeer brengen.

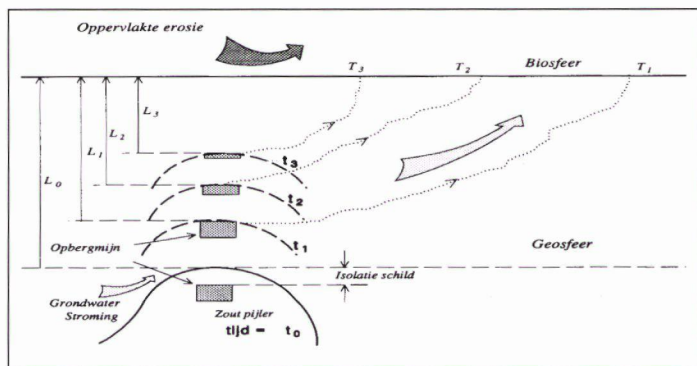
3. Menselijke indringingsscenario's. Hierbij wordt verondersteld dat mensen in de toekomst per ongeluk met het afval in aanraking komen door ondergrondse activiteiten zoals een verkenningsboring in de opbergruimte of oplosmijnbouw in de zoutformatie waarin afval opgesla-

Over de auteur



Dr. ing J. Prij

is sinds 1968 werkzaam bij ECN en projectleider van de in Nederland uitgevoerde veiligheidsstudies VEOS en PROSA.



Figuur 1: Het gecombineerde effect van zoutstijging, subsidie en oppervlakte-erosie en de verschillende stroombanen die daaruit ontstaan. ($L_0 \dots L_3$ zijn de dikten van het afdekkpakket op de tijdstippen $t_0 \dots t_3$, de reistijd van de nucliden is $T_1 \dots T_3$)

gen is. De blootstelling kan b.v. plaatsvinden bij de inspectie van opgehaalde besmette boorkernen of bij het eten van besmet zout uit een ter plaatse van de opbergmijn aangelegde zoutwinningscaverne.

De radiologische consequenties zijn voor de relevante representanten uit de drie scenarioklassen berekend met een computerprogramma³ bestaande uit drie submodellen voor de zoutformatie inclusief de opbergmijn, het afdekkpakket en de biosfeer.

In het submodel voor de zoutformatie is de opbergmijn gemodelleerd met inbegrip van de verschillende technische barrières. Belangrijke processen in dit compartiment zijn: radioactief verval en warmteontwikkeling, warmte-transport, thermomechanisch gedrag van zout, uitloggen van nucliden uit de afvalmatrix, stroming van pek in compacterend zoutgruis, oplossen van zout in grondwater en zoutstijging.

Het afdekkpakket is gemodelleerd met inbegrip van de verschillende, al dan niet gescheurde, geologische lagen. Belangrijke processen zijn: radioactief verval, grondwaterstroming in poreuze media, advectioneel transport van nucliden, dispersie en sorptie.

In de biosfeer is het transport van nucliden in de verschillende biosfeercompartimenten en de blootstelling via verschillende routes gemodelleerd.

De voor de analyses benodigde parameters zijn bepaald met behulp van literatuurgegevens uit reeds in het buitenland uitgevoerde studies en op basis van in Nederland uitgevoerd onderzoek. Het betreft hier geologisch onderzoek door de RGD, geohydrologisch en radiobiologisch onderzoek door het RIVM, alsmede kernfysisch en gesteentemechanisch onderzoek door ECN. Er wordt gerekend met in beginsel tijdonafhankelijke parameters met kansdichtheidsverdelingen die afgeleid zijn uit nu beschikbare gegevens.

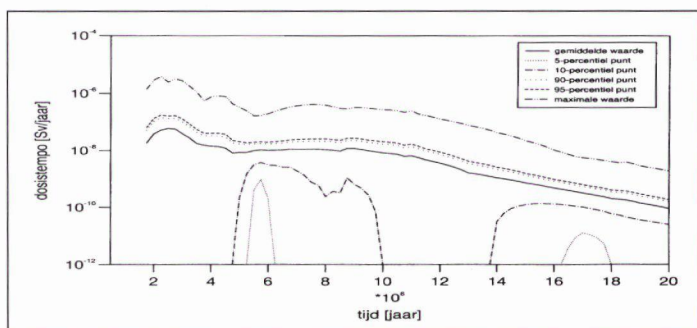
Ter illustratie volgen enkele resultaten welke zijn gebaseerd op een op 900 tot 1200 m diepte in een zoutpijler opgeborgen radioactief afval dat afkomstig is van de huidige kerncentrales plus 3 extra centrales van elk 1000

MWe en het radioactief afval dat ontstaat in ziekenhuizen en laboratoria in de komende 70 jaar.

Uit de consequentieberekeningen blijkt dat de blootstelling in de subrosiescenario's ongeveer een miljoen jaar na opberging begint. Van alle uitgevoerde (Monte Carlo) simulaties is de maximale blootstelling 10^6 Sv/a, zie *Figuur 2*. Het gezondheidsrisico (individuele sterfttekans) dat uit de statistisch verdeelde blootstelling kan worden afgeleid is 10^9 per jaar. De maximale blootstelling bij de grondwaterinbreuksscenario's is 10^8 Sv/a en treedt eveneens pas in de zeer verre toekomst op. In meer dan de helft van de simulaties is er helemaal geen blootstelling. Dit kan worden verklaard door de combinaties van de waarden van de diverse parameters. Het gezondheidsrisico van deze scenario's is kleiner dan 10^{10} per jaar. Volgens recente risiconormen⁴ kunnen deze risico's als verwaarloosbaar beschouwd worden. Dit geldt niet zonder meer voor de resultaten van enkele menselijke indringings-scenario's. Het gezondheidsrisico is hier in de grootte orde 10^6 per jaar. Bij de berekening hiervan is aangenomen dat de kans op een menselijke indringing gelijk is aan 1, (d.w.z. menselijke indringing treedt altijd op). Het is duidelijk dat dit aan de hoge kant is, zeker voor de nabije toekomst. De kwantificering van deze kans moet dan ook onderwerp zijn van toekomstig onderzoek.

Uit de gevoeligheids- en onzekerheidsanalyse van de berekeningsresultaten is gebleken dat er een grote spreiding is in de blootstelling (zie *figuur 2*). Dit reflecteert de grote onzekerheid die er bestaat over de verschillende parameters, welke in de Monte Carlo analyses is meegenomen middels een zeer groot gekozen parameterbereik. Uit de gevoeligheidsanalyses is afgeleid dat de inwendige stijgsnelheid en de mogelijkheid om diep te kunnen opbergen alsmede de permeabiliteit van het compacterende zout dat voor de navulling wordt gebruikt het risico het sterkst beïnvloeden. Een langzame stijgsnelheid en het diep opbergen zijn gunstig voor de veiligheid. Over de compactiesnelheid kan nader onderzoek meer duidelijkheid geven. Voor andere parameters, met name die van het afdekkpakket en de biosfeer, zal er altijd een grote spreiding blijven omdat de blootstelling zo ver in de toekomst plaatsvindt.

De huidige opbouw en samenstelling van de bovenste paar honderd meter van het afdekkpakket zijn geen veiligheidsrelevante kenmerken. Het moment waarop dit deel van het afdekkpakket als barrière wordt aangesproken ligt n.l. heel ver in de toekomst. De dan aanwezige eigenschappen kunnen door het optreden van b.v. ijstijden onvoorspelbaar veranderd zijn. Het huidige afdekkpakket is wel van groot belang voor de mijnbouwkundige bereikbaarheid van de zoutformatie.



Figuur 2: De ontwikkeling van enkele statistische kenmerken van de berekende blootstelling in een subrosiescenario.

Literatuur

1. **Veiligheidsevaluatie van opbergconcepten in steenzout, VEOS.** ECN/RIVM, Petten. Prij, J. en anderen, 1989.
2. **Probabilistic safety assessment, PROSA.** ECN/RIVM/RGD, Petten. Prij, J. en anderen, 1993.
3. **EMOS: Programmpaket zur Langzeitsicherheitsanalyse eines Endlagers für radioaktive Abfälle** Version 4. GSF-Bericht, Braunschweig. Storck, R. en anderen, 1990.
4. **Omgaan met risico's van straling.** Vergaderjaar 1989-1990, 21 483, nr.1. Tweede Kamer, 1990