

Gemeenschappelijke Scientific Position Paper

Scheiding en transmutatie als mogelijke aanvulling op geologische berging voor een veilig langetermijnbeheer van hoogactief en langlevend radioactief afval

Samenvatting

Meer dan veertig jaar onderzoek door NIRAS en het SCK·CEN heeft aangetoond dat geologische berging van langlevend en hoograadioactief afval (met inbegrip van verbruikte splijtstof indien deze aangegeven wordt als afval) in weinig verharde klei een veilige en haalbare oplossing voor het langetermijnbeheer zou zijn. In de verwachte evolutie van het bergingssysteem zouden enkel de langlevende radionucliden de biosfeer kunnen bereiken. Aangezien de diffusie van radionucliden door de geologische barrière een zeer traag proces is, zou zelfs het vrijkomen van de meest mobiele van deze langlevende radionucliden, i.e. de activatie- en splijtingsproducten, gespreid worden over een lange tijdsperiode, waardoor de blootstelling aan straling van mens en milieu aanzienlijk lager blijft dan de wettelijke grenswaarden. De actiniden, die in het bijzonder weinig mobiel zijn, zouden slechts verwaarloosbaar bijdragen tot de dosis; deze wordt door de langlevende activatie- en splijtingsproducten gedomineerd. In geval van een intrusiescenario, dat overeenkomt met de onwaarschijnlijke gebeurtenis van menselijk binnendringen in de bergingsinrichting na het sluiten ervan, wordt de blootstelling bepaald door de radiotoxiciteit van het afval. Voor een bepaalde gastformatie wordt de voetafdruk van de bergingsinrichting voornamelijk bepaald door de uiteindelijke volumes en de thermische output van het geborgen afval.

Scheiding en Conditionering (P&C, *Partitioning and Conditioning*) en Scheiding en Transmutatie (P&T, *Partitioning and Transmutation*) van verbruikte splijtstof kunnen voordelen opleveren voor de geologische berging doordat de radiotoxiciteit en/of de thermische output van de verbruikte

splijtstof wordt verminderd. Deze technieken worden vandaag de dag niet beschouwd als praktisch toepasbaar op afval dat al geconditioneerd is (bijvoorbeeld verglaasd of gebitumineerd afval).

Het MYRRHA-project van het SCK•CEN, dat de Belgische regering heeft besloten te ondersteunen, zal een proefinstallatie zijn om de haalbaarheid van transmutatie (voornamelijk van lagere actiniden) door een versnellerangedreven systeem (ADS, Accelerator Driven System) te onderzoeken. In combinatie met geavanceerde opwerking en het hergebruik van plutonium, bij voorkeur in toekomstige reactoren (snelleneutronensystemen), kan een splijtstofcyclus met een ADS-systeem voordelen opleveren voor de geologische berging, zowel door de radiotoxiciteit van het te bergen afval te verminderen als door de vereiste voetafdruk van een bergingsinrichting te verkleinen. Deze snelleneutronenreactoren zijn niet gepland in het huidige Belgische energiebeleid.

De mogelijke toepassing van geavanceerde splijtstofcycli in de toekomst neemt echter niet weg dat er een langetermijnoplossing (tot honderdduizenden jaren – wegens de aanwezigheid van langlevende splijtingsproducten) nodig is voor het veilige beheer van het afval dat geproduceerd wordt door de geavanceerde splijtstofcyclus, alsook van het reeds geproduceerde hoogactieve afval en het laag- en middelactieve langlevende afval. Een dergelijke veilige beheeroplossing kan worden geboden door geologische berging.

NIRAS en het SCK•CEN werken al tientallen jaren nauw samen om de veiligheid en haalbaarheid van geologische berging aan te tonen en zullen dat ook in de toekomst blijven doen.

Vanuit hun respectieve wettelijke opdrachten zullen NIRAS en het SCK•CEN blijven samenwerken rond de ontwikkeling van een duurzame afvalbeheerstrategie voor het Belgische hoogactieve en langlevende afval, rekening houdend met nieuwe benaderingen die de implementatie ervan kunnen bevorderen.

Deze *Scientific Position Paper* is gerealiseerd in kader van de communicatieopdracht van NIRAS en SCK•CEN.

Gemeenschappelijke Scientific Position Paper

Dit document is een gemeenschappelijke *Scientific Position Paper* van NIRAS (de Belgische Nationale instelling voor radioactief afval en verrijkte splijtstoffen) en het SCK•CEN (het Belgische Studiecentrum voor Kernenergie) over het onderzoek naar geologische berging en de scheiding en transmutatie van hoogactief en langlevend afval.

Het document is geschreven binnen de huidige Belgische context, dat wil zeggen:

- de uitvoering van de wet op de kernuitstap;
- de opschorting van de opwerking van verbruikte commerciële splijtstof en de momenteel beschikbare opties voor het toekomstige beheer van verbruikte splijtstof;
- de toekomstige uitvoering van het voorgestelde beleid inzake het langetermijnbeheer van hoogactief en langlevend radioactief afval, namelijk geologische berging op Belgisch grondgebied;
- de beslissing van de Belgische regering om het MYRRHA-project te ondersteunen, waarbij transmutatie van langlevende actiniden het belangrijkste onderzoeksthema vormt;
- binnen de communicatieopdracht van NIRAS en SCK•CEN.

In België wordt radioactief afval geproduceerd door activiteiten in verband met de splijtstofcyclus (elektriciteitsproductie, splijtstoffabricage en -opwerking¹), met onderzoek of met medische en industriële toepassingen van radioactiviteit. Het Belgische radioactieve afval wordt onderverdeeld in drie categorieën: A, B en C, die kunnen worden gelinkt aan het internationale afvalclassificatiesysteem. Afval van categorie A komt overeen met laag- en middelactief kortlevend afval, waarvan het uiteindelijke beheerbeleid bestaat uit oppervlakteberging in de gemeente Dessel. Afval van categorie B is laag- en middelactief langlevend afval. Dat afval is geconditioneerd in zeer uiteenlopende vormen (cement, bitumen, glas, metaal); een groot deel van het reeds geproduceerde B-afval is afkomstig van de opwerking van verbruikte splijtstof, hetzij in de voormalige Eurochemic-fabriek (Dessel, België), hetzij in de Orano-installatie in La Hague (Frankrijk). Afval van categorie C is hoogactief afval dat warmte afgeeft. Het huidige C-afval bestaat uit verglaasd afval dat afkomstig is van de opwerking van verbruikte splijtstof². Mogelijk toekomstig afval van categorie C is verbruikte

¹ Opwerking is de mechanische en chemische verwerking van verbruikte splijtstof om mogelijk bruikbare elementen (momenteel uranium en plutonium; misschien andere in de toekomst) te scheiden van onbruikbaar materiaal (zoals (de meeste) splijttingsproducten) dat vervolgens verder als afval wordt behandeld.

² Bij de start van de productie van kernenergie in België werd verbruikte splijtstof naar La Hague (Frankrijk) gestuurd voor opwerking. Dat proces werd in 1993, na een parlementair debat, stopgezet en sindsdien zijn er geen nieuwe opwerkingscontracten voor verbruikte splijtstof meer afgesloten. Het uranium en plutonium dat bij de opwerking werd teruggewonnen, werd opnieuw in de Belgische splijtstofcyclus gebracht (als UOX- of MOX-brandstof). De herstart van de opwerking voor commerciële verbruikte splijtstof vereist een beslissing van de federale regering.

splijtstof (voornamelijk uit de kerncentrales van Doel en Tihange) die momenteel nog niet als afval is aangegeven.

Vanuit het oogpunt van de radiotoxiciteit³ is het afval van categorie A het minst radiotoxisch. Het bevat vooral kortlevende (halveringstijd < 30 jaar) bèta- of gammastralende radionucliden. Deze nucliden zijn meestal het resultaat van de splitsing van uranium- of plutoniumisotopen in een reactor, de activering van structurele materialen (metalen, beton ...) in een nucleaire installatie, of andere activiteiten verbonden aan toepassingen van radioactiviteit (onderzoek, geneeskunde ...). Afval van categorie B bevat ook (soms grote hoeveelheden) alfastralende radionucliden en grotere hoeveelheden bèta- en gammastralende radionucliden. Alfastralers zijn hoofdzakelijk isotopen van uranium en van transuraniemelementen. De transuraniemelementen zijn plutonium en de lagere actiniden, namelijk neptunium (Np), americium (Am) en curium (Cm). Ze worden geproduceerd in de splijtstof van kernreactoren. Sommige daarvan hebben een zeer lange halveringstijd en zijn zeer radiotoxisch bij inname of inademing. Afval van categorie C bevat de grootste hoeveelheden alfa- en bèta/gammastralende radionucliden en heeft daarom de hoogste radiotoxiciteit en de hoogste warmteafgifte als gevolg van radioactieve vervalprocessen. Zowel het afval van categorie B als het afval van categorie C bevat ook langlevende (bèta- of gammastralende) splijtingsproducten, met halveringstijden die meer dan 100.000 jaar kunnen bedragen.

Het huidige of voorgestelde Belgische beleid voor het langetermijnbeheer van radioactief afval hangt af van de classificatie en het soort afval.

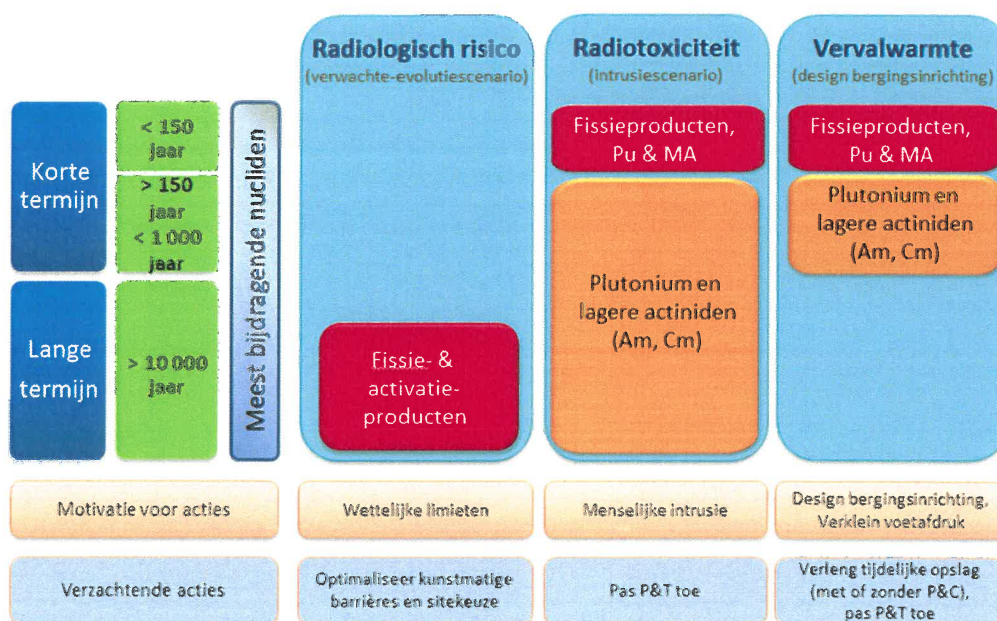
- Voor afval van categorie A , dat kortlevend is, zal in Dessel een oppervlaktebergingsinrichting worden gebouwd (deze bevindt zich nu in de vergunningsfase).
- Voor het afval van de categorieën B en C stelt NIRAS geologische berging op Belgisch grondgebied voor als een veilige, haalbare en duurzame oplossing; dat voorstel moet nog altijd formeel worden bekrachtigd om een nationaal beleid te worden. Meer dan veertig jaar onderzoek door NIRAS en het SCK·CEN, in overeenstemming met de internationale aanbevelingen, heeft inderdaad aangetoond dat de geologische berging van dit afval in weinig verharde klei een veilige en haalbare oplossing voor het langetermijnbeheer zou bieden. De veilige berging van dit afval in een geologische-bergingsinrichting is gebaseerd op het concept van insluiting en isolatie van het afval gedurende een voldoende lange tijd, door middel van een geschikte waaier van meervoudige kunstmatige en natuurlijke barrières om het radioactieve verval in staat te stellen het stralingsgevaar te verminderen, zodat het uiteindelijke vrijkomen van radionucliden in het milieu ruim onder de wettelijke grenswaarden blijft. Veiligheidsevaluatieberekeningen in geval van een verwachte-evolutiescenario hebben aangetoond dat enkel de langlevende radionucliden de biosfeer

³ De schadelijkheid van een radionuclide of van radioactief materiaal bij inname of inademing wordt radiotoxiciteit genoemd.

zouden kunnen bereiken. Aangezien de diffusie van radionucliden door de geologische barrière een zeer traag proces is, zou zelfs het vrijkomen van de meest mobiele van deze langlevende radionucliden, i.e. de activatie- en splijtingsproducten, gespreid worden over een lange tijdsperiode, waardoor de blootstelling van mens en milieu aan straling aanzienlijk lager blijft dan de wettelijke grenswaarden. De actiniden, die in het bijzonder weinig mobiel zijn, zouden slechts verwaarloosbaar bijdragen tot de dosis; deze wordt door de langlevende activatie- en splijtingsproducten gedomineerd.

Hoe beïnvloeden radionucliden het design en de performantie van de geologische berging?

Er zijn drie belangrijke manieren waarop radionucliden het design en de performantie van de geologische berging kunnen beïnvloeden: door hun radiologische risico, hun radiotoxiciteit en hun warmteafgifte.



De eerste twee hebben betrekking op de langetermijnveiligheid van een geologische-bergingssysteem. De langetermijnveiligheid van een geologische-bergingssysteem wordt gewaarborgd door een aantal kunstmatige en natuurlijke barrières. Deze barrières zullen het afval isoleren en insluiten, zodat radioactief verval het stralingsgevaar kan verminderen en het uiteindelijke vrijkomen van radionucliden in het milieu onder de wettelijke grenswaarden blijft.

In het algemeen zijn er twee soorten scenario's waarbij de radionucliden in het geborgen afval de biosfeer kunnen bereiken en tot radiologische doses kunnen leiden. Het eerste type heeft betrekking op de verwachte langetermijnevolutie van het geologische-bergingsysteem, terwijl het andere betrekking heeft op het onwaarschijnlijke geval van menselijke indringing in de bergingsinrichting op een bepaald ogenblik in de tijd na zijn sluiting.

- In de verwachte evolutie van een geologische-bergingsinrichting zullen het radioactieve afval en de kunstmatige barrières langzaam afbreken in de tijd en zullen de radionucliden eruit vrijkomen. In bergingssystemen die op klei gebaseerd zijn, zoals ze momenteel bestudeerd worden in de Belgische context, zullen deze radionucliden langzaam, door diffusie, migreren door het gastgesteente en kunnen delen ervan uiteindelijk een watervoerende laag bereiken (veel radionucliden zullen zijn vervallen tot stabiele nucliden alvorens een watervoerende laag te bereiken). Het gebruik van water uit deze watervoerende laag door de bevolking (als drinkwater, voor irrigatie ...) resulteert uiteindelijk in een zekere blootstelling aan straling die aanzienlijk lager ligt dan de wettelijke grenswaarden. Dit wordt het radiologische risico genoemd en kan vrijwel volledig worden toegeschreven aan een beperkt aantal mobiele splijtings- en activeringsproducten met een lange halveringstijd (namelijk Se-79, I-129, Cl-36, C-14 ...).
- Het tweede type scenario's betreft een (onwaarschijnlijke) onvrijwillige menselijke indringing in de geologische-bergingsinrichting, bijvoorbeeld door een boring die een afvalcollo raakt. Dit zou resulteren in een hoge radioactieve dosis voor de indringers en/of een radioactieve dosis voor de omwonenden. In dit type scenario wordt het risico bepaald door de radiotoxiciteit van het afval. In verbruikte splijtstof levert plutonium de belangrijkste bijdrage aan de radiotoxiciteit, gevolgd door de lagere actiniden (neptunium, americium en curium).

De warmteafgifte van afval van categorie C bepaalt de afstand tussen de bergingsgalerijen en heeft dus een significant effect op de kostprijs en op de voetafdruk van de bergingsinrichting. De thermische output wordt in eerste instantie bepaald door de splijtingsproducten Cs-137 en Sr-90, en in mindere mate door Am-241 en sommige Pu-isotopen. Na een paar honderd jaar verval leveren americium en plutonium de belangrijkste bijdrage aan de thermische output.

De warmteproductie van afval van categorie B is niet voldoende om impact te hebben op de lay-out van de berging.

Tot op heden worden de splijtstofelementen die in kernreactoren werden bestraald (verbruikte splijtstof genoemd) nog niet als radioactief afval aangegeven en worden deze elementen opgeslagen op de terreinen van de Belgische kerncentrales.

In een vergelijkende studie van de Federale Overheidsdienst Economie⁴ werden zes scenario's voor het beheer van Belgische verbruikte splijtstof⁵ bepaald, rekening houdend met de wet op de kernuitstap (wet van 31 januari 2003) en een aantal andere hypothesen. Hieronder worden vijf scenario's beschreven⁶.

A. Rechtstreekse berging van verbruikte splijtstof (geen verdere opwerking)

In dit scenario wordt de verbruikte splijtstof (UOX en MOX) niet opgewerkt. Ze zal meerdere decennia (minstens vijftig jaar) worden opgeslagen om af te koelen, waarna ze zal worden geconditioneerd en geborgen in een geologische-bergingsinrichting (als C-afval).

B. Volledige opwerking van verbruikte splijtstof

In dit scenario wordt alle verbruikte splijtstof (UOX en MOX) opgewerkt. Het teruggewonnen uranium kan opnieuw worden verrijkt voor gebruik in Belgische of buitenlandse kernreactoren. Het teruggewonnen plutonium zou worden verkocht aan andere (buitenlandse) partijen om te worden gebruikt in hun (civiele) kernreactoren. De opwerking levert verglaasd hoogactief afval (C-afval) en gecompecteerd metallisch middelactief afval (B-afval) op.

C. Gedeeltelijke opwerking van verbruikte splijtstof

In dit scenario wordt slechts een deel van de verbruikte splijtstof (een deel van de UOX en alle MOX) opgewerkt. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat het teruggewonnen uranium en plutonium hergebruikt zal worden in de Belgische kerncentrales tot de laatste wordt stilgelegd in 2025. De opwerking levert verglaasd hoogactief afval (C-afval) en gecompecteerd metallisch middelactief afval (B-afval) op. De verbruikte splijtstof die niet wordt opgewerkt, wordt bovendien als afval aangegeven.

D. Scheiding en conditionering (P&C, *Partitioning and Conditioning*)

In dit scenario zou de verbruikte splijtstof (UOX en MOX) door geavanceerde opwerkingstechnieken worden gescheiden in meerdere materiaalstromen. Sommige daarvan kunnen herbruikbare materialen bevatten (momenteel U en Pu; mogelijk nog andere

⁴ FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie – Algemene Directie Energie – Afdeling nucleaire toepassingen (2014). Vergelijkende studie van de beheerstrategieën van de Belgische splijtstof - Deel 2.

⁵ De Belgische inventaris aan verbruikte splijtstof (huidige en voorziene inventaris) bevat UOX-splijtstof (uraniumoxide) en een kleine hoeveelheid MOX-splijtstof (gemengde (= uranium + plutonium) oxide). De UOX-splijtstof wordt voornamelijk geproduceerd uit verrijkt natuurlijk uranium, maar kan ook worden geproduceerd uit opgewerkt uranium.

⁶ Het zesde, aanvullend onderzoek om andere beheeropties te verkennen, wordt hier niet besproken.

radionucliden), terwijl de andere als afval zouden moeten worden geconditioneerd. Afhankelijk van de chemische aard van de afvalstromen kunnen specifieke conditioneringstechnieken worden toegepast. Het idee is om de conditioneringsmatrix en/of de beheerstrategie te optimaliseren op basis van de specifieke eigenschappen van de afvalstroom (bijvoorbeeld langere koeltijd voor warmtestralende radionucliden vóór de berging). Geavanceerde scheidingstechnieken worden nog niet op industriële schaal toegepast, hoewel een aantal ervan al op kleine schaal wordt toegepast. Dit scenario begint dus met een R&D-fase om een strategie voor de optimale scheiding en conditionering van verbruikte splijtstof te bestuderen en te selecteren, en deze op industriële schaal te ontwikkelen.

E. Scheiding en transmutatie (P&T, Partitioning and Transmutation)

Dit scenario bouwt voort op het vorige scenario (P&C), maar houdt bovendien rekening met een transmutatie-installatie op industriële schaal die in staat is actiniden om te zetten in radionucliden met een kortere levensduur. Voor België concentreert dit scenario zich op een Accelerator Driven System (ADS), dat tot doel heeft het afval effectief te verwerken, terwijl het de productie van elektriciteit als bijproduct beschouwt (in tegenstelling tot andere snelle reactoren van de vierde generatie⁷). Verwacht wordt dat een P&T-splijtstofcyclus hoogactief afval (C-afval) en gecompacteerd metallisch middelactief afval (B-afval) zal voortbrengen uit de opwerking van verbruikte UOX- en MOX-splijtstof, verglaasd hoogactief afval (C-afval) en mogelijk ook wat B-afval uit de opwerking van verbruikte ADS-splijtstof en nieuwe, secundaire afvalstromen uit de ADS-spallatietarget. Dit scenario vereist R&D over verschillende afzonderlijke stappen van de splijtstofcyclus, waaronder de scheiding van de verbruikte splijtstof en de selectie van een geschikt proces voor de extractie van lagere actiniden, de fabricage van specifieke splijtstoffen en/of targets, het aantonen van transmutatie van lagere actiniden in een versnellerangedreven systeem en de conditionering van afval dat in de verschillende stappen van deze splijtstofcyclus wordt geproduceerd. Deze verschillende stappen zouden niet noodzakelijkerwijs op Belgisch grondgebied worden uitgevoerd.

⁷ Reactoren van de vierde generatie zijn een reeks innovatieve reactorontwerpen die momenteel worden onderzocht (bijvoorbeeld door het *Generation IV International Forum* (www.gen-4.org)).

Wat is transmutatie en welke rol kan MYRRHA spelen bij de ontwikkeling ervan?

In het algemeen is het doel van transmutatie het omzetten van een gevaarlijk radiotoxisch materiaal in een materiaal dat minder radiotoxisch is, door het beschieten met snelle neutronen. Het doel van het proces is het transmuteren van zware kernen (die typisch vervallen door alfaverval met lange halveringstijd) in lichtere kernen (die typisch vervallen door bètaverval met kortere halveringstijd). Daardoor is het resulterende afval dat in een geologische-bergingsinrichting wordt geborgen, minder gevaarlijk in geval van menselijke indringing. Bovendien kan de thermische output van het afval worden verminderd, wat gunstig is voor de voetafdruk en de kostprijs van de bergingsinrichting.

De toepassing van scheiding en transmutatie is (in de praktijk) beperkt tot de actiniden die zich in de verbruikte splijtstof bevinden. Voor andere nucliden of andere soorten afval lijkt scheiding en transmutatie momenteel niet praktisch haalbaar.

De wetenschappelijke haalbaarheid van P&T is aangetoond. Er zijn echter nog aanzienlijke R&D-inspanningen nodig en er moeten demonstratie-installaties op voldoende grote schaal in bedrijf worden genomen om levensvatbare industriële P&T-processen tot stand te brengen en de betrouwbaarheid van de ramingen van de ecologische, maatschappelijke en economische impact te verbeteren. Europa heeft vier bouwstenen geïdentificeerd die op technische schaal moeten worden ontwikkeld: 1) geavanceerde opwerking van verbruikte lichtwaterreactorbrandstof; 2) fabricage van specifieke transmutatiebrandstof; 3) transmutatie in een pre-industriële transmuter en 4) opwerking van de transmutatiebrandstof.

MYRRHA is een geplande proefdemonstratie-installatie die beantwoordt aan de bovengenoemde derde bouwsteen voor, onder andere, het onderzoek naar transmutatie van lagere actiniden (voornamelijk Am) uit verbruikte splijtstof door te werken als een testinstallatie voor verschillende materialen van de brandstofmatrix en samenstellingen in lagere actiniden.

De Belgische regering heeft beslist om de realisatie van de onderzoeksinfrastructuur MYRRHA op de site van het SCK·CEN te ondersteunen. In dit project wordt de haalbaarheid van transmutatie door een ADS op proefschaal onderzocht.

Gezien deze beslissing is het belangrijk om de belangrijkste effecten van een P&C/P&T-scenario op de voorgestelde strategie voor het langetermijnbeheer van het B&C-afval (geologische berging) voor België te benadrukken.

- Impact van P&T op de radiotoxiciteit van verbruikte splijtstof

Enkele honderden jaren nadat de verbruikte splijtstof uit de reactor is geladen, levert plutonium de belangrijkste bijdrage aan de radiotoxiciteit, gevolgd door de lagere actiniden. De radiotoxiciteit van

de splijtings- en activeringsproducten is aanvankelijk hoger, maar neemt sneller af. In een P&T-scenario zouden de lagere actiniden gerecycleerd kunnen worden in het ADS-systeem. Het uiteindelijke doel is om afval te produceren waarvan de radiotoxiciteit sneller afneemt dan de oorspronkelijke verbruikte splijtstof. De mate waarin scheiding en transmutatie een impact zullen hebben op de radiotoxiciteit van de verbruikte splijtstof hangt sterk af van de efficiëntie van de P&T-splijtstofcyclus. Een scheiding van Pu samen met de volledige splijting ervan (bij voorkeur in snelle reactoren van de vierde generatie of in een ADS) kan de radiotoxiciteit van de verbruikte splijtstof verminderen tot 10% van haar oorspronkelijke waarde. Als bovendien een volledige transmutatie van americium zou worden bereikt (bij voorkeur in een ADS), zou dit leiden tot een verdere vermindering van de radiotoxiciteit tot ongeveer 1% van haar oorspronkelijke waarde. Een dergelijke afname van de radiotoxiciteit zou het stralingsrisico verminderen dat zich voordoet bij menselijke indringing in een bergingsinrichting.

- Impact van P&T op de thermische output van verbruikte splijtstof

Aanvankelijk wordt de thermische output van verbruikte splijtstof bepaald door de activiteit van de kortlevende splijtingsproducten Sr-90 en Cs-137. Na een paar honderd jaar van verval leveren de transuranelementen (voornamelijk Am-241, maar ook enkele Pu-isotopen) de belangrijkste bijdrage aan de thermische output. Een geavanceerd scheidingsproces, waarbij deze nucliden uit de verbruikte splijtstof worden verwijderd om ze als brandstof te hergebruiken in een ADS-systeem (in geval van Am en Pu), of door een aparte afvalbeheerstrategie (in geval van Sr en Cs – met langdurige tussentijdse opslag), zou de thermische output van het te bergen afval dus verminderen. Een vermindering van de thermische output heeft een aanzienlijke impact op de voetafdruk van een geologische-bergingsinrichting, waardoor de kosten ervan aanzienlijk worden verminderd.

- Impact van P&T op de langdurige blootstelling aan straling

In de verwachte evolutie van een geologische-bergingsstelsel kan de radiologische blootstelling vrijwel volledig worden toegeschreven aan een beperkt aantal splijtings- en activeringsproducten met een lange halveringstijd (namelijk Se-79, I-129, Cl-36, C-14 ...). Ondanks hun hoge radiotoxiciteit hebben de actiniden slechts een beperkte invloed in termen van radiologische blootstelling, als gevolg van hun geringe mobiliteit in de kunstmatige barrière en het kleihoudende gastgesteente. Een P&T-scenario leidt tot de productie van bijkomende splijtings- en activeringsproducten en dus tot een toename van hun inventaris. De transmutatie van splijtings- en activeringsproducten zelf wordt in de praktijk niet haalbaar geacht. Daarom blijft een langetermijnbeheerstrategie voor (het afval met) deze nucliden, ongeacht een P&C/P&T-scenario, noodzakelijk. Gezien de lange halveringstijd van deze nucliden is geologische berging de enige internationaal aanvaarde beheeroplossing.

- Impact op het reeds geproduceerde afval van de categorieën B en C

In verglaasd afval bestaan de radionucliden voornamelijk uit splijtingsproducten en alle lagere actiniden (in kleine hoeveelheden in vergelijking met de splijtingsproducten) die homogeen verspreid zijn in een stabiele glasmatrix. Bovendien produceert dit afval zeer hoge stralingsniveaus. Daarom wordt het praktisch niet haalbaar en ook niet aan te raden geacht om de radionucliden terug te winnen uit de afvalmatrix (dus het omkeren van het verglazingsproces) om P&C of P&T toe te passen. Dezelfde argumentatie geldt voor het reeds geproduceerde afval van categorie B (zoals gebitumineerd afval), dat nog minder actiniden bevat. Daarom is geologische berging ook voor het reeds geproduceerde geconditioneerde B&C-afval noodzakelijk als veilige oplossing voor het afvalbeheer.

- Nieuwe afvalvormen geproduceerd in een P&C/P&T-scenario

Naast hoogactief en langlevend afval dat vergelijkbaar is met bestaand afval, zal een geavanceerde splijtstofcyclus waarin P&C/P&T wordt toegepast ook nieuwe soorten afval van categorie B produceren, waardoor de hoeveelheid van dit soort afval in de Belgische inventaris zal toenemen. Binnen een P&C-scenario kunnen specifieke matrices op maat worden ontwikkeld waarin specifieke afvalstromen kunnen worden geïmmobiliseerd. Naast de reeds genoemde Cs/Sr-afvalstroom kan men ook een specifieke afvalmatrix voor (bijvoorbeeld) de langlevende splijtingsproducten overwegen, die de meest mobiele nucliden in een geologische-bergingsinrichting zouden zijn, om zo bij te dragen tot de langetermijnveiligheid van een dergelijke inrichting. Dit betekent natuurlijk dat er matrices moeten worden ontwikkeld waarvan de prestaties vergelijkbaar zijn met die van de UOX-matrix.

Conclusie

Ongeacht het scenario dat gekozen wordt voor het beheer van verbruikte splijtstof, is er in ieder geval een langetermijnoplossing (tot honderdduizenden jaren – wegens de aanwezigheid van langlevende splijtingsproducten) nodig voor het veilige beheer van radioactief afval uit de splijtstofcyclus, alsook van het reeds geproduceerde hoogactieve afval en het laag- en middelactieve langlevende afval. De mogelijke toepassing van geavanceerde splijtstofcycli in de toekomst kan deze noodzaak niet wegnemen. Een dergelijke veilige beheeroplossing kan worden geboden door geologische berging. NIRAS en het SCK•CEN werken al tientallen jaren nauw samen om de veiligheid en haalbaarheid van een dergelijke oplossing aan te tonen en zullen dat ook in de toekomst blijven doen.

Een geavanceerde splijtstofcyclus die, naast het hergebruik van U/Pu, bijvoorbeeld in snelle reactoren van de vierde generatie of in ADS-systemen, ook P&C/P&T omvat, kan voordelen

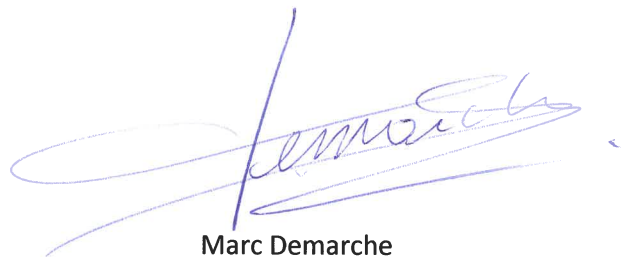
opleveren voor de geologische berging, zowel door de radiotoxiciteit van het te bergen afval te verminderen, door op maat gesneden afvalbeheerstrategieën voor specifieke nucliden en afvalstromen voor te stellen, als door het positieve effect dat het kan hebben op de vereiste voetafdruk van een dergelijke bergingsinrichting. Deze snelleneutronenreactoren zijn niet gepland in het huidige Belgische energiebeleid.

Aangezien een dergelijke splijtstofcyclus zich echter nog in de R&D-fase bevindt, zijn de werkelijke voordelen voor zowel de geologische berging in het bijzonder als voor de hele splijtstofcyclus in het algemeen vandaag de dag moeilijk nauwkeurig in te schatten. Om een volledig beeld te krijgen van de voor- en nadelen van een geavanceerde splijtstofcyclus met scheiding en transmutatie, is een grondige en realistische analyse van de volledige levenscyclus noodzakelijk. Bij een dergelijke levenscyclusanalyse moet ook rekening worden gehouden met aspecten van stralingsbescherming, economie, gebruik van natuurlijke hulpbronnen, planning en maatschappelijke aanvaardbaarheid. Het MYRRHA-project zal een belangrijke bijdrage leveren aan het vergroten van de kennis over transmutatie in Europa.

Vanuit hun respectieve wettelijke opdrachten zullen NIRAS en het SCK•CEN blijven samenwerken rond de ontwikkeling van een duurzame afvalbeheerstrategie voor het Belgische hoogactieve en langlevende afval, rekening houdend met nieuwe benaderingen die de implementatie ervan kunnen bevorderen.



Eric van Walle
Directeur-generaal
SCK•CEN



Marc Demarche
Directeur-generaal
NIRAS

augustus 2019

Het SCK•CEN zet zich als het studiecetrum voor kernenergie iedere dag in voor de ontwikkeling van vreedzame toepassingen van radioactiviteit. Het SCK•CEN streeft ernaar innoverende technologieën te ontwikkelen die een antwoord bieden op de maatschappelijke vragen en noden op het gebied van kernenergie en ioniserende straling.

Als dienst aan de gemeenschap beheert NIRAS, de Nationale instelling voor radioactief afval en verrijkte splijtstoffen, al het radioactieve afval in België, nu en in de toekomst, door oplossingen te ontwikkelen en uit te voeren met respect voor de samenleving en het leefmilieu.