

KERNVISIE MAGAZINE

» EEN PARADIGMA-
VERSCHUIVING IN
REACTORVEILIGHEID:
DE GESMOLTEN
ZOUT REACTOR

» DEFINITIEVE
KERNENERGIEWET
VERGUNNING VOOR
UITBREIDING COVRA

» KLIMAATDOELSTELLING
VRAAGT OM VERDUBBELING
KERNENERGIE

**FORATOM IS DE STEM
VAN DE EUROPESE
NUCLEAIRE INDUSTRIE**

COLOFON

KernVisie Magazine is een uitgave van:



Stichting **KernVisie**
EEN ENERGIEK INITIATIEF

JAARGANG 10, NUMMER 2, MAART 2015
KERNVISIE VERSCHIJNT TWEEAANDELIJKS
OPLAGE 2200 EX

ONTWERP & GRAFISCHE REALISATIE
StudioHusken.nl, Den Helder

BESTUUR STICHTING KERNVISIE

Ir. A.M. Versteegh, voorzitter
Ir. G.H. Boersma, secretaris
Ir. E.W. Schuurung, penningmeester
Drs. J.J. de Jong
Ir. J.C.L. van Cappelle
Dr. F.C. Klaassen
Prof. Ir. R.W.J. Kouffeld
Ir. G.C. van Uiter

REDACTIE KERNVISIE

Ir. G.H. Boersma
Dr. F.C. Klaassen
M. Jelgersma (Sherpa en de Fries)
E.S. Jelgersma (Sherpa en de Fries)
Dr. Ir. A. van Heek
I. van Kessel (Irene van Kessel Fotografie)

REDACTIE ADRES

Notarisappel 37, 6662 JN Elst
Telefoon: 0481-841156
E-mail: kernvisie@kernvisie.com
Internet: www.kernvisie.com
Bankrekening NL19 INGB 0006 8513 70,
t.n.v. Kernvisie, Foundation for Nuclear Energy te
Zwijndrecht.

OP DE COVER

Jean-Pol Poncelet; copyright: ESA - P.Sebiro

Distributie, onder vermelding Stichting Kernvisie, via eigen e-mail systemen en gebruik van de informatie voor lezingen, presentaties, studies, discussies, publicaties, enz. wordt op prijs gesteld en toegejuicht.

VOORWOORD

DE STEM VAN DE EUROPESE INDUSTRIE



Veertien van de 28 Europese lidstaten maken gebruik van kernenergie voor hun elektriciteitsvoorziening, samen bedrijven ze 131 kerncentrales. Vanuit hun Brusselse hoofdkantoor is FORATOM al tientallen jaren de stem van de Europese nucleaire industrie. Maar liefst zestien nucleaire organisaties uit evenzoveel lidstaten, waaronder Nederland, zijn aangesloten bij FORATOM. Samen vertegenwoordigen ze bijna achthonderd bedrijven. De organisatie neemt met diverse commissies en directoraten om de hoek zowel letterlijk als figuurlijk een strategische plek in waar het gaat om het vormen van een brugfunctie tussen de Europese nucleaire industrie en de Europese politiek. In dit Kernvisie Magazine vertelt algemeen directeur Jean-Pol Poncelet over de invloed van FORATOM, de samenwerkingen met organisaties en het zoeken naar een balans tussen diverse belangen. Verder in deze uitgave onder meer uitgebreid aandacht voor het ontwerp van de Molten Salt Reactor (MSR). Jan Leen Kloosterman gaat in *Een paradigmaverschuiving in reactorveiligheid: De Gesmolten Zout Reactor* uitgebreid in op de 'ins' en 'outs' van dit reactorontwerp, waarvoor wereldwijd de belangstelling sterk groeit. Maar ook Nederland kan een belangrijke rol spelen in de ontwikkeling van de MSR en een drijvende kracht worden achter een nieuwe vorm van kernenergie, waarmee op veilige en duurzame wijze gedurende tienduizenden jaren schone stroom kan worden opgewekt.

André Versteegh
voorzitter Stichting Kernvisie

K INHOUD

FORATOM IS DE STEM VAN DE EUROPESE NUCLEAIRE INDUSTRIE

Het hoofdkantoor van FORATOM is gehuisvest in het hart van de Europese politiek aan de Avenue des Arts in het centrum van Brussel. Met diverse commissies, directoraten om de hoek en met uitzicht op het koninklijk paleis neemt FORATOM ook letterlijk een strategische plek in. "We vervullen een brugfunctie tussen de Europese nucleaire industrie en de Europese politiek.



EEN PARADIGMA-VERSCHUIVING IN REACTORVEILIGHEID: DE GESMOLTEN ZOUT REACTOR

Bij kernsplijting van uranium-235 wordt energie vrijgemaakt uit het massadefect dat bestaat tussen het uraniumatoom en de twee lichtere splijtingsproducten die worden gevormd.

DEFINITIEVE KERNENERGIEWET VERGUNNING VOOR UITBREIDING COVRA

De Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) heeft op 7 januari van de overheid de definitieve Kernenergiewetvergunning ontvangen.

P10



P08 IRRS-TEAM BEZOEKT NEDERLAND

In november 2014 is in Nederland een IRRS-missie uitgevoerd onder auspiciën van het internationaal atoomagentschap IAEA.

P09 COLUMN

Aliki van Heek

P18 IN MEMORIAM DR. IR. H.R. KLEIJN

Eind vorig jaar overleed Hans Robert Kleijn, een van de pioniers van kernenergie in ons land.

P23 WETENSCHAPPERS VRAGEN MILIEUBEWEGING KERNENERGIE TE ACCEPTEREN



K P20

RONDGANG LANGS NUCLEAIR NEDERLAND?

Regelmatig komt het voor dat mensen vragen naar de stand van zaken in nucleair Nederland. Wat doet men zoal, welke producten worden gemaakt? Ook zijn mensen nieuwsgierig om te weten of een bezoek kan worden gebracht aan een kernreactor. Kan dat zo maar?



INTERVIEW

**X FORATOM IS DE STEM
VAN DE EUROPESE
NUCLEAIRE INDUSTRIE**

Het hoofdkantoor van FORATOM is gehuisvest in het hart van de Europese politiek aan de Avenue des Arts in het centrum van Brussel. Met diverse commissies, directoraten om de hoek en met uitzicht op het koninklijk paleis neemt FORATOM ook letterlijk een strategische plek in. “We vervullen een brugfunctie tussen de Europese nucleaire industrie en de Europese politiek. We vertegenwoordigen de nucleaire industrie, houden de ontwikkelingen bij en proberen een gezamenlijk standpunt te definiëren”, vat algemeen directeur Jean-Pol Poncelet de activiteiten van FORATOM bondig samen. “We zien onszelf als de stem van de Europese nucleaire industrie.”

**“WE ZOEKEN
NAAR EEN
EVENWICHT IN
DE BELANGEN.”**

Zestien nucleaire organisaties uit evenzoveel lidstaten zijn aangesloten bij FORATOM. Samen vertegenwoordigen ze bijna achthonderd bedrijven. Opgericht rond 1960 heeft FORATOM in de loop der jaren een solide reputatie opgebouwd als brancheorganisatie met betrouwbare expertise over kernenergie-aangelegenheden. In deze rol als deskundige gesprekspartner assisteren ze dan ook de Europese beleidsmakers bij de ontwikkeling van het nucleaire energiebeleid. Dat de belangen van zijn leden soms heel divers zijn, is voor Poncelet geen probleem. “Ieder land heeft zijn eigen visie en beleid ten opzichte van kernenergie. Zo is Duitsland bezig met de uifasering, terwijl Groot-Brittannië en Polen bezig zijn met nieuwbouw. Het is altijd een kwestie van zoeken naar een evenwicht in de belangen”, stelt hij. “We kijken gezamenlijk naar de ontwikkelingen binnen de Europese Unie (EU) en bepalen vervolgens wat de gedeelde belangen zijn, zodat we onze plannen en doelen kunnen formuleren.”

Naast de vaste leden kent FORATOM ook geassocieerde leden die geen lid zijn van de EU maar wel geïnteresseerd in de Europese nucleaire industrie. Poncelet noemt hierbij Oekraïne als voorbeeld. “Omdat het land geen lid is van de EU is het niet

betrokken bij bijvoorbeeld de gesprekken over de wetgeving”, legt Poncelet uit. “Maar het Oekraïense energiebedrijf Energo Atom heeft onlangs een kantoor in Brussel opgezet wat zich exclusief richt op de aanpassing van de Oekraïense regelgeving aan de Europese normen en een nauwere samenwerking met de Europese instellingen. Dat is naar mijn weten het eerste land met een Brussels kantoor exclusief gericht op de nucleaire industrie”, aldus Poncelet. “Dat geeft wel aan hoe groot de inzet van Oekraïne is.”

NUCLEAIRE AANSPRAKELIJKHEID

Maandelijks organiseert FORATOM een bijeenkomst voor nucleaire bedrijven waarbij ervaringen en kennis worden gedeeld. Poncelet geeft als voorbeeld het onderwerp ‘nucleaire aansprakelijkheid’, één van de vele onderwerpen waar FORATOM zich mee bezighoudt. Exploitanten van kerncentrales zijn aansprakelijk voor schade veroorzaakt door henzelf. Vanwege de potentiële grensoverschrijdende gevolgen van een nucleair ongeval zijn er internationale verdragen over nucleaire aansprakelijkheid zoals de Conventie van Parijs en de Conventie van Wenen. “Ieder land heeft als eerste zijn eigen wetgeving. Zo zijn hanteren Duitsland en Zweden geen maximale aansprakelijkheidsgrenzen waar andere landen dat wel doen. Om tot een gezamenlijk standpunt te komen, moeten we de belangen van al onze leden dus goed afwegen.” Op die manier publiceerde FORATOM eind 2013 een Position Paper over nucleaire aansprakelijkheid met standpunten en adviezen over het onderwerp vanuit de Europese nucleaire industrie. “Door de politieke initiatieven en ontwikkelingen op de voet te volgen en regelmatig overleg te voeren met onze leden kunnen we de industrie een stem geven.” Hetzelfde gebeurde bij de recente wijzigingen in de richtlijn inzake nucleaire veiligheid. Alle 28 lidstaten hebben hun eigen nationale voorschriften. Na ➤

Fukushima was het voor iedereen duidelijk dat hier meer harmonisatie in moest komen. Wij hebben in dat proces de zorgen en belangen van de nucleaire industrie kenbaar gemaakt.”

VIER PILAREN

Niet alleen de brede vertegenwoordiging van industrieën en landen, maar ook de expertise van het bestuur en medewerkers van FORATOM dragen bij aan de strategische positie van de organisatie. Poncelet licht de structuur van FORATOM toe: “We hebben vier zogenoemde pilaren die zich ieder met hun eigen onderwerpen bezighouden. Zo is er een pilaar die zich richt op het energiebeleid van de EU, er is er een gewijd aan nucleaire veiligheid, een voor de splijtstofcyclus en een pilaar gericht op communicatie. Die laatste lijkt misschien wat afwijkend van de andere, maar we geloven dat goede communicatie ontzettend belangrijk is en daarom hebben we het sterk neergezet binnen de organisatie.” De afdeling communicatie voorziet de leden van FORATOM van achtergrondinformatie en nieuws. Ook bevat de website een grote hoeveelheid achtergrondinformatie. Van factsheets over de leveringszekerheid van

energiebronnen tot het ontmaskeren van mythes rondom kernenergie. “Het is niet aan ons om het publiek te informeren over kernenergie, dat is een verantwoordelijkheid voor de landen en organisaties zelf. Maar we hopen dat de informatie op de website van nut is voor hen en wanneer nodig helpen we uiteraard graag.”

Aan het hoofd van iedere pilaar staat een vertegenwoordiger uit de nucleaire industrie. Poncelet: “Zij vormen het Executive Committee van FORATOM. Het zijn altijd hooggeplaatste bestuurders, wat bijdraagt aan het gewicht van onze organisatie. Daarnaast hebben we verschillende werkgroepen die zich bezighouden met specifieke onderwerpen.” FORATOM onderhoudt ook nauwe banden met gelijksoortige organisaties over de hele wereld. Poncelet noemt de goede samenwerking met het Japan Atomic Industrial Forum (JAIF), de World Nuclear Association (WNA) en het Korea Atomic Industrial Forum.

SUCCESSEN

Gevraagd naar de successen van FORATOM toont Poncelet zich bescheiden. “Het zijn niet zozeer de successen van

FORATOM als wel die van onze leden. We werken met ze samen en delen in hun succes.” Wel noemt hij de recentelijke goedkeuring van de financiering van de Britse nieuwbouwplannen door de EU als een mijlpaal in de geschiedenis. “Groot-Brittannië heeft een huzarenklus geklaard door een investering in nieuwbouw van de grond te krijgen, waardoor ze voor het eerst in 25 jaar weer een kerncentrale zullen bouwen.” Poncelet benadrukt dat het hier gaat om een ware hervorming van een energiemarkt die wellicht als voorbeeld kan dienen voor andere Europese landen. “De Britse regering heeft zich ten doel gesteld om hun economie te ‘decarbonizeren’ met alle middelen die daarvoor nodig zijn. Dus niet alleen kernenergie maar ook CO₂-opslag en andere duurzame energievormen. Het is echter lastig om investeerders te vinden voor de bouw van een kerncentrale omdat de grootste kosten aan het begin van het project zitten en het rendement later komt.” De Britse overheid bedacht een innovatieve manier om de financiering van de nieuwbouw mogelijk te maken met contracten voor investeerders. Deze Contracts for Difference (CFDs) stabiliseren de inkomsten voor beleggers in projecten



Jean-Pol Poncelet heeft een lange en indrukwekkende carrière in de Belgische politieke en nucleaire industrie. Hij behaalde in 1973 zijn academische graad in Nuclear Engineering aan de École Polytechnique de Louvain (België) waarna hij zijn loopbaan begon bij Belgonucleaire, een bedrijf dat zich toelegt op de ontwikkeling van nucleaire splijtstof. Van 1991 tot 2001 was hij lid van het Belgisch Parlement waarvan vier jaar als vicepremier en minister van Defensie en minister van Energie. In deze periode initieerde hij de oprichting van een onafhankelijk agentschap voor nucleaire veiligheid en was hij verantwoordelijk voor de deregulering van de energiemarkten in België. Aansluitend was hij de voorzitter van de raad van bestuur van het Belgische agentschap kernafval (ONDRAFVNIRAS) van 1991 tot 2005. Later werd hij AREVA's Senior Vice President voor duurzame ontwikkeling en was hij vier jaar werkzaam als directeur Strategie en Externe Betrekkingen van het European Space Agency in Parijs. Sinds augustus 2011 is hij de directeur-generaal van FORATOM, de brancheorganisatie van de Europese nucleaire industrie. Hij is ook de secretaris-generaal van de European Nuclear Society (ENS). Beide zijn gevestigd in Brussel, België.



Met zijn boek Een ongemakkelijke energiebron – nucleair: een duurzame controverse? wil Jean-Pol Poncelet een bijdrage leveren aan de dialoog rondom kernenergie. Wie het onderwerp aansnijdt, krijgt onherroepelijk te maken met controverse, oplaaierende emoties en een diepe verdeeldheid. Maar hebben we eigenlijk wel een energiekeuze in een wereld waar het explosief groeiende energieverbruik een zware wissel trekt op de aarde en de mensheid? Het debat rondom kernenergie ligt gevoelig en bestaande vooringenomenheid en dogma's kunnen alleen worden vermeden met een zorgvuldige interactie tussen de politiek, de wetenschap en de samenleving. Om de betrokkenheid van het publiek nieuw leven in te blazen, moet er afscheid worden genomen van het bestaande antagonisme. Alleen op die manier kan er een democratische dialoog worden opgezet waarin het publiek meebeslist in de energiekeuze. In iets meer dan honderd pagina's neemt Poncelet de lezer mee in zijn verhaal over de ontwikkeling van kernenergie en de maatschappelijke weerstand die het oproept. Het oude Egypte, Homer Simpson, Prometheus en Hiroshima passeren de revue, gecombineerd met een scala aan feiten en anekdotes. Met het boek hoopt Poncelet de feiten en kennis over kernenergie toegankelijk te maken voor het brede publiek; een absolute noodzaak wanneer we willen dat burgers in staat zijn om juist geïnformeerd deel te nemen aan een democratisch debat over energiekeuze. Want, zo stelt de auteur, het gaat uiteindelijk om niets minder dan het beschermen van de aarde en het redden van de mensheid.

Une énergie dérangeante. Nucléaire: une controverse durable? Is een uitgave van de Académie Royale de Belgique en is in het Frans in paperback of als E-book verkrijgbaar hun de website: <http://academie-editions.be>

voor koolstofarme elektriciteitsopwekking zodat het benodigde startkapitaal kan worden veiliggesteld en tegelijkertijd de consument wordt beschermd tegen een excessief stijgende energierekening. "Er is een vaste prijs afgesproken voor de elektriciteit. Wanneer de marktprijs later hoger is, dan betaalt de exploitant de meerwaarde uit in een overheidsfonds. Dat fonds dient vervolgens als een buffer. Wanneer in de toekomst de marktprijs lager is, dan betaalt de overheid het verschil per kWh uit dit fonds", legt Poncelet uit. "Het feit dat de EU dit investeringsmodel heeft goedgekeurd, is niet alleen goed nieuws voor Groot-Brittannië maar voor heel Europa. Het laat zien dat nucleaire nieuwbouw economisch haalbaar is. En dat is nodig wanneer we de Europese energie doelstellingen willen halen: een goede

concurrentiepositie, leveringszekerheid van elektriciteit en het bestrijden van klimaatverandering."

NUCLEAR FOR CLIMATE

Dit jaar moet er in december een mondiaal klimaatakkoord worden gesloten in Parijs. Voor FORATOM en partners is het belangrijk om een bijdrage te leveren aan deze actuele discussie door te laten zien hoe belangrijk de bijdrage van kernenergie is bij het bestrijden van klimaatverandering. Poncelet: "In het Verdrag van Lissabon is bepaald dat de keuze voor een energiemix voor ieder land een exclusieve verantwoordelijkheid is. Het mag dus niet worden opgelegd door de EU of andere landen. In Europa maken veertien van de achtentwintig lidstaten gebruik van kernenergie en zijn er 131 kerncentrales in bedrijf. Samen produceren

ze 53 procent van de CO₂-vrije elektriciteit van Europa." In Brussel is inmiddels een belangrijke verschuiving merkbaar ten opzichte van klimaatverandering. "Onlangs zijn de portefeuilles Klimaatverandering en Energie samengevoegd en vallen ze nu onder één eurocommissaris. Dat is een belangrijke stap omdat het aangeeft dat de twee onderwerpen onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn." Dat de internationale nucleaire gemeenschap zich bewust is van de noodzaak om in Parijs een mondiaal akkoord te bereiken, blijkt ook uit de internationale campagne Nuclear for Climate. Ook FORATOM maakt zich sterk om de boodschap naar buiten te brengen: kernenergie is onmisbaar in de strijd tegen klimaatverandering. **K**

Ellen Jelgersma



IRRS-TEAM BEZOEKT NEDERLAND

In november 2014 is in Nederland een IRRS-missie uitgevoerd onder auspiciën van het internationaal atoomagentschap IAEA. Het IRRS-team heeft documenten beoordeeld, interviews gehouden en is met inspectiebezoeken mee geweest. Het team heeft diverse aanbevelingen en suggesties gedaan voor zowel nucleaire onderwerpen als onderwerpen op stralingsgebied.

IRRS (Integrated Regulatory Review Service) is een methodiek van de IAEA waarmee de overheidsorganisatie op het terrein van nucleaire veiligheid en stralingsbescherming wordt doorgelicht door een internationaal team van deskundigen. Alle landen die zijn aangesloten bij de IAEA ondergaan periodiek een IRRS-missie. EU-landen zijn hiertoe zelfs verplicht op grond van twee EU-richtlijnen. Bij deze missie worden wet- en regelgeving, de organisatie en de taakuitvoering van de overheid getoetst aan de IAEA-veiligheidsnormen. Het doel van deze doorlichting is het desbetreffende land aanbevelingen en suggesties te geven om de organisatie en de werkwijze te verbeteren. Dit sluit aan op het internationale uitgangspunt van voortdurende verbetering van de veiligheid.

28 EXPERTS UIT 21 LANDEN

In november was een gezelschap van 28 experts uit 21 landen bijeen in Den Haag. Dit IRRS-team heeft de volgende overheidsorganisaties doorgelicht:

- De Kern Fysische Dienst (KFD) van het ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM). De KFD is belast met het toezicht.
- De programmadirectie Nucleaire Installaties en Veiligheid (NIV) van het ministerie van Economische Zaken (EZ). NIV is belast met beleidsvorming, wet- en regelgeving en vergunningverlening.
- Het Team Stralingsbescherming (TSB) van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO). TSB is belast met de

vergunningverlening voor niet-nucleaire activiteiten en transport en de afhandeling van meldingen in het kader van de Kernenergiewet.

- En als laatste de beleidsafdeling (GMT) en inspectiedienst (IGZ) van het ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport (VWS), die belast zijn met respectievelijk beleid/wet- en regelgeving en toezicht op de patiëntveiligheid van medische stralingstoepassingen.

Vanaf januari zijn KFD, NIV en TSB samengevoegd en opgenomen in de nieuwe ANVS (Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming).

AANBEVELINGEN IRRS

Het IRRS-team was positief over de voorbereiding, organisatie en transparantie vanuit de Nederlandse overheid. Het team heeft diverse aanbevelingen en suggesties gedaan die door de IAEA zijn overgenomen. De IAEA vermeldt twee nieuwe 'good practices', namelijk het Nederlandse systeem om straling vanuit schrootafval aan te pakken en het op initiatief van Nederland opgerichte forum van landen die Duitse nucleaire installaties hebben, in het licht van de nucleaire uifasering in Duitsland.

De missie heeft daarnaast enkele onderwerpen onderscheiden die aandacht of verbetering behoeven, waaronder:

- Het nationale beleid over stralings- en

- nucleaire veiligheid, beheer van radioactief afval en financiële bepalingen voor de ontmanteling en verwijdering moeten worden geconsolideerd. Binnen een bestendig beleid moet de nadruk liggen op duurzaamheid van menselijke hulpbronnen;
- De nieuwe autoriteit ANVS moet een gemeenschappelijke veiligheidscultuur creëren onder al het personeel om veiligheid op een geïntegreerde en gecoördineerde wijze te kunnen reguleren. Stelselmatige training en kwalificatie van toezichthoudende medewerkers moet onderdeel van het managementsysteem zijn;
- De ANVS dient te worden beschermd tegen ongepaste politieke inmenging en moet in staat zijn tot heldere communicatie en open samenwerking tussen de verschillende onderdelen. Aanvullend moeten er voldoende middelen zijn toegewezen;
- De autoriteit dient verder regelgeving en leidraden te ontwikkelen en deze periodiek te herzien om de samenhang, duidelijkheid en transparantie te verbeteren. Het moet ook het regelgevend kader op het gebied van paraatheid en reactie op noodsituaties versterken, maar ook publieke bescherming;
- Inspecties moeten systematisch worden gepland en geprioriteerd, en hun bevindingen effectief gevolgd en afgedwongen.

Over enkele maanden wordt het definitieve rapport door de IAEA opgeleverd. **K**

KFD, NIV EN TSB SAMENGEVOEGD IN NIEUWE ANVS

In januari is de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) gestart. Vanaf 1 februari is mr. Jan van den Heuvel de algemeen directeur. De ANVS richt zich onder meer op het ontwikkelen van beleid en wet- en regelgeving, vergunningverlening, publieksvoorlichting, toezicht en handhaving rondom nucleaire veiligheid en stralingsbescherming. De autoriteit zorgt ook dat Nederland is voorbereid op mogelijke stralingsincidenten.

Tot 2015 waren diverse overheidstaken en de kennis over nucleaire veiligheid en stralingsbescherming verspreid over verschillende instanties. In de ANVS wordt veel van deze kennis en kunde gebundeld in één onafhankelijke autoriteit.

MR. JAN VAN DEN HEUVEL

Het IRRS-team van de IAEA was positief over de oprichting van de nieuwe autoriteit ANVS, ontstaan door samenvoeging van KFD, NIV en TSB. Binnen de nieuw gevormde ANVS zijn ongeveer 120 mensen werkzaam. De expertise op het gebied van nucleaire veiligheid is met de vorming van de ANVS samengevoegd in één onafhankelijke organisatie die vanaf begin dit jaar het toezicht op de nucleaire sector houdt. De ANVS wordt een zelfstandig bestuursorgaan (ZBO). De formele procedure hiervoor vereist onder meer een wetswijziging en zal naar verwachting afgerond zijn in januari 2016. Tot die tijd is de ANVS een dienst (directie) binnen het ministerie van I&M. De minister van EZ, die politiek verantwoordelijk is voor nucleaire veiligheid, stralingsbescherming, beveiliging en crisisvoorbereiding, heeft de minister van I&M gemandateerd voor het nemen van besluiten en het verrichten van overige handelingen op grond van de kernenergiewet. Binnen I&M worden de (algemeen) directeur en de sectorhoofden vervolgens 'ondergemandateerd' voor het ondertekenen van ANVS-vergunningen en eventuele handavingsbesluiten namens de minister van EZ. De functie van directeur KFD is overgegaan in die van de algemeen directeur ANVS. Vanaf 1 februari 2015 is mr. Jan van den Heuvel de algemeen directeur van de ANVS en kwartiermaker/beoogd bestuursvoorzitter van het zelfstandig bestuursorgaan ANVS. De bestuursvoorzitter treedt pas in functie als de ANVS een ZBO is. De IAEA beschouwt de oprichting van de autoriteit als een belangrijke stap voorwaarts. De IRRS-aanbevelingen worden in ANVS-kader opgepakt. Over 3 tot 5 jaar zal de IAEA een vervolgmisssie uitvoeren om te bezien hoe de aanbevelingen dan zijn geïmplementeerd. **K**

COLUMN



ENERGIE-LABEL

Vorige maand viel het voorlopig energielabel van ons huis in de bus. Dat is opgeleverd in 2005, gebouwd volgens de normen van het Bouwbesluit 2003, en dat alleen leverde ons een nette B op. Maar voor we het verkopen moeten we eerst een definitief energielabel halen. Dit kost 'een paar

tientjes', te betalen aan een 'erkend deskundige'. Voor ons alleen maar een extra kostenpost: we gaan niet nog iets extra energiezuinigs toevoegen aan het huis en de koper interesseert het ook niet.

Waar komt dat energielabel eigenlijk vandaan? Nou, uit Brussel. Een stukje energiebeleid waar ze het wél over eens zijn. Net als over CO₂-emissiereductie, marktwerking en stimulering van duurzame energie. Daar gaat dan ook alle aandacht naar uit.

Waar echter niemand het over heeft is de brandstofmix voor elektriciteitsopwekking, het geïnstalleerde vermogen en de absolute hoogte van de energieprijzen. Hier wordt immers niet meer op gestuurd, maar aan de markt over gelaten. Het overkomt de regeringen gewoon. Zo wordt bijvoorbeeld België dit jaar 1600 MW aan economisch-niet-rendabel gasgestookt vermogen armer.

Buiten Europa is dit vaak anders: overheden erkennen dat lage en stabiele energieprijzen goed zijn voor hun bedrijfsleven en voeren hier beleid op. Zo zijn er buiten Europa meer dan 20 landen die bezig zijn met nieuwe kerncentrales. De tijd dat landen uit prestige-overwegingen voor kernenergie gingen is reeds lang voorbij; nu gaat het gewoon om langdurig veel kWh voor een lage prijs.

Nu hoeven we niet direct terug naar een staatsgeleide energievoorziening, maar enige stimulans vanuit Brussel om het geïnstalleerd vermogen op peil te houden en die brandstofmix te kiezen die het beste bij een land of regio past zou op zijn plaats zijn. Er valt misschien te denken aan een energielabel per lidstaat: de beste mix van duurzaam, efficiënt, leveringszeker en betaalbaar.

Aliki van Heek



DEFINITIEVE KERNENERGIEWET VERGUNNING VOOR UITBREIDING COVRA

De Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) heeft op 7 januari van de overheid de definitieve Kernenergiewetvergunning ontvangen voor de uitbreiding van het Hoogradioactief Afval Behandelings- en OpslagGebouw (HABOG). Ook zal er een opslaggebouw voor laag- en middelradioactief afval, het VOG2, worden gebouwd op het bestaande bedrijfsterrein in een andere vorm dan aanvankelijk was voorzien en is vergund. Tegelijkertijd zal het reeds vergunde opslaggebouw voor laag- en middelradioactief afval, het COG2, komen te vervallen.

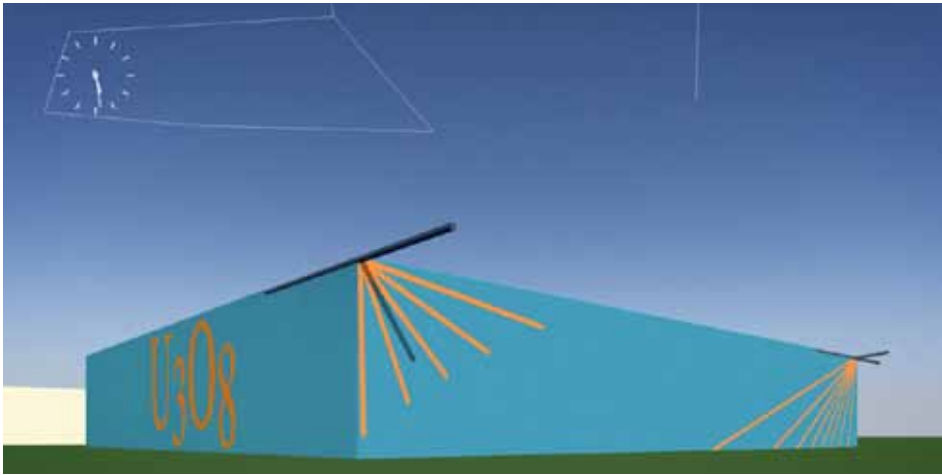
De uitbreidingen zijn voor de COVRA noodzakelijk omdat ook in de toekomst radioactief afval zal worden geproduceerd. De capaciteit van het HABOG was oorspronkelijk gebaseerd op hoogactief afval van de Kerncentrale Borssele (KCB) geproduceerd tot de oorspronkelijke sluitingsdatum van 2013. Omdat KCB inmiddels operationeel blijft tot 2034 is nieuwe opslagruimte nodig voor het

warmte producerend opwerkingsafval. Daarnaast is ook voor de voortzetting van de bedrijfsvoering van de Delftse Hoger Onderwijs Reactor en Hoge Flux Reactor in Petten na 2015 en in de toekomst mogelijk ook van Pallas opslagruimte nodig voor hieruit resulterende bestraalde splijtstof elementen. Het nieuwe opslaggebouw voor verarmd uranium, VOG2, wordt op een andere plaats gebouwd dan eerder

voorzien. Dat is nu een plek direct grenzend aan de spooraansluiting op het COVRA terrein waarmee de logistiek zal worden geoptimaliseerd.

MILIEUEFFECTRAPPORT

COVRA heeft op 6 december 2013 bij het ministerie van Economische Zaken de aanvraag ingediend voor het reviseren van de kernenergiewetvergunning. Als eerste stap in deze procedure heeft COVRA eind 2011 de aanmeldingsnotitie voor de milieueffectrapportage ingediend. Uit het oogpunt van transparantie en openheid heeft COVRA bij de start van de procedure in 2011 besloten om te kiezen voor het opstellen van een milieueffectrapport via de uitgebreide procedure. Alle belangstellenden hebben daardoor de mogelijkheid tot inspraak gehad. De minister van Economische Zaken heeft vervolgens in 2012 een advies gegeven over de reikwijdte en het detailniveau van het milieueffectrapport (MER). Aan de hand van dit advies is het MER opgesteld. Het MER en het veiligheidsrapport zijn met de vergunningsaanvraag op 9 december 2013 door het ministerie van Economische Zaken ontvangen. Op de ontwerpvergunning, die op 25 september 2014 drie maanden ter inzage is gelegd, zijn 130 zienswijzen ontvangen. Van deze zienswijzen waren 81



afkomstig uit Nederland, 48 uit Duitsland en 1 uit Oostenrijk. Veel van de zienswijzen zijn gelijklopend en veel gaan over andere activiteiten dan die van COVRA. De Commissie m.e.r. is van oordeel dat het MER de essentiële informatie bevat om een besluit te kunnen nemen over de te actualiseren vergunning waarin het milieubelang volwaardig wordt meegewogen. De milieueffecten van de nu geplande uitbreidingen en nieuwbouw zijn klein. De beschreven alternatieven van uitvoering tonen in vergelijking met elkaar ook slechts kleine verschillen in effect op de omgeving. Aangetoond is ook dat de voorgenomen uitbreiding geen nadelige effecten heeft voor het nabijgelegen Natura 2000-gebied Westerschelde & Saeftinghe.

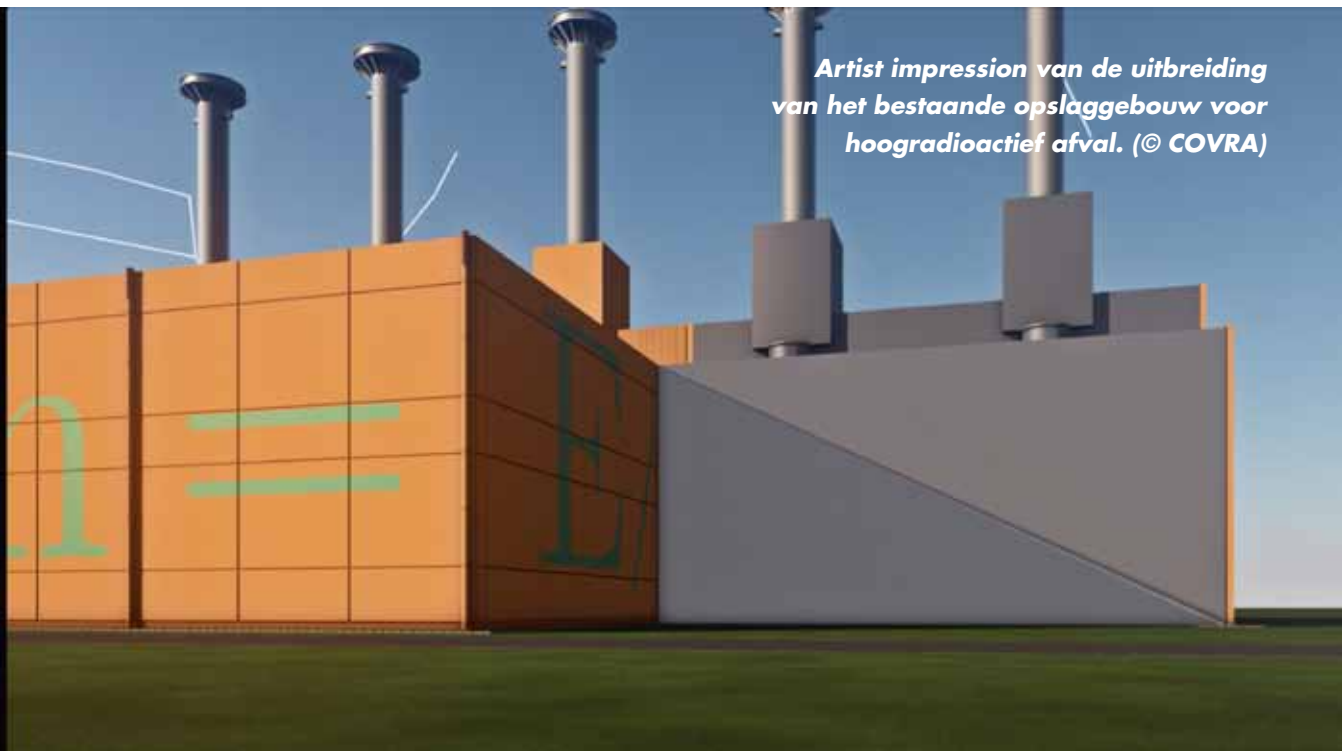
ZONNEWIJZER

Het gebouw voor de behandeling en opslag van hoogradioactief afval, HABOG, is naast een functioneel opslaggebouw met zeer dikke wanden van zwaar gewapend beton ook een kunstwerk. Het gebouw is oranje met daarop de beroemde formule van Einstein, $E=mc^2$. In de komende 100 jaar zal het gebouw een steeds lichtere kleur krijgen en uiteindelijk wit zijn in 2103. Deze kleurverandering symboliseert de afname van de warmteproductie van het hoogradioactief afval. De uitbreiding van het kunstwerk zal bestaan uit een simpele diagonale verdeling van de zijkant van de nieuwbouw. Het bijzondere daarvan is dat -door de ligging van het gebouw- tweemaal per jaar de schaduw van de zon deze verdeling

K Het ontwerp voor het nieuwe VOG2, de opslag voor laag- en middelradioactief afval. (© COVRA)

optisch zal doen verdwijnen. Hiermee wordt een verbinding gemaakt met de zon en de kosmos want de materialen die in het gebouw worden opgeslagen vinden hun oorsprong in een supernova. Het VOG2 is nodig voor de opslag van verarmd uranium. Dit gebouw wordt Uranus blauw en zal een enorme zonnepijler zijn. De tijdsaanduiding refereert aan het feit dat de tijd radioactieve stoffen onschadelijk maakt.

Vanaf 15 januari 2015 tot en met 26 februari 2015 ligt de beschikking Uitbreiding HABOG, Wijziging locatie VOG2 en Revisie Kernenergievergunning van COVRA ter inzage. Gedurende deze periode kan beroep tegen de beschikking worden ingesteld, daarna treedt de vergunning in werking. In het geval van een verzoek tot een voorlopige voorziening, treedt dit besluit niet in werking voordat op dat verzoek is beslist. De inspraakreacties en het advies van de commissie m.e.r. geven geen aanleiding om de vergunning niet te verlenen. De commissie m.e.r. bevestigt dat de MER de effecten voor de omgeving helder en duidelijk in beeld brengt en dat de effecten van de noodzakelijke uitbreidingen klein zijn. **K**



Artist impression van de uitbreiding van het bestaande opslaggebouw voor hoogradioactief afval. (© COVRA)





INBEELD

De European Pressurized Reactor (EPR) in Flamanville tijdens de schemering eind vorig jaar. De bouw van de 1.650 MWe-eenheid aan de Normandische kust startte in december 2007. EDF leidt het project. Areva levert de nucleaire onderdelen zoals het stoomgeneratorsysteem. Bouygues

Construction is penvoerder van het consortium dat verantwoordelijk is voor de civiele techniek. Oorspronkelijk zou de reactor in 2013 in bedrijf worden genomen, maar naar het zich nu laat aanzien zal hij niet eerder dan in 2017 op het net worden aangesloten. Dat betekent een vertraging van een jaar op de laatste planning. Oorzaak van het uitstel zijn volgens eigenaar EDF 'moeilijkheden' rond de levering van onderdelen afkomstig van Areva en de implementatie van regels die betrekking hebben op onderdelen van nucleaire installaties die onder druk staan.

Wat betreft de levering van onderdelen lopen de productie van het reactorvatdeksel en onderdelen van het binnenwerk van het vat vertraging op. Areva zegt in een reactie dat de late levering onder meer het gevolg is van onzekerheden in 'de markt' en problemen die er zouden zijn rond de betalingen bij de voltooiing van de Olkiluoto EPR in Finland. "Deze nieuwe informatie zal worden gedeeld met alle leveranciers en zal worden geïntegreerd in het bouwschema met het oog op de aanpassing en coördinatie van de werkzaamheden op de werkvloer," aldus EDF. EPRs zijn ook in aanbouw in Finland (Olkiluoto 3, gereed in 2018) en in China (Taishan 1 gereed in 2016 en 2 gereed in 2017).

© EDF – credit: fotograaf Antoine Soubigou

EEN PARADIGMA- VERSCHUIVING IN REACTORVEILIGHEID: DE GESMOLTEN ZOUT REACTOR

Principe van Kernsplijting

Bij kernsplijting van uranium-235 wordt energie vrijgemaakt uit het massadefect dat bestaat tussen het uraniumatoom en de twee lichtere splijtingsproducten die worden gevormd. Per massa-eenheid komt op deze wijze 3 miljoen maal meer energie vrij dan bij verbranding van steenkool. Doordat lichtere atoomkernen minder neutronen nodig hebben voor stabiliteit, komt bij kernsplijting ook een aantal neutronen vrij die vervolgens een andere atoomkern kunnen doen splijten. Door het overschot aan neutronen weg te vangen kan een constante kettingreactie worden verkregen.

Om de kettingreactie mogelijk te maken is het wel noodzakelijk de kans op absorptie van neutronen in uranium-235 te vergroten. Dit kan worden bereikt door moderatie (afremming) van neutronen en/of verrijking van de splijstof. Moderatie van neutronen leidt tot een zachter (laag-energetisch) spectrum, waardoor de kans op absorptie in uranium-235 sterk wordt verhoogd (zie figuur 1). Door middel van verrijking kan de fractie splijtbaar uranium-235 worden vergroot van 0,7% in natuurlijk uranium tot circa 5% in de splijstof van kernenergiecentrales.

FIGUUR 1: Absorptie werkzame doorsnede als functie van de energie van het inkomend neutron voor uranium-235 (rode lijn),

uranium-238 (blauwe lijn) en de verhouding tussen deze twee (zwarte lijn). Duidelijk is dat bij lagere neutronenergie de verhouding verschuift naar meer absorptie in uranium-235. De cyaanlijn geeft het spectrum van de splijtingsneutronen (rechter as). De twee mechanismen, moderatie en verrijking, zijn in zekere mate uitwisselbaar. Een reactor zonder moderator behoeft een hogere verrijking, terwijl een reactor met natuurlijk uranium een heel goede moderator nodig heeft, zoals zuiver ('reactor-grade') grafiet of zwaar water. In zekere zin kan zwaar water als verrijkt water worden beschouwd, zodat bij het ontwerp van een kernreactor de keuze bestaat tussen verrijking van de splijstof óf verrijking van de moderator.

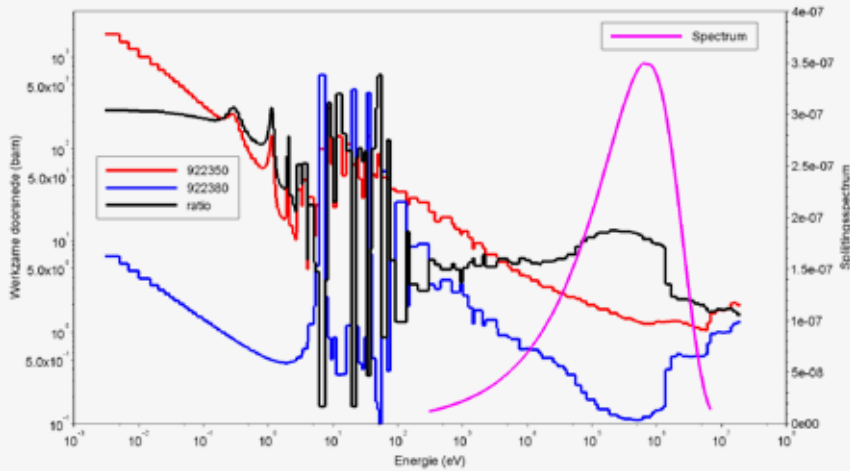


REACTORVEILIGHEID VAN LICHT WATERGEKOELDE REACTOREN (LWR)

Het water in een LWR combineert twee functies: de moderatie van neutronen en de afvoer van warmte. Hierdoor ontstaat een sterk negatieve terugkoppeling, doordat bij hogere temperatuur de uitzetting van het koelmiddel de moderatiewerking verslechtert en de kettingreactie zal doven. Reactoren waarbij de moderatie en warmteafvoer is ontkoppeld, ontberen dit effect. Dit is bijvoorbeeld het geval in de beruchte Russische RBMK reactoren, waarin grafiet dient als moderator en water als koelmiddel. In dat geval wordt zelfs een positieve terugkoppeling verkregen omdat het water wel zwak neutronen absorbeert maar niet bijdraagt aan de moderatie van neutronen. Bij afnemende dichtheid van het koelwater leidt dit tot minder absorptie van neutronen en een toenemende kettingreactie.

Er bestaat nog een ander terugkoppelingseffect: het nucleaire Dopplereffect. Dit vindt zijn oorsprong in de resonantiestructuur van de absorptiekans voor neutronen in zware nucliden zoals

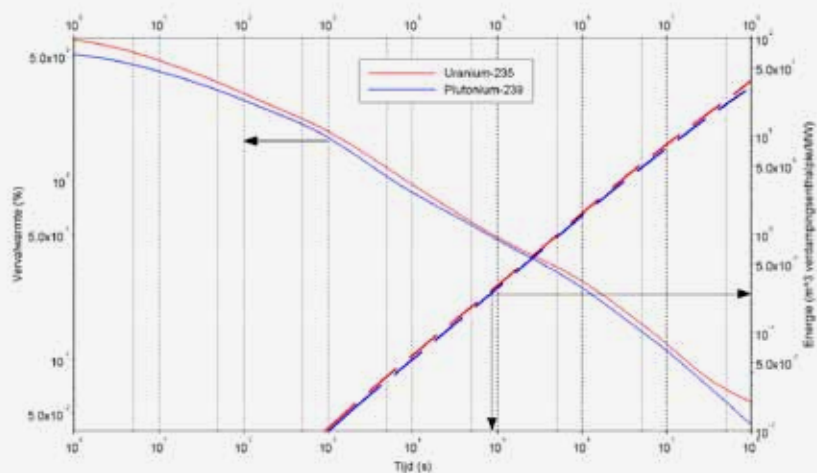
FIGUUR 1



uranium. Bij toenemende temperatuur zullen de splijstofatomen sterker trillen, waarbij de effectieve breedte van de resonanties toeneemt. Dit komt doordat de relatieve snelheid tussen het neutron en de atoomkern toeneemt als de atoomkern in de richting van het neutron beweegt en afneemt als de atoomkern van het neutron af beweegt, met als gevolg dat ook neutronen met iets lagere of iets hogere energie dan de resonantie-energie sneller worden ingevangen. Omdat absorptie van neutronen in het niet-splijtbare uranium-238 vooral in resonanties plaatsvindt, zal bij voldoende uranium-238 in de splijstof de kettingreactie doven bij toenemende temperatuur. Bij een goed ontworpen reactor zal altijd één van deze twee effecten de bovenhand hebben en zorgen voor een negatieve terugkoppeling, dat wil zeggen dat de kettingreactie dooft bij toenemende temperatuur. Er is echter een ander risico op beschadiging van de splijstof dat tot nu toe veel groter is gebleken. Dit vindt zijn oorsprong in het feit dat de splijtingsproducten radioactief zijn en vervallen naar de grondtoestand onder uitzending van straling, waardoor een deel van de splijtingsenergie vertraagd vrijkomt. Figuur 2 geeft de vervalwarmte als functie van de tijd. Initieel bedraagt de vervalwarmte van splijtingsproducten 6% van de totale splijtingsenergie. Hoewel na één dag de vervalwarmteproductie al met een factor 10 is gereduceerd, komt de vrijgekomen energie

overeen met de verdampingsenthalpie van 0,25 m³ water per MW thermisch geïnstalleerd vermogen. Dit betekent dat altijd een grote hoeveelheid koelwater beschikbaar moet zijn wil de reactorkern niet beschadigd raken.

FIGUUR 2: Vervalwarmte als functie van de tijd (linker as) en de integrale energie (rechter as) voor zowel uranium als plutonium. De warmteoverdracht van de splijstof naar het koelwater in een LWR is niet erg effectief. De splijstof bestaat uit tabletten van uraniumdioxide met een diameter van circa 8-12 mm ingekapseld in een gasdichte buis gemaakt van Zircaloy (een zirconiumlegering). Tussen de splijstoftablet en de binnenkant van de splijstofhuls zit een kleine spleet met een grote temperatuursprong als gevolg. De spleet kan zich wel tijdens de bestraling sluiten door



FIGUUR 2

uitzetting van de splijstoftablet. Ook is uraniumdioxide een slechte warmtegeleider met als gevolg een sterke temperatuurgradiënt in de tablet. Het resultaat is dat de temperatuur in het centrum van de splijstoftablet wel 1300 graden hoger is dan de temperatuur van het koelwater (circa 300 °C). De temperatuurverdeling van het water in het koelkanaal is wel homogeen, doordat de warmte vooral wordt opgenomen via kookprocessen. In Pressurized Water Reactors (PWR) vindt dit plaats via kiemkoken ('nucleate boiling'): de productie van kleine dampbelletjes aan de buitenkant van de splijstofhuls die door het water worden meegevoerd en vervolgens condenseren. Indien zich een afwijking van de koelmiddelstroom of warmteproductie voordoet, kan er een dampplaag ontstaan tussen de splijstofhuls en het koelwater waardoor een extra warmteverstand wordt gecreëerd en de temperatuur van de splijstof sterk toeneemt. Dit is het zogenaamde 'Departure from Nucleate Boiling (DNB)' punt. Omdat bij een temperatuur van 1200 °C de Zircaloy huls begint te oxideren en bij 2700 °C de splijstof begint te smelten moet het koelkanaal altijd gevuld blijven met water, ook als de splijtingsreactie is gestopt.

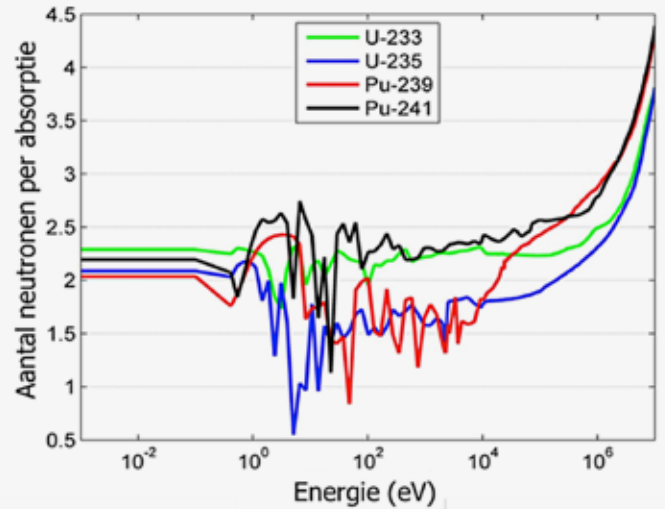
SNELLE METAALGEKOELDE REACTOREN

Binnen Generatie-IV, het wereldwijd gecoördineerde onderzoek naar nieuwe kernreactoren, domineren de kernreactoren zonder moderator en dus werkend met snelle ➤

neutronen. Om de kettingreactie mogelijk te maken moet in deze reactoren een hogere uraniumverrijking worden toegepast van 20% (de maximaal toegestane waarde). Nog beter is het om plutonium te gebruiken omdat bij snelle splijting van plutonium meer neutronen vrijkomen dan bij uranium. Het resultaat is dat in snelle reactoren extra neutronen beschikbaar zijn voor nevendoeleinden zoals de conversie en splijting van americium of het kweken van nieuwe splijtstof uit uranium-238. In snelle reactoren kan geen water worden gebruikt als koelmiddel omdat dit zou leiden tot moderatie van neutronen. Daarom richt het onderzoek zich op natrium, lood en lood-bismuth.

Deze metalen zijn excellente koelmiddelen doordat ze een grote warmtecapaciteit en geleidingscoëfficiënt hebben, en ook de warmteoverdrachtscoëfficiënt van de splijfstofhuls naar het koelmiddel groot is. Het warmtetransport in het koelmiddel verloopt via geleiding. Door de verbeterde warmteafvoer kan de vermogensdichtheid in de reactorkern groter zijn dan in LWRs. Bovendien is de kans op een kernsmeltongeval zeer klein door de grote warmtecapaciteit van het koelmiddel en het feit dat via natuurlijk circulatie en geleiding de warmte snel over het primaire circuit kan worden verdeeld en via extra kringlopen naar de omgeving kan worden afgevoerd. De bestaande metaalgekoelde reactoren werken met splijtstof in oxidevorm, maar veel onderzoek richt zich op nieuwe splijststoffen met een betere warmtegeleiding en hogere actinidendichtheid, zoals metallische splijtstof en nitriden. Toch kleeft er nog een aantal nadelen aan het gebruik van metaal als koelmiddel. Natrium kan in contact met lucht of water ontbranden en lood is corrosief en geeft aanleiding tot productie van het giftige polonium. Een ander risico is dat een snelle reactor zoveel plutonium bevat dat een verdichting van de reactorkern, door compressie of door de vorming van dampbellen in het koelmiddel, kan leiden tot een toename van de kettingreactie. Weliswaar is in een metaalgekoelde reactor de kans op een kernsmeltongeval zeer klein, de

FIGUUR 3



mogelijke gevolgen ervan zijn niet wezenlijk anders dan in LWRs. De reactorkern bevat door de hoge splijstfopbrand zelfs meer radioactieve splijtingsproducten dan in LWRs. Lood en lood-bismuth hebben trouwens wel een aardig ontwerpvoordeel in vergelijking met natrium doordat de splijtstof lichter is dan het koelmiddel. Dit betekent dat in geval van een ernstig kernsmeltongeval de splijtstof drijft op het koelmiddel en een zogenaamde 'core catcher', waarin de gesmolten splijtstof kan worden opgevangen, overbodig is.

GESMOLTEN ZOUT REACTOREN

Een oplossing van veel van bovengenoemde risico's vereist een totaal nieuwe aanpak, waarin de splijtstof in vloeibare vorm wordt toegepast. In een gesmolten zout reactor (Molten Salt Reactor - MSR) vormen het koelmiddel en splijtstof één medium onder atmosferische druk. Hiervoor wordt meestal een gesmolten fluoride zout gebruikt, zoals lithium-fluoride of lithium-beryllium-fluoride ('FLIBE'), maar zijn ook wel chloride zouten voorgesteld. Het lithium is in deze zouten hoogverrijkt in lithium-7 (99.995%), omdat dit isotoop met natuurlijk voorkomen van 92,4% vrijwel geen neutronen absorbeert. Net als bij de andere reactortypen kan een MSR met een thermisch of een snel spectrum worden ontworpen. Als thorium wordt gebruikt, kan ook in een thermische MSR worden gekweekt, dat wil zeggen dat er meer splijtstof wordt

geproduceerd dan verbruikt. Na neutronvangst in thorium-232 ontstaat namelijk uranium-233 wat bij splijting door een langzaam neutron gemiddeld meer dan twee neutronen geeft, terwijl dit voor plutonium minder dan twee is (zie figuur 3). De snelle versie van de gesmolten zout reactor kan bovendien ook het plutonium en americium uit andere reactoren versplijten.

FIGUUR 3: Aantal splijtingsneutronen per neutronabsorptie als functie van de energie van het inkomend neutron voor verschillende splijtbare nucliden. Duidelijk is dat plutonium meer neutronen geeft in het snelle energiegebied, terwijl uranium-233 de meeste neutronen geeft in het thermische gebied. Voor kweken zijn minimaal twee neutronen vereist: één om de kettingreactie in stand te houden en één om de kweekstof te converteren. In de zestiger jaren van de vorige eeuw heeft gedurende vijf jaar een kleine MSR gedraaid, de zogenaamde 'Molten Salt Reactor Experiment' (MSRE), waarin is aangetoond dat een MSR kan werken met uranium-233, uranium-235 en plutonium als splijtstof. De MSRE had een moderator van grafiet en een vermogen van 8 MW. Binnen Generatie-IV ligt de nadruk echter op de snelle variant van de MSR, ook wel de Molten Salt Fast Reactor (MSFR) genoemd (zie Figuur 4). De redenen hiervoor zijn dat in een thermische reactor, om te kunnen kweken, meer zout moet worden

gezuiverd omdat de splijtingsproducten in het zout een negatief effect hebben op de neutronenbalans. Waar dit 4 m³/dag betreft voor een thermische reactor is dit slechts 40 liter/dag voor een snelle reactor. Ook krimpt en zwelt het grafiet onder invloed van straling en moet het, afhankelijk van bepaalde ontwerpparameters, na 5 tot 10 jaar worden gewisseld. Bovendien kan een snelle reactor ook worden ingezet voor de transmutatie van plutonium en americium, wat één van de speerpunten is in het Europese onderzoeksprogramma. In de MSFR wordt lithium-fluoride gebruikt omdat dit zout een grotere fractie actiniden (22,5%) kan opnemen.

FIGUUR 4: Reactorkern van de 'Molten Salt Fast Reactor' (MSFR). Het zout wordt door evenzoveel warmtewisselaars gepompt waarna het aan de onderzijde in de reactorkern stroomt. Het reactorvat heeft een hoogte en diameter van 2,25 meter. De temperatuur van het zout in de reactorkern neemt toe van 700 °C aan de onderzijde tot 800 °C aan de bovenzijde. Zoals hierboven vermeld moet het zout worden gezuiverd. Hiertoe is een aantal processen ontwikkeld. De eerste stap is uiterst simpel. Door in de zoutpompen heliumbelletjes te injecteren worden de gasvormige splijtingsproducten en niet-oplosbare producten zoals de edelmetalen met het helium meegevoerd. Dit principe is al in de MSRE getest. In de volgende stap wordt door verdere fluorinatie van het zout het uranium en neptunium en enkele splijtingsproducten afgesplitst. Vervolgens kunnen door reductieve extractie in een bismuth-lithiumbad de andere actiniden aan het zout worden onttrokken, waarna via hetzelfde proces de lanthaniden kunnen worden afgescheiden. Na deze stap resulteert schoon zout dat na toevoeging van de afgescheiden actiniden weer kan worden teruggevoerd. In vergelijking met andere snelle reactoren met vaste splijstof heeft de MSFR een aantal sterke voordelen:

1) Door expansie van het zout wordt een sterke terugkoppeling verkregen, waardoor de

kettingreactie vanzelf dooft bij toenemende temperatuur. Dit effect blijft ook bestaan bij een kernbelading met plutonium en americium, terwijl in een snelle reactor met vaste splijstof de toevoeging van americium leidt tot kleinere veiligheidsmarges.

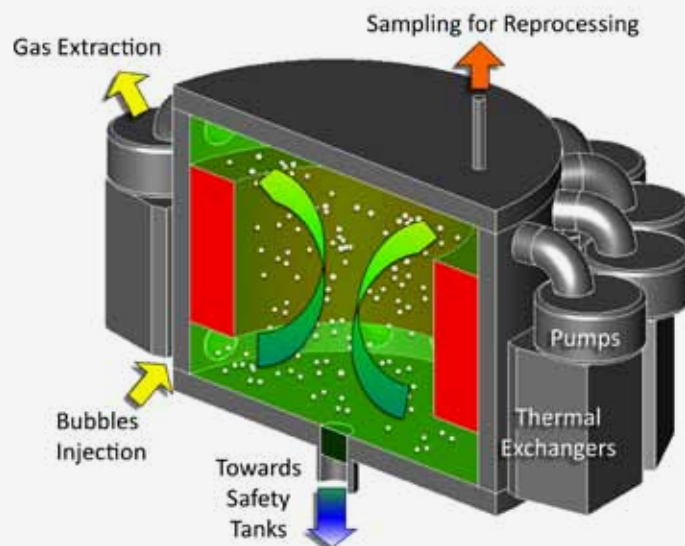
- 2) Door de continue zuivering van het zout via 'helium bubbling' worden de gasvormige en niet oplosbare splijtingsproducten continu afgescheiden. De rest is via ion-binding sterk gebonden aan het zout en kan zelfs in abnormale omstandigheden niet ontsnappen. In reactoren met een vaste splijstof daarentegen hopen de gasvormige splijtingsproducten zich op in de gasdichte huls en de vluchtige splijtingsproducten zoals jodium, cesium en tellurium in de splijstof. Beide groepen splijtingsproducten kunnen gemakkelijk vrijkomen bij een kernsmeltongeval.
- 3) Onderin het reactorvat zitten uitlaatpijpen die elk zijn afgesloten met een prop gesteld zout ('freeze plug') die actief wordt gekoeld. Valt de stroomvoorziening uit of wordt het zout in het reactorvat te warm, dan zullen deze proppen smelten en zal het zout wegstromen in passief gekoelde opslagtanks onderin het reactorgebouw.
- 4) De continue zuivering en aanmaak van zout levert de mogelijkheid om tijdens

reactorbedrijf de splijstofsamenvoeging aan te passen. Theoretisch kan zelfs tussen de uranium- en thoriumcyclus worden gewisseld. De thoriumcyclus biedt als voordeel dat veel minder plutonium en americium wordt gevormd.

- 5) De MSFR is een uitstekende reactor voor de recycling van plutonium en americium uit de gebruikte splijstof van andere reactoren. Dit komt doordat het zout bij de reactor zelf wordt gezuiverd en de actiniden direct kunnen worden teruggevoerd naar de reactorkern. In een snelle reactor met vaste splijstof zouden actiniden meerdere keren moeten worden hergebruikt alvorens ze splijten, hetgeen betekent dat de splijstof evenzoveel keren moet worden getransporteerd, opgewerkt, en in nieuwe vaste splijstof moet worden verwerkt. Een omslachtig en duur proces.

TOEKOMSTIG MSR ONDERZOEK

Wereldwijd is de belangstelling voor de MSR sterk groeiende. Naast serieuze onderzoeksprogramma's in China, Europa, Rusland en de VS, zijn er ook veel (semi-) commerciële initiatieven. Het onderzoek richt zich voornamelijk op de zoutchemie, afscheidingstechnologie, materiaalontwikkeling en reactorveiligheid. Voor een snelle ➤



FIGUUR 4

voortgang moet het onderzoek op (minimaal) Europese schaal worden uitgevoerd, maar Nederland kan hierin wel een belangrijke rol spelen. Het Reactor Instituut Delft van de TU Delft heeft sinds kort een laboratorium operationeel waarin met thorium en uranium kan worden gewerkt (het zogenaamde TU-LAB) en werkt nauw samen met het Transuranen Instituut van het Gemeenschappelijke Onderzoek Centrum van de Europese Commissie in Karlsruhe waar met sterkere radioactieve zouten kan worden gewerkt. TU Delft heeft veel ervaring met numeriek onderzoek aan kernreactoren en met experimenteel onderzoek aan warmteoverdracht in extreme omstandigheden en met kringlopen onder natuurlijke circulatie. In de Hoge Flux Reactor in Petten kunnen proefbestralingen worden uitgevoerd om de lange-termijn effecten van zout en straling op constructiematerialen te onderzoeken. Een belangrijke eerste mijlpaal zou het ontwerp en bouw van een testreactor kunnen zijn zoals eerder heeft gedraaid in de VS. Nadat hiermee ervaring is opgedaan kan een demonstratiemodel van de gesmolten zout reactor worden gebouwd. Deze route wordt gevolgd door China, waar met honderden wetenschappers en technici en met een budget van een paar honderd miljoen euro een testreactor zoals de MSRE wordt gebouwd. Het zou daarom verstandig zijn als Europa de gesmolten zout reactor optie ook nadrukkelijker zou volgen, bijvoorbeeld door een 'Research Thorium Reactor' met een vermogen van een paar MegaWatt te bouwen, om de kennis en technologie hier verder te kunnen ontwikkelen. Gezien de bestaande expertise kunnen Nederland en de TU-Delft hierbij een belangrijke rol spelen en de drijvende kracht worden achter een nieuwe vorm van kernenergie, waarmee op veilige en duurzame wijze gedurende tienduizenden jaren schone stroom kan worden opgewekt. **K**

Jan Leen Kloosterman

IN MEMORIAM DR. IR. H.R. KLEIJN



Eind vorig jaar overleed Hans Robert Kleijn, een van de pioniers van kernenergie in ons land. Hij speelde een belangrijke rol bij de bouw en inbedrijfstelling van de Hoger Onderwijs Reactor (HOR). Na zijn afstuderen in de werktuigbouwkunde aan de toenmalige TH Delft volgde hij een aanvullende opleiding in de reactorkunde in de VS waar hij onder meer de kwalificatie reactoroperator verwierf. Hij was betrokken bij de demonstratiereactor op de tentoonstelling Het Atoom op Schiphol in 1957, de eerste kernreactor die in ons land in werking kwam. Hij trad in dienst van het pas opgerichte Reactor Instituut Delft en kreeg de leiding over de bouw van de reactor. Bovendien trad hij op als rechterhand van de pas benoemde buitengewoon hoogleraar in de reactorkunde Went die, naast zijn functie van hoofd van het onderzoek bij de KEMA, de werkgroep Reactorfysica bij de TH Delft leidde. Deze werkgroep verrichtte zijn experimenten in noodgebouwen waar onder andere subkritische experimenten werden gedaan. In 1962 werd ik zijn student-assistent waardoor ik, naast assistentie bij het practicum, betrokken werd bij de verhuizing naar het nieuwe gebouw in de Wippolder en de inbedrijfstelling van de reactor onder leiding van Hans Kleijn. April 1963 was een bijzondere maand, waarin twee kernreactoren voor het eerst kritisch werden: op 9 april de reactor BARN (Biologisch Agrarische Reactor Nederland) van het Instituut voor Toepassing van Atoomenergie in de Landbouw in Wageningen en de HOR in Delft op 24 april; bij beide gebeurtenissen

had Dr. Kleijn een leidende rol. Hij was een dynamische persoonlijkheid die hoge eisen stelde aan zijn medewerkers. Als eerste hoofd van de reactorbedrijfsgroep was hij zeer streng op het gebied van veiligheidsaspecten. In 1963 werd Hans Kleijn benoemd tot lector in de reactorfysica, een rang die tegenwoordig hoogleraar heet. In 1965 promoveerde hij op een subkritisch experiment dat bij de HOR was uitgevoerd en dat betrekking had op een kokendwaterreactor met nucleaire oververhitting. In de periode 1968-1969 verbleef hij bij General Electric in de VS om zich te verdiepen in de snelle kweekreactor. In 1971 vertrok hij naar het bedrijfsleven en werd ik tot zijn opvolger benoemd. Na functies bij het ingenieursbureau Comprimo en een projectontwikkelaar eindigde hij zijn loopbaan in de jaren '90 als voorzitter van de Directie van de NV KEMA in Arnhem. Na zijn pensionering was hij nog actief in het kader van de World Energy Council, een internationale organisatie die zich inzet voor een duurzame energievoorziening voor het welzijn van de wereldbevolking. Hans Kleijn was een aimabele persoonlijkheid die met zijn enorme werkkraft een voorbeeld voor zijn omgeving was. Ook na zijn vertrek uit Delft heb ik plezierige contacten met hem kunnen onderhouden. Hij heeft nog presentaties gegeven bij een jubileum van de reactorfysische groep (thans NERA) en op het symposium ter gelegenheid van mijn pensionering. Hij bleef de kernenergie een warm hart toedragen en was lid van het Committee van aanbeveling van onze Stichting. Enkele jaren geleden bracht hij met zijn Probusclub een bezoek aan het Reactor Instituut Delft. Bij die gelegenheid had ik het genoegen hem bij mijn inleiding "de vader van de Delftse reactor" te mogen noemen, een kwalificatie die hem zeer toekomt. Hans Kleijn is 82 jaar oud geworden. **K**

Hugo van Dam



Foto: Haalbeeld Fotografie

➤ EERSTE MASTERS NUCLEAR SECURITY TU DELFT ONTVANGEN DIPLOMA

Experts die kunnen helpen om de wereldwijde beveiliging van nucleair materiaal te verbeteren zijn overal nodig. De TU Delft heeft afgelopen anderhalf jaar zes masterstudenten uit vier landen opgeleid tijdens de master Nuclear Security. Op vrijdag 19 december ontving de eerste lichte studenten hun diploma uit handen van prof. Bert Wolterbeek en conrector prof. Peter Wieringa.

Voorafgaand aan de uitreiking gaven alle studenten met een elevator pitch een korte toelichting op hun onderzoek. De theses lieten een grote variatie zien in vakgebied en onderwerp. Zo ontwikkelde één van de studenten een methode om met behulp van hoge resolutie gammaspectrometrieanalyse snel en nauwkeurig verrijkt uranium te categoriseren dat wordt aangetroffen in metaalafval. Op die manier kan direct een risicoanalyse worden uitgevoerd op basis waarvan een beslissing kan worden genomen om het materiaal veilig en snel af te voeren. Een Amerikaanse student boog zich over de Incident and Trafficking Database (ITDB) van de International Atomic Energy Agency (IAEA). Dit informatiesysteem registreert meldingen van de illegale handel in nucleair materiaal en andere ongeoorloofde activiteiten en gebeurtenissen met nucleaire of andere radioactieve stoffen. Door de gegevens te analyseren met een geografisch informatiesysteem (GIS) kan een ruimtelijk perspectief van de incidenten worden verkregen en een patroon en 'hot-spots' worden geïdentificeerd.

Op deze manier is het bijvoorbeeld mogelijk om aan te tonen dat sommige regio's meer vatbaar zijn voor incidenten.

De masterstudenten vormden een diverse en internationale groep. Zo waren er naast Nederlandse studenten ook deelnemers uit Oostenrijk, de Verenigde Staten en Canada. Zo deed de laatste onderzoek naar Combined Adversary-Responder Approach to Physical Protection System Effectiveness Estimation with Stochastic Uncertainty Analysis. Andere theses betroffen de ontwikkeling van een systeem om zwaktes in IT Security van nucleaire installaties te beoordelen, een onderzoek naar de effecten van open source informatie op de veiligheid van kerncentrales en een these over de mitigatie van de insider threat van illegale productie, diefstal en sabotage bij research reactoren.

De masteropleiding Nuclear Security is speciaal ontwikkeld voor professionals die verantwoordelijk zijn voor de beveiliging van radiologisch- en nucleair materiaal. De master geeft de nucleaire beveiligingsmanager de mogelijkheid om effectieve strategieën en tactieken te ontwikkelen waarmee beveiligingsbedreiging en anticipatie daarop worden beheerst. De opleiding is opgezet door Delft TopTech (postacademisch onderwijs TU Delft) in een Europees samenwerkingsverband met universiteiten in Duitsland, Verenigd Koninkrijk, Noorwegen en Oostenrijk, met steun van de Europese Commissie en van de IAEA. De IAEA maakt toegang mogelijk tot gericht lesmateriaal en faciliteert experts in nucleaire beveiliging uit andere landen om les te geven in speciale onderdelen van de opleiding. Vanaf volgend jaar biedt de TU Delft in samenwerking met onder meer de Universiteit Utrecht, het Nederlands Forensisch instituut en het EC-JRC Institute for Transuranes in Karlsruhe de opleiding als een modulaire online course aan, die kan leiden tot een Master in Advanced Studies. **K**



K RONDGANG LANGS NUCLEAIR NEDERLAND?

Regelmatig komt het voor dat mensen vragen naar de stand van zaken in nucleair Nederland. Wat doet men zoal, welke producten worden gemaakt? Ook zijn mensen nieuwsgierig om te weten of een bezoek kan worden gebracht aan een kernreactor. Kan dat zo maar?

Sinds 2006 is het mogelijk om uitgebreid geïnformeerd te worden over de nucleaire technieken in Nederland. Jaarlijks kan men deelnemen aan een rondleiding langs alle nucleaire instanties. In vergelijking met omliggende landen betreft dat een beperkt aantal instituten, maar het gaat wel over heel specifieke toepassingen. De bezoeken worden gecombineerd met een degelijke toelichting op het werken met radioactiviteit. In de meeste gevallen gaat het hierbij om splijtbaar uranium waarvan energie en isotopen worden benut. Hoe vindt de rondgang plaats en hoe wordt men geïnstrueerd?

CURSUS

Het NCSV (Nationaal Centrum voor Stralingsveiligheid) van het Reactor Instituut Delft (RID) organiseert een cursus Nucleaire Technologie, oorspronkelijk opgezet op initiatief van Kennis Infrastructuur Nucleaire Technologie (recentelijk opgegaan in een werkgroep van de vereniging Nucleair Nederland (NNL)). De cursus omvat het hele verloop van het gebruik van uranium en de verschillende methoden die nodig zijn bij het verwerkingsproces. De inhoud heeft betrekking op fysica, reactorkunde, effecten van straling, wetgeving, veiligheid en verwerking van radioactief afval. Tevens zullen

bezoeken worden gebracht aan alle nucleaire instellingen in Nederland.

DIVERSE DEELNEMERS

De intentie van de opleidingsdagen is een breed overzicht te geven van de diverse nucleaire bedrijven. Hierbij wordt enerzijds de aanwezige kennis van ioniserende straling opgefrist, anderzijds wordt verdieping gegeven in de nucleaire toepassingen. Tot de doelgroep behoren mensen die belangstelling hebben voor nucleaire systemen, waarbij een vooropleiding op minimaal hbo-niveau gewenst is.

Door de jaren heen blijken de deelnemers afkomstig te zijn van diverse ministeries (o.a. EZ, SZW, Defensie) en andere overheidsinstanties (RIVM, brandweer, NFI). Ook zijn deelnemers uit het bedrijfsleven afkomstig (Fontijne Grotnes, Qolor), maatschappelijke sector (o.a. Greenpeace) en uiteraard ook van de verschillende instanties die bij de cursus zelf zijn betrokken. De medewerkers van Urenco vinden het interessant om bij collega's in Zeeland te

kijken, en omgekeerd hebben de Zeeuwse collega's belangstelling voor het nucleaire werk in Almelo en Petten. De cursus is steeds goed gewaardeerd. Deze positieve waardering betreft het programma, de sfeer tijdens de diverse cursusonderdelen en de kwaliteit van de presentaties. Ook is men erg tevreden over de mogelijkheid om organisaties via medecursisten beter te leren kennen. **K**

*Frans Wiersma
w.f.wiersma@tudelft.nl*

DATA CURSUS NUCLEAIRE TECHNOLOGIE:

Blok 1: 10 en 11 juni 2015 (Utrecht)

Blok 2: 16 en 17 juni 2015 (Utrecht, Almelo)

Blok 3: 23 en 24 juni 2015 (Delft, Petten)

Blok 4: 29 en 30 juni 2015 (Borssele)

Zie: www.rid.tudelft.nl/opleidingen-stralingsveiligheid



KLIMAATDOELSTELLING VRAAGT OM VERDUBBE- LING KERNENERGIE

De mondiale inzet van kernenergie zal moeten verdubbelen voor 2050 om de wereldwijde temperatuurstijging te limiteren tot het internationaal overeengekomen maximum van twee graden. Kernenergie zal daarbij 17% van de wereldbehoefte aan elektriciteit moeten voldoen. Dit is de conclusie van de International Energy Agency (IEA) en de OECD Nuclear Energy Agency (NEA) in de laatste update van de Technology Roadmap Nuclear Energy.

De visie van de 2014 Nuclear Roadmap is gebaseerd op het 2 Degrees Celsius Scenario (2DS) van de IAE. Dit scenario schetst de technologie die nodig is in alle energiesectoren, om de CO₂-uitstoot in 2050 met de helft te verminderen ten opzichte van 2009, waardoor op de lange termijn de wereldwijde temperatuurstijging slechts 2 °C zal zijn.

“In het 2D-scenario zou de wereldwijde nucleaire capaciteit meer dan moeten verdubbelen... waarbij kernenergie 17% van de wereldwijde productie van elektriciteit voor haar rekening neemt. Hoewel lager dan de 2010 Roadmap visie vormt deze stijging nog steeds een formidabele groei voor de nucleaire industrie.”

ENERGIEMIX

“Ieder land moet beslissen welke energiemix optimaal is voor haar nationale omstandigheden. Echter, de fundamentele voordelen van kernenergie in termen van vermindering van de uitstoot van broeikasgassen, het concurrentievermogen van de productie en de continuïteit van de elektriciteitsvoorziening moeten mee worden

genomen in deze beslissing. Kernenergie kan een belangrijke rol spelen wanneer we onze elektriciteit willen ‘decarboniseren’ omdat het een stabiele bron is van koolstofarme elektriciteit”, stellen de IAE en NEA. In het rapport identificeren ze daarom de belangrijkste barrières die moeten worden overwonnen en geven ze aanbevelingen en een stappenplan hoe de ontwikkeling van en hoe kernergie technologieën kunnen worden geïntroduceerd, behouden of verder ontwikkeld kunnen worden op een veilige, publiekelijk geaccepteerd en betaalbare manier. Kernenergie is de belangrijkste bron van CO₂-arme elektriciteit in de OECD landen en is verantwoordelijk voor 18% van de totale elektriciteitsproductie in 2013. Wereldwijd bedraagt de bijdrage 11%. De geupdate versie van de 2014 Nuclear Roadmap, gebaseerd op het 2 Degrees Celsius Scenario (2DS) van de IEA voorziet een grote rol voor kernenergie in het verlagen van CO₂-uitstoot van de energiesector. Tegelijkertijd zorgt kernenergie voor leveringszekerheid van energie, ondersteunt het de diversificatie van brandstof en voorziet het in een grootschalige elektriciteitsbehoefte met stabiele productiekosten.

KERNACTIES

In het rapport worden zeven belangrijke acties geformuleerd voor de komende tien jaar die nodig zijn om snelle groei van de nucleaire capaciteit te realiseren. Als eerste moet de belangrijke bijdrage van kernenergie worden erkend. Niet alleen zorgt het voor een waardevolle basislast elektriciteit, ook levert het belangrijke ondersteunende diensten aan het net en draagt het bij aan de continuïteit van de energievoorziening. Het rapport benadrukt dan ook dat het belangrijk is om afspraken op de elektriciteitsmarkt te herzien zodat het investeringsklimaat voor nucleaire nieuwbouw net zo gunstig is als voor andere CO₂-arme energietechnologieën. Een tweede actie ligt bij de leveranciers van nieuwe kerncentrales, zij moeten laten zien dat ze op tijd en binnen budget kunnen bouwen en de kosten van nieuwe ontwerpen kunnen verlagen. Het is hierbij belangrijk om de ervaringen mee te nemen die zijn verkregen bij recente nieuwbouw. Op het gebied van regelgeving, codes en normering stelt het rapport als derde actie dat er moet worden gestandaardiseerd en gestroomlijnd om zo de kosten te verlagen en de uitvoering van nieuwbouw te verbeteren. “Tegelijkertijd moet de industrie zich blijven inzetten voor kwaliteitsborging en de verbetering van de veiligheidscultuur door de hele nucleaire keten van leveranciers, de nutsbedrijven en toezichthouders.” De vierde actie betreft informatie-uitwisseling en het delen van ervaringen tussen toezichthouders en tussen de exploitanten van kerncentrales. Deze moet worden versterkt om zo de algemene veiligheid en de operationele prestaties te verbeteren. Als vijfde actie stelt het rapport dat landen die er voor kiezen voor het eerst kernenergie te ontwikkelen bereid moeten zijn om eerst de vereiste infrastructuur op te zetten alvorens te starten met hun nucleair programma. “Een opbouw van capaciteit in termen van goed opgeleide, getrainde ▶

en competente medewerkers voor de uitvoering en het toezicht is een absolute noodzaak en vraagt om lange termijn planning." Ook op het gebied van communicatie zien de NEA en IAE een actie liggen om de publieke acceptatie te versterken. "Dit omvat de uitvoering van de post-Fukushima veiligheid upgrades in bestaande reactoren en het aantonen van de sterkte en de onafhankelijkheid van de toezichthouders. Dit betekent ook het verbeteren van de publiekscommunicatie door middel van transparante en op feiten gebaseerde informatie over de risico's en de voordelen van kernenergie, en over de rol die kernenergie kan spelen met betrekking tot de continuïteit van de energievoorziening, betaalbaarheid, het tegengaan van klimaatverandering en luchtkwaliteit." En als laatste actie wordt het beheer van het radioactief afval benoemd. "Regeringen die hun strategieën voor het beheer van nucleair afval nog niet hebben gefinaliseerd dienen dit onverwijld te doen. Voor hoogradioactief afval is diepe geologische berging de aanbevolen oplossing. Wanneer de geologie en de safety case het toe te staan, en wanneer het economisch zinvol is, moeten regeringen een eindberging op nationaal niveau realiseren. Als alternatief kunnen ze een regionale oplossing overwegen, hierbij gebruik makend van de geplande of operationele eindberging van een ander land. Langetermijnplanning, politiek engagement en sterke betrokkenheid met de lokale gemeenschappen staan centraal in deze strategie." **K**

De Technology Roadmap Nuclear Energy 2015 is te downloaden van de IEA website: <http://www.iea.org> en de Nuclear Energy Agency website: www.oecd-nea.org

Ellen Jelgersma



TWEE PROMOTIES AAN TU DELFT OVER KERNENERGIE

Op maandag 22 december 2014 verdedigde Gert Jan Auwerda zijn proefschrift aan de TU Delft. Zijn promotiewerk betreft onderzoek naar de stochastische eigenschappen van een willekeurig gestapeld kogelbed in een hoge temperatuur reactor en de gevolgen hiervan op de vermogens- en temperatuurverdeling in de reactorkern. Hiertoe heeft Gert Jan nieuwe meet- en analysemethoden ontwikkeld om de verdeling van kogels te kunnen meten en heeft hij nieuwe rekenmethodes ontwikkeld om deze verdeling te kunnen simuleren. Ook is de invloed van inhomogeniteiten in de porositeitsverdeling van het kogelbed op de vermogensdichtheid bepaald. Hiertoe is een geavanceerd thermo-hydraulica model ontwikkeld en gekoppeld aan neutronica-codes voor de berekening van de vermogensdichtheid in de kern. Het blijkt dat de lagere porositeit langs de wand van de reactorkern leidt tot een hoger debiet, maar dat dit in een grote reactor zoals de Chinese HTR-PM leidt tot slechts een kleine toename van de maximale splijstoftemperatuur en uiteindelijk zelfs nauwelijks effect heeft op de temperatuurverdeling tijdens transiënten. De tweede promovendus, Zoltán Perkó, verdedigde zijn proefschrift op 21 januari 2015. Dit werk betreft onderzoek naar geavanceerde methoden om tezamen met de uitkomst van een kernberekening de bijbehorende onzekerheid ten gevolge van de gebruikte data en invoer te verkrijgen. In het eerste deel van zijn proefschrift heeft

✦ *Dr Zoltán Perkó geflankeerd door de beide (co)promotoren en de commissieleden.*

Zoltán bestaande technieken op basis van geadjungeerde theorie uitgebreid zodanig dat ook grootschalige niet-lineaire problemen kunnen worden doorgerekend. De volgende hoofdstukken in het proefschrift beschrijven een nieuwe methode gebaseerd op zogenaamde polynoom chaos technieken. Hier wordt de responsie ontwikkeld in speciale basisfuncties die weer afhangen van de gebruikte stochastische invoerdata. De uitvoer wordt voor een beperkt aantal combinaties van de basisfuncties bepaald, waarna vervolgens de uitvoer behorend bij de echte waarden van de invoerdata kan worden gereconstrueerd. Het bijzondere van deze methode is dat samen met de uitkomst ook de kansdichtheitsverdeling wordt verkregen. Behalve dat de methodiek is ontwikkeld, is deze ook toegepast op een grootschalig model van een Generatie-IV reactor. Het is met deze methode geen probleem om de onzekerheid in de uitkomst ten gevolge van tientallen invoerparameters te bepalen. De commissie vond het werk zo uitzonderlijk dat Zoltán is gepromoveerd met het judicium 'Cum Laude'. **K**

Beide proefschriften zijn te downloaden via <http://www.nera.rst.tudelft.nl/en/publications/phd-thesis/>

Jan Leen Kloosterman



WETENSCHAPPERS VRAGEN MILIEUBEWEGING KERNENERGIE TE ACCEPTEREN

Meer dan 75 ecologen en biologen van over de hele wereld pleiten in een open brief aan de milieubeweging voor een substantiële rol voor kernenergie in de energiemix van de toekomst om klimaatverandering tegen te gaan en biodiversiteit te beschermen. In de brief vragen de wetenschappers om de voor- en tegenargumenten van verschillende energiebronnen zorgvuldig af te wegen zonder terug te vallen op idealistische percepties van wat 'groen' is.

De Australische ecologen professor Barry Brook, professor Environmental Sustainability aan de University of Tasmania, en professor Corey Bradshaw van de University of Adelaide organiseerden de actie naar aanleiding van hun recente artikel in het tijdschrift *Conservation Biology*. In het artikel evalueerden de onderzoekers onder meer het landgebruik, de uitstoot en de kosten van drie verschillende energiescenario's: een door fossiele brandstoffen gedomineerd scenario zoals nu het geval is, een mix van hernieuwbare energie zonder kernenergie en tenslotte een energiemix met een grote bijdrage van kernenergie in combinatie met hernieuwbare bronnen en fossiele bronnen. Ze concluderen dat alleen een complete mix aan beschikbare energiebronnen, inclusief kernenergie, fossiele brandstoffen kan vervangen om ernstige klimaatverandering tegen te gaan. Het is in hun ogen dan ook noodzaak dat de substantiële rol van kernenergie in de reeks van duurzame energie technologieën wordt geaccepteerd.

'EEN OPEN BRIEF AAN DE MILIEUBEWEGING'

"Als wetenschappers die ongerust zijn over de wereldwijde achteruitgang van de biodiversiteit en de daarmee samenhangende gevolgen voor de mensheid steunen wij, de medeondertekenaars, de conclusies uit het artikel *Key role for nuclear energy in global biodiversity conservation* gepubliceerd in *Conservation Biology* (Brook & Bradshaw 2014)." Brook en Bradshaw pleiten voor de inzet van het volledige scala aan energiebronnen voor stroomopwekking, inclusief kernenergie, om de verbranding van fossiele brandstoffen te vervangen. "Alleen op deze manier hebben we een kans om de ernstige klimaatverandering tegen te gaan." Ze voeren sterke bewijzen aan die de noodzaak aantonen om de substantiële rol van geavanceerde nucleaire systemen met een volledige brandstof recycling te accepteren en deze als een belangrijk onderdeel van een reeks technologieën voor duurzame energie te zien. Ook het gebruik van hernieuwbare

energiebronnen, energieopslag en energie-efficiëntie maken onderdeel uit van deze reeks. Deze veelzijdige strategie voor duurzame energie is kosteneffectiever, laat meer land over voor de biodiversiteit en vermindert milieuverontreiniging door aerosolen en zware metalen. "We begrijpen dat dit een controversieel standpunt is, gezien de historische vijandigheid van de milieugemeenschap tegenover kernenergie. Echter, zoals veel vooraanstaande klimaatwetenschappers onlangs nog pleitten voor de ontwikkeling van veilige, nieuwe kerncentrales om de wereldwijde klimaatverandering tegen te gaan (Caldeire et al. 2013), zo smeken wij de biologische, ecologische en milieugemeenschap om de voor- en nadelen van verschillende energiebronnen af te wegen op basis van objectieve bronnen en pragmatische compromissen in plaats van eenvoudigweg te vertrouwen op idealistische opvattingen over wat 'groen' is." Naar aller waarschijnlijkheid zullen hernieuwbare energiebronnen zoals wind en zon in toenemende mate gaan bijdragen aan de toekomstige energieproductie. Maar in de realiteit zien deze technologieën zich nog gesteld voor realistische problemen rond schaalbaarheid, kosten, materiaalgebruik en landgebruik. Dit maakt het risico te groot om alleen op deze technologieën te vertrouwen als hét alternatief voor fossiele brandstoffen. "Kernenergie, met afstand de meest compacte energiebron met de hoogste opbrengst, kan een grote en misschien zelfs belangrijkste bijdrage leveren. Als wetenschappers verklaren we dat een toekomstige energieproductie die gebaseerd is op bewijzen, een belangrijk onderdeel is voor het behoud van de biodiversiteit van de toekomst. Dit mag men niet negeren. Het is tijd dat ecologen en biologen hun stem laten horen op dit gebied." **K**

Het artikel in Conservation Biology 'Key role for nuclear energy in global biodiversity conservation' is online beschikbaar op: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/cobi.12433/full>

De brief is online beschikbaar: <http://bravenewclimate.com/2014/12/15/an-open-letter-to-environmentalists-on-nuclear-energy>

SYMPOSIUM OVER GESMOLTEN ZOUT REACTOREN

**AULA TU DELFT
VRIJDAG 17 APRIL 2015, 10-17 UUR**

Sinds enkele jaren staat de gesmolten zout reactor volop in de belangstelling dankzij de excellente eigenschappen van deze reactor op het gebied van veiligheid en duurzaamheid. Het is de enige reactor waarin thorium kan worden toegepast zonder bijmengen van uranium, terwijl de reactor ook kan worden gebruikt om langlevend kernafval uit bestaande reactoren te versplijten. Omdat de reactor gebruik maakt van een vloeibaar zout als koelmiddel waarin de splijtstof zit opgelost, kunnen de radioactieve splijtingsproducten tijdens bedrijf aan het zout worden onttrokken en kan continu thorium worden toegevoegd. Op deze wijze kan op veilige wijze voor tienduizenden jaren in de wereldwijde elektriciteitsvraag worden voorzien. Op vrijdag 17 april organiseren de afdelingen Kerntechniek en Technische Fysica van het KIVI, de Netherlands Nuclear Society en de Stichting Milieu Wetenschap en Beleid een

symposium over de techniek, status en perspectief van gesmolten zout reactoren. In het ochtendprogramma zal worden ingegaan op de wetenschap en techniek van deze nieuwe kernreactortechnologie met bijdragen van wetenschappers uit Nederland en de Verenigde Staten, de bakermat van de technologie van gesmolten zout reactoren. Het middagprogramma is ook geschikt voor niet-wetenschappers en zal de geschiedenis en huidige status van de thorium gesmolten zout reactor technologie behandelen, met bijzondere aandacht voor het grootschalige programma in China en de bijdragen die Nederland kan leveren om deze technologie te verwezenlijken.

Dit symposium zal onder andere bijdragen bevatten van Dr David Holcomb (Oak Ridge National Laboratory), van Dr Leslie Dewan (Transatomic Power), volgens Times magazine één van de 30 mensen onder de 30 die de wereld gaan veranderen, en van Dr David Martin van de Alvin Weinberg Foundation. De dagvoorzitter is Prof Dr Tim van der Hagen, decaan van de faculteit Toegepaste Natuurwetenschappen van de TU Delft. Deelname is mogelijk na inschrijving via www.JanLeenKloosterman.nl. Het ochtendprogramma inclusief lunch is beperkt tot 200 deelnemers.

Het programma en meer informatie is te verkrijgen via www.JanLeenKloosterman.nl en de thorium MSR LinkedIn groep (www.linkedin.com/groups/Thorium-MSR-8234076)

UITNOODIGING EXCURSIE HET SIMULATOR- CENTRUM IN ESSEN

De Stichting Kernvisie organiseert voor haar donateurs in 2015 weer een buitenlands bezoek. Dit keer op 16 juni naar het KSG-GFS simulatorcentrum in het Duitse Essen waar onder andere de medewerkers van EPZ worden opgeleid op de Borssle-specifieke simulator. Het centrum is eigendom van de vier Duitse nucleaire stroomproducenten en EPZ en verzorgt ook diverse opleidingen, waaronder natuurlijk de simulatoropleidingen. In het centrum wordt tevens een opengewerkt schaalmodel van een moderne, grote kerncentrale getoond én worden met een werkend glazen model van een drukwatercentrale enkele thermohydraulische fenomenen aanschouwelijk gemaakt. Het voorlopige programma begint 11:00 en de afsluiting zal rond 16:30 plaatsvinden.

Begunstigers van Kernvisie, NNS en de leden van KIVI KE en de DYG kunnen zich metertijd aanmelden voor de excursie. Het aantal deelnemers is beperkt. Nadere informatie wordt gepubliceerd in het aprilnummer van KernVisie. Meer informatie over het simulatorcentrum is te vinden op www.ksg-gfs-simulatorzentrum.de



AANMELDEN ALS BEGUNSTIGER VAN STICHTING KERNVISIE?

Geef dan uw gegevens door via het contactformulier op de website:

www.kernvisie.com

* De bijdrage is minimaal 25,- euro per jaar (studenten 10,- euro), over te maken naar het banknummer NL19 INGB 0006 8513 70 ten name van Kernvisie, Foundation for Nuclear Energy te Zwijndrecht.