

KERNVISIE **MAGAZINE**

➤ **ADVANCING NUCLEAR
MEDICINE OP EANM**

➤ **HONDERDVIJFTIGSTE
GEBORTEDEAG
MARIE CURIE**

➤ **ONLINE PLATFORM
MEDISCHE ISOTOPEN**

**REDUCTIE KERNAFVAL
DOOR TRANSMUTATIE
LANGLEVENDE NUCLIDEN**

COLOFON

KernVisie magazine is een uitgave van:



Stichting **KernVisie**
EEN ENERGIEK INITIATIEF

JAARGANG 12, NUMMER 5 EN 6, DECEMBER 2017

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. Schuuring, penningmeester

Drs. J.J. de Jong

Ir. J.C.L. van Cappelle

Prof. Ir. R.W.J. Kouffeld

Ir. G.C. van Uiter

REDACTIE KERNVISIE

Ir. G.H. Boersma

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

Dokter Bosmanshof 32, 6851 MJ Huissen

Telefoon 026-2130214

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

Sander van Til - © Irene van Kessel

Foto's KIVNNS-symposium: Haalbeeld Fotografie

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.



Het lijkt onvermijdelijk. Aan het einde van elk jaar blik je terug en kijk je vooruit. Wat hebben we bereikt? Wat heeft het komende jaar voor ons in petto? Sommige onderwerpen smeren zich uit over tientallen jaren. Maar ook dan kun je vaak mijlpalen in het afgelopen jaar aangeven. Zo komt er al jarenlang bij elke discussie over kernenergie vroeg of laat het 'probleem' van kernafval om de hoek kijken. Hoewel de hoeveelheid kernafval, zeker in Nederland, zeer gering is en we hier een uitstekende oplossing hebben in de honderdjarige bovengrondse opslag bij de COVRA, zijn wetenschappers continu op zoek naar andere oplossingen. Bij NRG is onlangs het onderzoek MARINE afgerond naar het omvormen van americium. Dit element ontstaat in een reactor als onbruikbaar 'toevalsprodukt'. Het is voor lange tijd radioactief en levert daardoor een forse bijdrage aan het lange-termijn hoogradioactief kernafval. Door het te bestralen kan het americium echter worden omgevormd tot splijtbaar plutonium. Hierbij snijdt het mes aan twee kanten. De bestraling levert minder afval op en zorgt ook nog eens voor een nieuwe splijtstof die bijdraagt aan de energievoorziening. Er zal nog veel onderzoek nodig zijn voor de techniek grootschalig kan worden toegepast, maar de eerste resultaten zijn veelbelovend. Bij NRG starten in dat kader begin volgend jaar de nabestralingsonderzoeken. Ik ben nu al benieuwd naar de resultaten.

André Versteegh
voorzitter Stichting Kernvisie

Disclaimer: De redactie van Kernvisie Magazine heeft haar uiterste best gedaan om de rechthebbenden van alle foto's in deze uitgave te achterhalen. In enkele gevallen is dat niet gelukt. Mocht u in geval van een omissie of een vergissing menen de rechthebbende van een foto of illustratie te zijn, gelieve contact op te nemen met de Stichting Kernvisie: info@kernvisie.com

INHOUD

MAATSCHAPPIJ

REDUCTIE KERNAFVAL DOOR TRANSMUTATIE LANGLEVENDE NUCLIDEN

Americium levert een forse bijdrage aan hoogradioactief kernafval. Transmutatie van americium-241 door bestraling in een kernreactor levert splijtbaar plutonium op en reduceert de hoeveelheid afval dat voor eindberging in aanmerking komt.



P08 NIEUW ONLINE PLATFORM

NRG zet belang medische isotopen op de kaart

P09 HONDERDVIJFTIGSTE GEBORTEDAG MARIE CURIE

P22 VEILIG, BETROUWBAAR EN KOSTENEFFECTIEF

Verkleinen van radioactief afvalvolume: het kan!

P25 COLUMN

Aliki van Heek – Een dagje klimaatconferentie

P27 BOEKBESPREKING

Abel Streefland: Jaap Kistemaker en uraniumverrijking in Nederland

MEDISCH

LANCERING ADVANCING NUCLEAR MEDICINE OP EANM

Begin dit jaar heeft NRG aangekondigd zich te focussen op medische isotopen: naast het leveren van bestralingsdiensten en de productie van radio-isotopen richt NRG zich in toenemende mate op projecten voor de ontwikkeling van nieuwe medische isotopen en halffabricaten.

P12

ENERGIE

INTERNATIONALE ERKENNING VOOR HELEEN UITSLAG-DOOLAARD

Tijdens de zeventiende International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics in Xi'an (China) heeft NRG research consultant Heleen Uitslag-Doolaard een Young Professional Award gewonnen voor haar artikel: Experiment design to assess the inter-wrapper heat transfer in LMFR.



P11 MAATSCHAPPIJ

NETWERKDAG MARKEERT START ONAFHANKELIJKE TOEZICHTHOUDER ANVS

De Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) is sinds 1 augustus 2017 een zelfstandig bestuursorgaan (zbo). Naar aanleiding hiervan organiseerde de ANVS eind september de netwerkdag Kennismaken, kennis delen.



MAATSCHAPPIJ

✦ Sander van Til



REDUCTIE KERNAFVAL DOOR TRANSMUTATIE LANGLEVENDE NUCLIDEN

Americium levert een forse bijdrage aan de lange-termijn radiotoxiciteit van hoogradioactief kernafval. Transmutatie van langlevende nucliden zoals americium-241 door bestraling in een kernreactor is daarom een optie voor de reductie van afval dat voor opslag in eindberging in aanmerking komt. Sander van Til, NRG projectmanager en lead scientist van het MARINE-bestralingsproject: “In nieuwe generatie snelle reactoren (Gen-IV) is het spectrum zodanig dat de aanwezige hoogenergetische neutronen americium kunnen omvormen tot splijtbaar plutonium, waarmee de hoeveelheid americium netto vermindert.”

Bij het splijten van uraniumkernen in een reactor ontstaat een grote verscheidenheid aan splijttingsproducten en actiniden. Een klein deel van de geproduceerde producten bestaat uit isotopen met een atoomnummer van 90 en hoger. Dit zijn de zogenaamde actiniden die ontstaan als uranium neutronen opneemt waardoor neptunium, plutonium, curium en americium ontstaan. In de hoge flux reactor (HFR) van NRG in Petten is een laatste van een serie Europese experimenten voor de

transmutatie van americium uitgevoerd. In het onlangs afgeronde MARINE-experiment is de voornaamste aandacht op americium gericht. Van Til: “Americium is een zogenaamde minor-actinide. Het is lang radioactief en zeer giftig en dus een belangrijke afvalcomponent. Helaas kunnen we in de huidige reactoren americium niet goed hergebruiken omdat de snelheid van de neutronen te laag is. Maar in GEN-IV-reactoren is het spectrum zodanig dat het americium de aanwezige

hoogenergetische neutronen kan invangen, waarna dit verval naar plutonium. Dit plutonium is te gebruiken als splijtstof.” Daarmee zou volgens Van Til de actinide van een problematisch restproduct bij de opwekking van kernenergie in een bruikbare splijtstof kunnen veranderen. Geldt dat dan bijvoorbeeld ook voor een andere actinide zoals curium? “Het is eigenlijk een soort balans. Het aandeel curium in het afval is dusdanig laag, de halfwaardetijd ervan bovendien beperkt en dus erg radiotoxisch, dat je je moet afvragen of de recyclekosten opwegen tegen de winst die je maakt door curium in de splijtstof op te nemen”, licht Van Til toe.

SPECTRUM

Het hoofdonderwerp van het MARINE-experiment was de studie naar het gedrag van uranium in de kernsplijtstof waarin dertien procent americium was opgenomen. “Als je naar de kern kijkt in een snelle reactor heb je twee gebieden: het centrum waarin de driver fuel zit en

✎ *In de HFR is een laatste van een serie Europese experimenten voor de transmutatie van americium uitgevoerd.*



aan de rand van de kern waar zich de blanket bevindt dat om een ander type splijfstof vraagt." Voor de transmutatie van americium zijn twee soorten splijfstof ontworpen. In de reactorkern zit splijfstof in de verhouding uranium 75 procent, plutonium twintig procent en americium vijf procent ('driver fuel'). Voor de omliggende blanket ligt die verhouding op 85 procent uranium en vijftien procent

americium. "Het MARINE-onderzoek richt zich op splijfstof die voor de blanket ontworpen is." Een hoger percentage americium in de kern is volgens Van Til niet wenselijk omdat het 'even duurt' voor de isotoop getransmuteerd is naar een splijtbaar element. Het americium is zelf een kweekmateriaal en geen splijfstof en

✎ Sander van Til; de HFR op de achtergrond

produceert te weinig neutronen om een reactorkern kritisch te maken. De driver fuel met uranium en plutonium zorgt voor een stabiele kettingreactie met voldoende vermogen. In de blanket worden de 'ontsnappende' neutronen gebruikt voor het opwerken van het americium tot bruikbaar plutonium.

SOL-GEL-METHODE

Het americium wordt net als plutonium uit eerder bestraalde splijfstof gewonnen. Het americium dat voor het MARINE-experiment is gebruikt, komt uit de Franse laboratoria van het Centre á l'Energie Atomique (CEA). "Aansluitend werd het isotoop geleverd aan JRC in Karlsruhe (D) waar ze er twee soorten splijfstof van hebben gemaakt." Bijzonder daaraan was dat ze dat via de 'natte' chemische methode hebben gedaan. "Dat betreft de sol-gel-methode. Americium is een hoogenergetische alfastraler en in poedervorm kan dat poeder zich gemakkelijk verspreiden doordat de straling een impuls geeft aan de poederdeeltjes. Als je in de toekomst grotere hoeveelheden americium gaat verwerken, wil je af van een droge preparatiemethode die nu gangbaar is en waarbij de droge splijfstof geperst wordt tot pellets." Van Til legt uit dat in de sol-gel-methode het americium zich in een vloeistof bevindt. Door daar een tweede vloeistof aan toe te voegen, vormen zich bolletjes met een diameter van 0,5 millimeter waarin het americium zit. "Je kunt hiervan pellets persen, maar de bolletjes ook los in een splijstofpen opnemen: de sphere-pac." De sol-gel-methode is overigens op zich niet een nieuwe techniek, maar de fabricageroute werd in het overkoepelende PELGRIMM-project wel uitgewerkt voor americiumhoudende splijfstof.

Eén van de doelen was om te kijken welke van de twee pennen het beste werkt. "In een pen met bolletjes is de splijfstof veel minder compact dan bij de pellets, dus zit er minder splijfstof in een pen. Dat is een



© Irene van Kessel

nadeel van de bolletjes. Anderzijds heeft de opname van americium in de splijtstof het gevolg dat er zich veel helium vormt. De ruimte tussen de bolletjes maakt het mogelijk om de zwelling, die door het vrijgekomen helium ontstaat, op te vangen en het helium beter te laten diffunderen. Bij de compact geperste pellets zouden, bij te weinig vrijzetting van helium, de pellets tegen de penwand geduwd kunnen worden en dit zou tot ongewenste spanning kunnen leiden." Volgens Van Til is het daarom de moeite waard om de toepassing van sphere-packs nader te onderzoeken.

NABESTRALINGSONDERZOEK

Tijdens de bestraling van het experiment heeft het team al de gasvrijzetting in de twee verschillende splijtstofpennen kunnen meten doordat de pennen elk gekoppeld waren aan gasdruksensoren waarmee de opgebouwde druk tijdens bestraling gemeten werd. Deze gegevens zal Van Til aanvullen met de resultaten van de nabestralingsonderzoeken die begin volgend jaar zullen starten. "Het gas dat we in de afgesloten pennen zullen aantreffen zal ons informatie geven over de heliumproductie en de opbrand tijdens de bestraling. Krypton en xenon zullen deels zijn vervallen maar dat kunnen we natuurlijk terugrekenen naar het moment van de bestraling. Helium is stabiel en zal ons direct informatie geven." De nabestralingsonderzoeken zijn voornamelijk de laatste onderzoeken binnen het project. Het PELGRIMM-project waar het MARINE-onderzoek deel van uitmaakte, is afgelopen zomer al afgerond. "Op dit moment is er nog geen Europees vervolgpriject, maar we zijn al met onze internationale partners in overleg om te bespreken hoe een volgend project eruit zou kunnen zien." Van Til hoopt in 2018 een voorstel te kunnen doen om in 2019 weer met een nieuw transmutatieproject aan de slag te gaan. **K**

Menno Jelgersma

PELGRIMM

Tussen 2012 en 2017 heeft NRG bijgedragen aan een groot Europees onderzoeksproject PELGRIMM (PELlets vs GRanulates: Irradiation, Manufacturing and Modelling). Het onderwerp van onderzoek binnen PELGRIMM lag op het gebied van transmutatie van langlevende radioactieve elementen in de splijtstof die ontstaan bij het versplijten van uranium in de kernreactoren van nu. Hierbij vormen zich naast radioactieve splijtingsproducten ook zware radioactieve elementen zoals plutonium en de 'minor' actiniden americium en curium, die tezamen een groot deel van het radioactief afval vormen. Met name de laatste groep draagt bij aan de lange levensduur van het radioactieve afval. Het is mogelijk om deze 'minor' actiniden te recyclen als splijtstof voor de vierde generatie (GEN IV) snelle reactoren, die op dit moment in ontwikkeling zijn binnen het Europese ESNII-platform (European Sustainable Nuclear Industrial Initiative). Het doel van de twaalf Europese onderzoeksinstituten die betrokken waren in het Europese onderzoeksproject PELGRIMM was om de kennis te genereren over de splijtstofcyclus, met name de fabricage van de americiumhoudende splijtstof, het gedrag van de splijtstof tijdens bestraling en de ontwikkeling van modellen die dit bestralingsgedrag beter kunnen voorspellen (in zogenaamde fuel performance codes).



Binnen PELGRIMM werden fabricageroutes ontwikkeld om deze americiumhoudende transmutatiesplijtstof in twee vormen te produceren: conventionele pillen en een kolom met kleine splijtstofbolletjes ofwel: Sphere-Pac.

K *Figuur 1 - weergave van de splijtstof in pilvorm (links) en Sphere-Pac (rechts)*

De samenstelling van de splijtstof is afhankelijk van de recycleroute waarvoor in de toekomst gekozen zal worden. NRG's bijdrage omvatte, naast het karakteriseren van reeds bestraalde splijtstof uit de recente experimenten (SPHERE en MARIOS) in de hot cells van NRG, ook de ontwikkeling van een nieuw bestralingsexperiment: MARINE. Dit experiment is in samenwerking met JRC (Petten en Karlsruhe) en het Franse CEA Cadarache ontwikkeld.

SPHERE

Voor het SPHERE-experiment waren de monsters reeds bestraald gedurende het voorafgaande FAIRFUELS project. Binnen het PELGRIMM-project vindt nu uitgebreid nabestralingsonderzoek plaats aan monsters van het SPHERE-experiment. Na bestraling is de bestralingsgeschiedenis gereconstrueerd met behulp van een nucleaire analyse aan de hand van metingen aan de flux monitor sets. Met deze onderzoeken is belangrijke informatie verzameld over het gedrag van deze innovatieve splijtstoffen, waaronder de vrijzetting van gassen uit de splijtstoffen door de splijtstofpennen te puncteren en de hoeveelheid en samenstelling van het vrijgezette gas te meten. Ook de verplaatsing van plutonium, americium en splijtingsproducten in de splijtstof is bestudeerd met behulp van de elektronenmicroscopie en bijbehorende Röntgen-microprobe-analyse. Deze gegevens vormen belangrijke input voor de modellen die het splijtstofgedrag moeten voorspellen en daarmee de ontwikkeling van splijtstof en ontwerp van splijtstofpennen voor de nieuwe generatie (snelle) reactoren vooruithelpen. **K**



30.000 kankerpatiënten per dag geholpen met medische isotopen uit Petten? Medische isotopen zijn onmisbaar bij het opsporen en bestrijden van kanker. De vraag ernaar zal de komende twintig jaar hard toenemen, terwijl het aanbod afneemt. Om de wereld van medische isotopen in beeld te brengen is het platform 30.000perdag.nl gelanceerd. Met het nieuwe platform is NRG ook een bijbehorende campagne gestart. Doel van beide initiatieven is bewustzijn creëren dat Nederland voorop moet blijven lopen in de behandeling van kanker.

TOEKOMSTBEELD

Naar verwachting zal de komende twintig jaar het aantal kankergevallen met zeventig procent stijgen. Gelukkig wordt de gezondheidszorg continu beter, mede door inzet van medische isotopen. Wereldwijd zijn er slechts zes reactoren die medische isotopen kunnen produceren, waarvan er één volgend jaar sluit. De vraag naar medische isotopen neemt wereldwijd dus toe, terwijl het aanbod afneemt.

EX-KANKERPATIËNTEN SPELEN HOOFDROL IN CAMPAGNE

In de campagne worden drie video-interviews ingezet met mensen die kanker overleefd hebben. De interviews zijn afgenomen door presentatrice Fien Vermeulen, die zelf lymfeklierkanker heeft overleefd. Fien neemt de ex-patiënten Anouk (26), Alexander (42) en Manon (34) in de auto mee richting de onderzoeksreactor in Petten, waar zij vertellen over hun bijzondere ervaringen in

tijden van onzekerheid. Elk staan zij voor één van de dertigduizend mensen per dag die baat hebben of hebben gehad bij medische isotopen.

30.000PERDAG.NL

Op 30.000perdag.nl is een online-informatiepark gebouwd waar de bezoeker inzicht krijgt in alle aspecten van medische isotopen: van grondstoffen en de reactor in Petten tot toepassingen in het ziekenhuis. Door het openstellen van die wereld wil NRG aan (ex)kankerpatiënten en hun omgeving laten zien wat er nodig is om kanker te kunnen behandelen en support vragen voor het belang van medische isotopen en goede kankerbehandeling in Nederland. Iedereen kan support tonen door de Facebookpagina [30.000perdag](http://30.000perdag.nl) te liken. Voor een extra zichtbare vorm van support zijn er T-shirts te bestellen via 30.000perdag.nl, waarmee zowel ex-patiënten als supporters hun steun kunnen betuigen. **K**

NRG - 30.000perdag.nl



HONDERDVIJFTIGSTE GEBOORTEDAG MARIE CURIE

► In november is het precies honderdvijftig jaar geleden dat Marie Curie werd geboren. De uit Polen afkomstige Maria Skłodowska was de eerste vrouw ooit die een proefschrift schreef in de natuurkunde, de eerste vrouwelijke hoogleraar aan de Sorbonne in Parijs en de enige vrouw die twee Nobelprijzen won in twee verschillende disciplines: natuur- en scheikunde.

Maria Skłodowska werd op 7 november 1867 geboren in het door Rusland bezette deel van Polen. Als 15-jarige haalde ze cum laude het examen van de middelbare school. De Russische bezetting leidde tot verschillende maatregelen waaronder de aanpassing van het onderwijs waardoor op universiteiten de voertaal Russisch werd en vrouwen niet meer mochten studeren. Dat weerhield haar er niet van om colleges aan de clandestiene 'Vliegende Universiteit van Warschau' te volgen waar Poolse

vrouwen wel les konden krijgen zoals op Wikipedia valt te lezen

POLONIUM

In 1891 verhuisde ze naar Parijs om scheikunde, natuurkunde en wiskunde te studeren aan de Sorbonne. In de zomer van 1893 slaagde Skłodowska als beste van haar jaar voor natuurkunde en het jaar daarop behaalde ze haar 'master' in de wiskunde. Op voorspraak van een natuurkundedocent startte ze begin 1894

haar onderzoek naar de magnetische eigenschappen van gehard staal. Hier ontmoette zij de natuurkundige Pierre Curie met wie ze trouwde op 26 juli 1895. In december van dat jaar ontdekte Wilhelm Röntgen de Röntgenstraling. In 1897 rondde Marie Curie haar onderzoek naar het magnetiseren van gehard staal af. Voor haar promotie begon ze onderzoek te doen naar de door Antoine Henri Becquerel ontdekte en vermeende 'uraniumstralen'. Marie ontdekte later dat deze stralen een eigenschap zijn van atoomkernen en gaf er de naam radioactiviteit aan. Om te onderzoeken of andere materialen dezelfde eigenschap bezaten, testte Marie allerlei stoffen. Zo ontdekte ze dat thorium ook radioactief was. Maar ook kwam ze erachter dat bepaalde stoffen zoals pekblende sterker radioactief zijn dan het uranium en thorium dat eruit werd gewonnen, terwijl er geen andere radioactieve elementen bekend waren. ►

Blijkbaar bevatte pekblende sporen van een andere, onbekende, radioactieve stof, die veel meer straling produceerde dan uranium. De zoektocht naar dit element nam jaren in beslag, maar uiteindelijk wist het echtpaar Curie twee nieuwe scheikundige elementen te isoleren: polonium (vernoemd naar Marie's vaderland) en radium.

HEIKE KAMERLINGH ONNES

Overigens werd aan de ontdekking van radium door verscheidene natuurkundigen getwijfeld, waaronder door de eminente fysicus Lord Kelvin. Hij stelde dat radium geen element was maar een verbinding tussen lood en helium. Met de hulp van haar bevriende collega André-Louis Debierne is Curie er in 1910 toch in geslaagd om radium als element te isoleren en in het Periodiek Systeem op te nemen. Er zijn ook banden met Nederland. In 1911 bracht Curie een bezoek aan het koudelaboratorium van de Leidse natuurkundige Heike Kamerlingh Onnes. Het doel van haar bezoek was het effect te bestuderen van lage temperaturen op radioactiviteit. Het radiumpreparaat dat ze hierbij meenam is nog steeds in het bezit van Museum Boerhaave.

RADIOACTIEVE AANTEKENINGEN

Aanvankelijk was nog niet bekend hoe schadelijk radioactieve straling kon zijn. In hun laboratorium bewerkten het echtpaar Curie de materialen zonder beschermende middelen. Marie droeg het radium gewoon in haar zak en gebruikte het schijnsel ervan als lampje. Tijdens de Eerste Wereldoorlog werkte ze zonder enige bescherming als radioloog in veldhospitaal met draagbare röntgenapparaten die zij zelf had ontwikkeld. Ze overleed uiteindelijk aan de gevolgen van leukemie, waarschijnlijk door de radioactieve stralingen waaraan ze jarenlang had blootgestaan. Madame Curie werd 66 jaar. De aantekeningen die Marie en Pierre maakten in hun laboratorium zijn nog altijd radioactief.



✦ *Marie Curie aan het werk met haar dochter Irène Joliot-Curie in 1925*

In de Nationale Bibliotheek van Parijs worden ze bewaard in loden kisten. Wie ze wil raadplegen moet beschermende kleding aan en schriftelijk verklaren op de hoogte te zijn van de gezondheidsrisico's. Het 'jubileum' is niet geheel ongemerkt voorbijgegaan. Diverse media besteedden er aandacht aan. *New Scientist*,

bijvoorbeeld, gaf een special uit met als thema: De vijf redenen waarom Marie Curie een van de grootste wetenschappers aller tijden is. Opzij belichtte naast de wetenschappelijke hoogstandjes het belang voor de emancipatie. Curie maakt namelijk ook de weg vrij voor vrouwen in de academische wereld. Haar dochter Irène won in 1935 ook de Nobelprijs voor de Scheikunde voor haar ontdekking van de kunstmatige radioactiviteit. **K**



NETWERKDAG MARKEERT START ONAFHANKELIJKE TOEZICHTHOUDER ANVS

De Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) is sinds 1 augustus 2017 een zelfstandig bestuursorgaan (zbo). Naar aanleiding hiervan organiseerde de ANVS eind september de netwerkdag Kennismaken, kennis delen.

Tijdens deze dag besteedde de ANVS aandacht aan het belang van een onafhankelijke autoriteit voor de nucleaire veiligheid en het belang van het samenbrengen van Safety, Security en Safeguards. De ANVS en tien overheidspartners tekenden een samenwerkingsovereenkomst met als doel het gezamenlijk bevorderen van de veiligheid bij gebruik van radioactiviteit en ioniserende straling. Als symbool voor de toekomst en het belang van nucleaire veiligheid gingen kinderen en professionals uit de nucleaire en stralingswereld met elkaar in gesprek.

BUNDELING KENNIS EN ONAFHANKELIJKHEID

De ANVS is per 1 augustus als zbo eindverantwoordelijk geworden voor de uitvoeringsbevoegdheden op het gebied van nucleaire veiligheid en stralingsbescherming. In januari 2014 besloot de ministerraad om twee redenen tot de vorming van de ANVS: bundeling van kennis en onafhankelijkheid. Tot 2015 waren de diverse overheidstaken en de kennis van de nucleaire sector en

de toepassing van straling verspreid over verschillende instanties. Met de oprichting van de ANVS op 1 januari 2015 werden de betrokken medewerkers ondergebracht in één deskundige organisatie. Nu de ANVS per 1 augustus 2017 onafhankelijk is geworden, wordt ook voldaan aan de internationale vereisten die hiervoor gelden.

MISSIE

Een zbo voert overheidstaken uit, maar valt niet direct onder het gezag van een minister. In deze rechtsvorm wordt de onafhankelijkheid van de ANVS geborgd. "De basisgedachte van dit besluit was om goed onderscheid te maken tussen de verantwoordelijkheid voor alles op het gebied van energiebeveiliging aan de ene kant en veiligheid aan de andere kant", aldus bestuursvoorzitter Jan van den Heuvel. De secretaris-generaal van het ministerie van Infrastructuur en Milieu Lidewijde Ongering gaf in haar speech aan "het volste vertrouwen te hebben dat de ANVS volledig toegerust is om deze missie te volbrengen".

K Afgevaardigden van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Autoriteit voor Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming, Inspectie Leefomgeving en Transport, Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, Inspectie SZW, Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport, Inspectie Gezondheidszorg, Ministerie van Defensie, Inspectie Militaire Gezondheidszorg, Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit en Staatstoezicht op de Mijnen ondertekenen de samenwerkingsovereenkomst.

SAMENWERKINGSOVEREENKOMST

Tijdens de netwerkdag tekenden de ANVS en tien overheidspartners, waaronder het ministerie van Defensie en de Inspectie Leefomgeving en Transport een samenwerkingsovereenkomst. De directe aanleiding hiervoor is de instelling van de ANVS als zelfstandig bestuursorgaan. Hierdoor is de kennis over, en een aantal taken en bevoegdheden op, het terrein van de stralingsbescherming gebundeld, maar zijn er ook taken en bevoegdheden bij andere partijen binnen de rijksoverheid gebleven. De samenwerkingsovereenkomst heeft als doel het gezamenlijk bevorderen van de veiligheid bij gebruik van radioactiviteit en ioniserende straling. Gericht op een adequate stralingsbescherming van patiënten, milieu, bevolking en werknemers in Nederland. Concreet wordt samengewerkt op het terrein van beleidsontwikkeling, regelgeving, vergunningverlening en toezicht en handhaving. Iedere partij vanuit de eigen rol, taak en verantwoordelijkheid. Op basis van de samenwerkingsovereenkomst zullen tussen twee of meer partijen werkafspraken worden gemaakt. De samenwerkingsovereenkomst biedt daarvoor het noodzakelijke kader. Met hulp van de kindercorrespondent Tako Rietveld stelde een aantal kinderen vragen aan mensen uit de nucleaire of stralingssector: Carlo Wolters, directeur kerncentrale Borssele, Linda Janssen-Pinkse, algemeen coördinerend deskundige Antoni van Leeuwenhoek en Eric van Leeuwen, stralingscontroleur COVRA. **K**



LANCERING ADVANCING NUCLEAR MEDICINE OP EANM

Begin dit jaar heeft NRG aangekondigd zich te focussen op medische isotopen: naast het leveren van bestralingsdiensten en de productie van radio-isotopen richt NRG zich in toenemende mate op projecten voor de ontwikkeling van nieuwe medische isotopen en halffabricaten. Philippe Brouwers, NRG directeur business development: "Wij willen niet alleen het basismateriaal voor nucleaire medicijnen leveren maar ook een deel van het chemische proces na bestralen uitvoeren."

Op de onlangs gehouden jaarlijkse European Association of Nuclear Medicine (EANM) in Wenen presenteerde NRG tezamen met PALLAS het nieuwe initiatief Advancing Nuclear Medicine (ANM): het ontwikkelen van producten en diensten die aansluiten bij de radiofarmaceutische markt. Het farmaceutisch proces toevoegen aan de waardeketen is nieuw voor

NRG. Brouwers: "En dat is precies het onderdeel 'advancing' in ANM. We gaan naar het ontwikkelen van producten en diensten die aansluiten bij de vragen van de radiofarmaceutische markt. Daarom hebben wij ervoor gekozen om dit nieuwe initiatief prominent in beeld te brengen in plaats van een kijkje in de vertrouwde keuken van NRG te geven."

PLAYGROUND

Tijdens het evenement werden ook de slogans getoond waarmee de nieuwe richting wordt aangegeven, waaronder: Caring for people world wide, Pioneering medical solutions en Playground for passionate people. "Met betrekking tot de Playground willen wij mensen de ruimte geven om onderzoek te doen of baanbrekend werk te verrichten hier in Petten." Het samenbrengen van mensen en hun expertise heeft nog een voordeel. "Wat we tot nu toe zien is een versnippering van activiteiten met een product wat een korte halfwaardetijd heeft. Dus wat je het liefste ziet, is dat je zo dicht mogelijk op de bron je productiestappen kunt uitvoeren." Brouwers geeft als voorbeeld dat het niet zo verstandig is om een product met een halfwaardetijd van een aantal dagen naar de VS te vershippen voor verwerking, om het dan weer terug in Nederland bij ziekenhuizen

aan te leveren. Het bieden van ruimte aan partijen om in Petten hun product te verwerken is dan ook een hele interessante ontwikkeling. "Er zijn nog geen getekende contracten maar de optie wordt als uitermate interessant beschouwd. Verschillende bedrijven hebben al aangegeven om bij groei eventuele extra productiecapaciteit in Petten onder te brengen."

VAN DIAGNOSTIEK NAAR THERAPIE

Het mogelijk maken van onderzoek in combinatie met het ontwikkelen van een product en de daaropvolgende chemische processing werd volgens Brouwers zeer goed ontvangen op Europa's grootste beurs voor nucleaire geneeskunde EANM. Volgens hem heeft dat twee redenen. Het is nieuw voor marktpartijen zoals NRG en het komt op een moment dat de nucleaire geneeskunde steeds meer gebruik gaat maken van nucleaire isotopen. "Er is sprake van een verschuiving of eigenlijk meer verruiming waar het gaat om gebruik van medische isotopen. De nadruk lag tot nu toe op de diagnostiek. Op dit moment zien wij echter een enorme toename van interesse op de therapeutische toepassing



✦ *Philippe Brouwers, NRG directeur business development*

van medische isotopen." De oncologie, radiologie en nucleaire geneeskunde lijken steeds dichterbij elkaar toe te groeien. "Bijvoorbeeld Lutetium-177 voor de behandeling van Neuro Endocriene Tumoren maakt een enorm groei door en

ook voor de behandeling van patiënten met prostaatkanker met Lutetium-177-PSMA is steeds meer aandacht. Verder zie je een toegenomen interesse voor 'targeted' alfatherapieën." Door samenwerking met de academische wereld doet NRG onderzoek naar de mogelijkheden van het labelen van nucleaire medicijnen met radionucliden om vervolgens te kijken naar toepassing ervan in de diagnostiek, de therapeutische toepassing of zelfs een combinatie daarvan: de theranostiek, een combinatie van therapie en diagnostiek. Hierbij wordt het gelabelde nucleaire medicijn bij de patiënt toegediend. Met behulp van beeldvorming is na te gaan of het medicijn in de tumor is opgenomen. Als er sprake is van een goede opname, wordt hetzelfde molecuul dat voor de beeldvorming diende als alfa- of bètastraler ook een therapeutische stof. Een voorbeeld hiervan is de diagnostiek en therapie met het Lutetium-177-PSMA. Brouwers: "Het EANM-congres was voor ons uiterst succesvol. Ik kan niet anders zeggen dan dat de markt ons initiatief heeft omarmd. Met deze positieve vibe gaan we dit initiatief in 2018 verder vormgeven en uitbouwen." **K**





➤ **ENRICO FERMI:
"IK HEB HONGER.
WE GAAN LUNCHEN."**

Op 3 november organiseerde KIVI-NNS het symposium A Chain Reaction of Applications in het Science Center in Delft. Centraal stond Enrico Fermi (1901-1954). Hij was een in Italië geboren Amerikaans natuurkundige die vooral bekend werd door zijn bijdrage aan de ontwikkeling van de eerste kernreactor (Chicago Pile I), voor zijn werk op het gebied van bètaverval en de medeontwikkeling van de kwantumtheorie. In 1938 ontving hij de Nobelprijs voor de Natuurkunde.

Fermi stond aan het hoofd van het team dat de eerste kernreactor bouwde, waarin de eerste beheerste nucleaire kettingreactie plaatsvond en was één van de kopstukken van het Manhattanproject. Van de werkzaamheden aan de Chicago Pile I zijn tijdens het opstarten geen foto's gemaakt. Het enige wat resteert is een later gemaakt schilderij. Wel is er een verslag van de werkzaamheden opgenomen door Bernard Jaffe in *Crucibles: The Story of Chemistry from Ancient Alchemy to Nuclear Fission* dat een bijzondere inkijk geeft in wat er zich op 2 december 1942 in Chicago afspeelde: *...Fermi startte de test om 9:54 's ochtends door opdracht te geven de regelstaven terug te trekken. Zes minuten later trok Walter Zinn de regelstaaf met de naam Zip handmatig uit de Pile en maakte die vast aan de reling van het balkon. Om 10:37 gaf Fermi, die nauwgezet het control board bekeek, aan George Weil de order om de (Vernier) horizontale schuifregelstaaf vier meter uit de Pile te trekken. Een half uur ging voorbij voordat de automatische regelstaaf was teruggetrokken. Het klikken*

**KIVI-NNS
SYMPOSIUM**

in de Geigertellers ging steeds sneller en de atmosfeer werd steeds gespannener. "Ik heb honger. We gaan lunchen", zei Fermi en hij vertrok met zijn medewerkers om op 14:00 uur terug te keren bij de Pile. Meer aanpassingen, meer orders en op 15:21 uur berekende Fermi de snelheid en toename van het aantal neutronen.

Toen, plotseling, merkte Fermi rustig en zichtbaar tevreden op: "The reaction is self sustaining. The curve is exponential."

Vanaf dat moment mocht de Pile 28 minuten in bedrijf blijven. Om 15:53 uur riep Fermi: "Ok" naar Zinn en de regelstaaf werd in de Pile gedrukt. De tellers liepen terug. Het was voorbij. Het werk dat bijna een wonder had mogen heten, was afgerond. De datum 2 december 1942 markeert de eerste keer in de geschiedenis dat mensen een succesvolle, kritieke (self-sustaining) nucleaire kettingreactie hadden veroorzaakt. Slechts een paar mannen in de buurt van Fermi realiseerden zich dat op een winderige koude woensdagmiddag de mensheid een cruciale wending had genomen...

De ontwikkeling van nucleaire techniek neemt een vlucht. Nu, 75 jaar later, bestaat er wereldwijd een volwassen nucleaire industrie met toepassingen op uiteenlopende gebieden. Van energievoorziening tot gezondheidszorg en van ruimtevaart tot voedingsindustrie. De organisatie van het KIVI-NNS-symposium heeft een aantal sprekers gekozen die een deel van de reikwijdte van nucleaire toepassingen laat zien:

Hugo van Dam, TU Delft, The life and work of Enrico Fermi; Mario Borst, RWE, Nuclear power production; **Wim Bouwman**, TU Delft, European Spallation Source; **Aidan Goldsworth**, Rolls-Royce, Marine Nuclear Propulsion; **Syed M. Qaim**, Forschungszentrum Jülich, Medical applications of nuclear radiation and isotopes. De dagvoorzitter is professor **Jan-Leen Kloosterman**, TU Delft. **K**



➤ Hugo van Dam

KIVI-NNS
SYMPOSIUM

➤ ENRICO FERMI: ÉÉN VAN DE GROOTSTE WETENSCHAPPERS VAN DE TWINTIGSTE EEUW

Met een introductie van Jan Leen Kloosterman begon op 3 november in het Science Center in Delft het goed bezochte KIVI-NNS-symposium 75 Years of Nuclear Reactors – a chain reaction of applications. Kloosterman schetst in het kort het thema en onderwerp van de dag: Het was Enrico Fermi die het met zijn medewerkers in 1942 voor elkaar kreeg om de eerste 'man-made' kernreactor op te starten.

De eerste spreker die Kloosterman aankondigt, is Hugo van Dam, die een voordracht houdt over het leven en werken van Enrico Fermi. Bij de opsomming van Van Dam over wat Fermi kon en gedaan heeft, kan je niet anders concluderen dat de geboren Italiaan één van de grootste wetenschappers van de twintigste eeuw was die zoals de emeritus hoogleraar het omschreef: "Excelleerde in de theorie en

in de experimentele toepassingen." Fermi heeft maar liefst veertien patenten op zijn naam staan waarvan twaalf nucleaire. "Hij is bovendien vereeuwigd in acht 'Fermi-Grootheden', waaronder: fermi, een SI-maat (fentometer) voor 10^{15} , Fermi-Dirac-verdeling; de statistische verdeling van fermionen, Fermi-laboratoria over de hele wereld en de Enrico Fermi-prijs voor de bijdragen van wetenschappers aan de ➤

ontwikkeling, het gebruik of de productie van energie.

TOO UNREALISTIC

Van Dam vertelt over Fermi's carrière en de voor- en tegenspoed; zo werd zijn artikel over neutrino's (door Wolfgang Pauli gepostuleerd en overgenomen door Fermi die de theorie van het bètaverval ontwikkelde) begin jaren dertig door Nature geweigerd omdat het "Too unrealistic to be interesting for our readers" zou zijn. In 1938 ontving hij de Nobelprijs voor natuurkunde voor het aantonen van

het ontstaan van nieuwe radioactieve elementen door ze met neutronen te bestralen en voor de ontdekking van kernsplijting door het gebruik van gemodereerde neutronen. Van Dam vertelde enthousiast over het werken met grafiet en de problemen die dat oplevert omdat alles glad wordt en iedereen die ermee werkte eruit gaat zien als een mijnwerker. Het ging dan ook om grote hoeveelheden grafiet: "Bij de Chicago Pile I werd gebruik gemaakt van 380 ton grafiet, 40 ton uraniumoxide en 6 ton uraniummetaal." Ook gaat Van Dam nog

even in op de Nederlandse situatie met een foto waarop hij begin jaren zestig zelf bovenop een 'pile' grafiet zit. Vergeleken met de Amerikaanse situatie twintig jaar daarvoor zijn het meer bescheiden hoeveelheden grafiet (26 ton): "Maar ons grafiet was veel beter; we hadden daarom ook minder uranium nodig." De voorlaatste slide van zijn presentatie toont een foto met een blokje grafiet. Het is een stukje geschiedenis onder een glazen stolp en het trotse eigendom van de TU Delft: Graphite from CP-1 World's first nuclear reactor December 2, 1942 **K**



✎ Mario van der Borst

Mario van der Borst, RWE, begint zijn lezing met een uitleg over het volgens hem "fictieve" onderscheid dat we maken tussen verschillende generaties kernreactoren. Een illustratie toont een duidelijke overlap tussen de technologieën. "Er worden op dit moment (in het tijdperk waarin je GEN-III zou verwachten - red) nog reactoren gebouwd die toch echt geen GEN-III zijn."

"GAAN WE DOOR MET DE BOUW VAN DURE GEN-III-REACTOREN OF WAGEN WE DE SPRONG NAAR GEN-IV?"

In een terugblik op de ontwikkeling van reactoren geeft Van der Borst aan dat het vooral Groot-Brittannië was dat absoluut dominant was vanaf de jaren vijftig bij de productie en ontwikkeling van reactoren. De Amerikanen hadden met de Chicago Pile I de eerste 'werkende' kernreactor ooit ontwikkeld. Het waren de Russen die in 1954 in Obninsk de eerste commerciële kerncentrale aan het net koppelden. Deze kleine centrale leverde 5 MW aan het net en werd pas in 2002 gesloten. Volgens Van der Borst zijn er veel van dit soort kleine centrales die nog steeds in afgelegen gebieden in Siberië draaien.

De Britten openden hun eerste kerncentrale in 1956: Calder Hall met een vermogen van 50 MW. "In de zestiger jaren vond eigenlijk de echte start plaats van de commerciële reactor." Het was de tijd waarin ook de kerncentrales Borssele en Dodewaard werden gebouwd. Van der Borst toont de aanwezigen het grote aanbod van reactorontwerpen in alle variaties: koeling, splijtstofconfiguraties en onderscheid in moderatie. Hij wijst er ook nog even op dat de enige kerncentrale die in Nederland nog actief is, is voorzien van een dubbel containment en daarmee wat betreft veiligheid bij een GEN-III kan horen. "De zeventiger jaren

✚ *Er was voldoende tijd om bij te praten, vragen te stellen en te eten...*

zijn de 'golden years' voor bouw en ontwikkeling van reactoren. De meeste uit die tijd draaien nog steeds." Volgens hem was het vooral aan de ontwikkeling van de turbijntechiek te danken dat de centrales steeds groter werden. Na de hoogtijdagen kwam de dip. Maar dat had volgens Van der Borst niet alleen met Three Miles Island (TMI) te maken. "Er werden voor het ongeluk bij TMI al projecten afgelast omdat er een tekort was aan reactorvaten." Toch lijken de ongelukken bij TMI en later bij Tsjernobyl debet aan de drastische afname van reactornieuwbouw. Een korte renaissance werd door het ongeluk bij Fukushima verijdeld. Is de stagnatie te keren? "De westerse wereld lijkt uitgespeeld. Een groot nieuwbouwproject bij VC Summer

in de VS werd halverwege de bouw gestaakt. En wat gaan de Fransen doen?" Volgens Van der Borst zal er in de komende jaren nog steeds wel een nucleaire industrie in het westen actief zijn. "Maar zal er ook nieuwbouw plaatsvinden? Gaan we door met de bouw van dure GEN-III-reactoren of wagen we de sprong naar GEN-IV?" Voor de huidige stagnatie geeft Van der Borst een aantal aanvullende redenen: hoge kosten, lange bouwtijd, lage stroomprijzen, gevoel voor onveiligheid en perceptie van een probleem waar het gaat om het afval. Het ontwerpen en bouwen van kleine modulaire reactoren kan een oplossing zijn voor de kosten en bouwijd, met daarnaast: inherente veiligheid en technologische ontwikkeling voor de afname van langlevend kernafval. **K**



ONDERZOEK MET NEUTRONEN

Andrew Jackson was helaas verhinderd maar Wim Bouwman van de TU Delft was bereid gevonden zijn lezing Fundamental research with neutrons over de European Spallation Source over te nemen. Waarom werken met neutronen?

**KIVI-NNS
SYMPOSIUM**

Bouwman legt uit dat neutronen waarvan het bestaan in 1932 door James Chadwick werd aangetoond, zowel deeltjes als golven zijn en door hun eigenschappen wetenschappers in staat stellen niet alleen de structuur van een stof maar ook: "de dynamiek van een materiaal te kunnen onderzoeken". Daarbij komt dat de verstrooiing van neutronen een ander beeld geeft dan Röntgenstraling. Neutronen

vertonen interactie met de atoomkernen en niet met de elektronen zoals Röntgenstraling. Daardoor wordt na berekening niet een elektronendichtheid gevonden, maar meer een soort dichtheid van de kern. De interactie met kernen maakt het mogelijk om niet alleen verschillende isotopen maar ook kleine atoomkernen te onderscheiden. Bij Röntgendiffractie is dat lastig en worden waterstofatomen nauwelijks waargenomen

omdat ze slechts één enkel elektron hebben en dat elektron ook nog eens een zeer grote bewegingsvrijheid heeft.

OLIESTROMEN

Met behulp van youtube-filmpjes laat Bouwman zien wat het effect van lichtbreking kan betekenen voor onze waarneming wanneer verschillende stoffen praktische dezelfde brekingsindex hebben



zoals plantaardige olie en Pyrex-glas: het glas lijkt tijdens een proef verdwenen in de olie. "Van dit principe wordt op dit moment veel gebruikt in neutron scattering waarbij veel materialen transparant zijn voor neutronen tijdens processing." Bouwman laat zien dat met de techniek verbeteringen zijn te maken aan machines omdat oliestromen in een draaiende motor zichtbaar gemaakt kunnen worden. Neutronscattering is door de gevoeligheid voor lichtere atoomkernen zoals waterstof en koolstof geschikt voor metingen aan organische materialen. Het meetbereik van tussen 1 en 100 nanometer brengt biologische structuren als een celwand en eiwitten in beeld. Daarnaast maakt de interactie met lichte atoomkernen zoals van waterstof, deuterium en lithium, neutronendiffractie bij uitstek toepasbaar voor onderzoek aan waterstofopslag in materialen, waterstofstromen binnen een brandstofcellen, activiteit van lithiumbatterijen en ook zonnecellen.

RID

De 'productie' van neutronen geschiedt door spallatie of fissie. Bouwman laat zien waar wereldwijd wordt gewerkt met in Neutron Scattering Facilities en licht de Europese onderzoekscentra toe waarbij niet zonder trots extra aandacht uitgaat naar het RID van de TU Delft waar uitgebreide onderzoeksmogelijkheden bestaan (en worden gecreëerd) waaronder: PEARL (powder diffractometer for determining atomic structures), SANS (small-angle neutron scattering), SESANS (spin-echo small-angle neutron scattering voor onderzoek op lengteschaal 30 nm – 20 m), ROG (neutron reflectometer) en FISH (neutronen tomografie). Met voorbeelden wordt het enorm brede bereik van toepassingen duidelijk: over hoe medicijnen in situ werken tot het effect van hypothermie bij de behandeling van kanker, van het drogen van fruit tot hoe verschillende asdeeltjes in het roefilter van een dieselmotor wordt opgenomen. **K**



NOOIT TANKEN EN ZELF ZUURSTOF MAKEN: DE KERN-ONDERZEEER

In zijn voordracht belicht Aidan Goldsworth, Chief Engineer Capability and Sustainment van Rolls Royce drie onderwerpen: nucleaire aandrijving voor onderzeeboten, voor schepen en een toekomstperspectief.

Een inleiding over de ontstaansgeschiedenis over onderzeeërs laat de ontwikkeling zien van hand- en voetaangedreven tot geavanceerde nucleair-aangedreven modellen. Een van de belangrijkste mensen die heeft bijgedragen aan de ontwikkeling van de nucleaire onderzeeër is Admiraal Hyman G. Rickover. Rickover kende de beperkingen van onderzeeërs uit de tweede wereldoorlog: ze konden niet zo diep varen, waren niet snel genoeg en konden bovendien niet lang onder water blijven. Dat maakte ze kwetsbaar. Toen het Amerikaanse Congres zijn

plannen goedkeurde, ging Rickover direct aan de slag. Goldsworth verwijst naar de "staggering speed" waarmee de Amerikanen te werk gingen. Het project heeft bij elkaar slechts 5,5 jaar geduurd en resulteerde in de eerste kernonderzeeër USS Nautilus waarvoor president Harry S. Truman in 1952 de kiel legde. Twee jaar later gleed 's werelds eerste nucleaire onderzeeboot van de helling. Het is de eerste onderzeeër die op 3 augustus 1958 onder het ijs van de Noordpool vaart. De voordelen van het schip zijn legio. Alle splijtstof die het voor zijn complete technische levensduur nodig **X**

heeft, is bij de tewaterlating aan boord. Bovendien kan een reactor naast stoom ook stroom leveren voor de zuurstofwinning door middel van elektrolyse. Goldsworth toont drie soorten reactoren: de dispersed PWR, de Close Coupled en de Integrale reactor. In deze laatste reactor zijn alle onderdelen in een containment opgenomen. Daarnaast zijn er, onder andere: metaalgekoelde reactoren, waaronder lood-bismut, gasgekoelde reactoren en gesmoltenzoutreactoren toegepast. Voor de splijtstof maken alle ontwerpen gebruik van hoogverrijkt uranium, al wil Goldsworth hierover tijdens het vragenronde geen uitspraken doen. Naast de kernonderzeeërs komen ook de 'gewone' schepen aan bod: marineschepen, ijsbrekers en civiele schepen. Dat er nu geen schepen meer worden voorzien van reactoren heeft volgens Goldsworth voornamelijk met geld te maken. Met wisselende en vooral dalende olieprijsen is het voor rederijen een gok om schepen te voorzien van een reactor omdat, net als bij kerncentrales, de hoogste kosten in het begin zitten en de winstgevendheid afhankelijk is van de marktontwikkelingen van andere energiebronnen. Daarnaast komt regelgeving om de hoek kijken. Het aanmeren van nucleaire schepen vereist extra voorzieningen in een haven. Een oplossing zou een overslag op zee kunnen zijn. Dit is een oplossing op wat hij noemt een super-level. Op een tweede niveau, het system level ziet hij mogelijkheden voor verschillende soorten vrachtschepen en op sub-system level laat hij de keuze open voor reactortypen. Sinds de maiden voyage van de USS Nautilus hebben er zo'n zevenhonderd schepen met reactoren rondgevoerd. Tegenwoordig zijn dat er ongeveer tweehonderd. De USS Nautilus werd na een diensttijd van 25 jaar en 500.000 zeemijl (!) uit de vaart genomen en is nu als museumboot te bezichtigen. **K**



K TOEPASSING VAN MEDISCHE ISOTOPEN VERBREED

Syed M. Qaim van het Onderzoeksinstituut in Jülich (D) is de laatste spreker de dag. Hij start zijn voordracht met een geschiedenis van de toepassing van radioactieve medicijnen. Qaim begint bij biologische experimenten in de twintiger jaren van de vorige eeuw waarbij gebruik wordt gemaakt van natuurlijke radioactiviteit tot theranostische toepassing van isotopen die geschikt zijn voor beeldvorming en behandeling.

Een eerste onderzoek in 1922 is naar de 'beweging' van lood-212 in planten, een tweede naar de stofwisseling in konijnen met bismuth-201. Pas in de jaren dertig van de vorige eeuw vinden de eerste onderzoeken plaats met gecreëerde bronnen. Dit volgt op de ontwikkeling van het cyclotron die de vorming van 'kunstmatige' isotopen mogelijk maakte. In 1938 ontdekken Hahn en Strassmann

de mogelijkheid tot kernsplijting. Na de bouw van de eerste reactor door Enrico Fermi verloopt de ontwikkeling snel met tegenwoordig ongeveer vierhonderd onderzoeksreactoren en vijfhonderd cyclotrons die (gedeeltelijk) voor de productie van radionucliden worden gebruikt. De toepassing van radio-isotopen is net zo'n grote onderneming geworden als kernenergie. Hiervan zijn de fotonen-

protonen- en zware ionentherapie de bekendste technieken. Opmerkelijk is dat Qaim die zelf groot voorstander is van cyclotrons, de productie van technetium-99m in reactoren prefereert. Hij verwijst hierbij nog even naar onderzoeken van Van der Marck - 2010, Qaim - 2014 en Wolterbeek - 2014. "De directe productie van ^{99m}Tc via $^{100}\text{Mo}(p,2n)$ -reactie is veelbelovend, maar heeft nog veel ontwikkeling. Het zal echter nog lang duren voor het zover is, de opbrengst zal beperkt zijn en de specifieke activiteit laag." De route kan lokaal oplossing bieden maar voorziet niet in de mondiale behoefte. Daarom is continu onderzoek naar nieuwe productiemogelijkheden noodzakelijk met de ouder wordende onderzoeksreactoren die nu voor de wereldproductie zorgen.

Theranostiek

Qaim toont de verschillende mogelijkheden van beeldvorming met behulp van PET, SPECT- en CT-scans en de uitdagingen die er bestaan met multimode imaging, door gebruik te maken van verschillende

scans met verschillende isotopen die ieder een ander beeld geven. Door ze te combineren kunnen ze aanvullende informatie over de patiënt verschaffen. Nieuwe ontwikkelingen in Jülich hebben bijgedragen aan een techniek waarbij aminozuren gekoppeld aan fluor-18 voor een duidelijke diagnose met FET-PET zorgen die met MRT niet in beeld mogelijk is. MRT staat voor magnetic resonance therapy en is ontwikkeld om het gebruik van MRI boven diagnostiek te verheffen voor therapeutische procedures. Deze ontwikkeling zien we terug in de theranostische toepassing van isotopen die naast diagnostische informatie direct een therapeutische functie heeft. Te denken valt aan de toepassing van koper-64 of yttrium-86 voor PET-beeldvorming in combinatie met koper-67 of yttrium-90 voor therapie.

Om een idee te geven van de grote hoeveelheid behandelingen: 40 miljoen SPECT-diagnoses per jaar met technetium-99m en 5 miljoen PET-diagnoses met fluor-18-FDG. De ontwikkeling gaat snel.

Veelbelovende nieuwe isotopen zijn: koper-67, rhenium-186, actinium-225 en platinum-193m. Daarnaast is de ionentherapie volgens Qaim ook op opkomst. Hij eindigt met het aangeven van de belangrijkste nieuwe richtingen: theranostiek, multimode beeldvorming en radioactieve nanodeeltjes, die mogelijk zorgen voor verbeterde afgifte van een radionuclide in een tumor.

Jan-Leen Kloosterman dankt als dagvoorzitter alle sprekers voor hun bijdrage en de aanwezigen voor hun aandacht. Hij memoreert nog even dat we met het bouwen van duizend reactoren wereldwijd sinds Fermi geen kleine prestatie hebben geleverd en dat ook Nederland zeker een belangrijke bijdrage in de ontwikkeling van nucleaire technologie heeft geleverd. In de geest van de geboren Italiaan Enrico Fermi eindigt Kloosterman het KIVI-symposium met het openen van een fles rode Chianti. **K**

Menno Jelgersma



**K** De kerncentrale Grafenrheinfeld

Angela Merkel dat alle Duitse kerncentrales in 2022 stilgelegd moeten zijn. Ook in Frankrijk, het Europese kernenergieland bij uitstek, heeft de nieuwe regering onder leiding van Emanuel Macron veranderingen in petto. Frankrijk wil de belangrijkste groene economie ter wereld worden en is derhalve van plan om in 2025 circa zeventien van de huidige 58 kerncentrales stil gelegd te hebben.

Niettemin projecteren serieuze klimaatscenario's een stevige toename in kernenergie wereldwijd in plaats van een daling. Dat betekent onherroepelijk dat bestaande installaties langer in bedrijf zullen moeten blijven om aan de noodzakelijke toename van schone energiebronnen te kunnen blijven voldoen. Het spanningsveld tussen sluiten, openhouden en misschien toch maar nieuwbouw, is groot. Zon en wind alleen kunnen niet in de behoefte voorzien. Niet voor niets bouwen China en andere nieuwe economieën in een ongekend tempo kerncentrales. Over ongeveer tien jaar zal China de nieuwe wereldleider zijn als producent, én als technologieleverancier, van kernenergie. Bedrijfsduurverlenging of niet, nieuwbouw of niet, de vloot van honderdvijftig kerncentrales in Europa veroudert en zal hoe dan ook in de komende decennia moeten worden ontmanteld en afgebroken, om te beginnen in Duitsland. Aangezien de ontmantelingservaring in Europa nog beperkt is tot een handvol centrales, ontstaat er een groeiende vraag naar ontmantelingscapaciteit en deskundigheid. Veilige, betrouwbare en kosteneffectieve ontmanteling kan op een positieve manier bijdragen aan het imago van kernenergie onder het grote publiek.

MILJARDENERFENIS

Volgens een schatting van de Europese Commissie moet ongeveer tweehonderdvijftig miljard euro beschikbaar komen voor

VEILIG, BETROUWBAAR EN KOSTENEFFECTIEF VERKLEINEN VAN RADIOACTIEF AFVAL-VOLUME: HET KAN!

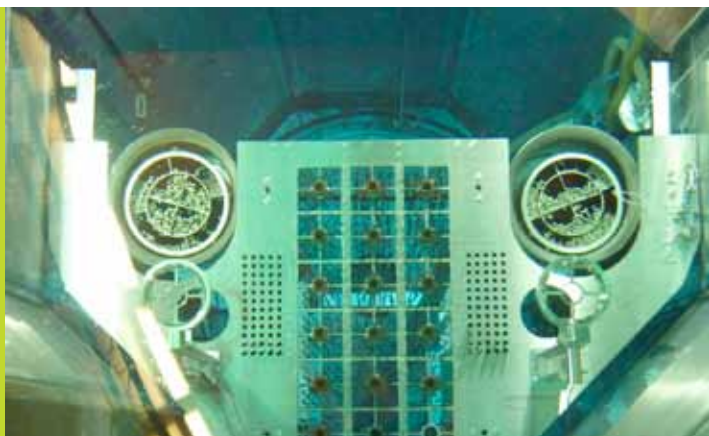
Terwijl beheer en opslag van gebruikte splijtstof na zo'n zestig jaar kernenergie een routinezaak is geworden, valt er nog een wereld te winnen in het management van intermediair en laagradioactief afval - in omvang verreweg het grootste gedeelte van al het nucleaire afval.

Het is vooral dit afval, als ook specifieke erfenissen uit de zestiger jaren (het begin van het nucleaire tijdperk), die het grotere publiek bezighoudt. Juist hier probeert NRG deel uit te maken van de oplossing, bijvoorbeeld bij de ontmanteling van kerncentrales en het karakteriseren van verschillende soorten radioactieve afvalinventarissen. Veilige en betrouwbare opslag, en het verminderen van radioactief afvalvolume, zijn belangrijke

doelen. De ontmanteling van regelstaven in de kerncentrale Grafenrheinfeld is daar een mooi voorbeeld van.

SPANNINGSVELD

In de klimaatplannen van sommige West-Europese regeringen neemt de sluiting van kerncentrales, dan wel het verminderen van het aandeel kernenergie in de elektriciteitsmix, een dominante plaats in. Na het Fukushima-ongeval besloot de Duitse regering onder



ontmanteling van kerncentrales in Europa tot 2050. Van dit bedrag zal ongeveer honderddertig miljard euro worden besteed aan beheer en opslag van verschillende soorten nucleair afval. Verantwoorde verwerking, karakterisering, sortering, uitgebreide registratie en opslag van radioactief afval zijn belangrijke succesfactoren. Voor de classificatie van radioactief afval worden nu nog verschillende normen in verschillende landen gebruikt. Internationale uniformiteit van wetten en voorschriften kan verder bijdragen aan efficiëntie en veiligheid. Binnen NRG is een schat aan ervaring opgebouwd met de karakterisering, sortering en scheiding van hoog- tot laagradioactief afval. NRG heeft daarmee bewezen dat hoogradioactieve, ongesorteerde afvalinventarissen kunnen worden omgezet in grotendeels laagradioactief materiaal terwijl het resterende kleine beetje hoogactief materiaal veilig kan worden afgescheiden en verpakt. Resultaat: een kleiner radioactief afvalvolume en lagere opslagkosten.

ONTMANTELING REGELSTAVEN

In opdracht van Preussen Elektra GmbH heeft NRG samen met haar partner Höfer & Bechtel regelstaven in de kerncentrale Grafenrheinfeld in de deelstaat Beieren ontmanteld. De ontmanteling vond plaats onder toezicht van onder anderen de TÜV SÜD en de Beierse regering. In dit project werden regelstaven in de reactorpool geknipt, gemonsterd, en

herverpakt in MOSAIK® containers conform specifieke eisen van de Konrad eindberging voor intermediair radioactief afval. Het is het allereerste integrale ontmantelingsproject waarin een reactorinventaris qua volume is verkleind en verpakt in containers, inclusief een volledige karakterisering en beschrijving van de containerinhoud op een manier die transport naar en opslag in de Konrad-eindberging mogelijk maakt.



✦ Hagen Höfer (Höfer&Bechtel), Werner Schuurman (NRG C&S), Arthur van Puijenbroek (NRG C&S) and Michiel Lassche (Höfer&Bechtel)

INNOVATIEF

De ontmanteling in Grafenrheinfeld is in verschillende opzichten uniek en innovatief. Zo is er voor het knippen van de meer dan honderd regelstaven specifieke apparatuur ontwikkeld. Er werd een brug ontworpen die het centrale bekken in de reactor overspant. Vanaf twee werkstations worden door middel van op afstand bedienbare tools de regelstaven stuk voor stuk in delen van 80 centimeter geknipt. Hierbij komt nagenoeg

✦ Zicht op de reactorkern van de kerncentrale Grafenrheinfeld

geen vervuiling vrij. De 80 centimeter lange staafdelen worden veilig verpakt in MOSAIK® containers.

EFFICIENCY

De ontwikkelde werkwijze is niet alleen technisch innovatief maar ook uitermate efficiënt. Zo zijn er dankzij de optimale beladingsmethode minder MOSAIK® containers nodig wat naast een lager afvalvolume ook een directe forse financiële besparing oplevert. Efficiëntie wordt tevens bereikt door de methode van bemonstering. Met een speciaal voor dit doel ontwikkelde monstertool worden op locatie Grafenrheinfeld monsters genomen van zowel de mantel als de legering van de regelstaven. De analyse van deze monsters, de radiochemische karakterisering, vindt plaats in de ISO 17025 gecertificeerde laboratoria van NRG in Petten, Noord-Holland. Niet alleen de ontwikkelde technieken, ook het feit dat alle aspecten van decommissioning in één hand zijn werkt sterk efficiëntieverhogend. Een juiste karakterisering resulteert vervolgens ook in besparing van opslagkosten. Kortom, een win-winsituatie voor industrie en maatschappij. **K**

André Wakker, NRG – met bijdragen van: Tanja Tomasberger en Werner Schuurman



INTERNATIONALE ERKENNING VOOR HELEEN UITSLAG-DOOLAARD

Tijdens de zeventiende International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics (NURETH-17) in Xi'an (China) heeft NRG research consultant Heleen Uitslag-Doolaard een Young Professional Award gewonnen voor haar artikel: Experiment design to assess the inter-wrapper heat transfer in LMFR. "Begin volgend jaar gaan onze collega's van het Karlsruhe Institute of Technology (Duitsland) in een experiment metingen verrichten die we met onze resultaten kunnen vergelijken. Uiteindelijk willen we natuurlijk 'opschalen' naar een toekomstige GEN-IV-reactor."

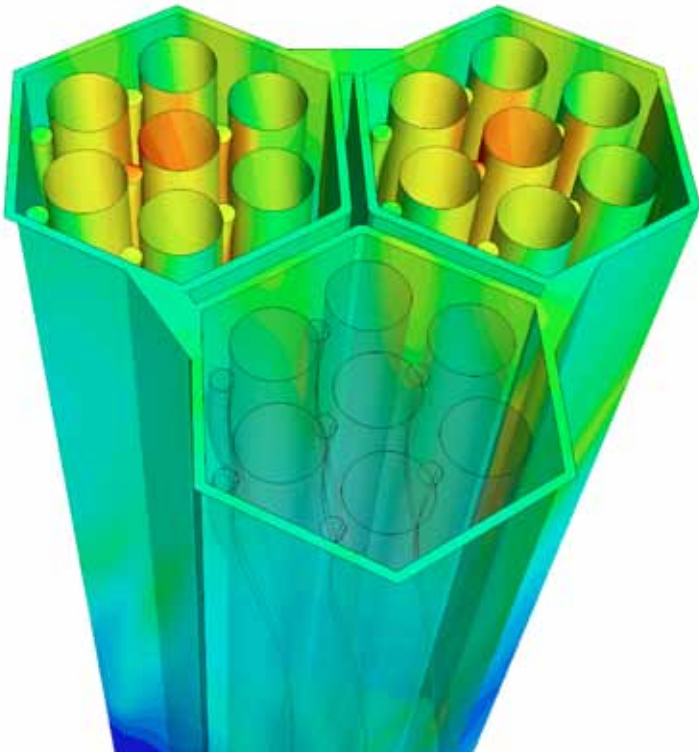
Uitslag-Doolaard is research consultant bij NRG en specialist op het gebied van stromingsleer en warmteoverdracht ten behoeve van veiligheidsanalyses. Volgens de jury ontving zij de prijs puur op basis van kwaliteit van het artikel. De award werd officieel in China uitgereikt tijdens het conferentiebanket, waar haar collega Ferry Roelofs, Account Manager Research & Innovation bij NRG namens haar de prijs in ontvangst nam uit handen van professor Hisashi Ninokata, voorzitter van de commissie voor honors and awards en dr. Elia Merzari, voorzitter van de sub-commissie voor de young professional awards. Aan de prijs zit geen prijsbedrag verbonden, wel eeuwige roem natuurlijk en volgens Uitslag-Doolaard de nodige aandacht voor het onderwerp en uiteraard waardering voor haar artikel. "De symbolische prijs die ik ontving was een Chinese fluit", aldus Uitslag-Doolaard; een regionaal muziekinstrument waarvan het volgens haar nog best moeilijk was om er muziek uit te krijgen. Dat Roelofs en niet zij de prijs in ontvangst nam, kwam doordat Roelofs een aantal papers van zijn team op de meeting presenteerde. Bovendien was Roelofs één van de co-auteurs van het artikel.

LMFR

Het werk dat in de paper beschreven staat, gaat over de warmteoverdracht in de ruimte tussen de splijstofelementen (inter-wrapper flow – IWF) in een metaalgekoelde snelle reactor (LMFR). De paper richt zich op het ontwerp van een experiment en de ondersteunende Computational Fluid Dynamics (CFD)-berekeningen. Hierbij is gekozen voor de IWF tussen splijstofelementen in een reactorgeometrie die representatief is voor de toekomstige Belgische MYRRHA-reactor. Speciaal hiervoor is in het Karlsruhe Liquid metal Laboratory (KALLA) bij het Karlsruhe Institute of Technology in Duitsland een opstelling ontworpen die aan die eisen voldoet. Het experiment bestaat uit drie mock-ups van splijstofelementen die ieder zeven elektrisch verhitte, door metaaldraden omwonden pennen bevatten. Deze drie elementen zijn elk omgeven door een hexagonale buis (wrapper). De wijze van wikkeling van de draad, die dienstdoet als afstandhouder tussen de splijstofpennen en de ruimte tussen de drie elementen, komt overeen met die van het MYRRHA-ontwerp (zie kader). De IWF tussen de elementen speelt een belangrijke rol in het beperken van de piektemperatuur van de omhulling van de nucleaire splijstofstaven (cladding) bij onverwachte gebeurtenissen zoals stroomuitval of een blokkade van de koeling.

VALIDATIE

In het experiment werd gebruik gemaakt van een mengsel van lood en bismut dat ook in MYRRHA gebruikt gaat worden. De keuze voor de legering is gelegen in het feit dat het een eutectisch mengsel is waarvan het smeltpunt lager ligt dan van de beide metalen afzonderlijk wat voor een koelmiddel gunstig



✘ De temperatuur bij de uitlaat van het domein zoals berekend met CFD.

is. De paper gaat volgens Uitslag-Doolaard in op de positie van de instrumentatie in het experiment. "In mijn berekeningen kun je zien hoeveel warmte er wordt afgevoerd. Hiervoor zal in het experiment de temperaturen aan twee zijden van de wand worden gemeten en wordt ook zowel de in- als de uitlaattemperatuur gemeten." Uitslag-Doolaard heeft zelf alle berekeningen gedaan. "Aan de hand hiervan wisten we waar we de meetpunten moesten plaatsen." De instrumentatie is zodanig ontworpen dat de temperaturen kunnen worden gemeten en de warmteflux kan worden bepaald en gebruikt om de modellen van de Computational Fluid Dynamics (CFD) berekeningen voor de IVF te valideren. CFD wordt toegepast voor de simulatie van de stromingen van vloeistoffen en het transport van warmte in en door vloeistoffen. Voor het afvoeren van de hitte van splijstofstaven in een reactorkern is een koelmiddel nodig. Te hoge temperaturen zijn ongewenst, omdat dan de splijstofstaven kunnen smelten. Via CFD-simulaties is het mogelijk te bepalen hoe de warmteoverdracht zich ontwikkelt en het beste is af te voeren. Validatie is daarom van zeer groot belang. "Bij ons experimentontwerp is specifiek naar loodbismut gekeken, maar wanneer je een ander koelmiddel zou willen toepassen, is een aanpassing van de data mogelijk. Al zou je die dan wel weer apart moeten valideren", licht Uitslag-Doolaard toe. Eén van de doelen van het experiment is de validatie van een rekenmodel voor drie 7-pins-bundels. "Op basis van de berekeningen is het in de toekomst mogelijk om een reactorkern door te rekenen van bijvoorbeeld 69 elementen met ✘

COLUMN



EEN DAGJE KLIMAAT-CONFERENTIE

Dit jaar had ik de gelegenheid om een dag mee te maken bij de jaarlijkse klimaatconferentie van de Verenigde Naties. Die speelde zich in Bonn af, als vervanging van het eigenlijke gastland Fiji, een eilandenstaat in de Stille Oceaan dat een conferentie met een omvang van 30.000 deelnemers duidelijk niet kon dragen.

Het was een heel groot gebeuren. Voor een deel in het toch al niet kleine World Conference Centre, en voor de rest in tenten, gezien de buitentemperatuur (5 graden) goed verwarmd. Er waren landen die er een soort wereldtentoonstelling van maakten, ze presenteerden zich in paviljoens met muziek en klederdracht. Uiteraard veel promotie van hernieuwbare energie, waar het overigens niet zo'n goed weer voor was, windstil en een dik wolkendek.

Ik had de eer om een zogenaamde Side Event te mogen organiseren, een soort mini-symposium van anderhalf uur. Het ging over het terugkerende mechanisme van het verdrag van Parijs en de kansen die dit biedt voor innovatieve kernenergie. Elke vijf jaar moeten de ondertekenaars van dit verdrag namelijk hun plannen voor een nieuwe set klimaatbeschermingsmaatregelen indienen. Als zich nu in de loop van de tijd nieuwe ontwikkelingen aandienen, kunnen die te zijner tijd in de nationale klimaattactieplannen worden opgenomen. Zoals bijvoorbeeld een nieuwe kernbrandstof die waterstofvorming à la Fukushima uitsluit, of een geheel nieuw kerncentrale ontwerp. Als voorbeeld van dat laatste diende de U-Battery van Urenco, een ontwerp met Nederlandse wortels gebaseerd op hoge-temperatuurreactor (HTR) technologie.

Innovatieve kernenergie speelt nog een zeer marginale rol in de klimaatdiscussie. Maar de klimaatconferentie volgend jaar is in Polen, net nadat de tweejaarlijkse HTR-conferentie in hetzelfde land heeft plaatsgevonden. Polen heeft een op hoog regeringsniveau gedragen HTR-ontwikkelingsprogramma. Soms moeten dingen gewoon samenkomen. **K**

Aliki van Heek

ieder 127 brandstofstaven (pinnen) zoals voorzien in het huidige ontwerp van de MYRRHA-reactor.”

PHÉNIX

De volgende fase gaat begin 2018 van start. “Hierbij zullen in het experiment metingen worden verricht die we met onze resultaten kunnen vergelijken. Uiteindelijk willen we natuurlijk ‘opschalen’ naar een toekomstige reactor. “Uitslag-Doolaad ziet

voor de nabije toekomst interessante onderzoeken binnen het Europese samenwerkingsproject SESAME. “Binnen dit project zijn data vrijgegeven van de Franse experimentele snelle reactor Phénix die in 2009 ontkoppeld werd van het elektriciteitsnetwerk. Dit was een natriumgekoelde reactor en dat is natuurlijk iets anders dan loodbismut, maar het blijft een vloeibaar metaal dat zich soortgelijk gedraagt en die data leveren voor ons interessant nieuw reken- en validatiemateriaal op.”

MYRRHA

MYRRHA is een loodbismut gekoelde reactor waarvan het SCK•CEN, het Studiecentrum voor Kernenergie in België, in 2024 de eerste fase gerealiseerd wil hebben en vanaf 2030 wil gaan inzetten als opvolger van de bestaande BR2-onderzoeksreactor. MYRRHA is de Engelse afkorting voor Multi-purpose Hybrid Research Reactor for High-tech Applications. Het is een prototype van een kernreactor die wordt aangedreven door een deeltjesversneller. Een protonenversneller zet de splijting in gang door het afvuren van hoogenergetische protonen op een vloeibaar mengsel van lood en bismut. Dit is het spallatiedoelwit dat zich in de reactorkern bevindt. Hierdoor worden neutronen vrijgemaakt uit de atoomkernen, die op hun beurt zorgen voor een splijtingsreactie in de splijtstof van de reactorkern. Als de deeltjesversneller wordt uitgeschakeld, stopt het splijtingsproces doordat de subkritische kern per definitie geen kettingreactie kan onderhouden. Als onderzoeksreactor gaat MYRRHA onder andere materialen testen die gebruikt kunnen worden voor de bouw van betere, veiligere reactoren. Daarnaast is MYRRHA zeer belangrijk voor het onderzoek naar de rentabiliteit van kerncentrales en het verminderen van de hoeveelheid hoogradioactief afval.

MYRRHA is een zogenaamde ‘snelle neutronenreactor’ die het mogelijk maakt om vijftig tot tachtig procent van de energie in de nucleaire splijtstof te benutten. In de meeste kerncentrales ligt dat percentage op ongeveer een procent. Door beter gebruik te maken van de splijtstof vermindert de hoeveelheid afval in totaal en meer specifiek de hoeveelheid langlevend afval. De splijtstofelementen bestaan uit gemengd plutonium-uraniuoxide (MOX). Aan het MOX kunnen hoge concentraties aan actiniden worden toegevoegd. Dit zijn langlevende en hoogradioactieve restproducten uit de splijtstofcyclus van de huidige reactoren. In MYRRHA zal het mogelijk zijn deze stoffen gecontroleerd te versplijten. Hierdoor levert dit afval nog een energetische bijdrage en wordt het omgezet in minder schadelijke elementen. De radiotoxiciteit van het afval neemt dus sterk af, waardoor een groot deel van het afval in plaats van honderdduizenden jaren ‘slechts’ vijfhonderd à duizend jaar gevaarlijk blijft. Het afvalprobleem wordt dus op deze manier een stuk beter beheersbaar en bovendien is er minder splijtstof nodig om meer energie te produceren. **K**

Menno Jelgersma

VRACHT VOOR DE RUSSISCHE DRIJVENDE KERNCENTRALE ARRIVEERT IN PEVEK



Schepen met lading voor de constructie van 's werelds eerste drijvende kerncentrale, de Akademik Lomonosov zijn aangekomen in de haven van Pevek in het Russische district Chukotka, aldus Rosenergoatom, de operatortak van Rosatom. De Akademik Lomonosov zal in mei volgend jaar naar Moermansk worden gesleept, ter plaatse worden voorzien van splijtstof en vervolgens in november 2018 in bedrijf worden genomen. Op dit moment ligt de Akademik Lomonosov nog afgemeerd in Sint Petersburg bij de scheepswerf Baltiysky Zavod. De centrale bestaat uit twee reactoren van

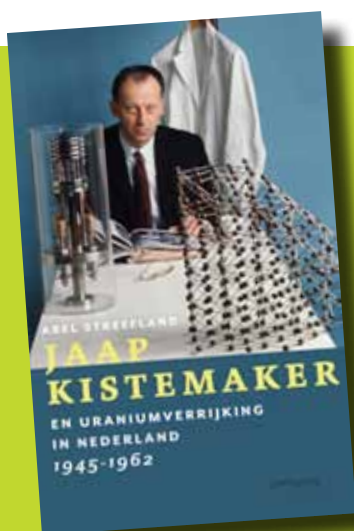
het type 35 MW KLT-40S dat ook in de Russische ijsbrekers wordt gebruikt. Aan het eind van het jaar zal er bijna tienduizend ton bouw materiaal inclusief zand, grind en cement zijn gearriveerd in Pevek vanuit Arkhangelsk met de schepen Kuznetsov en Sabetta. Met deze schepen wordt ook de metalen constructie getransporteerd voor de hydraulische systemen en voor de benodigde infrastructuur aan land. Een derde schip, de Mahmastal, zal aanvullende bouwmaterialen

aanvoeren. Het bedrijfs gereed maken van de reactoren is begin oktober afgerond bij de werf in Sint Petersburg. Het testen van de systemen en uitrusting zal aan het einde van 2017 klaar zijn.

De reactoren van de Akademik Lomonosov gaan warmte leveren met een techniek gebaseerd op bewezen techniek van de nucleaire ijsbrekers. De centrale is volgens Rosatom bestand tegen tsunami's en andere

natuurrampen en vormt op geen enkele wijze een bedreiging voor het milieu. De nucleaire veiligheid voldoet verder volledig aan de eisen die het International Atomic Energy Agency stelt. De centrale moet een vervanging zijn voor de capaciteit die verdwijnt door het sluiten van de beide Bilibino eenheden in het district Chukotka. De eerste eenheid zal in 2019 worden gesloten, de tweede in 2021. **K**

Bron: WNN



ABEL STREEFLAND - JAAP KISTEMAKER EN URANIUMVERRIJING IN NEDERLAND

Hoe kon Nederland als klein land na de Tweede Wereldoorlog koploper worden in het onderzoek naar uraniumverrijking? Op die vraag promoveerde wetenschapshistoricus Abel Streefland aan de Universiteit Leiden. Hij schreef er een boek over: Jaap Kistemaker en uraniumverrijking in Nederland (1945 - 1962).

Binnen de Nederlandse nucleaire sector is de naam Jacob Kistemaker welbekend als de grondlegger van de ultracentrifugetechnologie in Nederland. De fysicus stond daarbij aan de wieg van URENCO. Abel Streefland schetst in zijn boek *Jaap Kistemaker en uraniumverrijking in Nederland een mooi beeld van de naoorlogse ontwikkelingen rondom uraniumverrijking.*

Dat het hier gaat om een gedegen proefschrift blijkt wel uit de vele voetnoten in het boek, toch leest het bij vlagen als een spannend boek over (onder andere) nucleaire technologie, toegepast wetenschappelijk onderzoek en een eigenzinnige wetenschapper. Hoewel het boek een gedetailleerd beeld schetst van

Kistemaker en zijn werkwijze is het boek zeker geen biografie maar richt het zich op de jaren 1945-1962. Er wordt zeer gedetailleerd ingegaan op de gang van zaken in en rondom het laboratorium waar Kistemaker werkte. Streefland beschrijft het in zijn boek als volgt: "Een studie naar uraniumverrijking in Nederland betekent onvermijdelijk ook een studie naar Kistemaker. Hij was een markant figuur, had een bijzonder doorzettingsvermogen, een scherp oog voor innovaties en het vermogen om de juiste mensen om zich heen te verzamelen. Tegelijkertijd was hij koppig en bij vlagen politiek onhandig." Kistemaker ontpopt zich van jonge promovendus tot succesvolle wetenschapsmanager terwijl hij het hoofd biedt aan ontbrekende financiën, bureaucratie en de steeds verder gaande geheimhouding van zijn project. Dit alles tegen de achtergrond van de steeds ingrijpendere Koude Oorlog.

"Uraniumverrijking is Cold War Science pur sang", zegt Streefland hier zelf over in zijn boek.

Streefland dook voor zijn onderzoek in het archief van het FOM-insituut AMOLF, het oude laboratorium van Kistemaker en kreeg toegang tot het ultracentrifugearchief welke zich in een stalen kluis op het terrein van Enrichment Technology Company in Almelo bevond. Hier vond hij de rapporten, reisverslagen, originele patenten en zelfs handgeschreven aantekeningen van ontmoetingen en lezingen die de basis zouden gaan vormen van zijn boek. Het resultaat is een gedetailleerd verslag van een bijzondere periode in de Nederlandse geschiedenis en een fraai portret van een eigenzinnige wetenschapper. **K**

Ellen Jelgersma

EXCURSIE FUKUSHIMA

Afgelopen september werd in Mito, Japan de conferentie HOTLAB en Remote Handeling 2017 georganiseerd. Een jaarlijks terugkerende conferentie voor nucleaire laboratoria. Tijdens de conferentie werden de successen en uitdagingen in de uitvoering van onderzoek en onderhoud in nucleaire laboratoria gedeeld in presentaties en posters.

Naast de drie dagen van presentatie- en postersessies waren er ook twee dagen gereserveerd voor excursies, waarbij de excursie naar Fukushima een absolute must is als je in het nucleaire veld werkzaam bent. De excursie bestond uit twee gedeeltes, een bezoek aan het Naraha Remote Technology Development Center in de ochtend en na de

Het Naraha Remote Technology Development Center (Naraha) is opgericht na de ramp en heeft tot doel experimentele methodes en testen te ontwikkelen, waaronder veel bediening op afstand. Er is een grote hal waarin een gedeelte van een reactorvat op ware grootte is nagebouwd. Verder worden hier robots, drones en andere uitvindingen getest die gebruikt

rijden naar de daadwerkelijke site. Camera's en telefoons waren nu niet meer toegestaan al werden er wel foto's genomen door de begeleiding van Tepco. Rijden door dit gebied is een vreemde gewaarwording; huizen en gebouwen zijn beschadigd door de aardbeving. Het glas van de pui in de supermarkt ligt eruit en levensmiddelen zijn uit de schappen gevallen, maar nooit opgeruimd. Bij de autodealer en grondwerktuigenhandelaar staan de vele auto's en kranen op het pleintje voor de werkplaats. Alles is verlaten en raakt langzaam overwoekerd door groen. Er is een zeker vergelijk te trekken met het gebied rond Tsjernobyl dat ik in 2010 heb bezocht met de Dutch Young Generation. Ik verwacht door het warmere klimaat dat de situatie rond Fukushima binnen na nog eens 5 jaar gelijk is met die van Tsjernobyl na 25 jaar. Eenmaal op de site van Fukushima is er geen verlaten wereld meer, maar volop bedrijvigheid. Alle 4 de



✂ Jessica Bruin: "We kennen natuurlijk allemaal de beelden en foto's, maar toen we daar zo op korte afstand van stonden, werd de bus stil."

lunch het bezoek aan de Fukushima Daiichi Nuclear Power Station.

De oostkust van Japan werd in maart 2011 opgeschrikt door een krachtige aardbeving met een kracht van 9 op de schaal van Richter. Aansluitend kwam er een tsunami tot ontwikkeling die eenmaal op land hoogtes heeft bereikt tot 21 meter. De aardbeving en tsunami kostten ruim 15.000 mensen het leven. De tsunami kwam bij het Fukushima Daiichi Nuclear Power Station tot zo'n 17 meter hoogte en richtte zoveel schade aan dat het uiteindelijk leidde tot waterstofexplosies in de reactoren 1, 3 en 4 en de kernsmelt in de reactoren 1, 2 en 3. De totale ramp heeft een INES schaal 7 gekregen, gelijk aan Tsjernobyl.

kunnen worden bij het veilig ontmantelen van de vier reactoren. Naast de testhal is er ook een gedeelte waar Virtual Reality gebruikt wordt om de werkzaamheden te testen en oefenen. Om de beelden in VR te krijgen, is gebruik gemaakt van de oorspronkelijke bouwtekeningen en foto's van de reactoren. Ook worden foto's gebruikt die gemaakt zijn door robots die in de reactoren zijn geweest. Tijdens de excursie bij Naraha wordt het duidelijk dat door de ramp, de ontwikkeling van afstandsbediende robottechniek en VR een enorme vlucht heeft genomen. Na de lunch werden we meegenomen naar de Fukushima Daiichi site. Onze bus werd ingeruild voor een andere bus om door het verlaten gebied te

reactoren zijn in een veilige afgekoelde status. Men is begonnen met het verwijderen van de spent fuel uit reactor 4, wat eind 2014 is afgerond waarna het gebouw wordt afgedicht. Op dit moment wordt er gebouwd aan een opbouw voor reactor 3 om de spent fuel te verwijderen. Reactor 2 had slechts een kleine opening door een waterstofexplosie. Deze is afgedicht. Reactor 1 wordt voortdurend nat gehouden met een kunststofhoudende spray om eventuele radioactieve stoffen niet te laten verspreiden door de wind. Rond de site is een ijsmuur gemaakt met stikstof gevulde buizen in de grond. Deze muur moet voorkomen dat grondwater uit de bergen besmet raakt op de site en verontreinigd de oceaan inloopt. Op dit

moment wordt het besmette water opgevangen en gereinigd. Het tritium is echter lastig te verwijderen en dit behandelde water wordt vooralsnog opgeslagen op de site. Er staat ruim 800.000 kubieke meter tritiumwater op de site.

Na een introductie over de huidige stand van zaken mochten we in een derde bus plaatsnemen voor een tour over de site. Onderweg werd over de onderdelen en stand van zaken verteld. Vanuit het vertrekpunt was duidelijk dat de hele site een betonnen laagje heeft gekregen. Hierdoor spoelt de radioactieve contaminatie niet verder de grond in. Na de ramp is men hier vrij snel mee begonnen. Snel kwamen we aan op een uitzichtpunt voor reactor 1. We kennen natuurlijk allemaal de beelden en foto's, maar toen we daar zo op korte afstand van stonden, werd de bus stil. Wat een kracht en verwoesting. De bus stond regelmatig stil en reed rustig over de site. We



hadden steeds ruim de tijd om te kijken en te oriënteren.

Na reactor 1 gingen we in een bocht de heuvel af in de richting van reactor 4. Onderweg enkele aanduidingen tot hoever en hoog de tsunami kwam. Ook een blik op de constructie van de ijswaer rond de reactoren. Er waren her en der mensen aan het werk. Hoe dichter er bij de reactor wordt gewerkt, des te meer bescherming zij aanhebben. Rond de reactor met volledige bescherming en adembescherming door perslucht. Hoe verder weg, des te minder bescherming zij hebben. Een overall, laarzen en adembescherming in diverse gradaties komen veel voor. Ik had



MARIE'S ELECTRIC ADVENTURE; KERNENERGIE UITGELEGD VOOR DE HELE KLEINTJES

De North American Young Generation in Nuclear schreef Marie's electric adventure, een kinderboek over kernenergie voor kinderen vanaf vier jaar. In het vrolijk en kleurrijk geïllustreerde boek gaan de schrijvers in op de mythes en angsten rondom het onderwerp.

Tijdens de Nuclear Science Week is het boek door het hele land verspreid in bibliotheken en op basisscholen. In Nederland is het boek te lezen als E-book voor Kindle en gratis te downloaden (met audio) in iTunes. Tijdens een nachtelijke onweersbui valt de stroom uit in het huis van het meisje Marie (een knipoog naar Marie Curie). Zonder haar nachtlampje kan ze niet slapen en ze vraagt zich af waar de stroom eigenlijk vandaan komt. Samen met haar grappige hondje Einstein gaat ze op onderzoek uit. Ze ontmoet de pratende boom Adam die in enkele zinnen uitlegt hoe kernsplijting werkt. Helaas lijkt het daaropvolgende plaatje toch wel weer erg op het bestaande foldermateriaal over kerncentrales. Wel mooi is dat meteen één van de grootste publieke misverstanden wordt aangekaart: de

rook die uit de imposante koeltorens komt is geen rook maar stoom. Uiteindelijk is Marie's conclusie natuurlijk ook de moraal van het verhaal: "Just because something seems scary, doesn't mean it really is." Het boek eindigt met een korte opsomming van waarschuwingen over elektriciteit aan de lezertjes. Zo wordt ze verteld om voorzichtig te zijn met stopcontacten en elektrische apparatuur weg te houden van water maar vooral om nooit midden in de nacht alleen op pad te gaan. De bijgevoegde verklarende woordenlijst en toelichting is vooral handig en leuk voor de voorlezende volwassene. Ondanks het feit dat het prentenboek Engelstalig is, is het zeker geschikt om voor te lezen. En anders kan altijd met behulp van de aansprekende tekeningen het verhaal ook heel goed in eigen woorden worden verteld. **K**

Ellen Jelgersma

een elektronische dosismeter meegekregen uit Petten. Ook hierbij was te merken dat we dichterbij de reactoren kwamen.

Na een blik op reactor 4 reed de bus tussen de reactoren 2 en 3 door; een bijzonder indrukwekkende aanblik. Vooral reactor 3 liet een onwerkelijke verwoesting zien, kabels, leidingen, verwoeste betonnen muren. Er was geen orde meer te ontdekken in de binnenzijde van de reactor. Uitkomend aan de zeezijde is de kade vernieuwd en hier komen wekelijks nieuwe opslag tanks voor gecontamineerd water aan. Overal op de site zijn parken met tanks verzezen voor besmet water. Aan de kade herinnert één tank nog aan de tsunami, deze tank heeft door de kracht op de wand een twist gemaakt.

Na deze indrukwekkende bezichtigingen rijden we door naar de reactoren 5 en 6, langs nog meer tanks en een verzameling



➤ Opslag tanks voor gecontamineerd water

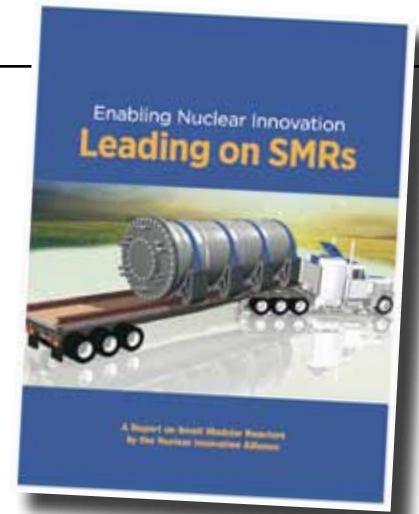
voertuigen en gekapt hout dat allemaal gecontamineerd is geraakt door de gebeurtenissen. Uiteindelijk staan we weer voor het beginpunt en heeft mijn dosismeter een dosis geregistreerd van 10 µSv gedurende de bijna anderhalf uur durende tour. Na een besmettingscheck en een korte dank voor onze komst gingen we terug naar de eerste bus, die ons terugbracht naar Mito.

CONCLUSIE VAN DIT BEZOEK;

Nucleaire energie is prachtig en bijzonder veilig, maar als het misgaat dan is het ook catastrofaal.

Jessica Bruin, NRG

NIA-RAPPORT: ENABLING NUCLEAR INNOVATION LEADING ON SMRS



85 procent van de energie die de wereldeconomie draaiende houdt is van fossiele bronnen afkomstig. Met ruim een miljard mensen die nog geen elektriciteit hebben maar dat wel willen, doemt er een zwart scenario op van versnelde klimaatverandering. Volgens het onlangs door Matt Bowen, Ph.D. geschreven rapport Enabling Nuclear Innovation Leading on SMRs van de Nuclear Innovation Alliance (NIA) ligt de oplossing in grootschalige toepassing van kernenergie met in het bijzonder de inzet van kleine modulaire reactoren (Small Modular Reactors – SMRs). De focus van het rapport is gericht op de Amerikaanse situatie.

Het wordt een enorme uitdaging om deze eeuw de honderden miljoenen mensen die in armoede leven meer kwaliteit van leven te geven zonder dat dit gaat leiden tot lange-termijn schade aan mens en milieu. Het is bijna niet voorstelbaar maar ruim 1,1 miljard mensen hebben nog geen elektriciteit. Een toename in het gebruik van energie is gekoppeld aan een hogere kwaliteit van leven. Eén van de consequenties van die koppeling is helder: de mondiale vraag naar energie, in het bijzonder in de derde wereld, zal zoals wordt voorspeld aanzienlijk toenemen tot 2050. Fossiele brandstoffen zorgen nu voor ongeveer 85 procent van de energie die de wereldeconomie draaiende houdt met alle bijkomende negatieve consequenties voor het milieu. Het is immers het traditionele gebruik van fossiele brandstoffen dat leidt tot luchtvervuiling en klimaatproblemen. Kernenergie is een bron die schone energie afhankelijk van de

behoefte kan leveren. Met tientallen jaren van ervaring in operationele uitvoering kan kernenergie een bijdrage leveren om de milieurisico's te verkleinen, terwijl de inzet tegelijkertijd zorgt voor de levering van energie die nodig is om de economische groei te stimuleren en om de kwaliteit van leven wereldwijd vooruit te brengen. Er is een specifieke technologie die hiervoor een grote belofte is: de SMR.

HYBRIDE ENERGIESYSTEEM

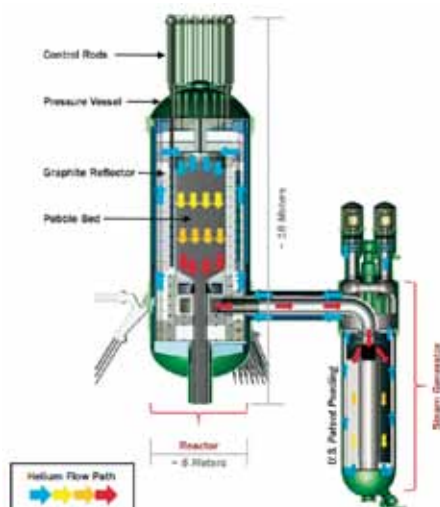
In het verleden heeft de complexiteit van het ontwerp van grote lichtwaterreactoren bijgedragen aan de lange bouwperiodes zoals het met de meest recente Amerikaanse bouwprojecten het geval is maar waar de opdrachtgevers en bouwers ook in Finland en Frankrijk mee te kampen hebben. Het voordeel van de SMRs zijn de lagere totale kosten, kortere bouwperiodes en eenvoudiger ontwerpen die de veiligheid

vergroten. Zij bieden een potentieel om de nieuwe standaard te worden. Naast lagere operationele kosten en bouwkosten is het de flexibiliteit van inzet die zorgt voor de betrouwbaarheid van het elektriciteitsnet in een tijd waarin het aanbod van wisselende energieopwekking door renewables sterk stijgt. Door warmte te leveren aan de industrie zouden SMRs volgens Bowen een potentiële bijdrage kunnen leveren aan het koolstofvrij maken van sectoren naast die van stroomopwekking in een hybride energiesysteem waar renewables en kernenergie deel van uitmaken. In het rapport ligt de nadruk van de SMRs niet op de wijze van koelen maar op het verschil in grootte, de samenstelling van verschillende modules en de bouw aanpak. Aan de orde komen watergekoelde ontwerpen, maar ook de metaal-, gas-, en gesmoltenzoutgekoelde reactoren.

GAS VERSUS KERNENERGIE

Gasgecombineerde centrales (NGCC) zijn op dit moment de goedkoopste manier voor het opwekken van energie in de VS door de lage aardgasprijs. De gemiddelde kosten voor stroom (LCOE) voor een bepaalde energietechnologie is één maat om de ene technologie met de andere te vergelijken. De vergelijking van gemiddelde kosten voor SMRs versus gascentrales is ook afhankelijk van het regelgevingskader voor stroomopwekking en de specifieke financiële structuur voor nucleaire nieuwbouw. Terwijl de LCOE for SMRs veel hoger is dan voor NGCC-centrales in gedereguleerde staten, komen ze dicht bij elkaar waar meer regelgeving geldt. Waar het gaat om de kosten voor broeikasgasemissies kunnen SMRs concurreren met NGCC-centrales in de publieke energiesector. Het toevoegen van SMRs aan de opwekkingcapaciteit en –verscheidenheid kan eventuele fluctuerende prijsniveaus van gas ondervangen. Wereldwijde verplichtingen van publieke en private sectoren om schonere energietechnologieën in te zetten, kunnen leiden tot een toename van honderden GW

aan kernenergie gedurende de komende tientallen jaren. Ook als SMRs slechts een klein deel van de totale capaciteit aan kernenergie wereldwijd zouden innemen en alleen zou worden ingezet voor de levering van proceswarmte gaat het toch nog om tientallen GW aan SMR-inzet.



✂ De Xe-100 van X-energy is een heliumgekoelde reactor - Source: © X-energy, LLC.

NON-PROLIFERATIE

De meeste SMRs zullen in de ontwikkelingslanden worden gebouwd waar een grote basisbehoefte aan energie bestaat maar waar nog geen uitgebreide infrastructuur aanwezig is. De samenstellers van het rapport gaan ervan uit dat er drie grote SMR-leveranciers zullen zijn: China, Rusland en de VS. Een overzicht geeft aan dat er in Europa slechts beperkte aandacht is voor de ontwikkeling van de SMR. In Frankrijk en Denemarken lopen twee initiatieven. In Groot-Brittannië wordt onderzoek gedaan naar twee reactorontwerpen waaronder de U-Battery van URENCO. De voorspelde groei voor kernenergie voor de komende decennia, inclusief die in landen die nu geen kernenergieprogramma hebben of daarmee bezig zijn, heeft echter ook gevolgen voor de mondiale non-proliferatie. Sinds president Eisenhowers Atoms for Peace speech in 1953 heeft de VS een nationaal belang in het ondersteunen van

de vreedzame toepassing van kernenergie in ruil voor een rol in het vaststellen van de voorwaarden voor non-proliferatie. Investerings van de Amerikaanse overheid in de jaren vijftig en zestig hebben de weg geëffend voor de vroege wereldwijde Amerikaanse dominantie op de markt van kernenergie, wat in reactie daarop de VS een bijzonder grote rol gaf in het formuleren van de non-proliferatie-normen voor leveranciers. Met de komende expansie van kernenergie in de ontwikkelingslanden is een hernieuwde inzet en bereidheid tot leiderschap waar het gaat om kernenergie nodig volgens de NIA om de VS dezelfde rol opnieuw te laten bekleden. Door de onzekerheid van kosten en beschikbaarheid voor verschillende reactorontwerpen zou de VS daarom door moeten gaan met de ondersteuning bij de ontwikkeling van reactoren.

Wanneer de VS aan de voorlinie blijft met de ontwikkeling van nieuwe technologieën en een actieve rol bekleedt in de ontwikkeling van kernenergie en non-proliferatie voor de komende tientallen jaren zal dat de nationale veiligheid volgens de NIA ten goede komen. Om hiertoe te komen geeft het rapport diverse aanbevelingen, waaronder: ondersteuning van nieuwe programma's voor de ontwikkeling van kerntechnologie, aanpassingen in de huidige wetgeving waar het gaat om belastingregiems voor kerncentrales, meer samenwerking bij SMR-projecten tussen onder meer de diverse overheidsinstellingen waaronder het Department of Energy en het Department of Defence. **K**

Titel: Enabling Nuclear Innovation - Leading on SMRs, A Report on Small Modular Reactors by the Nuclear Innovation Alliance
 Auteur: **Matt Bowen**, Ph.D., Nuclear Innovation Alliance
 Uitgave: **Nuclear Innovation Alliance**
<https://www.nuclearinnovation-alliance.org/leadingonsmrs>



KIVI-KE NIEUWJAARS- VERGADERING

DATUM: VRIJDAG 19 JANUARI
TIJD: 13:00-17:30 UUR
LOCATIE: KIVI GEBOUW DEN HAAG

Programma:

13:00 ontvangst
13:30 KIVI Kerntechniek ledenvergadering
14:30 koffie
14:45 Abel Streefland
"Werk en leven van Jaap Kistemaker"
15:30 Arjan Bos
"Groei en ontwikkeling bij Urenco"
16:15 Afsluiting en borrel/receptie

U kunt zich aanmelden op de website www.kivi.nl

