

KKERNVISIE MAGAZINE

K NRS SCIENCE
AWARD 2016 NAAR
MAASTRICHT UMC

K SANERING
AFVALOPSLAG
BIJ SELLAFIELD

K GEEN RADIOTHERAPIE
IN OEGANDA

**NRG DOET ONDERZOEK
NAAR INNOVATIEVE
REACTOREN**

COLOFON

KernVisie magazine is een uitgave van:



Stichting **KernVisie**
EEN ENERGIEK INITIATIEF

JAARGANG 11, NUMMER 3, JUNI 2016

KERNVISIE VERSCHIJNT TWEEMAANDELIJKS

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

Prof. Ir. R.W.J. Kouffeld

Ir. G.C. van Uitert

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

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

Sander de Groot - © Hein van den Heuvel

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

NRG ONDERZOEKT ZOUTMENGSELS VOOR GESMOLTEN- ZOUTREACTOREN

Thorium is ruim voorradig, niet proliferatiegevoelig en de thoriumcyclus levert beduidend minder afval op dan die van uranium. Er is inmiddels zoveel over gesproken en geschreven dat je bijna zou denken dat de eerste nieuwe gesmoltenzoutreactor (MSR) volgende jaar aan het net wordt gekoppeld. Bovendien werd een demonstratie-thoriumreactor al in de jaren 50 van de vorige eeuw ontworpen en gebouwd in de VS. Dus wat is het probleem? Wel, we hebben de techniek nog niet volledig onder de knie. Nog even los van de investeringen die nodig zijn om de reactor en zijn brandstof goedgekeurd te krijgen, vormt de corrosie van reactoronderdelen door de aanwezigheid van fluoridezouten een probleem. Daarom gaat NRG in de Hoge Flux Reactor, uniek in de wereld en voor het eerst sinds 50 jaar, onderzoek doen naar de invloed van straling en warmte op de samenstelling en eigenschappen van twee zoutmengsels waaronder het zogenaamde Flibe Salt voor de Liquid Fluoride Thorium Reactor die door Kirk Sorensen is ontwikkeld. Het onderzoek lijkt eenvoudig maar is behoorlijk complex. Daarom werkt NRG nauw samen met het Europese Institute for Transuranium Elements (JRC-ITU) in Karlsruhe, dat de twee zouten levert. We mogen er trots op zijn dat Nederland met het werk van NRG, maar ook met dat van het Reactor Instituut in Delft, zich in het centrum van de internationale aandacht van de gesmoltenzouttechnologie heeft gepositioneerd. Het onderzoek gaat zeker 18 maanden duren en het vooruitzicht op een draaiende MSR is er nog niet, maar we zetten stappen en we gaan vooruit.

André Versteegh
voorzitter Stichting Kernvisie

K INHOUD

ENERGIE

BESTRALING ZOUTEN VOOR GESMOLTENZOUTREACTOREN IN HFR

Primeur voor NRG: De Nederlandse nucleaire dienstverlener onderzoekt het gedrag van zouten voor gesmoltenzoutreactoren. Als je de media beluistert, zou je bijna denken dat de eerste reactor volgende week aan het net wordt gekoppeld. Maar dingen die op papier kloppen moeten nog in de praktijk worden getest.



P09 ENERGIE

Interview met WANO Chief executive officer Peter Prozesky.

P12 INBEELD

Nucleaire technieken worden ingezet om de verzuring van de zeeën tegen te gaan.

P14 MAATSCHAPPIJ

Britse onderzoekers ontwikkelen speciaal cement voor kernafval. Wetenschappers in Groot-Brittannië zijn bezig met de ontwikkeling van een cement dat de gevolgen van straling voor duizenden jaren kan weerstaan.

P18 COLUMN

Aliki van Heek over het einde van Atoomstroom.

MEDISCH

NRS SCIENCE AWARD 2016 NAAR MAASTRICHT

Tijdens de jaarlijkse Longdagen ontvingen prof. dr. Philippe Lambin (MAASTRO clinic), Anne-Marie Dingemans (Maastricht UMC+) en Ralph Leijenaar (MAASTRO clinic) de Science Award 2016 van de Netherlands Respiratory Society (NRS) voor de ontwikkeling van de radiomics-techniek.

P16

MAATSCHAPPIJ

SANERING PILE FUEL CLADDING SILO BIJ SELLAFIELD VAN START

Bij Sellafield wordt op dit moment hard gewerkt aan de sanering en ontmanteling van de Pile Fuel Cladding Silo. De plaatsing van een 40 ton wegend stalen deurportaal tegen een van de zes compartimenten waaruit de Silo bestaat, markeert de eerste grote stap in de uitvoering van de ontmanteling die jaren voorbereiding vergde.



K P23 MEDISCH

GEEN RADIOTHERAPIE MEER IN OEGANDA EN OMRINGENDE LANDEN

Inwoners van Oeganda kunnen niet meer worden behandeld met radiotherapie. Naar verwachting zal het zeker een jaar duren voordat er een nieuw apparaat komt.



© Hein van den Heuvel

**➤ BESTRALING ZOUTEN
VOOR GESMOLTENZOUT-
REACTOREN IN HOGE
FLUX REACTOR**

Gesmoltenzoutreactoren zijn hot. Internationaal zijn er tientallen initiatieven van bedrijven en overheden. Als je de media beluistert, zou je bijna denken dat de eerste reactor volgende week aan het net wordt gekoppeld. De praktijk blijkt echter weerbarstiger. Dingen die op papier kloppen moeten nog in de praktijk worden getest. NRG heeft die primeur. Voor het eerst in 50 jaar gaat NRG onderzoek uitvoeren waarbij het gedrag van zouten onder bestraling wordt getest in de Hoge Flux Reactor.

“ER KOMEN HEEL VEEL TECHNISCHE DISCIPLINES SAMEN IN GESMOLTEN ZOUT, EN DUS OOK BIJ DIT ONDERZOEK. DAAROM WERKEN WE INTENSIEF SAMEN MET HET INSTITUTE FOR TRANSURANIUM ELEMENTS (JRC-ITU) IN KARLSRUHE.”

Er verschijnen boeken over het onderwerp, er zijn symposia, meet-and-greet-bijeenkomsten, tientallen internetsites al dan niet gelieerd aan bedrijven schrijven erover, en ook de media hebben inmiddels in de gaten dat er wat speelt: de herontdekking van de gesmoltenzoutreactor (MSR- Molten Salt Reactor). De meeste van de MSR-initiatieven gebruiken uranium/plutonium, omdat dat beter past bij de bestaande splijfstofcyclus in veel landen, en om de bestaande afvalstromen te gebruiken. In een aantal landen, zoals Nederland, ligt de nadruk meer op gesmolten zout met thorium, omdat daarmee nog grotere voordelen zijn te behalen wat betreft de hoeveelheid afval en het gebruik van een zeer voorradige grondstof.

Intern was er bij NRG al lange tijd interesse in onderzoek naar dit type reactor, vooral wanneer thorium als brandstof wordt gebruikt. Door de steeds toenemende internationale belangstelling en interesse in MSR-techniek heeft NRG in 2014 voorgesteld om MSR binnen het Nederlandse onderzoeksprogramma op te nemen. NRG heeft zich nu in het centrum van aandacht gepositioneerd van de gesmoltenzouttechnologie. “Je ziet in de afgelopen vijf jaar een enorme toename van vooral jonge ondernemers die het energieprobleem serieus nemen en de mogelijkheden van gesmoltenzoutreactoren

willen onderzoeken”, aldus Sander de Groot, productmanager en splijfstofdeskundige bij NRG. Het bedrijf gaat onderzoek doen naar het gebruik van thorium in de gesmoltenzoutreactor. Wat gebeurt er bijvoorbeeld met het zout onder invloed van radioactieve straling en hoge temperaturen in de reactor? Het onderzoek lijkt eenvoudig maar is volgens De Groot behoorlijk complex. “Er komen heel veel technische disciplines samen in gesmolten zout, en dus ook bij dit onderzoek. Daarom werken we intensief samen met het Institute for Transuranium Elements (JRC-ITU) in Karlsruhe.” Het is het JRC-ITU dat de twee zouten levert aan NRG. Maar daarmee houdt de samenwerking niet op. “Na de bestralingen gaat een deel voor onderzoek naar Karlsruhe en een deel blijft hier”. De nu geplande bestralingsonderzoeken heten SALIENT-01 en SALIENT-02. Het betreft daarbij de zoutmengsels ThF₄-LiF (SALIENT-01) en UF₄-BeF₂-LiF (SALIENT-02) dat ook wel Flibe-zout genoemd naar het mengsel dat in de jaren 50 en 60 in de US is gebruikt in gesmolten zout demonstratieractoren. Het is ook voorzien voor de Liquid Fluoride Thorium Reactor (LFTR – uit te spreken als: LIFTER) die door Kirk Sorensen van Flibe Energy is ontwikkeld.

COMPLEX AMALGAAM

Om het experiment mogelijk te maken zijn speciale ‘crucibles’ ontworpen. Dit zijn kleine corrosiebestendige grafieten containertjes van ongeveer 8 centimeter waarin zich enkele kubieke centimeters zout en drie monitorsets bevinden. Er gaan 5 crucibles in een verzamelbuis, waarvan er vier zijn gevuld met zout en één dummy. In de HFR zijn deze crucibles omhuld door 3 buizen. “Per facilititeit geven 24 thermokoppels informatie over de temperatuur die bij SALIENT-01 ongeveer 610 °C en bij SALIENT-02 ongeveer 540 °C zal zijn gedurende de bestraling.” Na verloop van de bestraling zullen de zoutmengsels steeds meer warmte produceren doordat thorium onder invloed van neutronenstraling wordt omgezet in goed splijtbaar uranium. Thorium splijt zelf niet, dus aan het begin is ➤

de hoeveelheid splijtingswarmte beperkt. Met het onderzoek wil NRG zien hoe het zoutmengsel zich gedraagt. "We willen voornamelijk onderzoeken hoe de verschillende splijtingsproducten in het zout ontstaan en zich gedragen." Dat is volgens De Groot ook de reden waarom het onderzoek zeker 18 maanden in beslag gaat nemen. "Het duurt enige tijd voor we splijtbaar uranium uit thorium hebben dat de cyclus in gang houdt en voordat we voldoende splijtingsproducten hebben om goed onderzoek te doen." Maar voor het zover is, moet het onderzoek eerst nog van start gaan en dat zal naar verwachting ergens in de komende maanden gebeuren.

DE HEILIGE GRAAL

Het onderzoek is mogelijk gemaakt door financiële steun van de Nederlandse regering. "Een voorwaarde is wel dat we de resultaten gezamenlijk met JRC-ITU openbaar publiceren. Het is een uniek onderzoek dat nog nergens ter wereld is uitgevoerd en waarvoor veel belangstelling bestaat. We leveren hiermee een substantiële bijdrage aan de ontwikkeling van de MSR." Toch blijft De Groot met beide benen op de grond staan. "Ik ben het eens met het perspectief; de mogelijkheid van een gesmolten zout reactor met Thorium als brandstof, die veilig en betaalbaar energie kan leveren met een inherent veilig systeem; een en ander in combinatie met het voordeel van een kleinere hoeveelheid afval in vergelijking met uraniumreactoren, en een zeer grote voorraad thorium tot onze beschikking. Maar je moet oppassen dat je je niet laat meeslepen door 'wishful thinking' en de belofte van een heilige graal van nucleaire technologie. Er is nog heel wat onderzoek nodig voor we een werkzame reactor hebben." De Groot verwacht de eerste informatie over het experiment de temperatuurgegevens zullen zijn wanneer de bestraling van start gaat. "Die gegevens zeggen alleen iets over het gedrag van het experiment zelf. De echte info komt als de bestraling is afgerond en we het bestraalde zout bij NRG en ITU in de hot cells gaan onderzoeken." **K**



MSR

In een gesmoltenzoutreactor, ook wel MSR (molten salt reactor) genoemd zit de splijtstof opgelost in een vloeibaar fluoridezout (zoals de NRG-experimenten) of chloridezout dat tegelijk dient als koelmiddel. De splijtstof kan uranium, plutonium of thorium zijn afhankelijk van ontwerp en toepassing. Doordat de splijtstoffen die worden gevormd in de nucleaire reacties in oplossing blijven, worden ze met hoge efficiëntie opgebrand. Ook afvalproducten met een lange levensduur blijven in oplossing en blijven bestookt worden met neutronenstraling, waardoor ook deze effectief opbranden. Op die manier kan de hoeveelheid afval worden geminimaliseerd. De MSR is daarmee ook bij uitstek geschikt voor het gebruik van thorium. Thorium is geen brandstof, maar onder invloed van neutronenstraling wordt het omgezet in splijtbaar uranium. Het uranium splijt na het invangen van een neutron in twee stukken, waarbij (veel) energie vrijkomt en twee of drie neutronen. Deze neutronen kunnen weer leiden tot splijting of thorium weer veranderen in uranium, waardoor de reactie doorgaat, zolang er thorium aanwezig is en de productie en consumptie van uranium in evenwicht blijven. Thorium heeft als voordeel dat het zeer ruim voorradig is - er is veel op aarde aanwezig en tot nu toe ongebruikt - en er worden vrijwel geen langlevende afvalproducten geproduceerd.

Een MSR biedt bovendien perspectief op inherente veiligheid omdat het gesmolten zout vrij kan uitzetten als de temperatuur toeneemt. Hierdoor wordt de splijtingsreactie gedempt. Dit kan in een MSR zo worden toegepast dat escalatie van de splijtingsreactie kan worden uitgesloten. Daarnaast is passieve koeling van het systeem mogelijk. In dat geval loopt er een leiding van het primaire circuit naar daaronder gelegen reservoirs, die actief worden gekoeld. De leiding is afgesloten door een prop bevroren zout. Als het zout te heet wordt of de koeling wegvalt, smelt de prop en stroomt het zout de opslagreservoirs in, waarna de splijtingsreactie helemaal stopt. Een ander veiligheidsvoordeel is dat vaste splijtingsproducten goed opgelost blijven, ook bij hoge temperaturen. Dat geldt ook voor bijvoorbeeld jodium en cesium, die in bestaande watergekoelde systemen in een ongevalsituatie makkelijk vrijgezet worden uit gefaalde brandstof, zoals in Fukushima heeft plaatsgevonden.

Menno Jelgersma

OPDRACHT AREVA VOOR DECONTAMINATIE GRAFENRHEINFELD KERNCENTRALE

© Rainer Lippert

De Franse kerncentralebouwer AREVA is door het Duitse E.ON kernkracht geselecteerd om de Grafenrheinfeld kerncentrale te decontamineren. Als onderdeel van de laatste activiteiten van deze centrale zal het stralingsniveau in het reactorvat, de hulpsystemen en het leidingwerk worden verlaagd. Naar verwachting rondt AREVA de werkzaamheden in het laatste kwartaal van dit jaar af.

Voor de ontsmetting zal gebruik worden gemaakt van de combinatie van twee AREVA NP-technieken: de CORD UV® en de AMDA®. De uitvoering is gebaseerd op het in toenemende mate injecteren van chemische producten in het primaire circuit van de reactor. Als het proces gereed is, worden de chemische stoffen ontbonden in kooldioxide en water, waarbij geen bijkomend afval vrijkomt. De werkwijze kan ook worden toegepast bij kerncentrales die in bedrijf zijn om de stralingsdoses gedurende onderhoudsactiviteiten te verlagen en worden gebruikt als voorbereidende actie bij een ontmanteling waarbij de uiteindelijke hoeveelheid radioactief afval aanzienlijk wordt verminderd. "AREVA's decontaminatietechnologie is al bij meer dan dertig nucleaire faciliteiten wereldwijd veilig toegepast bij zowel kokendwater- als hogedrukwaterreactoren. Het nieuwe contract bevestigt het vertrouwen dat onze klanten hebben in onze technologie", zei Michael Cerruti, executive vicepresident Sales voor AREVA's Reactoren en Services Business Group. De hogedrukwaterreactor staat aan de rivier de Main in het noordwesten van de deelstaat Beieren. De kerncentrale heeft stroom geleverd van 1981 tot half 2015 en is uit bedrijf genomen in het kader van de Duitse uifasering van kerncentrales. **K**

PROFESSOR TIM VAN DER HAGEN NIEUWE COLLEGEVOORZITTER TU DELFT

Prof. dr. ir. Tim van der Hagen is sinds 1 mei de nieuwe voorzitter van het College van Bestuur van de TU Delft. De Raad van Toezicht van de TU Delft zocht een kandidaat die in staat is de positie van de TU Delft als internationaal vooraanstaande technische universiteit verder te kunnen versterken. "De Raad van Toezicht is zeer verheugd dat professor Van der Hagen bereid is de positie van collegevoorzitter TU Delft te willen vervullen. Als internationaal georiënteerde wetenschapper en daadkrachtige bestuurder kan hij rekenen op een breed draagvlak en geniet hij groot vertrouwen. Hij heeft brede bestuurlijke ervaring zowel binnen als buiten de universiteit", aldus Jeroen van der Veer, voorzitter van de Raad van Toezicht TU Delft.

Tim van der Hagen promoveerde aan de TU Delft en bleef na zijn promotie verbonden aan het Reactor Instituut Delft, waar hij tussen 2005 en 2012 directeur van was. In 1999 werd hij benoemd tot hoogleraar reactorfysica. Sinds 2010 is hij decaan van de faculteit Technische Natuurwetenschappen. Hij heeft brede bestuurlijke ervaring op het gebied van energie, onder meer als voormalig lid van de Algemene Energieraad en het Topteam Energie en momenteel de Raad van Toezicht van het Energieonderzoek Centrum Nederland. Ook is hij lid van de nationale Adviesraad voor Wetenschap, Technologie en Innovatie (AWTI) en voorzitter van de Raad van Toezicht van Holland PTC, het behandelings- en onderzoekscentrum voor protontherapie. **K**

NIEUW RECORD: PLASMA IN CHINESE FUSIEREACTOR HOUDT 102 SECONDEN STAND

Chinese wetenschappers hebben het gepresteerd om in hun Experimental Advanced Superconducting Tokamak (EAST) waterstofgas te produceren dat drie keer heter is dan de kern van de zon. De temperatuur bedroeg bijna 50 miljoen graden Celsius en het plasma hield maar liefst 102 seconden stand.

Dit is een enorme verbetering van het huidige 'record' dat enkele weken geleden in Duitsland werd behaald toen onderzoekers er voor het eerst in slaagden om plasma van waterstof te creëren in de Wendelstein 7-X stellarator. In de installatie van het Max-Planck-Instituut für Plasmaphysik bereikte het plasma weliswaar een temperatuur van 80 miljoen graden, maar dit bleef slechts een kwart seconde stabiel. Het experiment werd uitgevoerd bij de fusiereactor aan het Institute of Physical Science in Hefei, hoofdstad van de Jiangsu provincie. De prestatie wordt gezien als een grote stap voorwaarts in de richting van een werkende fusiereactor die op termijn een grote bijdrage zou kunnen gaan leveren aan de wereldwijde energievoorziening. Het verschil tussen het Chinese en Duitse experiment zit ook in de verschillende fusiereactor die wordt gebruikt. Het Chinese record is behaald in een tokamak, een reactor met de vorm van een donut. Een tokamak is de meest gebruikte vorm van fusiereactoren en wordt gekenmerkt door een donutvormige ruimte waarin magnetische spoelen het plasma in bedwang houden. De experimentele ITER die in Cadarache in aanbouw is, is ook van het type tokamak. De Wendelstein 7-X is een stellarator. Deze reactor heeft een enorme vacuümkamer, supermagneet en magnetron in één. In de kamer wordt een gloeiend heet plasma gecreëerd en vastgehouden. In beide reactoren wordt met een magnetisch veld voorkomen dat het hete plasma de wanden raakt. In een tokamak wordt dat opgewekt door een grote magneetspoel in het centrum van de ring, die een langzaam stijgend magneetveld veroorzaakt. In de stellarator wordt het veld buiten de kern met een extra set magnetische spoelen opgewekt. Een stellarator werkt ononderbroken, terwijl een tokamak enkel met pulsen, stroomstoten werkt. **K**



Op 4 april was de ondernemingsraad van URENCO Nederland (UNL) gastheer voor OR-afgevaardigden van EPZ, COVRA, ETC (Enrichment Technology) en NRG.

Tijdens het overleg - dat een aantal malen per jaar plaatsvindt - spreken ze over raakvlakken bij zaken die spelen binnen de organisaties. Het uitwisselen van ideeën is zeer zinvol, het is eigenlijk een beetje bij elkaar in de keuken kijken.

GOEDE VERBINDING

Ad Louter, Managing Director van URENCO verzorgde de opening. Hij gaf aan zeer verheugd te zijn met het initiatief van de OR-afgevaardigden om met elkaar in gesprek te gaan. Als voorzitter van Nucleair Nederland ziet hij hier een goede verbinding ontstaan tussen de verschillende gremia.

THEMA

Tijdens elk overleg is er gelegenheid om de eigen punten die spelen of gespeeld hebben binnen de organisaties met elkaar te delen. Ook staat een bepaald thema op de agenda. Het overleg in Almelo stond in het teken van nucleaire veiligheid en privacy. 's Middags stond er een rondgang door de SP5 op de agenda: een echt kijkje in URENCO's keuken om mee af te sluiten. **K**

URENCO Nederland - Foto: © URENCO Nederland

JSC ISOTOPE LEVERT RADIOISOTOPEN AAN BRAZILIË

Rosatoms dochteronderneming Joint Stock Company Isotope (JSC Isotope) is gestart met de levering van jodium-131 aan Brazilië, een isotoop dat wordt gebruikt in de diagnostiek en voor de behandeling van schildklierandoeningen. Hiermee verstevigt JSC Isotope zijn banden met Brazilië nadat het in 2015 startte met de levering van een eerste zending molybdeen-99 voor diagnostische doeleinden. Isotope levert zijn producten aan meer dan honderd bedrijven in dertig landen en meer dan zeshonderd bedrijven in Rusland. Hieronder bevinden zich medische instellingen, industriële fabrikanten en onderzoeksinstituten. **K**



© WANO

WANO ZIET TOENAME IN VRAAG DIENSTEN

“Door het grote aantal nieuwbouwinitiatieven heeft de WANO het vooruitzicht op een aanzienlijke toename in de vraag naar haar diensten van gewone peer reviews tot allerlei soorten technische ondersteuningsmissies.”

Nieuwbouwinitiatieven en post-Fukushima veiligheidszorgen betekenen voor de World Association of Nuclear Operators (WANO) het vooruitzicht op een aanzienlijke toename in de vraag naar haar diensten. Chief executive officer Peter Prozesky sprak met NucNet over het cruciale werk waar de mondiale vereniging van bedrijvers van kerncentrales zich mee geconfronteerd ziet.

NucNet: Uw aanstelling bij WANO werd aan het einde van 2015 aangekondigd, dus u bent tamelijk recent in functie. Wat zijn de belangrijkste taken die op uw bord liggen? Wat zou u graag veranderd zien of verbeterd binnen de organisatie?

Prozesky: Ik ben rondgegaan bij de vier regionale centra van de WANO (Parijs, Atlanta, Moskou en Tokyo) om mijzelf te introduceren bij de WANO-medewerkers en om enkele van de belangrijkste betrokkenen en lokale bestuurders te ontmoeten. Waar mogelijk heb ik ook de vergaderingen van regionale raden van bestuur bijgewoond. De reden hiervoor was dat ik de afgelopen jaren wel vaak de WANO-centra in Parijs en Atlanta heb bezocht, maar weinig ervaring heb opgedaan met de mensen in Moskou en Tokyo. Ik heb geluisterd naar wat de mensen te zeggen hadden om volledig te zijn voorbereid op mijn aanstelling bij de WANO.

We ondervinden enkele problemen, meestal met betrekking tot wetgeving over uitvoer, wat de mogelijkheid beperkt voor experts van sommige van onze leden om naar bepaalde landen te gaan. Het gaat daarbij onder meer over landen die voorkomen dat hun mensen naar landen reizen die het non-proliferatie-verdrag niet hebben ondertekend. Dit betekent dat we niet kunnen garanderen dat we de beste mensen beschikbaar kunnen stellen voor alle technische ondersteuningsmissies of peer reviews. Dit is een gevolg van de Nuclear Suppliers Group (NSC)-richtlijnen, door de IAEA gepubliceerd en bedoeld is om de proliferatie van kernwapentechnologie te beperken. Echter, de manier waarop de regelgeving door sommige landen wordt geïnterpreteerd, beperkt de WANO om zijn nucleaire operationele veiligheidstaken uit te voeren. Dus dat is een van de zaken waar wij aandacht aan zullen besteden.

Nucnet: Uw voorganger, Ken Ellis, vertelde NucNet vorig jaar dat WANO van plan was een meerjarige inspanning aan te gaan om »

haar traditionele bereik van ondersteuning en invloed te vergroten. Onderschrijft u deze strategie ook?

Prozesky: WANO heeft haar multi-year strategic guidance document, ofwel Compass afgelopen jaar gepubliceerd. Hierin staan de vier hoofdgebieden waarvan WANO van mening is dat ze het belangrijkste zijn voor de organisatie en haar leden om in de periode 2015 tot 2019 aan te werken. De details van deze vier focusgebieden waren het resultaat van stevige introspectie door de WANO na de gebeurtenissen bij de Fukushima-Daiichi-kerncentrale in maart 2011. Gedurende het proces van beoordeling onderscheidde WANO twaalf verbeterprojecten en een aantal andere activiteiten waar we nu sinds 2012 aan werken. Ik heb dus niet de intentie, noch is er enige noodzaak om af te wijken van die reeks initiatieven.

In de loop der tijd, zoals het voor elk bedrijf normaal is, zullen wij de plannen opnieuw bezien en aanpassen conform de behoeften en wensen van onze leden.

NucNet: In november 2015 waren twee van de twaalf projecten van de WANO die volgden op het ongeluk bij Fukushima betreffende basisveiligheidsontwerpen en noodmaatregelen, nog steeds niet afgerond. Heeft u enige nieuwe informatie over de status?

Prozesky: Tien van de twaalf projecten zijn gekomen op een punt waarop de WANO ze met een gerust hart kan sluiten. Maar ja, er zijn er nog twee die lopen. Het eerste heeft te maken met de oprichting van een duidelijker omschreven rol om onze leden te ondersteunen bij een nucleaire ongeval op hun sites. De voortgang hier is dat we de protocollen van rolverdeling voor regionale centra en de vestiging in Londen hebben goedgekeurd. We zijn nu bezig om de definitieve overeenkomsten met al onze leden rond te krijgen met betrekking tot hun verplichtingen om elk belangrijke

gebeurtenis op hun locaties direct met ons te communiceren, zodat de WANO kan helpen met de coördinatie van gevraagde ondersteuning en de informatiestroom naar en van onze leden.

Het tweede project dat nog open staat, is erop gericht dat onze vierjaarlijkse peer reviews van alle kerncentrales, wat wij noemen, 'design-informed' zijn. Dit betekent dat WANO met de hulp van de centrale-eigenaar, voldoende inzicht krijgt in de technische ontwerpaspecten en safety cases voor de units die wij gaan inspecteren. Dit helpt ons team om te kijken naar de kwetsbaarste onderdelen van een specifieke centrale. Bijvoorbeeld, wanneer een centrale in een deel van de wereld staat waar de weersomstandigheden heftig zijn (bijvoorbeeld tornado's), kan ons team kijken naar de ontwerpkenmerken en operationele voorzieningen om de centrale zo veel mogelijk tegen dergelijke gebeurtenissen bestand te laten zijn.

NucNet: Hoeveel peer reviews gaat u in 2016 leiden? Staan er ook in Japan één op de agenda?

Prozesky: We hebben een overeenkomst dat alle leden om de vier jaar een peer review krijgen. Het was één van de uitkomsten van het post-Fukushima-overleg. We hebben ook een richtlijn waarin staat dat al onze bedrijfsorganisaties een peer review ondergaan voor eind 2017. Nogmaals, we lopen hiermee geheel op schema. Alle vier onze regio's hebben een verantwoordelijkheid om peer reviews, follow-up reviews, bedrijfs-reviews en pre-start up reviews uit te voeren. Elk van de regio's, inclusief het Tokyo-centrum heeft een plan om te verzekeren dat dit kan worden gedaan. In het geval van Japan willen we 'return to service' reviews gaan doen als onderdeel van de voorbereidingen van leden om units weer online te krijgen die waren gesloten na het ongeluk bij Fukushima.

In een normaal jaar ondernemen we 55 tot 60 peer reviews, gebaseerd op

frequentie van een maal per vier jaar. In de tussenliggende periode, na twee jaar, moet een gelijk aantal follow-up reviews worden uitgevoerd gericht op problemen die tijdens de peer reviews zouden zijn aangemerkt. Wij doen ook ongeveer tien corporate peer reviews en ongeveer tien pre-start-up reviews per jaar. Dit betekent een aanzienlijke toezegging van middelen en personeel van onze leden. Een enkele peer review vraagt gemiddeld om een team van dertig tot vijftig mensen.

NucNet: Zijn er regio's die meer of minder aandacht krijgen in verhouding tot de andere? Zijn sommige van jullie leden actiever bij het organiseren van WANO-beoordelingen dan andere?

Prozesky: Ik denk dat we dat misschien in de periode voor het ongeluk bij Fukushima zagen. Wellicht was de relatie met de WANO niet op het hoogste niveau in alle regio's. Dat was de reden dat we de post-Fukushima-commissie hebben opgericht, die zeer goed werk verrichtte met de onderkenning en het begrip van de zwakheden en mogelijke regionale verschillen. Dus in de nasleep van Fukushima hebben we besloten dat alle leden de vierjaarlijkse beoordeling moeten ondergaan. Dat is nu geregeld en wordt bewaakt. Natuurlijk, wanneer we praten over een organisatie die toezicht houdt op ongeveer vierhonderd kerncentrales, dan is er altijd een mogelijkheid dat er leden zijn die misschien in meer of mindere mate gevoelig zijn voor iemand die binnenkomst en kritisch hun bedrijf beoordeelt. In het algemeen zou ik zeggen dat sommige bedrijfsculturen, nog meer dan hun geografische ligging, een factor lijken achter de verschillen in houding.

NucNet: WANO heeft samengewerkt met andere organisaties zoals de Amerikaanse Institute of Nuclear Power Operations (INPO), het internationaal atoomagentschap IAEA en de Japanse Nuclear Safety Institute (Jansi) om te bepalen welke andere reviews als gelijk

aan de WANO peer reviews kunnen worden gezien. Gaat dit werk door en is er sprake van vooruitgang?

Prozesky: Dat klopt. We kijken naar een beleid van het streven naar gelijkwaardigheid ten opzichte van andere organisaties. Op dit moment is de enige waarmee een gelijkwaardigheid is overeengekomen de INPO in de VS voor corporate peer reviews. We hebben ook naar het proces van de IAEA Osart (Operational Safety Review Team) gekeken en hebben geoordeeld dat die niet volledig gelijkwaardig is. We steunen Jansi in Japan met hun wens om een gelijkwaardig product te ontwikkelen en we bieden waarnemers aan wanneer zij hun reviews in 2016 gaan ondernemen. Er is nog steeds werk dat door hen gedaan moet worden, maar ervan uitgaande dat zij de goede weg inslaan, zal er ergens in de toekomst een moment zijn waarop wij met de gelijkwaardigheid van hun proces akkoord gaan.

NucNet: Eén van de post-Fukushima-aanbevelingen van de WANO was dat jullie een pre-start up peer review zouden instellen bij elke nieuwe kerncentrale voor er sprake is van kritikaliteit van de reactor. Wordt dit gedaan?

Prozesky: In het WANO Compass document gaat één van de vier focusgebieden over de organisatie van pre-startup reviews bij alle nieuwe units wereldwijd. Dit wordt uitgevoerd door de vier regionale centra, maar met toezicht en betrokkenheid van een centraal team in Hong Kong, wat een onderdeel is van het kantoor in Londen. Alle pre-startup reviews vinden volgens plan plaats. Wat we samen met de IAEA hebben gezien, is de noodzaak om bij verschillende onderdelen eerder betrokken te raken dan we bij de WANO pre-startup reviews normaal doen, wat meestal één tot twee maanden is voor de splijtstoflading en op zijn laatst voor de eerste kritikaliteit.

NucNet: Bent u van plan om gedurende uw aanstelling de samenwerking tussen de WANO en de IAEA uit te breiden en te verbeteren?

Prozesky: WANO en de IAEA werken continu samen op een aantal terreinen, in het bijzonder op het gebied van nieuwe toetreders - landen die voor het eerst met nucleair aan de slag willen gaan. We hebben een echt symbiotische relatie in dat opzicht. We zijn in overleg om te voorkomen dat we dubbel werk doen, maar werken samen op het gebied van nieuwkomers. We werken ook samen om te zien hoe we informatie kunnen delen wanneer een kerncentrale een noodplan activeert en bij initiatieven om de veiligheidscultuur onder leden op te bouwen. We hebben de IAEA uitgenodigd om deel te nemen in ons peer review-programma en zij hebben ons daarop uitgenodigd om deel te nemen in hun Osart-programma's. In het algemeen hebben wij een zeer goede relatie met de IAEA en dit zal zo blijven.

NucNet: Nieuwbouw komt langzamer van de grond dan was verwacht, vooral sinds Fukushima. Wat veroorzaakt de grootste zorg bij de WANO over de toekomst van de nucleaire industrie? En zijn er redenen voor optimisme?

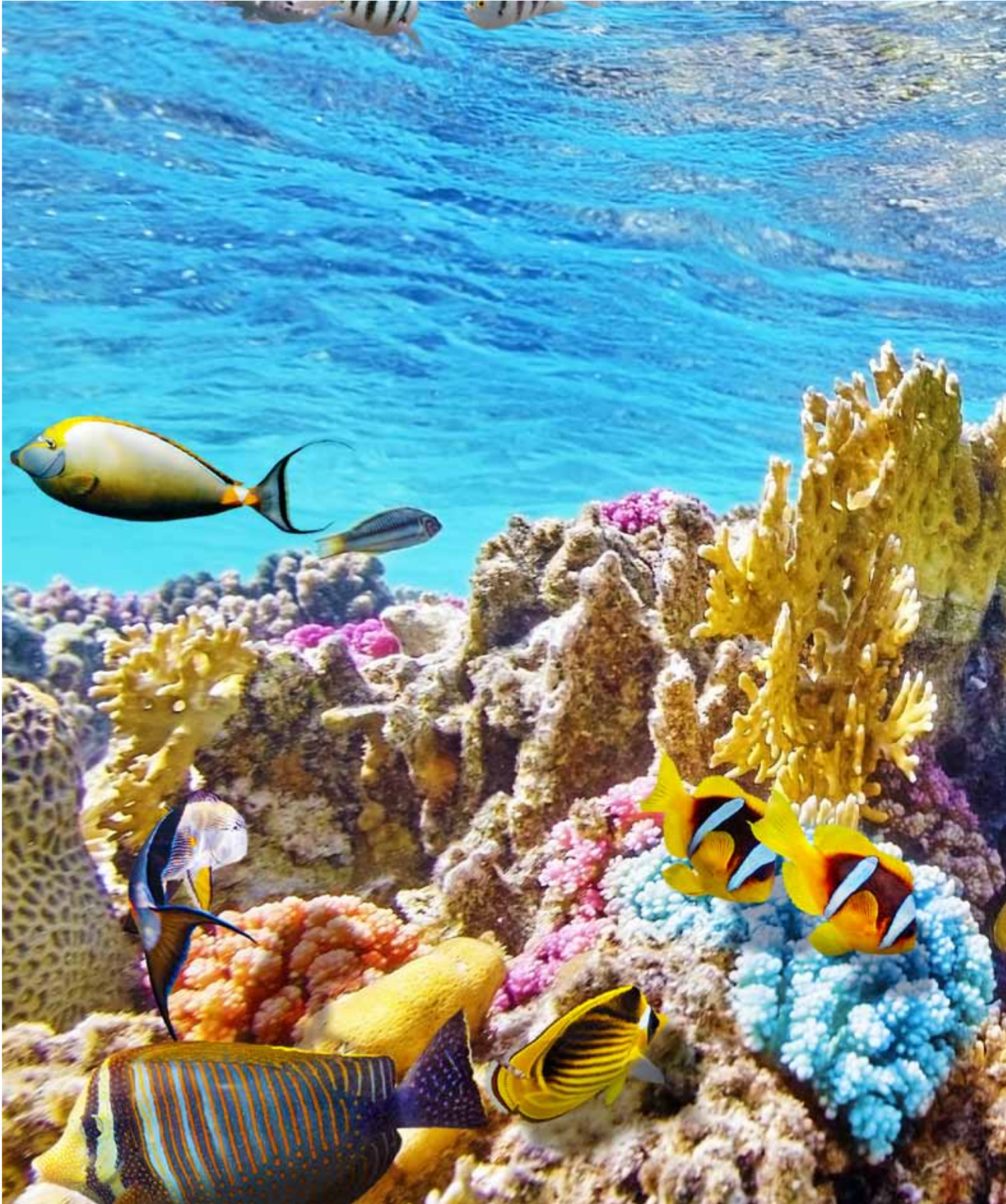
Prozesky: Zoals u weet, heeft de WANO niet de taak om kernenergie te promoten. Als wij een onafhankelijke organisatie willen zijn die toezicht houdt op nucleair, dan kunnen we niet worden gezien als pleitbezorger van kernenergie. De realiteit van de ontwikkeling van kernenergie is zeer duidelijk - er is sprake van sterke ontwikkeling van kernenergie in bepaalde delen van de wereld. In Europa en Noord-Amerika zien we een algemene afname en wellicht krimp van het aantal units dat in bedrijf is. Echter, kernenergie is sterk in opkomst in China, India en Rusland. Veel landen die nieuwe centrales willen bouwen zijn in een vergevorderd stadium van planning, ontwikkeling of ingebruikname,

waaronder de UAE, Jordanië, Egypte, Turkije, Polen, Finland en de Groot-Brittannië. Dit heeft belangrijke gevolgen voor ons. Door het grote aantal nieuwbouwinitiatieven heeft de WANO het vooruitzicht op een aanzienlijk toename in de vraag naar haar diensten, zoals de pre-startup reviews en de gewone peer reviews, follow-up reviews en allerlei soorten technische ondersteuningsmissies. Dit heeft tot gevolg dat we de WANO-structuur mondiaal opnieuw moeten bekijken, met de kans op een tweede Aziatisch centrum, mogelijk is China. Het is nog niet besloten, maar er is duidelijk een vraag in dat deel van de wereld naar de diensten van de WANO. Het is de vraag of het centrum in Tokyo de groei van diensten in India en China kan bijbenen. Dus ik ben helemaal geen pessimist over de toekomst omdat WANO de toenemende vraag niet uit de weg gaat.

NucNet: Ziet u enig gevaar in de snelheid van de nucleaire expansie in China? Er is bezorgdheid onder experts en waarnemers dat China's toezichthoudende en gekwalificeerd personeel niet in hetzelfde tempo meegroeit. Hoe gaat de WANO de personeelsbezetting aankaarten?

Prozesky: Dit is echt een van de grote uitdagingen waar China voor staat. Ze hebben het er over om zes tot acht units per jaar aan te sluiten. Dus de grootste uitdaging voor hen is de groeiende behoefte aan ervaring, niet alleen operators, maar ook ondersteunende diensten zoals toezichthouders en leveranciers. Tijdens mijn gesprekken met onze Chinese collega's bleken zij zich wel bewust van deze uitdagingen. Ze hebben aangeboden om met de WANO samen te werken om een aantal mensen te recrutereren die ze kunnen detacheren bij enkele regionale centra van de WANO voor training en ontwikkeling. Het is ons ideaal om een nieuw centrum in China te ontwikkelen dat echt internationaal zou zijn. Echter, tot nu toe is nog niets daartoe afgerond. **K**

Bron: NucNet - auteur Kamen Kraev



INBEELD

ZURE ZEEËN

Meer dan 3.5 miljard mensen op de wereld zijn afhankelijk van de zee als hun voornaamste bron van voedsel. De komende twintig jaar kan dit aantal verdubbelen tot 7 miljard. Al vanaf het begin van de industriële revolutie absorberen de oceanen één derde van alle door mensen veroorzaakte CO₂-uitstoot. Dit zorgt ervoor dat de oceanen verzuren; CO₂ reageert met de watermoleculen (H₂O) en vormt koolzuur (H₂CO₃).

De verzuring van de oceaan als gevolg van de CO₂-emissie is naast de klimaatverandering één van de grote bedreigingen voor onze planeet. Wanneer de uitstoot in het huidige tempo blijft stijgen, zal de zuurtegraad van de oceanen verhogen tot 170 procent in vergelijking met het pre-industriële niveau. Dit kan verwoestende gevolgen hebben voor de mariene ecosystemen en de mensen die hier afhankelijk van zijn.

Nucleaire en isotopen-technieken worden gebruikt om de gevolgen van de verzuring in kaart te brengen. Deze data geven zowel wetenschappers als beleidsmakers de informatie die nodig is om inzicht te krijgen in het proces en waar mogelijk de schade te beperken of zich aan te passen aan de gevolgen van verzuring de oceanen.



BRITSE ONDERZOEKERS ONTWIKKELEN SPECIAAL CEMENT VOOR KERNAFVAL

Wetenschappers in Groot-Brittannië zijn bezig met de ontwikkeling van een cement dat de gevolgen van straling voor duizenden jaren kan weerstaan. Het project kan van zeer groot belang zijn voor de voorgenomen uitbreiding van de Britse nucleaire industrie en dan vooral voor de eindberging van radioactief afval.

De Britse overheid heeft plannen aangekondigd om in de komende tien jaar verscheidene kerncentrales te bouwen die stroom gaan leveren die voorheen door steenkool-, olie- en gascentrales werd opgewekt. Die worden nu waarschijnlijk uitgefaseerd als onderdeel van de Britse klimaatakkoorden. Maar een verschuiving naar kernenergie zal tot de productie

van meer radioactief afval leiden. Volgens The Guardian zal er tot 2030 ongeveer driehonderdduizend kubieke meter hoog- en middelradioactief afval, inclusief oude splijtstofstaven en bestraalde reactoronderdelen, worden geproduceerd als rekening wordt gehouden met een uitbreiding van de nucleaire capaciteit. Op dit moment worden deze groeiende voorraden

bovengronds opgeslagen in de buurt van de reactoren. Uiteindelijk zal het materiaal in een ondergronds eindberging terecht komen. Maar voor er overeenstemming is over de locatie zullen de planners moeten kunnen verzekeren dat het afval veilig blijft voor minstens 100.000 jaar, de tijd die noodzakelijk is om de radioactiviteit te laten vervallen tot een veilig niveau. Een belangrijk onderdeel van dit initiatief zal de ontwikkeling van cement zijn dat bestand is tegen de hoge niveaus van straling zodat het kan worden toegepast om radioactief afval af te dekken wanneer het in diepe ondergrondse gangen wordt geplaatst.

In Science & Environment van de BBC verklaarde projectleider Claire Corkhill van de Sheffield University onlangs: "Hoe het cement zich in de komende tienduizenden jaren gedraagt, is uiterst moeilijk voor te stellen, maar dat is wat we nu aan het doen



© Diamond Light Source

ijskappen of het verlies van het vermogen van batterijen”, zei professor Trevor Rayment, hoofd van physical sciences bij Diamond. “Door gebruik te maken van ons instrument om heel nauwkeurig veranderingen te meten die plaatsvinden in materialen, kunnen we ontdekken wat het effect is over honderden of duizenden jaren.”

In het geval van het cement dat wordt onderzocht, hebben Corkhill en haar team

in het opnemen van het splijtingsproduct technetium-99. Maar er zijn meer mineralen onderwerp van onderzoek. Onderzoekers van de University of Manchester ontdekten dat hematiet, een ijzeroxidemineeraal, reageert met het radioactieve neptunium door het in de eigen structuur op te nemen. Met behulp van de Diamond Light Source konden wetenschapper op atoomniveau volgen hoe neptunium zich gedroeg en hoe het chemische verbindingen met de minerale



© Diamond Light Source

➤ *Op deze luchtfoto is het gehele complex van Diamond Light Source bij Oxford mooi te zien.*

zijn.” Zij heeft de details over het project onlangs tijdens de jaarlijkse vergadering van de American Association for the Advancement of Science in Washington gepresenteerd. De basis van het onderzoek vindt plaats bij het Britse Diamond Light Source bij Oxford. In deze synchrotron worden elektronen tot bijna de lichtsnelheid versneld. Voor het produceren van synchrotronstraling worden de elektronen met afbuigmagneten en zogenaamde ‘undulators’ en ‘wigglers’ kort van hun baan gebracht waardoor de remstraling ontstaat die wordt gebruikt om de eigenschappen van uiteenlopende type materialen te bestuderen. “Veel van de technologische problemen waar de samenleving mee te maken heeft zijn die in een traag tempo plaatsvinden: smeltende

gekeken hoe het reageert op water over een lange periode. “Die interactie tussen water en cementdeeltjes kan tientallen jaren doorgaan”, voegt Corkhill toe. “We gebruiken Diamond om te kunnen voorspellen wat er met het cement gebeurt over duizend jaar. Niemand heeft dat tot dusver gedaan.” Uit de bevindingen heeft de groep een nieuwe vorm van cement ontwikkeld dat gebruikt kan worden om radioactief afval ondergronds af te dekken. “Het cement kan alle radioactieve elementen vasthouden die op termijn vrijkomen”, voegde Corkhill toe. “Cementsoorten die nu beschikbaar zijn, kunnen dit niet. Ons cement zal daarom de berging van radioactief nog veiliger maken.”

Het beste cement tot nu toe – simpelweg No7 genoemd - bevat hoogovenslak. De sulfiden reageren met water tot sulfaatmineralen die uitzonderlijk goed zijn

➤ *In deze synchrotron worden elektronen tot bijna de lichtsnelheid versneld.*

structuur van hematiet aanging. Dit duidt erop dat neptunium mogelijk voor een zeer lange periode te immobiliseren is. De publicatie van het team dat in de Environmental Science & Technology Journal werd gepubliceerd maakt deel uit van een groot onderzoeksvoorstel gefinancierd door de Natural Environment Research Council die kijkt naar geologische eindberging van radioactief afval. No 7 lijkt tot nu toe veel beter te presteren dan het huidige cement dat als afsluiting van het afval dient: Nirex Reference Vault Backfill. Maar daarmee is het onderzoek nog lang niet afgelopen. Nieuwe cementmixen worden op dit moment onderzocht die mogelijk nog betere oplossingen kunnen bieden. **K**

Menno Jelgersma



✈ Prof. dr. Philippe Lambin (MAASTRO clinic)

NRS SCIENCE AWARD 2016 NAAR MAASTRICHT

Tijdens de jaarlijkse Longdagen ontvingen prof. dr. Philippe Lambin (MAASTRO clinic), Anne-Marie Dingemans (Maastricht UMC+) en Ralph Leijenaar (MAASTRO clinic) de Science Award 2016 van de Netherlands Respiratory Society (NRS). De Maastrichtse wetenschappers ontvingen de prijs voor de ontwikkeling van een nieuwe en innovatieve techniek om onder andere longtumoren te kunnen karakteriseren. Met deze zogeheten radiomics-techniek kan het ziekteverloop van kankerpatiënten worden voorspeld met behulp van medische beeldvorming.

Radiomics is onder meer ontwikkeld op basis van onderzoek naar 440 tumoreigenschappen die zijn verkregen via meer dan 1.000 CT-scans van longkanker- en hoofd/halskanker patiënten. Dat houdt in dat eigenschappen van een tumor met behulp van een computerprogramma worden uitgedrukt in getallen, waardoor een soort blauwdruk van de specifieke tumor ontstaat. De verkregen data geven informatie over de afzonderlijke tumoren waarmee onder andere het verloop van de kanker kan worden voorspeld en de meest optimale behandeling per individuele patiënt worden gekozen en ingezet. Voor het verkrijgen van de data wordt gebruik gemaakt van standaard visualisatietechnieken die in ieder ziekenhuis aanwezig zijn. De wetenschappers publiceerden de resultaten van hun onderzoek onder andere in het prestigieuze wetenschappelijk tijdschrift Nature Communications. De NRS reikt de Science Award iedere twee jaar uit om buitengewone prestaties voor interdisciplinair onderzoek op het gebied van longziekten te onderscheiden. De Maastrichtse wetenschappers namen de prijs en de bijbehorende cheque ter waarde van 10.000 euro in ontvangst tijdens de Longdagen die dit jaar plaatvonden in Ermelo. Meer informatie over radiomics is te vinden op: www.radiomics.org

ADVANCED GRANT

Naast de Science Award heeft Lambin ook een prestigieuze Advanced Grant van de European Research Council (ERC) ontvangen in april. Met deze Europese subsidie van ongeveer 2,5 miljoen euro gaat Lambin met zijn team onderzoek doen naar een innovatieve behandelmethodede voor patiënten met uitgezaaide longkanker. De nieuwe behandelwijze is gebaseerd op een combinatie van immuuntherapie, radiotherapie en een innovatief medicament. Met name patiënten die lijden aan complexe vormen van uitgezaaide longkanker zouden baat kunnen hebben bij de nieuwe ontwikkeling. **K**

Bron: www.mumc.nl



DE POORT- WACHTER

Geboorteplaats Borssele staat er op mijn paspoort, 17 Mei/May 1945. Als klein kind nam mijn opa mij wekelijks mee naar 'de kaloot', een lokaal drie kilometer lang zandstrand. We aten in Zeeland elke vrijdag van de zee. Zeesla, krukels en mosselen voor bij de aardappelen, voor de kippen waren er schelpen. Met een groot knipmes opende opa dan de rauwe mosselen die door mij slurpend naar binnen werden gewerkt.

De komst van een kerncentrale was geen issue, integendeel. Het betekende werkgelegenheid voor mijn deels armlastige ooms die de functie van portier maar wat graag omarmden. Hun inkomen bestond tot die tijd uit de oogst van hoogstamfruitbomen zoals de 'Cox's Orange Pippin' en de 'Doyenné du Comice'. Heerlijk om te eten maar het bracht weinig op en zo'n vast inkomen op de centrale was een droom. Veiligheid was geen punt, inkomen wel.

Recent kwam het onderwerp veiligheid weer eens aan de orde bij een uitzending van NASA. Na Apollo 1, de Challenger en Columbia werd de kans dat een missie en zijn bemanning verloren zou gaan berekend op 1:75. Maar in 36 jaar tijd waren er drie incidenten, één in elke twaalf jaar. Na Windscale, Three Miles Island, Tsjernobyl, Tokai-Mura en Fukushima wordt de lijst van kernongevallen ook steeds langer. Vijf majeure incidenten in 54 jaar tijd, de kansberekening benadert die van de NASA.

Tussen 1976 en 2002 werkte ik bij KEMA in Arnhem. Als team werd er voor GKN Dodewaard en KCB Borssele dag en nacht geploeterd om de beide eenheden veilig aan het net te houden. Vasthoudend en optimistisch want het geloof in de techniek was zeer sterk. Maar de stille twijfel sloeg toe toen na Tsjernobyl de aangezogen ventilatielucht bij de centrales ineens meetbare hoeveelheden jodium-131 en cesium-137 bevatte. Die twijfel en zorg zijn sindsdien gebleven en Fukushima bevestigt die zorg.

Toch kan ik de nucleaire technologie niet vergeten en dat komt door de poortwachter. Eind vorig jaar werd een kwaadaardig en agressief melanoom vastgesteld in mijn rechter bovenarm. De dermatoloog heeft het diep uitgesneden maar een aanvullende chirurgische ingreep was noodzakelijk. Zo'n kwaadaardige tumor kan uitzaaien via de lymfeklieren naar de poortwachtersklier. Zowel met nucleaire injecties als via kleurstof-injecties kunnen de kliertjes vanuit de wond worden opgespoord. En na chirurgische verwijdering onderzocht door een patholoog.

Het resultaat was goed en met tranen in de ogen hoorde ik de toelichting van de oncoloog aan. Zeer goede prognose, geen uitzaaiingen en microscopisch volledig schone preparaten. De poortwachter, dacht ik in een flits waarbij mijn oom in beeld kwam als bewaker van de centrale. Niet dat hij er iets aan kon doen, natuurlijk. Hij regelde de toegang en droeg slechts een minuscuul stukje bij dat Borssele kon functioneren. Maar op een of andere manier moeten we toch de nucleaire technologie wel hooghouden. Of het nu in Delft, Petten of in Borssele is. **K**

J. van Liere

Co van Liere

Co van Liere studeerde metaalkunde aan de TU Delft en promoveerde in 1976 in de technische wetenschap. Hij werkte als divisiehoofd bij KEMA en later als R&D-manager voor de elektriciteitsbedrijven. Zijn toekomstvisie werd uiteindelijk bepaald door de wijze waarop we energie gebruiken of misbruiken. Een nieuwe geïntegreerde energiestructuur in combinatie met exergetisch efficiëntere energiediensten opende voor hem de weg naar een duurzamere samenleving. In samenwerking met Arnold Heertje publiceerde hij het boek Van Megawatt naar Ecowatt. Later verschenen gedurende 3 jaar columns in het Rotterdamse haventijdschrift Europoort-Kringen, door InnovatieNetwerk gepubliceerd onder de titel 'Oemoemenoe'.



K DE URENCO HIGH TECH ONTDEKKINGSROUTE TWENTE

Stuiterballen maken, een demonstratie van de automatische kraan en heftrucks, achter het stuur van een echte racewagen zitten, PH-waarde meten, ontdekken wat stabiele isotopen zijn en de Nucleair Nederland kennisquiz.



Op zaterdag 28 mei konden kinderen en hun ouders binnen kijken bij URENCO Nederland tijdens de High Tech Ontdekkingsroute Twente. URENCO deed voor de derde keer op rij mee en ontving dit jaar een recordaantal bezoekers. Kwamen er in 2015 al 350 mensen door de poort, dit jaar waren het er 605. "Het is een prachtige manier om de kinderen en ouders naar ons toe te halen en ze welkom te heten in onze wereld. Wij hopen hiermee de interesse in techniek bij kinderen en ouders te stimuleren. En natuurlijk willen we ook laten zien dat URENCO een prachtig bedrijf is met aandacht voor veiligheid en haar omgeving", aldus Malou Geerdink, communicatiemedewerker bij URENCO. De High Tech Ontdekkingsroute is een landelijk evenement en onderdeel van de Dutch Technology Week. **K**

COLUMN



VAARWEL ATOOM- STROOM

Onlangs kreeg ik het treurige bericht dat mijn energieleverancier Atoomstroom ermee stopt. Zeven jaar lang heb ik mogen genieten van elektriciteit gegarandeerd voor honderd procent afkomstig uit kerncentrales. De jaren 00 van deze eeuw

was de tijd van de opkomst van de energiemakelaars, die niet hun eigen geproduceerde stroom verkochten maar vraag en aanbod bij elkaar brachten. Meestal zaten die in de 'groene stroom' hoek, maar ook was iemand creatief en ging juist 'zuivere kernenergie' verkopen. In mijn straatje dus, en ook nog met een zeer scherp aanbod. Ik heb later nog iemand van Nuon aan de deur gehad met de vraag of ik niet terug wilde komen, maar toen hij hoorde wie mijn nieuwe leverancier was betrok zijn gezicht, dáár kon hij niet tegenop. Wat de klandizie betreft zat het eerst wel goed, maar na Fukushima liepen er zo veel klanten weg dat het niet meer ging. Ze bieden nu de klanten die gebleven zijn tegen hetzelfde tarief over te stappen naar hun andere bedrijf Budget Energie. We krijgen dan groene stroom in plaats van kernstroom. Dat kan natuurlijk alleen tegen hetzelfde tarief zolang de subsidies blijven bestaan, dus dat moet ik in de gaten houden. Wanneer kan Atoomstroom weer? Kijk even naar het verleden: tussen Tsjernobyl en de opkomst van de initiatieven voor een nieuwe Nederlandse kerncentrale zat ongeveer twintig jaar. Hierbij zat ook de start van Atoomstroom. Dat wordt dan dus nog vijftien jaar wachten.

Echter de klimaatproblematiek begint nu wel te dringen en er is nog geen andere werkende, betaalbare, CO₂-arme, grootschalige, niet-intermitterende energiebron gevonden. En in de praktijk is het aantal landen dat kernenergie wegens Fukushima afschaft toch beperkt gebleven, en het aantal nieuwe landen dat ermee begint veel groter, niet in de laatste plaats om de beloofde bijdrage aan CO₂-reductie waar te kunnen maken. Wie weet kan ik me dan toch alweer over een paar jaar aanmelden bij Atoomstroom 2.0. **K**

Aliki van Heek



➤ SANERING PILE FUEL CLADDING SILO BIJ SELLAFIELD VAN START

Op Sellafield, het grootste nucleaire complex van Europa aan de noordwestkust van Engeland, wordt op dit moment hard gewerkt aan de sanering en ontmanteling van de Pile Fuel Cladding Silo. De plaatsing van een 40 ton wegend stalen deurportaal tegen een van de zes compartimenten waaruit de Silo bestaat, markeert de eerste grote stap in de uitvoering van de ontmanteling die jaren voorbereiding vergde. In 2020 zal het eerste deel van de 3.400 kubieke meter aan middelactief afval voor tijdelijke opslag in containers worden opgeslagen tot de locatie voor definitieve eindberging bekend is.

Sellafield is het grootste nucleaire complex van Europa. Met een oppervlakte van ongeveer 6 vierkante kilometer en ruim 1.000 nucleaire faciliteiten biedt het werk aan meer dan 10.000 mensen. De locatie speelde een cruciale rol tijdens de tweede wereldoorlog met de productie van explosieven. Maar Sellafield staat ook aan de basis van de Britse nucleaire industrie. Na de oorlog

werden hier aan de noordwestkust van Engeland materialen geproduceerd voor kernwapens. Sellafield is nu vooral bekend vanwege de opwerkingsfabriek die sinds 1 april 2005 eigendom is van de Nuclear Decommissioning Authority (NDA) en wordt beheerd door Sellafield Ltd., onderdeel van de BNFL Group. In de loop der tijd is op het terrein een aantal kernreactoren gesloten waaronder de energiecentrale Calder Hall.

AFVAL ERIN GEKIEPERD

Op dit moment is één van Sellafields meest problematische gebouwen, de Pile Fuel Cladding Silo, een stap dichterbij sanering gekomen. De 21 meter hoge Silo, die dateert uit de jaren '40 van de vorige eeuw, is één van de moeilijkste opdrachten in het nationale nucleaire opschoonprogramma van de Nuclear Decommissioning Authority's (NDA). Het gebouw bestaat uit zes verticale componenten waarin middelactief kernafval tijdens de allereerste dagen van Sellafield gewoon van bovenaf in het gebouw werd gekieperd, toen de taak van de locatie nog de productie van materiaal was om wapens te maken. Senior Communications Manager Matt Legg: "Het afval werd erin gegoten zoals je ook vloeistof in een glas giet." Volgens hem voorzag het ontwerp van het gebouw niet in een mogelijkheid om het afval er weer uit te halen. "Toen het gebouw werd gemaakt, ging men ervan uit dat het een eindberging voor het afval was. Maar we weten nu dat het materiaal niet voor onbepaalde tijd in de Silo kan blijven en dat het er weer uit moet om met behulp van moderne methodes op te ruimen." ➤



MEER DAN HUIS-TUIN-EN-KEUKEN GEREEDSCHAPSKIST

Blijkbaar werd destijds niet nagedacht over hoe toekomstige generaties het afval er weer uit zouden moeten halen als het gebouw klaar voor de sloop zou zijn. Dat punt komt nu snel naderbij. Daarom hebben ontmantelingsexperts van Sellafield Ltd een manier ontworpen om het materiaal veilig uit het gebouw te halen dat eigenlijk meer weg heeft van een gesloten kluis. "Om het materiaal te kunnen verwijderen maken we gaten in de zijden van de compartimenten om met behulp van machines het afval uit de ruimtes te 'scheppen' en in containers te plaatsen." Om de gaten veilig in de muren van de compartimenten te maken, wordt nu eerst voor elk compartiment een massieve 40 ton wegende, 9 meter breed stalen deurportaal geplaatst. Hierin worden deuren gehangen, waarachter de openingen zullen worden gemaakt. Gary Snow, hoofd van Silo Decommissioning Programme for Sellafield Ltd: "Het afhangen van een deur klinkt als een simpele klus die je zelf zou kunnen uitvoeren. Maar wanneer die deur aan een nucleaire bergingsfaciliteit wordt gehangen, heb je meer nodig dan een huistuin-en-keuken gereedschapskist. Het heeft jaren van planning, testen en gespecialiseerde engineering gevergd om dit essentiële onderdeel van de 'terugwinopdracht' te

ontwerpen, te bouwen en te positioneren." Een groot deel van het afval is al in de afgelopen twintig jaar vanuit de bovenzijde verwijderd. Maar er is volgens Legg nog steeds zo'n 3.400 kubieke meter afval aanwezig, "Het equivalent van 30 dubbeldekkerbussen", dat voor sanering in aanmerking komt. Legg: "Wanneer we het afval eruit hebben, gaat het in containers naar een modern opslaggebouw hier bij Sellafield. Uiteindelijk gaat het naar de Britse ondergrondse eindberging als die faciliteit beschikbaar komt." Het gaat daarbij volgens hem voornamelijk om de behuizing van brandstofstaven en gebruikte vaten. Al het afval is als middelactief geclassificeerd.

SILO EERST IN GOEDE STAAT

De veiligheid van mensen en milieu is de grootste prioriteit bij de ontmanteling van de Silo. De installatie van de deuren is slechts een van de vele veiligheidskenmerken van het ontwerp van het afvalterugwinproces. Legg: "We hebben ook een programma afgerond om het gebouw in een zodanig goede staat te krijgen dat het de ontmanteling veilig kan doorstaan." Wanneer het gebouw leeg en schoon is, wordt het met de grond gelijk gemaakt. Wat betreft verwachte data van oplevering legt Legg uit dat het programma op dit moment de laatste hand legt aan een herzien werkschema en kostenberekening

➤ *Luchtfoto van het Sellafield, het grootste nucleaire complex van Europaw*

met de Britse overheid. "We verwachten de eerste deur aan de zijde van de Silo in november te plaatsen. Alle zes deuren zouden in april 2017 geplaatst moeten zijn. Begin 2018 zijn we van plan om de gaten in de Silo te maken en ze met de deuren af te sluiten. Gedurende de komende vier jaar zal in toenemende mate materieel en apparatuur om het afval te verwijderen worden geïnstalleerd zodat we kunnen starten met het terughalen van het afval uit het eerste compartiment in 2020."

Pete Lutwyche, Sellafields programmadirecteur van de NDA over de plaatsing van het eerste portaal: "Dit markeert een grote stap voorwaarts in één van de belangrijkste nucleaire saneringen in Groot-Brittannië. De moeilijkheid om een dergelijk groot stuk staal op één van de meest volgebouwde nucleaire locaties ter wereld in te hijsen kan niet worden onderschat. Deze mijlpaal is wederom een teken dat wij daadwerkelijk vooruit gaan met het wegrijden van gevaarlijke stoffen afkomstig van de Britse vroege nucleaire industrie en het op die manier veiliger maken van Groot-Brittannië." **K**

Menno Jelgersma



ON EARTHQUAKES AND TSUNAMIS, AND THE HISTORY OF TRYING TO MANAGE THIS

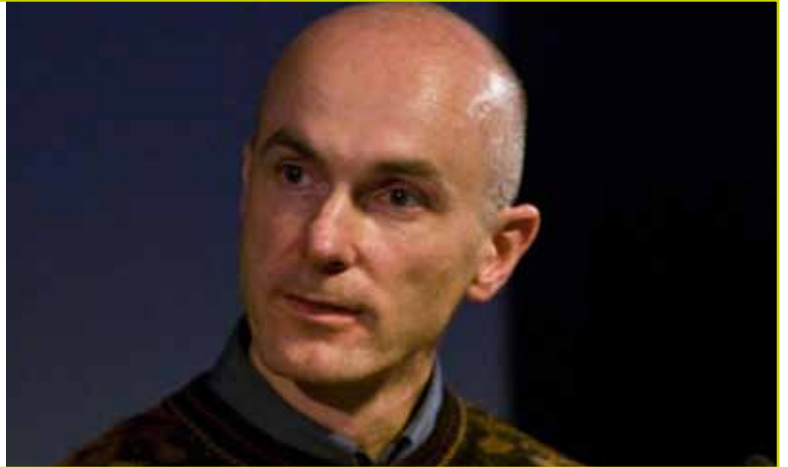
Professor Neil Chapman gaf een boeiende presentatie over het gedrag van de aardkorst vanuit geologisch perspectief. De ondertitel van de presentatie 'On earthquakes and tsunamis, and the history of trying to manage this' kwam in de presentatie goed uit de verf. Als geoloog is Chapman gewend aan tijdsbestekken van honderdduizenden tot tientallen miljoenen jaren. Hij is dan ook bij uitstek prima toegerust om zijn toehoorders in te wijden in de dynamica van de aardkorst: ijsstijden, vulkanen, aardbevingen en tsunami's, allemaal normale en gedurende het bestaan van de aarde veel voorgekomen verschijnselen. Dus iets om mee rekening te houden bij nucleaire installaties. Waar bij veel nucleaire installaties rekening wordt gehouden met pakweg 100 jaar kijkt men voor eindberging van hoogradioactief materiaal naar de veiligheid tot wel een miljoen jaar. Veel van Chapmans werk heeft betrekking op de eindberging van radioactief afval. Als programmadirecteur van de Zwitserse Arius Association promoot hij internationale, regionale eindbergingsoplossingen. In zijn presentatie komen de gebeurtenissen in Fukushima op indrukwekkende wijze aan bod, gevolgd door informatie over bestaande en geplande kerncentrales op een wereldkaart waar de seismische activiteit is aangegeven. Ook opvallend:

veel landen met plannen voor kernenergie liggen in de meest seismisch actieve gebieden! Geologische kennis wordt steeds meer betrokken in het beoordelen van potentiële én bestaande vestigingsplaatsen voor nucleaire installaties. Met voorbeelden als Bodega Head in Californië, waar de kans op een zware aardbeving reden was de bouw van een kerncentrale te stoppen, en Diablo Canyon, eveneens in California, waar het risico als gevolg van aardbevingen hebben geleid tot de moderne aardbevingsanalysemethoden, geeft Chapman een goed beeld van de risico's en ontwikkelingen in aardbevingsrisicoanalyses. Opvallend: de Japanse benadering voor de bepaling van aardbevings- en tsunamigevaren was deterministisch en ging voorbij aan ervaringsgegevens waaruit kans en grootte kon worden gehaald! Na Fukushima wordt wereldwijd hernieuwde aandacht besteed aan aardbevingsrisico's van nucleaire installatie, waarbij zowel het gevaar (kans en grootte) als de bestendigheid van de installatie opnieuw worden beoordeeld. De probabilistic seismic hazard analysis (waarschijnlijkheid van diverse aardbevingssterktes), de probabilistic fault displacement hazard analysis (waarschijnlijkheid van een beving in de nabijheid en de mogelijke gevolgen voor breuklijnen onder of vlak bij een installatie), en een fragility assessment (beoordeling bestendigheid van de installatie en daarmee het risico op fatale schade en

de gevolgen). Zeer interessant was ook het kijkje in de ouderdomsbepaling van aardlagen en aardverschuivingen, nodig om uitspraken te kunnen doen over de kans van optreden van een aardbevingen van een bepaalde kracht. En passant kwamen ook tsunami's in de Noordzee aan de orde. Er zijn bewijzen van zware aardbevingen en tsunami's die daar duizenden jaren geleden hebben plaatsgevonden, verklaarbaar uit het relatief snel smelten van de ijskap uit de laatste grote ijstijd. De snelle afname van dat gewicht had grote gevolgen voor de aardkorst in die omgeving en speelt heden ten dage nog steeds een belangrijke rol. Zeker voor de termijnen waaraan eisen worden gesteld aan de veiligheid van eindbergingen. Ook de risico's van vulkaanuitbarstingen komen aan bod, zowel voor een kerncentrale als voor een eindberging. De presentatie nodigde uit tot interactie met de toehoorders, met veel vragen aan en antwoorden van Chapman. Hij eindigt met prikkelende conclusies als: "Veel installaties en een groot deel van de wereldbevolking zijn blootgesteld aan natuurgeweld en dat neemt toe met de bevolkingsgroei en haar behoefte aan energie", "Plaatsing en bouw van nucleaire installaties tegen stringente internationale veiligheidsregels tegen natuurgeweld hebben tot meer dan 13.000 veilige bedrijfsjaren geleid" en "Hoe deze veiligheidsregels worden gebruikt, aangepast en er op wordt toegezien is een zaak van nationale cultuur en praktijk: Fukushima heeft ons geleerd wat er mis kan gaan als dat onjuist wordt gedaan". Met de conclusie "Wij moeten nederig zijn in het aangezicht van de natuur!" wordt onder applaus van de aanwezigen de presentatie afgesloten om onder het genot van een hapje en een drankje nog wat na te praten en een geslaagde avond te beëindigen. **K**

Jan van Cappelle

IM MEMORIAM: **PROFESSOR SIR DAVID MACKAY**



Op 14 april overleed professor Sir David MacKay. Hij was als natuurkundige verbonden aan de Cambridge University en zette zijn kennis op het gebied van wis- en natuurkunde in bij het debat over duurzame energie. Zijn boek, *Sustainable Energy – Without the Hot Air* (2009) is een zeer toegankelijke uitgave waarin hij een beeld schetst hoeveel energie wij in ons dagelijks leven consumeren, welke aanpassingen het verbruik aanzienlijk zouden kunnen verlagen en welke technologieën echt een verschil zouden maken.

In een interview met de *The Guardian* verklaarde MacKay dat hij had besloten het boek te schrijven omdat hij de 'vergroening' van het energie- en klimaatdebat zat was. "Ik was moe van het debat, het extremisme, het nimbyisme, de irritatie. We moeten een constructieve conversatie voeren over het klimaat, geen poppenkast. Ik wilde een boek schrijven over onze energieopties op een neutrale en benaderbare manier." MacKay's boek is vrij op internet verkrijgbaar en was ook in gedrukte vorm een groot succes. Binnen twee jaar had hij al 40.000 exemplaren verkocht en was de pdf al zo'n 400.000 keer gedownload. De kracht van zijn boek ligt in het eenvoudige gebruik van natuurkundige grootheden. Alle vormen van energiegebruik en -productie worden weergegeven in kilowatt-uur per dag (kWh/d). Een 40 Watt lamp die altijd brandt verbruikt één kWh/d terwijl een auto die 50 km per dag rijdt 40 kWh/d verbruikt. Op deze manier kon MacKay relativering in het bewustzijn over energiegebruik aanbrengen. Hoe belangrijk is het om de oplader van je mobiele telefoon uit te zetten? "De hoeveelheid energie die je bespaart door je telefoonoplader af te zetten, is dezelfde als het rijden met een gemiddelde auto gedurende één seconde", aldus MacKay. De 'groene gebaren' zoals hij het noemde zijn net zo effectief als het leeglepelen van de Titanic met een theelepeltje.

Puur op basis van natuurkundige wetten en reële dan wel acceptabele invulling van duurzame oplossingen (wind, zon en biomassa) op land en zee kwam MacKay tot de conclusie dat het huidige energiegebruik nooit door renewables alleen konden worden ingevuld. "Ik hou van renewables, maar ik kan ook rekenen." Zo rekende hij zijn lezers ook voor dat wanneer je ervan uitgaat dat elektriciteit verantwoordelijk is voor een vijfde van de totale emissies, bij inzet van tachtig procent renewables de CO2-emissies slechts met 16 procent omlaag gaan. De meeste emissies komen namelijk van transport, verwarming en voedselproductie. Gebruik van hybride auto's en kleine particuliere windmolens zijn 'greenwash'. Minder vliegvakanties en de thermostaat lager draaien, zetten wel zoden aan de dijk.

In juli 2015 werd bij MacKay maagkanker geconstateerd. Op 10 april, enkele dagen voor zijn overlijden, bedankte hij voor de goede zorg die hij in het ziekenhuis had gekregen, maar verzuchtte wel: "Waarom, oh waarom heeft het ziekenhuis niet eens de schijn van een intelligente klimaatbeheersing?" David MacKay werd in 2009 Fellow van de Royal Society en begin dit jaar geridderd. Hij laat zijn vrouw, zoon en dochter achter. **K**

<https://www.withouthotair.com/>



© Jake Lyell / Alamy

BRACHYTHERAPIE

Het betreffende apparaat wordt gebruikt voor radiotherapie, waarmee tumoren in het lichaam uitwendig worden bestraald. Onlangs is in hetzelfde ziekenhuis in Kampala een apparaat in werking gesteld voor brachytherapie, bevestigt een woordvoerder van Elekta, een Zweeds bedrijf in medische apparatuur. Daarmee worden tumoren inwendig bestraald. Het nieuwe apparaat voor brachytherapie is dus geen vervanging voor het kapotte dat begin volgend jaar wordt vervangen volgens Oryem. Wat de situatie nog erger maakt is dat in Oeganda meer dan 80 procent van de kankergevallen laat worden ontdekt, vaak pas in stadium 3 of 4. Tegen die tijd is radiotherapie van levensbelang.

IAEA PACT

De republiek Oeganda ligt in Oost-Afrika. Het land is bijna zes keer zo groot als Nederland en telt bijna 40 miljoen inwoners. Jaarlijks sterven er meer dan 7,6 miljoen mensen aan kanker, het merendeel daarvan woont in ontwikkelingslanden. Volgens het Internationaal Atoomagentschap IAEA komt dit door gebrekkige of ontbrekende infrastructuur voor de diagnose en behandeling van kanker en een tekort aan getraind personeel. Het agentschap waarschuwt dat in ontwikkelingslanden de kanker bij 70 procent van de patiënten te laat wordt ontdekt en dat wanneer er niets wordt gedaan de komende tien jaar 84 miljoen mensen in de arme landen zullen sterven aan kanker. In 2004 heeft de IAEA daarom het Programme of Action for Cancer Therapy (PACT) opgezet. Samen met de World Health Organization en de International Agency for Research on Cancer (IARC) ondersteunen ze ontwikkelingslanden bij het opzetten en uitrollen van nationale programma's voor kankerdiagnose en -behandeling. **K**

GEEN RADIOTHERAPIE MEER IN OEGANDA EN OMRINGENDE LANDEN

Inwoners van Oeganda kunnen niet meer behandeld worden met radiotherapie. Het enige apparaat dat in heel Oeganda te vinden was, is kapot en kan niet meer worden gerepareerd. Naar verwachting zal het zeker een jaar duren voordat er een nieuw apparaat komt.

Het apparaat met een kobalt-60 bron was in 1995 gedoneerd aan het hoofdstedelijke Mulago ziekenhuis. Het ziekenhuis krijgt jaarlijks 44.000 doorverwezen patiënten uit Oeganda en de omliggende landen Rwanda, Burundi en Zuid-Soedan. Ongeveer 75 procent van deze patiënten heeft radiotherapie nodig, maar het apparaat is niet meer te repareren. "Het ziekenhuis is bezig met een grootscheepse vernieuwing van de gebouwen en komt pas daarna toe aan

een nieuwe machine", aldus woordvoerder Christine Namulindwa in een interview met de BBC. Voor de nieuwe machine is een speciale bunker nodig. "Dit is een hele, hele zware tijd die een grote impact heeft op onze patiënten." Dr. Jackson Oryem, directeur van het Oegandees kankerinstituut UCI, laat weten dat volgend jaar een nieuw radiotherapie apparaat wordt geplaatst. Tot die tijd moeten patiënten voor radiotherapie uitwijken naar Nairobi in Kenia.



SAVE THE DATE:
16 SEPTEMBER

K SYMPOSIUM LONG TERM OPERATIONS OF NUCLEAR REACTORS

KIVI-KE en NNS organiseren op 16 september een middagsymposium Long Term Operations of Nuclear Reactors in het KIVI-gebouw in Den Haag.

Ontwikkelingen in regelgeving en stand der techniek, nieuwe inzichten naar aanleiding van incidenten en meer hebben gevolgen voor het in bedrijf houden van onderzoeks- en vermogensreactoren. In dit symposium presenteren nationale en internationale deskundigen vanuit verschillende perspectieven regelgeving en praktijk op gebieden als verouderingsbeheersing, periodieke veiligheidsevaluaties en maatschappelijke ontwikkelingen die relevant zijn voor het in bedrijf houden van kernreactoren. Enkele presentaties zullen in de Engelse taal worden gegeven.

DATUM: 16 SEPTEMBER

LOCATIE: KIVI-GEBOUW, PRINSESSEGRACHT 23 - DEN HAAG

TIJD: 13:00 – 18:00 UUR



De Stichting KernVisie streeft naar het vergroten van het draagvlak voor kerntechnologie en al haar toepassingen. Haar communicatiemiddelen zijn het tweemaandelijkse magazine Kernvisie en de website. De website levert regelmatig, op de Homepage als zodanig aangegeven, nieuwe actuele informatie op het gebied van de nucleaire technologie. Daarnaast verzorgen vertegenwoordigers van de stichting lezingen en gastcolleges. De stichting streeft er naar om de informatie over kerntechnologie toegankelijk en aantrekkelijk te maken voor haar lezers en bezoekers van hun website.

WILT U ZICH 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 Elst.*



Stichting KernVisie
EEN ENERGIEK INITIATIEF

E-mail: kernvisie@kernvisie.com