

KK

**KERNVISIE
MAGAZINE**

LEGO-model
als brug tussen
theorie en praktijk

IEA: Een nieuw
tijdperk voor
kernenergie

Systemstudie
NRG PALLAS

1
Februari
2025

**COVRA presenteert
Masterplan 2050**

UITGAVE VAN
STICHTING KERNVISIE



KernVisie Magazine is een uitgave van:



Stichting **KernVisie**
EEN ENERGIEK INITIATIEF

Jaargang 20
Nummer 1
Februari 2025
KernVisie Magazine
verschijnt tweemaandelijks
Oplage 2.200 ex

Ontwerp & Grafische realisatie
StudioHusken.nl, Heiloo

Bestuur Stichting KernVisie

Ir. A.M. Versteegh, voorzitter
Ir. G.H. Boersma, secretaris
Ir. J.C.L. van Cappelle, penningmeester
A.J.L. Bos
Ir. M. van der Borst
J.D. Bruin
Ing. W. Hiddink
Drs. J.J. de Jong
Ir. G.C. van Uitert

Redactie KernVisie Magazine

Ir. G.H. Boersma
M. Jelgersma (Sherpa en de Fries)
S. Jelgersma (Sherpa en de Fries)

Redactie adres

Dokter Bosmanshof 32, 6851 MJ Huissen
Telefoon 06-29058146
E-mail: KernVisie@KernVisie.com
Internet: www.KernVisie.com
Bankrekening NL19 INGB 0006 8513 70, t.n.v. KernVisie,
Foundation for Nuclear Technology te Kapelle.

Op de Cover

Ewoud Verhoef, plaatsvervangend directeur COVRA
Foto © Irene van Kessel

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.

Omgang met persoonsgegevens

KernVisie Magazine is een uitgave van de Stichting KernVisie. Onze website www.KernVisie.com bevat een uitgebreide privacyverklaring over het gebruik van de persoonsgegevens die nodig zijn ten behoeve van de verzending van het magazine.

Voorwoord

Regeren is vooruitzien

De nucleaire wereld is behoorlijk in beweging. Voorbereiding op wat komen gaat, is belangrijk. Het IEA (Internationaal Energie Agentschap)

publiceerde over de ontwikkeling van kernenergie in The Path to a New Era for Nuclear Energy. Volgens het IEA breekt er een nieuw tijdperk aan waarin kernenergie - in een tijd waarin de vraag naar elektriciteit wereldwijd sterk toeneemt - een bijdrage kan leveren aan de leveringszekerheid van CO₂-vrije energie. In Nederland zal met de bouw van de PALLAS-reactor, de plannen voor de nieuwbouw van kerncentrales en SMR's én het mogelijk langer in bedrijf houden van de Kerncentrale Borssele (KCB) ook veel veranderen voor de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA). De plannen gaan gepaard met de logische verwachting dat er de komende decennia een aanzienlijke stijging van de hoeveelheid radioactief afval zal zijn. In december publiceerde de COVRA daarom het Masterplan 2050, waarin staat beschreven wat de impact van de nucleaire ontwikkelingen en de stijging van de hoeveelheid radioactief afval op de infrastructuur van COVRA zal zijn. Los van dit masterplan hebben ook onderzoekers van NRG PALLAS een systeemstudie uitgevoerd die inzicht geeft in de hoeveelheid en de aard van het toekomstige radioactieve afval. Een nieuwe studie dit jaar van NRG PALLAS zal ingaan op de kansen voor snelle gesmoltenzoutreactoren, die naast het opwekken van energie ook in staat zijn om langlevend afval op te branden. Hierdoor zal de hoeveelheid afval afnemen en kan er uiteindelijk een gesloten splijtstofcyclus ontstaan. Nu onderzoek doen, verkleint de kans om voor verrassingen te komen staan. Of zoals Ewoud Verhoef, plaatsvervangend directeur bij COVRA, het verwoordde: "Regeren is vooruitzien en dat hebben we met het Masterplan 2050 proberen te doen." **K**

André Versteegh
voorzitter Stichting KernVisie





P04

Maatschappij

Masterplan COVRA over impact nucleaire ontwikkelingen

In december publiceerde de COVRA (Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval) het Masterplan 2050. Voor het masterplan is onderzocht wat de impact is van de verwachte nucleaire ontwikkelingen en bijkomende stijging van de hoeveelheid radioactief afval in Nederland op de infrastructuur van COVRA. Ewoud Verhoef, plaatsvervangend directeur en onderzoeksverantwoordelijke bij COVRA, licht het Masterplan 2050 toe.

P14 Maatschappij

Systemstudie geeft inzicht in hoeveelheid en aard toekomstig radioactief afval

'Een nieuw momentum voor kernenergie kan een tijdperk inluiden voor deze veilige en schone energiebron in een tijd waarin de vraag naar elektriciteit wereldwijd sterk toeneemt', zo blijkt uit het nieuwe IAE-rapport: The Path to a New Era for Nuclear Energy. Kernenergie zal in 2025 een nieuw record bereiken en kan de energiezekerheid verbeteren naarmate de vraag naar elektriciteit toeneemt.



P20

Energie

Een nieuw tijdperk voor kernenergie breekt aan

'Een nieuw momentum voor kernenergie kan een tijdperk inluiden voor deze veilige en schone energiebron in een tijd waarin de vraag naar elektriciteit wereldwijd sterk toeneemt', zo blijkt uit het nieuwe IAE-rapport: The Path to a New Era for Nuclear Energy. Kernenergie zal in 2025 een nieuw record bereiken en kan de energiezekerheid verbeteren naarmate de vraag naar elektriciteit toeneemt.

P22 Rubriek

LEGO-model als brug tussen theorie en praktijk

Hoe leg je studenten de werking van een reactor op een toegankelijke en begrijpelijke manier uit? Met het toelichten van bouwtekeningen en laten zien van filmpjes kom je een heel eind, maar een model op schaal, dat de studenten zelf kunnen aanraken en bekijken, kom je nog veel verder. Vincent Lamirand combineerde zijn werk als wetenschapper en docent met zijn hobby en ontwierp een LEGO-schaalmodel van de onderzoeksreactor CROCUS.



P08 Nucleaire Notities

Nucleaire technieken bij misdaad onderzoek

P10 Energie

DEMCON, Thorizon en VDL Groep bundelen krachten

P12 InBeeld

EPR bij kerncentrale Flamanville in gebruik genomen

P18 Column

Lars Roobol – Nucleaire detectives

P19 Maatschappij

Innovatiemissie Nucleaire Technologie naar Zuid-Korea



In december publiceerde de COVRA (Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval) het Masterplan 2050. Voor het masterplan is onderzocht wat de impact is van de verwachte nucleaire ontwikkelingen en bijkomende stijging van de hoeveelheid radioactief afval in Nederland op de infrastructuur van COVRA. Ewoud Verhoef, plaatsvervangend directeur en onderzoeksverantwoordelijke bij COVRA, licht het Masterplan 2050 toe: “Regeren is vooruitzien en dat hebben we met dit masterplan proberen te doen.”

© Irene van Kessel

Maatschappij

Masterplan 2050 van COVRA over impact nucleaire ontwikkelingen



Met de bouw van de PALLAS-reactor, de plannen voor de nieuwbouw van kerncentrales en SMR's en het onderzoek naar het langer in bedrijf houden van de Kerncentrale Borssele (KCB) verandert er ook veel voor de COVRA. De plannen gaan gepaard met de verwachting dat er de komende decennia een aanzienlijke stijging van de hoeveelheid radioactief afval zal zijn. Verhoef: "Een voorwaarde om tot de bouw van nieuwe nucleaire installaties over te gaan, is een duurzame oplossing voor het afval dat gaat ontstaan. Dit leidt eigenlijk automatisch tot de vraag: hebben we dan wel voldoende capaciteit om het toekomstige afval op een goede en veilige manier te verwerken en op te slaan?" Dit noodzaakt de COVRA om vooruit te kijken. "Net als bij het realiseren van nieuwe nucleaire installaties, wat veel tijd in beslag neemt, geldt voor ons dat we ons ruim van tevoren op het afvalvraagstuk moeten oriënteren. Het is immers onze taak om capaciteit te creëren om het radioactief afval duurzaam te verwerken en op te slaan." Dat ontslaat de ontwikkelaars van nieuwe installaties volgens Verhoef overigens niet van de taak om COVRA bij hun plannen te betrekken, zodat alle partijen voorbereid

zijn op de toekomst. "Heel vaak leg je met de keuze van de technologie immers ook de keuze voor het afval vast", aldus Verhoef.

Afvalinventaris

Verhoef legt uit dat de basis van het onderzoek de afvalinventaris uit 2022 is. Op grond van de Europese radioactief afvalrichtlijn is Nederland verplicht het radioactief afvalbeleid en de uitvoering daarvan vast te leggen in een nationaal programma voor het beheer van radioactief afval en verbruikte splijtstoffen. In het nationaal programma wordt het beleid voor het beheer van radioactief afval beschreven, van het ontstaan tot aan de beheersoptie(s) voor de zeer lange termijn. Verhoef: "Met de afvalinventaris als basis kan je een scenario bedenken waarin je uiteenzet wat de te verwachten hoeveelheid afval zal zijn als er geen installaties bijkomen, en scenario's waarin eventuele uitbreidingen zijn meegenomen." Als je weet wat er aan afval zal bijkomen, wat betekent dat dan voor COVRA? Welke installaties en gebouwen moet COVRA gaan bouwen en past dat allemaal op het huidige terrein? In

het onderzoek heeft COVRA als peildatum 2050 genomen. Hier is voor gekozen, omdat 2050 in de energietransitie een ijkpunt is en omdat de nucleaire transitie rond 2050 de grootste veranderingen heeft doorgemaakt. Verhoef: "Tegen die tijd zullen we in ieder geval weten of en hoeveel grote kerncentrales en/of kleine modulaire reactoren er bijkomen."

Plasmaoven en opwerken

Om uit te rekenen hoeveel radioactief afval erbij komt wanneer er nieuwe kerncentrales in bedrijf worden genomen, hanteerde Verhoef een 'vuistregel'. "De hoeveelheid afval die een kerncentrale produceert is ruwweg proportioneel met het geproduceerde vermogen. Heb je een vergelijkbare technologie en heb je twee keer zo veel vermogen, dan heb je ook twee keer zo veel radioactief afval." Voor een compleet nieuwe installatie zoals die van SHINE Technologies is dat lastiger. SHINE wil in Veendam een faciliteit bouwen om medische isotopen te produceren. Maar omdat er nog te weinig specificaties bekend zijn, is de SHINE-faciliteit niet ➤

➤ Opslag van transportverpakkingen voor vast laag- en middelradioactief afval



in het masterplan opgenomen. Wat wel meegenomen is en wat van grote invloed zal zijn op de hoeveelheid afval die opgeslagen moet worden, is of COVRA een plasmaoven gaat bouwen en of het hoogradioactief afval al dan niet wordt opgewerkt. Een plasmaoven is een relatief nieuwe techniek die kan worden ingezet voor het verminderen van het radioactief afval. Op dit moment zijn er

in Europa 2 in gebruik: een in Zwitserland en een in Bulgarije. “Het is een elektrische oven waarin met een plasmatoorts een ‘bliksem’ wordt gecreëerd. Hierdoor ontstaat een hoge temperatuur van wel 5.000°C, waarbij een plasma wordt gevormd waarin de afvalstoffen ontleden in rookgassen en een glasachtige slak waarin de bulk van alle radioactieve componenten terecht komt. Het

resultaat is afval met een klein volume dat bestaat uit zeer stabiel en inert materiaal dat zich gemakkelijk laat karakteriseren en bergen”, licht Verhoef toe. Op dit moment is COVRA bezig met het maken van een ontwerp van de plasmaoven. “Op basis hiervan verwacht ik dat we voor het einde van dit jaar een besluit kunnen nemen of we daadwerkelijk doorgaan met de bouw ervan.” Bij het opwerken wordt uit gebruikte splijfstof de nog bruikbare delen uranium

K Op dit moment wordt op het terrein van COVRA het multifunctioneel opslaggebouw (MOG) gebouwd dat vanaf 2025 ruimte biedt aan het ontmantelingsafval, afkomstig van de oude kerncentrale Dodewaard en op termijn de Hoge Flux Reactor in Petten.



en plutonium teruggewonnen, waarna er een kleine hoeveelheid hoogradioactief afval (HRA) overblijft dat bij COVRA wordt opgeslagen. De optie opwerken is gebaseerd op de huidige methode van de KCB waarbij de splijtstofelementen eerst een periode worden afgekoeld voor dat ze naar de opwerkingsfabriek in La Hague in Frankrijk kunnen worden getransporteerd. Pas 10 jaar nadat de splijtstof uit de reactor is genomen, komt het HRA voor opslag naar COVRA.



Twee uitgewerkte scenario's

COVRA houdt met betrekking tot de ontwikkelingen binnen de nucleaire sector rekening met drie scenario's: het minscenario, het basisscenario en het plusscenario. In het rapport zijn alleen het min-scenario en het plusscenario opgenomen, omdat in het basisscenario de verschillen tussen de afvalhoeveelheden tussen het basis- en het plusscenario voor 2050 minimaal zijn. Het minscenario beschrijft de huidige situatie van de nucleaire sector in Nederland. Het plusscenario beschrijft de mogelijke ontwikkelingen in de nucleaire sector, de zogenaamde nucleaire transitie. Bij het plusscenario zijn er twee variaties beschouwd: één over de keuze tussen het wel of niet opwerken van verbruikte splijtstoffen en één met of zonder ontwikkeling van een plasmaoven voor een meer geavanceerde manier van afvalverwerking. De COVRA gaat er in ieder geval vanuit dat er tussen nu en 2050 los van nieuwe nucleaire ontwikkelingen verschillende gebouwen uitbreiding behoeven. Dit geldt voor het VOG-2 (Verarmd uranium Opslag Gebouw), dat naar verwachting rond 2034 vol zal zijn. Daarnaast moet er, wanneer er geen plasmaoven komt, rond 2040 een nieuw LOG (Laag- en middelradioactief afval Opslag Gebouw) gerealiseerd worden voor de opslag van LMRA (Laag- en middelradioactief afval). Komt er wel een plasmaoven, dan is dat pas in 2052 het geval. Voor het ontmantelingsafval, afkomstig van de oude kerncentrale Dodewaard en de Hoge Flux Reactor die na de ingebruikname van de PALLAS-reactor zal worden gesloten, biedt het MOG tot 2050 voldoende ruimte. Wat er precies gaat gebeuren en hoe het COVRA-terrein er in 2050 uit zal zien, is natuurlijk afhankelijk van onder meer de ontwikkeling van de nucleaire sector en de besluitvorming over de plasmaoven. Verhoef: "Bij de komst van een plasmaoven zal het huidige terrein voldoende ruimte bieden om tot minstens 2070 te kunnen voorzien in de opslag van radioactief

afval. Wanneer de plasmaoven niet wordt gerealiseerd, moet er rond 2060 worden uitgeweken naar een tweede locatie."

Ondanks de verwachte toename van de hoeveelheid afval, zal er tot na 2050 op het huidige terrein voldoende ruimte zijn om al het afval op te kunnen slaan.

HABOG

In het rapport is in detail ingegaan op mogelijke uitbreidingen van het HABOG (Hoogradioactief Afval Behandelings- en Opslag Gebouw). Het HABOG voorziet in de opslag voor warmte producerend en niet-warmte producerend hoogradioactief afval. Voor zowel het koude als warme gedeelte van het HABOG valt er winst te behalen door optimalisatie van de opslag. Bestaande compartimenten voor warmteproducerend afval bevatten 27 opslagbuizen voor verglaasd afval. Door optimalisatie kan dit voor toekomstige compartimenten verhoogd worden naar 39, waardoor de ruimtelijke voetafdruk van verglaasd afval met bijna de helft afneemt. Deze optimalisatie moet meegenomen worden als uitbreiding van het HABOG noodzakelijk is. Dit zal voor het warmteproducerend afval rond 2040 het geval zijn. In de opslagbunkers voor niet-warmte producerend afval is ook winst te behalen. Zo kan door middel van opslagrekken het aantal canisters per bunker verhoogd worden van 600 naar 2.044.

Uitkomst delen met de omgeving

Het Masterplan 2050 is nu gereed en COVRA wil de uitkomst ervan delen met de omgeving. Verhoef: "Hiervoor organiseren we twee opendagen bij COVRA om aan het publiek uit te leggen wat het voor ons en voor de omgeving betekent wanneer er nieuwe kerncentrales bijkomen. Een masterplan is een momentopname. We houden daarom heel scherp in de gaten wat er allemaal gebeurt. Het kan hard gaan met de huidige ambities op nucleair gebied, maar dat kan ook zomaar weer veranderen." **K**

Menno Jelgersma



Nucleaire Notities

Het heeft altijd iets vermakelijks om detectives of misdaadfilms uit de jaren negentig te bekijken. Niet alleen om de flashback naar mijn jonge jaren waarin films als *Se7en* en *The silence of the lambs* nagelbijtend spannend waren, maar ook om de inmiddels hopeloos verouderde fictieve opsporingstechnieken terug te zien.

Zo is er in elke serie wel een scene waarin een korrelige bewakingsfoto na de opdracht "enlarge" op miraculeuze wijze kan worden opgeblazen tot een haarscherp beeld van de vermeende dader. Of er kan een match worden gevonden tussen twee geluidsopnames door de bestanden als lijngrafieken op elkaar te leggen. Tegenwoordig komt bij elk plot wel DNA-onderzoek of het gebruik van luminol om de hoek kijken. Spannender is het in het echte leven waar nucleaire technieken een belangrijke rol spelen bij misdaad onderzoek. Zo kunnen microscopisch kleine sporen worden onderzocht om zo te achterhalen of een kunstwerk vervalst is of een slachtoffer vergiftigd. Nucleaire technieken worden gebruikt om forensisch bewijs te analyseren - van het bestrijden van drugshandel tot het oplossen van moorden en van het achterhalen van kunstvervalsingen tot het opsporen van voedsel fraude. Bijkomend voordeel is ook dat nucleaire technieken zoals het gebruik van röntgenemissietechnieken, neutronenactiveringanalyse (NAA) of koolstofdatering een stuk minder destructief zijn dan chemische onderzoeken waardoor fragiel

bewijsmateriaal bewaard kan blijven voor verdere analyse. Zo kan koolstofdatering en isotopenonderzoek van tandfragmenten of nagels waardevolle informatie geven bij identificeren van

in de materiaalsamenstelling van grond of helpen drugs of mineralen te analyseren. Röntgenstralen helpen ook bij vergelijkend onderzoek van verf, metalen of schotresten. NAA is een techniek

waarbij de interactie tussen een neutronenstroom en het bestudeerde materiaal wordt gebruikt om de "elementaire vingerafdruk" van een monster te bepalen. Zo werden in de jaren zestig vijf loodfragmenten uit de kogelkernen van de moord op John F. Kennedy geanalyseerd met behulp van NAA. Daaruit bleek dat bij de aanslag Kennedy en de Texaanse gouverneur John B. Connally werden geraakt door slechts twee kogels, afgevuurd uit het geweer van Lee Harvey Oswald. Tegenwoordig is forensische radiologie een relatief jong wetenschapsgebied dat nog volop in ontwikkeling is. En hoewel er nog geen officiële opleiding forensische radiologie bestaat, kent het Academisch Medisch Centrum in Amsterdam wel de bijzondere leerstoel Forensische

Radiologie. Ik wacht ondertussen geduldig op de eerste detectiveserie die op Netflix verschijnt, waarin een heldenrol is weggelegd voor de forensisch radioloog. **K**

Sarala Jelgersma



onbekende doden en een bijdrage leveren bij het oplossen van cold cases. Röntgentechnieken kunnen helpen om de aanwezigheid van elementen in vrijwel alle soorten materiaal te detecteren en de concentratie ervan te meten. Ze kunnen inzicht geven

Jaarbijeenkomst vereniging Nucleair Nederland

Op woensdag 11 december 2024 kwamen alle leden van de vereniging Nucleair Nederland bijeen voor de jaarlijkse bijeenkomst. De dag begon met een ontvangst en welkomstwoord door voorzitter Ad Louter, die een introductie gaf over Nucleair Nederland en de geschiedenis van de vereniging sinds de oprichting in 2014.

Na de opening bespraken en presenteerden de leden van Nucleair Nederland de aankomende ontwikkelingen binnen hun bedrijven: Reactor Institute Delft (RID), Covra, EPZ Kerncentrale Borssele, Urenco en NRG PALLAS. Ook vond de introductie plaats van Thorizon, het nieuwe lid van de vereniging. Kiki Lauwers, CEO van Thorizon, vertelde over de activiteiten, lopende ontwikkelingen en toekomstplannen.

Voortvarend te werk gaan

Na een korte koffiepauze nam Mart van Bracht, Directeur Programma Systeemintegratie bij Topsector Energy, ons mee in de ontwikkelingen van het Meerjarig Missiegedreven Innovatie Programma (MMIP). Het MMIP bestaat uit twee onderdelen: de ontwikkeling van de Human Capital Agenda (HCA) en het programma Kennisontwikkeling en Innovatie. Het deelprogramma HCA heeft als doel om voldoende gekwalificeerd personeel voor de nucleaire sector op te leiden en het aanbod van personeel aan te laten sluiten op de (toekomstige) vraag. Andere belangrijke ontwikkelingen die genoemd werden waren: de start van de Nucleair Academy (opgericht door TU Delft en NRG PALLAS om te bouwen aan het ecosysteem voor nucleair technologische opleidingen en trainingen), een systeemstudie door TNO en NRG, de ontwikkelingen in technologieprogramma's en MoU's

(memorandums van overeenstemming of intentieverklaringen) met Korea, Frankrijk en de VS. Voor 2025 richt het MMIP zich op het verder uitwerken van studies en roadmaps. Daarnaast vindt de voorzetting plaats van supportprogramma's voor universiteiten, hbo's en mbo's. Speciale aandacht ging uit naar de lancering van de eerste call voor het wetenschappelijk programma met NWO gericht op reactortechnologie en opzetten van MoU's met het Verenigd Koninkrijk. Catalina Villarreal Gomez van NRG PALLAS presenteerde de nieuwe ontwikkelingen van de Nuclear Summerschool. Deze Summerschool is een samenwerking tussen de Nuclear Academy en de SCK CEN Academy (van het gelijknamige Belgische nucleaire onderzoekscentrum SCK CEN). De samenwerking is bedoeld om bachelor- en masterstudenten uit Nederland en België kennis te laten maken met de nucleaire industrie. Hidde Baars, Director Government Affairs NL & EU Urenco, gaf een overzicht van de nucleaire ontwikkelingen in Nederland. Een ruime parlementaire meerderheid steunt kernenergie, waardoor de regering voortvarend te werk gaat met de aanbesteding van twee nieuwe kerncentrales en het onderzoek naar twee additionele kerncentrales. Er wordt gewerkt aan de versterking van de nucleaire infrastructuur in Nederland,

waarbij VDD en CDA aandringen op een versnelde plaatsing van Small Modular Reactors (SMR's). Kernenergie wordt nu beschouwd als een onderdeel van de topsector, met initiatieven zoals het MMIP, gericht op Human Capital (Technopolis) en R&D/Innovatie (Dialogic).

Versterken Nederlandse nucleaire waardeketen

De vooruitgang biedt volop kansen. De nucleaire ontwikkelingen omvatten onder andere de NPRA (Nederlandse nationale programma radioactief afval) van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (I&W) en de verdere opbouw van kennis over stralingsbescherming door de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS). Daarnaast zijn er initiatieven zoals de Nuclear Innovation Conference (terugkerend conference met samenwerken van de IAEA), evenals SMR-simulaties, waarbij de mogelijke potentie van SMR's in kaart gebracht wordt, uitgevoerd door het Ministerie van Klimaat en Groene Groei onder leiding van Arcadis. Tot slot wordt er in het derde kwartaal van 2025 een evenement georganiseerd om de Nederlandse nucleaire waardeketen te versterken, waarbij steun van de industrie cruciaal is. Ad Louter nam ons mee in de ontwikkelingen voor Nucleair Nederland, waarbij hij de aandacht vestigde op wat er nu gebeurt en wat de toekomst ons kan bieden. Hierbij schonk hij onder meer aandacht voor de COP28, de klimaatconferentie die in 2023 plaatsvond, waar regeringen en bedrijven hun steun uitspraken voor kernenergie. Om de hoeveelheid kernenergie wereldwijd te verdrievoudigen tegen 2050, moeten regeringen een consistent beleid voeren, investeerders duidelijkheid **▶**

verschaffen over financierings- en terugverdienmogelijkheden, toegang verzekeren tot klimaatfinancieringsprogramma's en kernenergie als duurzame investering bestempelen.

Uitbreiding nucleair landschap

In Nederland is er groeiende politieke en maatschappelijke steun voor kernenergie. Dit vertaalt zich in beleid zoals onderzoek naar de verlenging van de bedrijfsduur van de kerncentrale Borssele, voorbereiding voor de bouw van vier nieuwe

kerncentrales, en opname van kernenergie in het Nationaal Plan Energiesysteem. De ideale energiemix voor Nederland omvat hernieuwbare energie, kernenergie voor basislast en flexibiliteit en waterstof als energieopslag. Deze combinatie zorgt voor verduurzaming, energiezekerheid en de concurrentiepositie van de industrie. Het groeiende momentum voor kernenergie in Nederland moet worden vastgehouden en versterkt. De overheid zoekt naar een breed gedragen nucleaire gesprekspartner voor de vormgeving en invulling van haar beleid. Het nucleaire landschap breidt zich uit

met tal van ontwikkelingen en initiatieven, zoals Thorizon, ULC, een Nederlandse ontwikkelaar voor Rolls-Royce SMR, Topsector Energie, Nuclear Academy en de lokale inzet van SMR's. Verschillende studies en adviesaanvragen zijn uitgezet of worden binnenkort uitgezet, en vragen om inbreng en reacties uit het veld. Het is van groot belang dat de Nederlandse nucleaire industrie adequaat wordt vertegenwoordigd, en daar zullen wij ons de komende jaren op blijven richten.

Hugo Redder, Nucleair Nederland

DEMCON, Thorizon en VDL Groep bundelen krachten in ontwikkeling gesmoltenzoutreactor

Een consortium van Nederlandse technologiebedrijven DEMCON, Thorizon en VDL Groep heeft in december een projectovereenkomst gesloten. Hun gezamenlijke missie: een doorbraak realiseren in de ontwikkeling van Small Modular Reactors (SMR's) en meer specifiek: gesmoltenzoutreactoren. Deze innovatieve kernreactoren beloven een veilige, schaalbare en duurzame bijdrage te leveren aan de energietransitie.

Momentum voor nucleaire innovatie

Het werkbezoek van de minister aan de provincie Noord-Brabant stond in het teken van de energietransitie. Met een focus op waterstof en nucleaire energie werden de kansen voor de provincie en de hightechmaakindustrie belicht. De provincie Noord-Brabant is in 2021 al gestart met de Innovatiecoalitie Nucleaire Energie voor de Toekomst om de kracht van de Brabantse maakindustrie en onderzoeksinstituten in te zetten om de ontwikkeling van gesmoltenzoutreactoren (MSR's) te versnellen. Ook de huidige kabinetsplannen voorzien in een belangrijke rol voor nucleaire energie. Recentelijk hebben verschillende techbedrijven, waaronder Google, Amazon en Meta, hun interesse in SMR's geuit voor de energievoorziening van datacenters, om zo de groeiende vraag naar AI te combineren met de noodzakelijke reductie van CO₂-emissies. Zowel Google als

Het doel van het project is om de maakbaarheid, veiligheid en functionaliteit van cruciale componenten en niet-nucleaire (sub)systemen van deze reactoren te demonstreren en te valideren. Hiervoor willen de bedrijven een geavanceerde testfaciliteit opzetten waarin deze technologieën kunnen worden ontwikkeld en getest. De samenwerking tussen DEMCON, Thorizon en VDL Groep werd in oktober al bekrachtigd tijdens een werkbezoek van minister Sophie Hermans (Klimaat en Groene Groei) aan DIFFER, het

toonaangevende onderzoeksinstituut in Eindhoven. Tijdens dit bezoek ondertekenden de partijen, samen met DIFFER, een intentieverklaring om de ontwikkeling van SMR-technologie in Nederland te versnellen. Begin december heeft het consortium een belangrijke mijlpaal bereikt met het indienen van een ambitieuze subsidieaanvraag bij de provincie Noord-Brabant. Deze aanvraag benadrukt de gezamenlijke inzet van de betrokken partijen om innovatie en duurzame ontwikkeling in de regio te stimuleren.

Amazon maakten eind 2024 strategische investeringen in nucleaire technologie bekend.

Gesmoltenzoutreactoren: duurzame nucleaire technologie

In Nederland werkt Thorizon aan de ontwikkeling van een gesmoltenzoutreactor van 100 MWe. Dit is genoeg energie voor 250.000 huishoudens of één datacenter. De Thorizon One reactor is 'walk-away safe' en zet een belangrijke stap naar circulariteit door langlevend nucleair afval als splijtstof te gebruiken. Deze reactor heeft steun gekregen van de Franse overheid en is geselecteerd als sleutelproject door de Europese Commissie. Het onderzoeksinstituut DIFFER helpt met de ontwikkeling van deze reactoren via de unieke onderzoeksfaciliteit DICE. Hier wordt de interactie tussen corrosie, warmte en straling onderzocht om de materiaalkeuze te verbeteren.

Kans voor de Nederlandse maakindustrie

Traditioneel zijn nucleaire projecten vaak grootschalige initiatieven. De toekomst ligt echter in de ontwikkeling van kleine modulaire reactoren die bestaan uit afzonderlijk in serie gebouwde componenten. Dit biedt de Nederlandse hightech maakindustrie een unieke kans om een cruciale rol te spelen. Met de uitgebreide ervaring in de toeleveringsketen van de halfgeleiderindustrie kan de maakindustrie bijdragen aan de ontwikkeling en productie van geavanceerde componenten en (sub) systemen voor nucleaire toepassingen. Door deel te nemen aan dit project kunnen bedrijven waardevolle ervaring opdoen en de noodzakelijke kwalificaties verwerven die nodig zijn om onderdeel te worden van de toeleveringsketen van SMR's en de grootschalige centrales

die in Nederland gepland zijn. "Voor Thorizon is dit een unieke kans," zegt Kiki Lauwers, CEO van Thorizon. "Bedrijven zoals VDL en DEMCON hebben unieke ervaring in het realiseren van hightech projecten, van concept via prototype naar serieproductie. Tijdens onze samenwerking met DIFFER hebben we gezien dat ze in Noord-Brabant over internationaal onderscheidende kennis en faciliteiten beschikken en snel kunnen schakelen. Met deze partners delen we een ambitieuze en pragmatische mindset die cruciaal is voor onze ontwikkeling en een succesvolle samenwerking." De totale looptijd van het project is 30 maanden. De planning is om in twee jaar de testfaciliteit gereed te hebben, zodat er de laatste 6 maanden daadwerkelijk getest kan worden. Om deze ambitieuze tijdlijn te realiseren, zal naar verwachting al dit jaar worden begonnen met de bouw. **K**

✎ De samenwerking tussen DEMCON, Thorizon en VDL Groep werd in oktober bekrachtigd tijdens een werkbezoek van minister Sophie Hermans (Klimaat en Groene Groei) aan DIFFER in Eindhoven.



EPR bij de kerncentrale Flamanville in gebruik genomen

Sinds 21 december levert de EPR van de kerncentrale Flamanville in Normandië stroom aan het Franse en Europese elektriciteitsnet. Het is de eerste nieuwe eenheid in Frankrijk die sinds 1996 aan de vloot van reactoren is toegevoegd, waarmee het totaal aantal eenheden op 57 komt. Wanneer de reactor op vol vermogen draait, levert hij meer dan 60 jaar lang - dag en nacht - onafhankelijk van zon of wind CO₂-vrije stroom voor meer dan 3 miljoen gezinnen.



In mei werd de splijtstof in de reactorkern geladen, waarna EDF verscheidene 'koude' testen uitvoerde. Na de zomer volgde het uitvoeren van warme testen, waarbij de reactor tot 300 graden Celsius werd gebracht. In september kon aansluitend worden begonnen met de daadwerkelijke productie van neutronen door het splijtingsproces op gang te brengen. Geleidelijk aan werd het vermogen opgevoerd tot een kwart van het streefvermogen, waarna de koppeling aan het stroomnet plaatsvond. De tests gaan nog steeds door, terwijl het

vermogen van de reactor over een periode van verscheidene maanden geleidelijk wordt opgevoerd tot 100 procent. Op vol vermogen levert de reactor 1.600 MW aan stroom.

De bouw liep met 12 jaar een aanzienlijke vertraging op. Daarnaast rezen ook de kosten van 3,3 miljard tot 13,2 miljard euro. De overschrijdingen worden toegeschreven aan het feit dat de EPR de eerste Gen-III+ van zijn soort was toen de bouw in 2007 van start ging. Er waren problemen met lasnaden en ook werd het

ontwerp tijdens de bouw op onderdelen aangepast.

De Flamanville-3 is de vierde EPR die in gebruik is genomen. In China zijn de Taishan-1 en -2 respectievelijk in 2018 en 2019 aan het net gekoppeld. In Finland ging de Olkiluoto-3 in april 2023 in bedrijf. Op dit moment zijn er in het VK twee EPR's in aanbouw in Somerset: Hinkley Point C. Verder is de kerncentrale Sizewell C in Suffolk gepland, een project voor de bouw van nog eens twee EPR's met een totaal vermogen van 3.200 MWe. **K**





Stysteemstudie geeft inzicht in hoeveelheid en aard van toekomstig radioactief afval

Met de uitbreiding van het aantal kerncentrales zal ook het volume aan langlevend radioactief afval toenemen. Jelle Oving en Gilliam van Oudenaren, consultants bij NRG PALLAS, hebben recent een systeemstudie afgerond die inzicht geeft in de hoeveelheid en de aard van dit afval. Een nieuwe studie van NRG PALLAS zal ingaan op de kansen voor snelle gesmoltenzoutreactoren, die naast het opwekken van energie ook in staat zijn om langlevend afval te versplijten. Hierdoor zal de hoeveelheid afval afnemen en kan er uiteindelijk een gesloten splijtstofcyclus ontstaan. Oving: "Door de maatschappelijke aandacht voor radioactief afval wordt er bij elk nucleair project goed gekeken naar de volledige cyclus van de materialen. Deze werkwijze wordt voor andere industrieën ook steeds meer van belang."

Elke vorm van elektriciteitsopwekking creëert afvalproducten. Ook bij hernieuwbare elektriciteitsbronnen zoals zonne- en windenergie komen afvalstoffen vrij tijdens het totaal van hun levenscyclus, dus vanaf de delving van grondstoffen tot het verwerken of bergen van het afval dat na de technische levensduur ontstaat. De moderne nucleaire industrie loopt voorop als het gaat om verantwoord afvalbeheer. Alle EU-lidstaten zijn verplicht iedere 10 jaar een nationaal programma te maken voor het beheer van radioactief afval en verbruikte splijtstoffen. In het nationale

programma radioactief afval staat hoe een lidstaat nu en in de toekomst hiermee omgaat. Op de website van de Nederlandse overheid is bijvoorbeeld te lezen dat het beleid voor radioactief afval gebaseerd is op vier uitgangspunten:

- Minimalisatie van het ontstaan van radioactief afval;
- Veilig beheer van radioactief afval;
- Geen onredelijke lasten op de schouders van latere generaties;
- De veroorzakers van radioactief afval dragen de kosten van het beheer ervan.

Snelle gesmoltenzout- en loodgekoelde reactoren

Geen enkele elektriciteitsbron beschikt tot dusverre over een gesloten kringloop, waarbij al het afval op nuttige wijze voor hergebruik in aanmerking komt. Bij de opwekking van kernenergie wordt kritisch gekeken naar de verwerking en opslag van langlevend radioactief afval. Oving en Van Oudenaren hebben een systeemstudie uitgevoerd die inzicht geeft in de hoeveelheid en aard van het afval dat wordt geproduceerd en dat naar verwachting, na ingebruikname

van nieuw te bouwen kernreactoren, zal ontstaan.

Deze studie was de opmaat voor het vervolgonderzoek waarbij gezocht wordt gaat naar de optimale inzet van snelle gesmoltenzoutreactoren om de hoeveelheid radioactief afval terug te dringen. Oving: “Binnen de nucleaire sector zien we de nucleaire splijtstofcyclus ook als een systeem. Bij een onderzoek naar dit systeem kijk je naar het bevorderen van de ontwikkeling en uitvoering van een steeds veiligere en uit milieuoogpunt duurzamere splijtstofcyclus, met als ideaal een gesloten splijtstofcyclus, waarbij de hoeveelheid afval tot een minimum beperkt blijft. Nog een voordeel is dat je meer energie uit de splijtstof kunt halen.”

Gesloten splijtstofcyclus

Om dit ideaal te bereiken kunnen snelle reactoren, die zo genoemd worden vanwege de zeer energierijke neutronen die in de reactor voorkomen, een belangrijke bijdrage leveren. Oving en Van Ouderaren doelen op de mogelijkheid om met deze reactoren het bestaande radioactief afval dat uit splijtingsproducten en actiniden bestaat gedeeltelijk te versplijten. “Op die manier zorg je er enerzijds voor dat de hoeveelheid afval afneemt en anderzijds dat een groot deel van het afval wordt aangewend om energie op te wekken door het in de splijtstofcyclus te houden”, aldus Oving. Is er al een inschatting gemaakt over de hoeveelheid snelle gesmoltenzoutreactoren die er nodig zou zijn om tot een gesloten splijtstofcyclus te komen? “We zijn al een heel eind op weg en we verwachten daar in de loop van dit jaar een eerste antwoord op die vraag te kunnen presenteren.” Oving voegt daaraan toe dat er al diverse studies door anderen zijn gedaan naar de inzet van snelle natriumgekoelde en loodgekoelde reactoren die afval kunnen opbranden: “Daarvan zijn de resultaten wel bekend. Zo weten we op basis van een onderzoek naar loodgekoelde reactoren dat er ongeveer 17 procent (naar geïnstalleerd vermogen) van dit

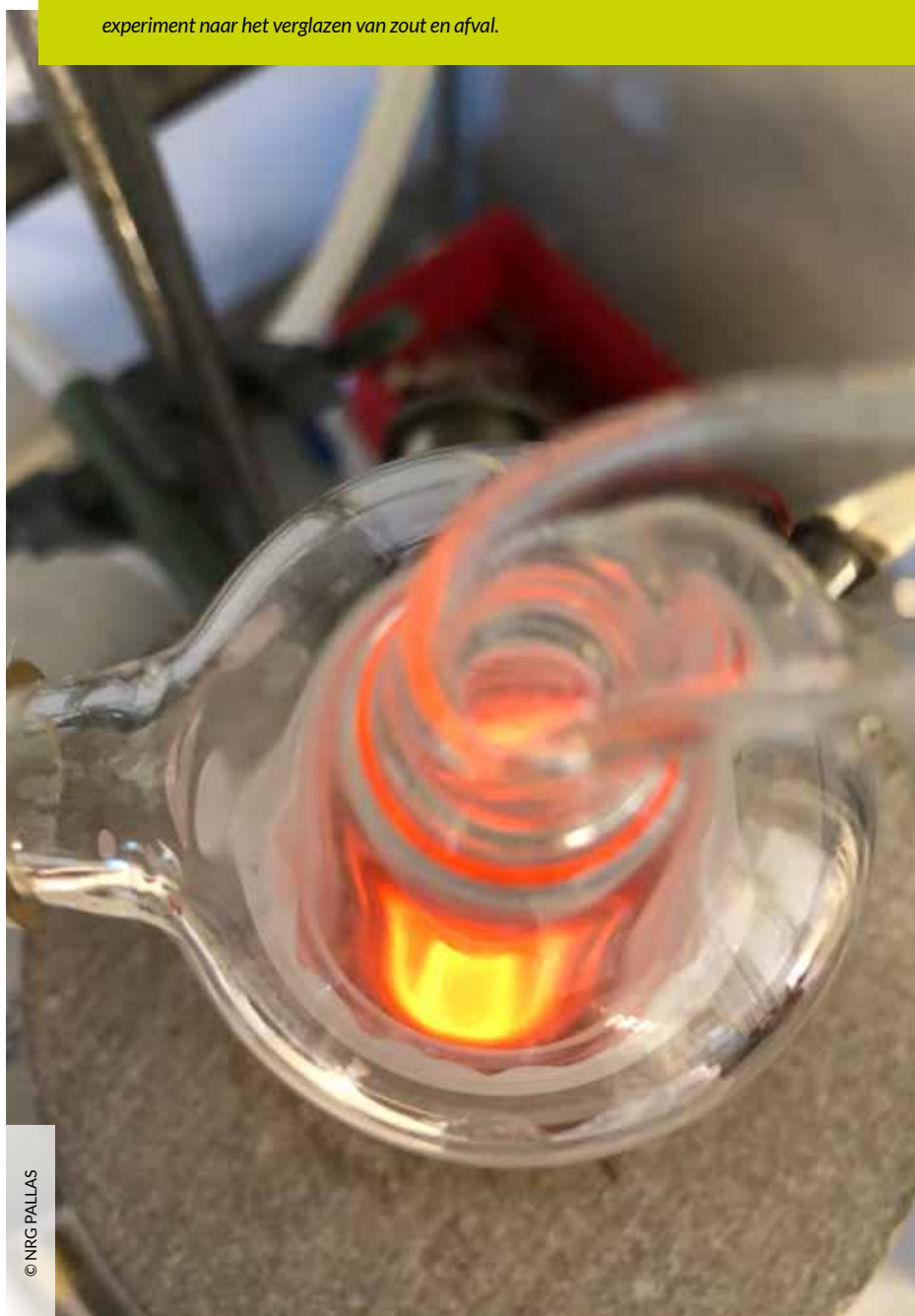
soort snelle reactoren nodig zijn binnen het totale reactorpark om tot een gesloten splijtstofcyclus te komen. Voor gesmolten zout zal dit percentage hoger liggen. Maar de gerichte analyse die hier voor gesmolten zout uitsluitsel over zal geven, laat nog even op zich wachten.” Het relatief lage percentage aan loodgekoelde reactoren in het totaal komt volgens Oving door de gunstige eigenschappen van lood waarbij zeer energierijke neutronen hun energie

behouden. “Lood is een erg zwaar element. Dat is gunstig om splijtingsproducten zoals actinides verder te splijten.”

Bestaande studies

Het NRG PALLAS-onderzoek bouwt voort op bestaande studies. Zo verwijst Oving onder andere naar het RED-IMPACT-project (Impact of P&T and Waste Reduction Technologies on the Final Nuclear Waste Disposal) wat ➤

➤ *Zicht op het experiment bij NRG PALLAS voor het smelten van zout in een oven voor een experiment naar het verglazen van zout en afval.*



© NRG PALLAS



Jelle Oving

Jelle Oving werkt ruim twee jaar bij de afdeling Decommissioning, Waste Management and Disposal (DWD) van NRG PALLAS. Hij heeft een bachelor technische natuurkunde bij de RUG in Groningen behaald. Tijdens een keuzevak over energie realiseerde Oving zich dat de grote energiedichtheid van uranium en de inzet ervan als splijtstof voor kernreactoren een oplossing zou kunnen zijn voor het energievraagstuk. Na de afronding in Groningen ging hij naar Stockholm voor een masterstudie Nuclear Energy Engineering bij de KTH Royal Institute of Technology, een tweejarige studie waarvan hij het laatste half jaar in Kopenhagen bij Seaborg Technologies doorbracht voor de afronding. Seaborg Technologies ontwikkelt sinds 2015 kleine gesmoltenzoutreactoren.

een drieënhalf jaar durend EU-project was om de effecten van verschillende afvalverminderingstechnologieën op de splijtstofcyclus te beoordelen. “De nadruk lag bij dit onderzoek vooral op de effecten op de uiteindelijke eindberging van afval. Uit deze studie kwam naar voren dat de afvalstroom ongeveer 13 maal kleiner kan worden wanneer snelle

reactoren worden ingezet.” Momenteel werken de onderzoekers verder aan dit onderwerp binnen het Europese Euratom project MIMOSA. MIMOSA staat voor Multirecycling strategies of LWR SNF focusing on MOlten SAIt technology en is een onderdeel van EURATOM Research and Innovation Action (RIA). Het project is gelabeld door het Sustainable Nuclear

Energy Technology Platform (SNETP) en richt zich op de recycling van verbruikte splijtstof van lichtwaterreactoren (LWR). Oving: “Het is een Europees project dat een geoptimaliseerde strategie voor geïntegreerd hergebruik van plutonium en uranium wil ontwerpen en demonstreren in gesmoltenzoutreactoren. Opties voor hergebruik in bestaande lichtwaterreactoren worden gecombineerd met recycling van plutonium en andere transuranen die tijdens kernsplijting in reactoren ontstaan en die momenteel als afval worden beschouwd.”

Loodgekoelde reactor

Een loodgekoelde reactor is een reactor waarbij gesmolten lood of een combinatie van lood en bismut dient als koelmiddel. Zowel lood als bismut hebben zware kernen - en daardoor een lage neutronenmoderatie - en een laag smeltpunt: 123,5°C voor de legering. Daarnaast beschermt het goed tegen gammastraling. In tegenstelling tot natrium reageert lood niet met water. Het gesmolten lood kan door de hoge dichtheid bij het wegvallen van stroom waarmee de pompen aangedreven worden blijven stromen door natuurlijke circulatie. Daarbij stijgt het hete lood uit de kern op en stroomt het afgekoelde lood vanuit de warmtewisselaar weer naar beneden. De Sovjet-Unie heeft het principe in de jaren '70 toegepast in militaire kernonderzeeërs. Daarnaast wordt ook gewerkt aan een volledig nieuw concept, BREST-300 (voor Bystry REaktor so Svintsovym Teplonositelem - snelle reactor met loodkoeling). De BREST-300-reactor zal volgens de laatste berichten uit Rusland in 2026 in bedrijf worden genomen.

In Europa wordt al meer dan 20 jaar via samenwerkingsonderzoek actief gewerkt aan loodgekoelde reactortechnologie. Het Belgische MYRRHA-ontwerp dat gepland is voor realisatie in Mol moet hiervan een eerste demonstratie geven, en streeft tegelijk ook andere doeleinden na als onderzoeksfaciliteit. Uiteindelijk is het plan dat de gezamenlijke activiteiten in Europa leiden tot de realisatie van de ALFRED-reactor (Advanced Lead Fast Reactor European Demonstrator). Verder voert het Zweedse Blykalla, ontwikkelaar van loodgekoelde kleine kernreactortechnologie, een haalbaarheidsstudie uit naar de bouw en exploitatie van een demonstratie SEALER (Swedish Advanced Lead Reactor), een kleine loodgekoelde reactor. En in Italië/Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk is het bedrijf Newcleo bezig met het ontwikkelen van lood-reactoren.

Bouwkosten en ontwerpuitdagingen

Als het belang van de inzet van snelle reactoren al langer bekend is, waarom worden ze dan nog niet gebouwd? De reden hiervoor wijt Oving aan de (nog) hoge bouwkosten en het tot dusverre ontbreken van de intentie om een gesloten splijtstofcyclus te realiseren. “In Amerika en Europa waren er tot in de jaren tachtig van de vorige eeuw diverse plannen om snelle reactoren te bouwen, maar door onder meer het ongeluk bij Tsjernobyl werd alles op de lange baan geschoven. In Japan heeft de tsunami in 2011 de ontwikkeling van snelle reactoren een halt toegevoerd, maar daar zien we weer hernieuwde interesse ontstaan, waarschijnlijk vanwege het feit dat Japan niet over goede alternatieven beschikt. In China, India en Rusland zijn ze tot op

Gesmoltenzoutreactor

Anders dan bij conventionele kerncentrales, is de splijtstof in een gesmoltenzoutreactor (MSR) opgelost in een zoutkoelmiddel. De basis voor deze technologie werd al in de jaren 1950 en 1960 ontwikkeld. Momenteel is er hernieuwde interesse in MSR's. De MSR heeft passief veilige eigenschappen die de reactor extra veilig maken. Daarnaast kan thorium relatief makkelijk in de MSR-splijtstofcyclus meegenomen worden. Bij de thoriumcyclus komen bijna geen actinides voor in de gebruikte splijtstof.

In Nederland en Frankrijk werkt Thorizon - een spin-off van de Nuclear Research and consultancy Group (NRG) - al enkele jaren aan de ontwikkeling van een gesmolten zout reactor waarbij de splijtstof opgelost is in het zout. Thorizon onderkent de uitdagingen op materiaalvlak door de kern in vervangbare modules te ontwerpen. Daarnaast heeft het Thorizon ontwerp een uniek veiligheidsaspect. Als de stroomvoorziening bij de reactor van Thorizon uitvalt, stopt het omhoog pompen van het zout en zakt het zout met de daarin opgeloste splijtstof vanzelf door de zwaartekracht uit de kritische zone naar de onderzijde van een module waardoor de kettingreactie stopt. De reactor zal bovendien langlevend afval van een watergekoelde kerncentrale kunnen verbranden en veel minder nieuw langlevend afval genereren dan een watergekoelde reactor. De MSR produceert hoge temperatuur warmte die direct ingezet kan worden voor industriële processen of elektriciteitsproductie met hoog rendement.



© NRG PALLAS

Gilliam van Oudenaren

Gilliam van Oudenaren werkt sinds 2021 voor NRG PALLAS binnen het DWD-team. Aan de TU Delft heeft hij zijn bachelor en master in technische natuurkunde (applied physics) behaald. Hij heeft zich gespecialiseerd in nucleaire techniek via de 'nuclear science & engineering' track en is afgestudeerd op de physio-chemische modellering van gesmolten zouten voor toepassing in MSR's. Bij NRG PALLAS werkt hij aan de ontwikkelingen van splijtstofherbelading voor kokendwaterreactoren. Van Oudenaren houdt zich bezig met risicoanalyses van nucleaire installaties en onderzoeksprojecten naar de rol van kernenergie in de toekomst.

de dag van vandaag wel doorgegaan met de ontwikkeling en worden steeds grotere ontwerpen gebouwd.”

Een andere reden is de technische uitdaging om tot een betrouwbaar en duurzaam ontwerp te komen van snelle reactoren. Oving: “Het gaat daarbij om de materiaalkeuze en de engineering. Bij natriumgekoelde reactoren is het probleem dat natrium heftig reageert met lucht en water. Dus je moet ervoor zorgen dat het primaire systeem goed afgesloten blijft. Dat is dus typisch een onderwerp voor engineers om op te lossen. In Rusland zijn ze daar al heel ver mee; er is inmiddels een robuust ontwerp beschikbaar.”

Dit nadeel van natrium speelt niet bij gebruik van vloeibaar lood als koelmiddel. Het nadeel van lood bij loodgekoelde

reactoren is dat lood corrosief en erosief is en daar zullen de engineers zich bijvoorbeeld moeten buigen over hoe de pompen van het primaire systeem beschermd kunnen worden. Er zijn in het verleden door de USSR lood-bismut reactoren voor langere tijd gebruikt in onderzeeërs. “Een loodgekoelde reactor is dus op kleinere schaal een bewezen technologie. Loodgekoelde reactoren hebben bovendien een heel snel spectrum - de neutronen zijn zeer energierijk - en dat is het beste voor het versplijten van actinides.” Naast loodgekoelde reactoren kunnen ook gesmoltenzoutreactoren waarbij de splijtstof is opgelost in het gesmolten zout ingezet worden om de splijtstofcyclus te sluiten. Ook hierbij vormt het materiaal een grote uitdaging. Deze uitdaging is door de

Nederlandse startup Thorizon opgepakt door de kern op te splitsen in vervangbare kernmodules. Thorizon timmert op die manier met zijn gesmoltenzoutreactor ontwerp flink aan de weg. Internationaal zijn er tientallen bedrijven en startups bezig met de ontwikkeling van allerlei nieuwe reactorontwerpen. Maar het zal evengoed nog jaren duren voor de nieuwe reactoren operationeel zijn en daadwerkelijk een bijdrage kunnen leveren aan het tot stand brengen van een gesloten splijtstofcyclus. De resultaten van de huidige NRG PALLAS-systeemstudie zijn eerder afgerond en worden naar verwachting in de loop van 2025 gepresenteerd. **K**

Menno Jelgersma



Nucleaire detectives

Nucleaire technieken stellen ons in staat om hele kleine hoeveelheden van radioactieve stoffen te detecteren, en ons ook nog eens te vertellen in welke verhoudingen hun isotopen voorkomen.

Je kunt daar verbluffende conclusies uit trekken. Zo kan de verhouding tussen zuurstof-18 en zuurstof-16 ons iets vertellen over het klimaat, (honderden) miljoenen jaren geleden. Het is spuurwerk van het niveau dat je in misdaadseries ziet, in het Engels noemt met het nuclear forensics.

Een mooi voorbeeld hiervan is op 31 januari 2025 gepubliceerd in Science Advances 11, Issue 5 (zie <https://shorturl.at/ounGd>). Het gaat over het Saharastof dat in maart 2022 in zeer grote hoeveelheden naar West-Europa is gewaaid. Er werd toen beweerd dat met het stof ook een hoeveelheid radioactiviteit naar het noorden werd vervoerd, en dat die wel eens afkomstig zou kunnen zijn van de Franse atoombomtesten in Algerije.

Na een oproep op internet hebben tientallen vrijwilligers op verschillende plekken in West-Europa stofmonsters verzameld en opgestuurd. Daaruit bleek eenduidig dat dit stof afkomstig was uit Algerije, de regio rondom Reggane. Daar heeft Frankrijk 4 bovengrondse atoombomtesten uitgevoerd, in 1960-1961.

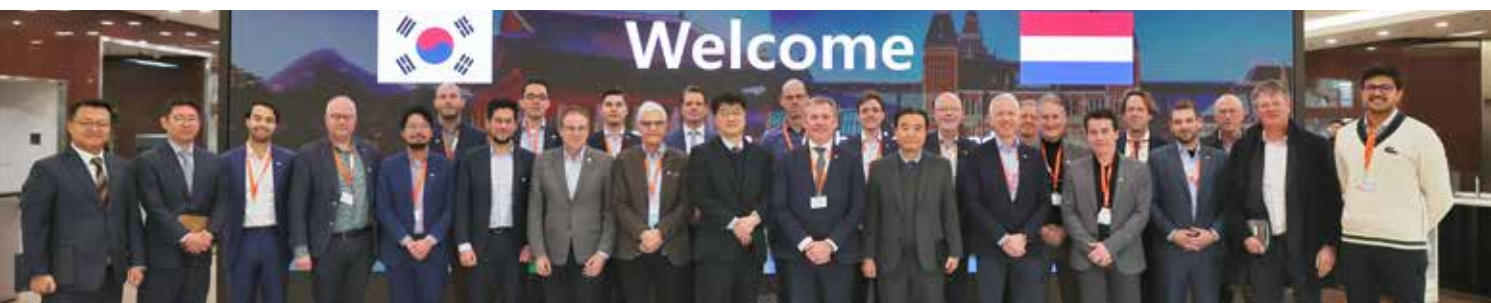
Maar klopt het ook dat de radioactiviteit van die testen met het stof meegekomen is naar West-Europa? Om dat uit te zoeken heb je dus nucleaire detectives nodig. Je kunt daar iets over zeggen als je kijkt naar de verhouding tussen plutonium-240 en plutonium-239. Die verhouding wordt bepaald door het plutonium waarmee de bom beladen was (dat is ook een mengsel van die twee isotopen), en de details van het ontwerp van de bom en de uitvoering van de test.

Bij de Reggane proeven was de verhouding plutonium-240/ plutonium-239 die overbleef kleiner dan 0,07. Maar de waarde die in de tientallen stofmonsters werd aangetroffen was gemiddeld 0,19. En dat zit weer dicht bij 0,18: de waarde die op veel plekken op het Noordelijk halfrond is gemeten. Dat is wat overbleef nadat al het stof zich had vermengd, op het hele halfrond. Omdat de Amerikanen en de Russen veruit het grootste aantal proeven hebben gedaan op het Noordelijk halfrond, is die "vingerafdruk" van 0,18 vooral door hen bepaald.

Ik kijk al uit naar de volgende toepassing van nucleaire techniek die ons verrassende conclusies voorschotel! **K**

Lars Roobol

Lars Roobol (1966) is stralingsdeskundige, natuurkundige en wiskundige. Na zijn promotie in Leiden en een postdoc-periode in Bayreuth en Londen, heeft hij als cyclotronspecialist gewerkt bij het Kernfysisch versneller instituut in Groningen, als manager bij de Hot Cell Laboratories en de Waste Storage Facility in Petten, en als stralingsdeskundige op het AmsterdamUMC, locatie AMC. Sinds 2011 werkt hij als afdelingshoofd bij het RIVM. Deze column is op persoonlijke titel geschreven.



Innovatiemissie Nucleaire Technologie naar Zuid-Korea

Begin december bezocht een Nederlandse delegatie Zuid-Korea voor een innovatiemissie met als thema 'Nucleaire Technologie'. Deze missie werd georganiseerd door de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) in opdracht van het Ministerie van Klimaat en Groene Groei. Het doel was om lessen te trekken uit de succesvolle nucleaire inzet van Zuid-Korea, zowel in eigen land als wereldwijd. Het Zuid-Koreaanse bedrijf KHNP is bovendien één van de mogelijke bouwers van de initiële twee nieuwe Nederlandse kerncentrales.

Aan de missie nam een brede delegatie van Nederlandse partijen deel, waaronder ook instellingen voor hoger onderwijs en universiteiten. Ad Louter, voorzitter van Nucleair Nederland was de Head of Delegation: "Nederland beschikt over waardevolle expertise op verschillende gebieden van nucleair onderzoek en ontwikkeling. Zo hebben we veel kennis over SMR's (Small Modular Reactors), de verduurzaming van de splijtstofcyclus, het gebruik van plutonium en thorium en veilig beheer van nucleair afval."

Zuid-Korea: decennia aan nucleaire ervaring

Al ruim 50 jaar ontwikkelt Zuid-Korea onafgebroken nieuwe nucleaire faciliteiten. Zo bouwden ze een grote vloot aan kernreactoren voor de thuismarkt. Hierdoor beschikt het land over een sterke, ervaren en complete nucleaire waardeketen die heeft bewezen nucleaire projecten op tijd en binnen het budget op te kunnen leveren, zonder noemenswaardige veiligheidsincidenten. De laatste jaren heeft Zuid-Korea ook ingezet op

export. Recent zijn er vier kerncentrales in de Verenigde Arabische Emiraten opgeleverd. Voor de Nederlandse nucleaire industrie daarom een interessant land om kennis en ervaring mee uit te wisselen.

Uitwisseling technische en wetenschappelijke kennis

De visie van het huidige kabinet is dat kernenergie als betrouwbare energiebron een sleutelrol kan spelen in een duurzaam en robuust energiesysteem. Kernenergie vormt een regelbare basislast die niet weersafhankelijk is en daarmee de behoefte aan flexibiliteitsmaatregelen en opslag vermindert. Ook zorgt kernenergie voor verdere diversificatie van het energiesysteem. Het kabinet zet daarom de voorbereidingen voor de bouw van twee kerncentrales door, zoals al besloten was door het vorige kabinet. Er wordt toegewerkt naar een aanbesteding voor de bouw van deze kerncentrales. Het ministerie van KGG is hiervoor in gesprek met drie bedrijven die grote kerncentrales kunnen bouwen. Een van deze bedrijven is het Zuid-Koreaanse KHNP. De andere twee bedrijven

zijn Westinghouse (VS) en EDF (Frankrijk). Daarnaast zijn er al langlopende relaties tussen Nederlandse en Zuid-Koreaanse bedrijven. Zo is Urenco een belangrijke leverancier van splijtstof en is de recent in bedrijf genomen koude bron voor de Hoger Onderwijs Reactor van de TU Delft geleverd door Zuid-Koreaanse partijen. NRG PALLAS werkt samen in onderzoeksprojecten en levert technische ondersteuning.

Naar 'net nul'

De delegatie bezocht verschillende bedrijven en organisaties, waaronder KORAD (Korea Radioactive Waste Agency), Doosan Enerbility, KAERI (Korea Atomic Energy Research Institute), SNU (Seoul National University) en Hyundai Engineering & Construction. Louter: "De innovatiemissie was een geweldige kans om inzicht te krijgen in de nucleaire sector in Zuid-Korea en om wederzijdse partnerschappen aan te gaan en te versterken. We hopen dat nieuwe verbindingen tussen de industriële partners zal leiden tot een snellere en krachtigere stap naar net nul." **K**

Een nieuw tijdperk voor kernenergie breekt aan

Een nieuw momentum voor kernenergie kan een tijdperk inluiden voor deze veilige en schone energiebron in een tijd waarin de vraag naar elektriciteit wereldwijd sterk toeneemt', zo blijkt uit het nieuwe IAE-rapport: *The Path to a New Era for Nuclear Energy*. Kernenergie zal in 2025 een nieuw record bereiken en kan de energiezekerheid verbeteren naarmate de vraag naar elektriciteit toeneemt. Het rapport benadrukt dat de private sector kernenergie steeds meer ziet als een energiebron waarin geïnvesteerd kan worden met de belofte van betrouwbare, concurrerende en schone stroom die 24 uur per dag, 7 dagen per week beschikbaar zal zijn.

Het rapport toont de nieuwe impuls voor kernenergie in de vorm van nieuw beleid, projecten, investeringen en technologische vooruitgang, zoals de ontwikkeling van kleine modulaire reactoren (SMR's). Het biedt een uitgebreide beoordeling van de huidige situatie en identificeert de belangrijkste uitdagingen die moeten worden aangepakt om voort te bouwen op het huidige momentum en een nieuw tijdperk mogelijk te maken. Dit omvat inzichten in hoe nieuwe nucleaire projecten kunnen worden gefinancierd en hoe tegelijkertijd kan worden gezorgd voor betrouwbare en gediversifieerde toeleveringsketens voor de bouw en de splijtstofvoorziening.

70 gigawatt in aanbouw

"Het is vandaag duidelijk dat de sterke comeback voor kernenergie die het IEA enkele jaren geleden voorspelde, goed op gang is gekomen, met kernenergie die in

2025 een recordhoeveelheid elektriciteit zal opwekken", zei Fatih Birol, uitvoerend directeur van het IEA. "Bovendien is er wereldwijd meer dan 70 gigawatt aan nieuwe nucleaire capaciteit in aanbouw, een van de hoogste niveaus in de afgelopen 30 jaar, en meer dan 40 landen over de hele wereld hebben plannen om de rol van kernenergie in hun energiesystemen uit te breiden. Vooral SMR's bieden een opwindend groeipotentieel. Regeringen en de industrie moeten echter nog een aantal belangrijke hindernissen nemen op weg naar een nieuw tijdperk voor kernenergie, te beginnen met het op tijd en binnen het budget opleveren van nieuwe projecten, maar ook op het gebied van financiering en toeleveringsketens."

Versnelde groei gebruik van elektriciteit

Als 's werelds op een na grootste bron van CO₂-vrije elektriciteit, na waterkracht,

produceert kernenergie vandaag iets minder dan 10 procent van de wereldwijde elektriciteitsvoorziening. Het toenemende gebruik van elektriciteit - van industrie en airconditioning tot elektrische voertuigen en datacenters tegen de achtergrond van de opkomst van kunstmatige intelligentie



✎ *Fatih Birol, uitvoerend directeur van het Internationaal Energieagentschap in Parijs.*

technologieën die zowel een vaste en flexibele productie kunnen leveren, zoals kernenergie.

Behoeftte aan diversiteit in de toeleveringsketen

Het grootste deel van de bestaande kernenergievloot bevindt zich momenteel in hoogontwikkelde economieën, maar veel van die centrales zijn tientallen jaren geleden gebouwd. Ondertussen is de wereldkaart voor kernenergie aan het veranderen, met de meeste projecten in aanbouw in China, dat op koers ligt om zowel de Verenigde Staten als Europa in te halen in geïnstalleerde nucleaire capaciteit tegen 2030. Rusland is ook een belangrijke speler in het landschap van nucleaire technologie. Van de 52 reactoren die sinds 2017 wereldwijd in aanbouw zijn genomen, zijn er 25 van Chinese en nog eens 23 van Russische makelij. Het rapport laat ook zien hoe de productie en verrijking van uranium, de splijtstof voor kernreactoren, sterk geconcentreerd zijn. “Vandaag de dag vindt meer dan 99 procent van de verrijkingcapaciteit plaats in vier landen, waarbij Rusland 40 procent van de wereldwijde capaciteit voor zijn rekening neemt, het grootste aandeel”, aldus Birol. “Sterk geconcentreerde markten voor nucleaire technologieën en voor de productie en verrijking van uranium vormen een risicofactor voor de toekomst en onderstrepen de behoefte aan meer diversiteit in de toeleveringsketens.”

Bouw SMR's leiden tot lagere financieringskosten

Het rapport concludeert dat innovaties in nucleaire technologieën bijdragen aan het momentum voor nieuwe projecten. SMR's, een type kleinschaligere kerncentrales die sneller te bouwen zijn met meer ruimte voor kostenreductie, trekken steeds meer belangstelling van de particuliere sector. In het rapport wordt benadrukt hoe de introductie van SMR's zou kunnen leiden tot lagere financieringskosten. Met de juiste steun zouden SMR-installaties tegen 2040 80 GW kunnen bereiken, goed voor

10 procent van de totale nucleaire capaciteit wereldwijd. Het succes van de technologie en de snelheid van invoering zullen echter afhangen van het vermogen van de industrie om de kosten tegen 2040 terug te brengen tot een niveau dat vergelijkbaar is met dat van grootschalige waterkracht- en offshore windprojecten.

Belofte schone stroom trekt private investeerders

Een nieuw tijdperk voor kernenergie zal veel investeringen vergen. In een snel groeiscenario voor kernenergie moeten de jaarlijkse investeringen verdubbelen tot 120 miljard USD in 2030. Gezien de omvang van de vereiste investeringen in infrastructuur kan de uitrol van nieuwe nucleaire projecten niet uitsluitend steunen op overheidsfinanciën. Uit de analyse van het IEA blijkt dat het waarborgen van de voorspelbaarheid van toekomstige kasstromen essentieel is om de financieringskosten te verlagen en privékapitaal aan te trekken voor de nucleaire sector. Het rapport benadrukt dat de privésector kernenergie steeds meer ziet als een energiebron waarin geïnvesteerd kan worden, met de belofte van vaste, concurrerende, schone stroom die 24 uur per dag, 7 dagen per week energie-intensieve activiteiten kan uitvoeren. Vooral grote namen in de technologiesector sluiten stroomafnameovereenkomsten met ontwikkelaars om elektriciteit te leveren voor datacenters en kunstmatige intelligentie.

Om te kunnen profiteren van de mogelijkheden die kernenergie biedt, moeten regeringen bereid zijn om een strategische visie te bieden in combinatie met stabiele regelgevingskaders die de particuliere sector het vertrouwen geven om te investeren. Het rapport beschrijft hoe stimuleringsmaatregelen en overheidsfinanciering in het algemeen de investeringen kunnen vrijmaken die nodig zijn om meer schone en betrouwbare kernenergie te leveren. **K**

Download hier het rapport
The Path to a New Era for
Nuclear Energy



© IEA - Magali Delporte

(AI) - versnelt de groei van de vraag naar elektriciteit, die op basis van het huidige beleid de komende decennia zes keer zo snel zal stijgen als het totale energieverbruik. Om de snelle groei van de vraag bij te houden, is nieuwe opwekkingscapaciteit nodig van verschillende technologieën, waaronder

LEGO-model als brug tussen theorie en praktijk

© Vincent Lamirand

Hoe leg je studenten de werking van een reactor op een toegankelijke en begrijpelijke manier uit? Met het toelichten van bouwtekeningen en laten zien van filmpjes kom je een heel eind, maar een model op schaal, dat de studenten zelf kunnen aanraken en bekijken, kom je nog veel verder. Vincent Lamirand combineerde zijn werk als wetenschapper en docent voor de École Polytechnique Fédérale de Lausanne met zijn hobby en ontwierp een LEGO-schaalmodel van de onderzoeksreactor CROCUS.

CROCUS is de onderzoeksreactor van de École Polytechnique Fédérale de Lausanne, een onderzoeksinstituut en universiteit in Lausanne, Zwitserland. De reactor wordt gebruikt voor onderwijsdoeleinden en onderzoek en heeft een vergunning om 100 watt (0,13 pk) of een neutronenflux van $\sim 2,5 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ in het centrum van de kern te produceren. De uraniumkern bevindt zich in een aluminium vat met een diameter van 130 centimeter en wanden van 1,2 centimeter dik. Het aluminium vat is gevuld met gedemineraliseerd water dat dient als neutronenmoderator en

neutronenreflector. Het vermogen wordt geregeld door ofwel het waterniveau in de reactor aan te passen met een interval van $\pm 0,1$ millimeter of door de positie van twee regelstaven van boriumcarbide aan te passen met een interval van ± 1 millimeter. De reactor heeft zes afzonderlijke veiligheidssystemen: twee cadmiumschilden en vier opslagtanks, waarvan elk de reactie in minder dan een seconde kan stilleggen.

3D visualisatie

“Al mijn studenten zijn bijzonder slimme mensen, maar ik bemerkte dat het evengoed

niet voor iedereen even gemakkelijk was om de schematische bouwtekeningen en losse onderdelen in hun hoofd om te zetten in driedimensionale beelden van de hele reactor”, vertelt Lamirand. In eerste instantie gebruikte hij daarom een 3D-geprint model in zijn les, maar hier zaten toch wat nadelen aan. “Het was heel fragiel en wanneer je per ongeluk iets verkeerd aanraakte, vielen alle splijtstofstaven er uit die je dan weer heel voorzichtig een voor een moest terugplaatsen.” In zijn jeugd was Lamirand een enthousiaste LEGO-bouwer en nu zijn kinderen 5 en 7 zijn, wordt er weer volop met LEGO gebouwd in zijn huis. In de avonden begon hij aan een ontwerp voor de CROCUS-reactor. Hij benadrukt dat het vrijetijdsbesteding was. “Het is zeker niet zo dat ik in mijn werktijd kan lego-en”, lacht hij. Het LEGO-model van de CROCUS bestaat uit 650 steentjes en kan in delen uit elkaar worden gehaald waardoor het studenten de kans biedt om de relatie tussen alle componenten van de reactor te zien. In september 2024 begon hij het model te gebruiken in zijn lessen waar het met veel

enthousiasme werd ontvangen door zijn Master-studenten. Dit voorjaar gaat hij het model ook gebruiken voor zijn Bachelor-studenten.

Publiekscommunicatie

Het model is bij uitstek geschikt voor het onderwijs, maar kan ook een belangrijke rol spelen in het toegankelijk maken van nucleair voor het algemene publiek. Lamirand: "Ik heb het in eerste instantie alleen ontworpen voor lesdoeleinden maar toen kreeg ik het advies om het in te dienen op het LEGO Ideas Platform zodat het, met voldoende stemmen, een officiële LEGO-set kan worden." Het Lego Ideas Platform is een website waarop iedereen zijn zelfontworpen LEGO-set kan indienen. Van de bouwers wordt verwacht dat ze hun ideeën zelf fotograferen en omschrijven en vervolgens uploaden naar de website. Wanneer het idee is toegelaten, is het zaak om zoveel mogelijk stemmen te krijgen. Hoe meer stemmen je krijgt, hoe langer je idee op de website zichtbaar blijft, hoe meer stemmen je kan binnenhalen, vooral als je idee wordt opgemerkt door de LEGO-community en het scoopt tot 'staff picked'. Bij 10.000 stemmen kan je ontwerp een officiële LEGO-doos worden. Op het moment van schrijven heeft het ontwerp van de CROCUS de 800 stemmen al gepasseerd. Lamirand: "De volgende belangrijke deadline is 1.000 supporters. Ik merk dat de aandacht in golven komt,



➤ *Het LEGO-model is bij uitstek geschikt voor het onderwijs, maar kan ook een belangrijke rol spelen in het toegankelijk maken van nucleair voor het algemene publiek.*

afhankelijk van de publiciteit. Laatst had de American Nuclear Society aandacht besteed aan het ontwerp en toen kwamen er in een keer een heleboel stemmen bij." Hij hoopt dat uiteindelijk de benodigde 10.000 stemmen wordt bereikt. "Er is veel technisch LEGO op de markt maar er zijn geen nucleaire faciliteiten of onderwerpen terwijl dat zeker zou kunnen helpen bij het toegankelijk maken van nucleair technologie. Het is toch nog een beetje een niche." Tot nu toe is het ontwerp van Lamirand een van de weinige nucleaire faciliteiten op het LEGO Ideas Platform. Wel is er een set van de MAST-U-upgrade van de Britse tokamak, één van de grootste bolvormige tokamaks ter wereld die wordt gebruikt voor fusieonderzoek.

En hoewel Lamirand niet is benaderd door andere instanties om LEGO-modellen van andere faciliteiten te ontwerpen, ziet hij wel kansen voor andere ontwerpen. "Iedereen kan aan de slag met LEGO, of het nu een controlekamer van een kernreactor is of een koeltoren, de mogelijkheden zijn eindeloos en kunnen helpen bij het demystificeren van nucleair!" **K**

Sarala Jelgersma

Nieuwsgierig naar het LEGO-model van de CROCUS of wil je een stem uitbrengen? Dat kan middels de QR-code hiernaast:



Vincent Lamirand

Vincent Lamirand is gepromoveerd op de meting van (p,n) reactiedoorsneden op kleine versnellers (IRSN, Frankrijk) waarna hij heeft gewerkt aan de ontwikkeling van neutronendetectors en meetmethoden voor reactorfysica (CEA, Frankrijk). Sinds oktober 2014 maak hij onderdeel uit van de LRS-staf (Laboratory of Reactor Physics and Systems Behaviour) van de EPFL (École Polytechnique Fédérale de Lausanne) Universiteit in Zwitserland. Hij heeft de leiding heeft over de experimentele onderzoeksactiviteiten, waaronder de CROCUS-experimentele reactor en de LOTUS-caviteit. Ook is hij adjunct van het hoofd van de nucleaire faciliteiten 'Oskari Pakari', om hem te ondersteunen bij het beheer van de gecontroleerde zone van het LRS. Als docent draagt hij bij aan de onderwijsactiviteiten van het LRS, aan het beheer van het gezamenlijke programma van EPFL en ETH Zürich in Nucleaire Techniek, met het college Stralingsdetectie, en in het bijzonder voor de stralings- en reactorexperimenten.





Word begunstiger* van Stichting KernVisie en ontvang KernVisie Magazine 6x per jaar

De Stichting KernVisie streeft naar het vergroten van het draagvlak voor nucleaire technologie en al haar toepassingen. Haar communicatiemiddelen zijn het tweemaandelijks KernVisie Magazine, de Nieuwsberichten en de website.

Het Magazine wordt verstuurd aan begunstigers van de Stichting, leden van NNS en KIVI-Kerntechniek waarvan de gegevens die nodig zijn voor verzending bij de stichting bekend zijn en aan andere belanghebbenden. Daarnaast verzorgen vertegenwoordigers van de stichting lezingen en gastcolleges. De Stichting streeft ernaar om de informatie over kerntechnologie toegankelijk en aantrekkelijk te maken voor haar KernVisie-lezers en bezoekers van hun website.

Leden van de NNS en KIVI-Kerntechniek kunnen zich, met vermelding van NNS resp. KIVI-KE en lidmaatschapsnummer, voor het magazine aan- of afmelden via het contactformulier op de website.

*** Wilt u zich aanmelden als begunstiger van Stichting KernVisie?**

Geef ook daarvoor uw gegevens door via het contactformulier op de website.

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

