



**KERNVISIE
MAGAZINE**

HABOG voor het
eerst tint lichter

Frankrijk in race
naar SMR

VK zet in op
waterstof

4
Oktober
2021

UITGAVE VAN
STICHTING KERNVISIE

**Drones kunnen
reistijd medische
isotopen halveren**



Kernvisie Magazine is een uitgave van:



Stichting **KernVisie**
EEN ENERGIEK INITIATIEF

Jaargang 16
Nummer 4
Oktober 2021
Kernvisie verschijnt tweemaandelijks
Oplage 2.200 ex

Ontwerp & Grafische realisatie
StudioHusken.nl, Alkmaar

Bestuur Stichting KernVisie

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

Redactie Kernvisie Magazine

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

Redactie adres

Dokter Bosmanshof 32, 6851 MJ Huissen
Telefoon 026-2130214
E-mail: kernvisie@kernvisie.com
Internet: www.kernvisie.com
Bankrekening NL19 INGB 0006 8513 70, t.n.v. Kernvisie,
Foundation for Nuclear Technology te Zwijndrecht.

Op de Cover

Mees Bakker
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

Stichting KernVisie officieel erkend als ANBI



Vanaf deze zomer is de Stichting KernVisie door de overheid erkend als Algemeen Nut Beogende Instelling (ANBI). Om voor een ANBI in aanmerking te komen moet aan verscheidene voorwaarden worden voldaan. De belangrijkste is wel dat de instelling volledig gericht moet zijn op het algemeen nut en dat zijn we. Wij zetten ons in om zoveel mogelijk mensen op de hoogte te brengen van de toepassingen van nucleaire techniek omdat wij dit niet alleen als nuttig zien voor de maatschappij maar soms zelfs van levensbelang. Zo organiseren we het terugkerende symposium The Nuclear Elephant en besteden in ons magazine aandacht aan de toepassingen van nucleaire technologie in de energievoorziening, de geneeskunde en de wetenschap. We brengen nieuwe ontwikkelingen onder de aandacht, zoals in dit nummer het onderzoek van Mees Bakker naar de inzet van drones om medische isotopen vanuit de productiefaciliteiten naar de ziekenhuizen te vliegen. Maar ook door eigen informatieverstrekking over bijvoorbeeld de kansen van waterstof in de toekomstige energievoorziening, dan wel de ontwikkeling van kleine modulaire reactoren (SMR's). Vanaf nu is Stichting KernVisie een ANBI-organisatie, een erkenning waar wij trots op mogen zijn.

André Versteegh
voorzitter Stichting KernVisie **K**

P04



Medisch

Drones kunnen reistijd medische isotopen halveren

Waar levertijd in het wegvervoer een belangrijke factor is, geldt dat dubbel voor het vervoer van isotopen die door hun radioactieve verval aan kwaliteit inboeten naarmate het langer duurt om van radiofarmaceut in het ziekenhuis te komen. Drones kunnen hier mogelijk de oplossing bieden, is een van de uitkomsten van het afstudeeronderzoek van Mees Bakker.

P11 Maatschappij

Het HABOG voor het eerst een tint lichter geschilderd

Het HABOG, het Hoogradioactief Afval Behandelings- en OpslagGebouw voor de opslag van hoogradioactief afval van de COVRA krijgt voor het eerst een lichtere kleur. Elke twintig jaar wordt het gebouw een tint lichter geschilderd, totdat het over honderd jaar wit is. Het geeft daarmee het concept aan van radioactief verval van het afval dat veilig in het HABOG ligt opgeslagen en naarmate de tijd vordert steeds minder radioactief is.

P20



Energie

De Franse race voor de kleine modulaire reactoren

De race om de ontwikkeling en productie van kleine modulaire reactoren (SMR) is meer dan omvangrijk met ten minste 72 concepten in verschillende stadia van ontwikkeling in landen als Argentinië, Canada, de VS, het VK, Rusland en China. Frankrijk heeft zich daar met de NUWARD bij aangesloten.

P14 Energie

Groot-Brittannië zet groot in op waterstof

De Britse regering kondigde onlangs de waterstofstrategie van het land aan - UK Hydrogen Strategy - die voor de komende decennia duizenden banen en miljarden ponden aan investerings- en exportmogelijkheden voorspelt via de oprichting van een koolstofarme waterstofsector in Groot-Brittannië. Uit het onderzoeksdocument Advanced Modular Reactors Technical Assessment van het Nuclear Innovation and Research Office (NIRO) blijkt bovendien dat HTGR's (High Temperature Gas Reactors) voor de productie van waterstof de voorkeur genieten.



P12 InBeeld

Sector #1 van ITER-vacuümvat in Cadarache aangekomen.

P16 Infographic

Waterstof en kernenergie.

P18 Boekbespreking

How to drive a nuclear reactor -
Auteur: Colin Tucker.

P23 Column

André Wakker - Kernenergie in de EU: erop of eronder.



Een toename in het gebruik van medische isotopen vraagt om een betrouwbare infrastructuur. Waar levertijd in het wegvervoer een belangrijke factor is, geldt dat dubbel voor het vervoer van isotopen die door hun radioactieve verval aan kwaliteit inboeten naarmate het langer duurt om van radiofarmaceut naar het ziekenhuis te komen. Drones kunnen hier mogelijk de oplossing bieden. Het is op papier mogelijk om de reistijd van de medische isotopen te halveren bij het gebruik van drones. Dit is een van de uitkomsten van het afstudeeronderzoek van Mees Bakker.

Medisch

Drones kunnen reistijd medische isotopen halveren



De ontwikkeling van drones die zowel lang kunnen vliegen als een zware last kunnen dragen, in combinatie met ontwerp en aanpassing van wet- en regelgeving zal naar verwachting op termijn de mogelijkheid bieden tot snel en veilig vervoer van medische isotopen door de lucht. Dit toont Bakker aan in zijn case studie. Hij onderzocht de drone-levering van Tc-99m radiofarmaca vanuit drie radiofarmacielocaties aan 36 ziekenhuizen in Nederland. De transporttijd nam daarbij gemiddeld met 37 minuten af. Daarnaast is er een afname in het vervalverlies van 5,7 procent ten opzichte van een levering per bestelwagen. Bakker heeft Science, Business and Innovation (SBI) als bachelor gestudeerd aan de VU. "Het is een interdisciplinaire studie die natuurwetenschappen als wiskunde, scheikunde en natuurkunde combineert met bedrijfs- en innovatiemanagement. Tijdens mijn studie heb ik geleerd kritisch te kijken naar financiële haalbaarheid en maatschappelijke bijdrage van innovaties en nieuwe technologieën en hoe deze bedrijven kunnen verbeteren." Aansluitend heeft Bakker zijn master Transport & Supply Chain Management gedaan wat resulteerde in zijn thesis: *Delivering medical isotopes by drone - Exploring the applicability for the Dutch market*.

Koffie en thee op afroep

Het onderzoek voor de scriptie was voor Bakker een goede manier om alle verworven kennis te combineren. "Het was heel innovatief en sloot prima aan bij het onderdeel supply chain van de master die ik had afgerond, omdat je begint met onderzoek naar de toeleveringsketen van medische isotopen vanuit de productiecentra naar de ziekenhuizen en wat daar allemaal bij komt kijken." Op zich had Bakker vooraf geen bijzondere affiniteit met drones. Hij wist er niet meer van dan dat drones veelvuldig worden gebruikt voor persoonlijke doeleinden zoals het maken van foto's en video's. Tijdens het onderzoek naar drones die voor het vervoer van lading zijn ontworpen, raakte Bakker steeds

meer overtuigd van de potentie die deze nieuwe technologie heeft. Hij verwacht dan ook een toename van de inzet van drones in de toekomst. Je ziet volgens hem dat verscheidene bedrijven zich echt richten op vervoer per drones, zoals Wingcopter. Dit bedrijf biedt drone-oplossingen, bijvoorbeeld bij de leveringen van medicijnen in gebieden die nauwelijks te bereiken zijn. "Er zijn ook bedrijven zoals Wing, een dochteronderneming van Google, die in Australië kleine pakketjes met medicijnen, eten en huishoudelijke artikelen op afroep per drone bij de klanten thuisbezorgt. Of het bedrijf Flytrex dat in IJsland zelfs warm eten aan huis levert." Bakker geeft wel direct toe dat er meer ruimte in plekken als Australië is waardoor het makkelijker is om pakketten in een tuin af te leveren. Voor steden is dat natuurlijk een stuk lastiger en dat geldt zeker ook voor het verstedelijkte Nederland. "Daarom ligt de nadruk van het onderzoek in Nederland vooral op het medische vlak en wat drone-technologie hiervoor zou kunnen betekenen."

In zijn scriptie gaat het dan ook over het vervoer van een vaste productiefaciliteit naar een ziekenhuis waar bijvoorbeeld ook al een ruimte is ingericht voor het landen van een traumahelikopter. Bakker heeft in zijn bachelor al aardig wat kennis opgedaan op het gebied van nucleaire technologie. "Mijn begeleidster vanuit de VU dacht daarom dat het onderzoek naar de haalbaarheid van het vervoer van medische isotopen per drone wel aansloot bij mijn opleiding en interesse." Bakker vertelt dat hij zich niet realiseerde wat de reikwijdte van de nucleaire geneeskunde eigenlijk was. "30.000 mensen per dag die behandeld worden met medicijnen die bij NRG in Petten worden geproduceerd. Dat weten de meeste mensen niet." En al die producten worden vervoerd van Petten via de farmaceutische bedrijven naar de ziekenhuizen.

Het onderzoek

De hoofdvraag van het onderzoek luidde als volgt: Is drone-levering van medische

isotopen aan ziekenhuizen in Nederland een voordelige en kosteneffectieve transportmethode vergeleken met het huidige wegtransport? Om daarachter te komen zijn een aantal deelvragen geformuleerd. "Een van die deelvragen betreft het inzicht verkrijgen in de verschillende type drones die voor vervoer geschikt zouden zijn." Bakker legt uit dat er drie typen zijn: "Je hebt de multi-rotor drones die lijken op een helikopter en verticaal kunnen stijgen en landen, de fixed wing drones, eigenlijk een klein soort vliegtuig dat over langere afstanden kan vliegen maar niet verticaal kan stijgen of landen en een hybride vorm die alle voordelen in één type verenigt, maar ook de duurste variant is." Bakker werkte voor zijn onderzoek samen met NRG, als producent van medische isotopen en ANWB Medical Air Assistance (MAA), die in Nederland het medische luchttransport verzorgt. "Hieronder vallen bijvoorbeeld de traumahelikopters. De MAA onderzoekt momenteel ook welke bijdrage drones kunnen leveren binnen de zorgsector in een consortium genaamd Medical Drone Service (MDS). Momenteel onderzoeken ze samen met Sanquin het gebruik van drones voor de levering van bloed, de levering van medicatie samen met Erasmus MC en de levering van monsters aan laboratoria samen met Certe en Isala ziekenhuizen. MDS werkt met een hybride drone van AVY, waarvan Bakker verwacht dat er in de toekomst veelvuldig gebruik zal worden gemaakt voor medische vluchten."

21 kilogram

De truc is volgens Bakker het vinden van een kleine snelle drone die over lange afstanden kan vliegen en voldoende gewicht kan dragen. "Een van de beperkingen van de huidige kleine drones is het draaggewicht. Omdat medische isotopen radioactief zijn, is vaak een zware container nodig om de straling af te schermen. In totaal weegt zo'n pakket 21 kilogram, terwijl het maximale laadvermogen van de meeste drones ➤



© Irene van Kessel

➤ Mees Bakker in de bus van Medical Drone Service waar ze op verschillende schermen de route van de drone uitstippelen en de drone kunnen volgen tijdens de vlucht. In de toekomst zal dat vanuit een centraal punt in Nederland gaan gebeuren.



onder de 6 kilogram ligt.” Er zijn wel drones die tot 32 kilogram kunnen tillen, maar die leveren weer in op hun vliegbereik en hebben hetzelfde formaat als een personenwagen. Ook blijkt uit Bakkers onderzoek dat de weersomstandigheden een belemmering kunnen zijn. “Over het algemeen vliegen drones bij windsnelheden tot 30 km/uur en bij droog weer tot lichte regen.” Dat betekent dat in geval van nood een tweede leveringsketen beschikbaar moet zijn. “Veiligheid is ook een belangrijk onderwerp bij het vervoer van medische isotopen. Voor het geval dat afgeschermd radioactief materiaal op straat terecht zou komen zijn specifieke veiligheidssystemen noodzakelijk.” Voor het vervoer van gevaarlijke goederen door de lucht bestaat de wereldwijde IATA Dangerous Goods Regulations. Als drones worden ingezet voor de levering van medische isotopen moeten zij voldoen aan deze regelgeving en mogelijk aanvullende regelgeving die specifiek voor drones is opgesteld.

PET-isotopen

Het onderzoek van Bakker wees uit dat het vervoer per drone meer dan de helft aan tijd bespaart ten opzichte van wegvervoer. Daarnaast is er een afname van de hoeveelheid medische isotopen (de werkzame stof) als gevolg van radioactief verval. Dit leidt in de onderzochte case study voor Nederland weliswaar tot een jaarlijkse kostendaling van €112.500 voor de op Tc-99m gebaseerde radiofarmaceutica, maar de jaarlijkse transportkosten per drone komen in vergelijking met het vervoer via de weg twee keer zo hoog uit. Omdat Bakker voor zijn studie slechts één specifiek geval heeft onderzocht is een algemene conclusie moeilijk te stellen. Echter, op basis van de casestudie, weegt de kostenbesparing als gevolg van het afnemende radioactieve vervalverlies van het SPECT isotoop Tc-99m niet op tegen de toenemende transportkosten voor de bezorging per drone in vergelijking tot de bezorging per

bestelwagen. Bakker sluit echter niet uit dat het voordeel voor snel vervoer van PET-isotopen, zoals fluor-18 en gallium-68, de conclusie in het voordeel van drones kan laten uitvallen, mits de drones in de toekomst meer gewicht kunnen vervoeren. Dit vanwege de veelal hogere kosten van deze isotopen en de kortere halveringstijd van ongeveer 110 en 68 minuten, voor fluor-18 en gallium-68 respectievelijk. Een PET isotoop als fluor-18 wordt doorgaans nabij het ziekenhuis geproduceerd, de drone vervoersoptie is daarmee ook alleen relevant voor ziekenhuizen zonder eigen fluor-18 productie. Een ander aspect dat op termijn zwaarder kan gaan wegen in het voordeel van dronevervoer is volgens Bakker de stralingsbelasting van vervoerders van medische isotopen – niet in de laatste plaats vanwege de groei in de omzet van medische isotopen – en de belasting voor het milieu vanwege het wegvervoer dat voor het grootste deel nog van fossiele brandstoffen gebruik maakt.



© Irene van Kessel

veilige manier kan worden geïntegreerd. “Dat kan nog wel 5 tot 10 jaar duren”, aldus Bakker. Met alle obstakels die er nu nog zijn lijkt dronevervoer van medische isotopen nog ver weg, maar Bakker ziet zeker mogelijkheden. De ontwikkeling gaat stapsgewijs. “Het mag misschien nu nog niet haalbaar zijn, maar MAA is nu al bezig met het vervoeren van AED’s, zakjes bloed, en monsters van laboratoria naar ziekenhuizen. Daarnaast staat de ontwikkeling van medische isotopen niet stil en komen er ook steeds meer specialistische drones op de markt.” Door grotere productieaantallen zullen de kostprijzen van drones naar verwachting dalen, wat het investeren hierin weer aantrekkelijker maakt. De EU heeft nieuwe drone-wetgeving aangenomen om deze markt zich verder te laten ontwikkelen. Wet- en regelgeving en het aanpassen van procedures zullen volgen wanneer de haalbaarheid van vervoer van medische isotopen met drones is aangetoond. “Ik verwacht veel van de doorontwikkeling van drones. Ze zullen robuuster worden, verder kunnen vliegen en zwaardere lasten kunnen dragen. Wanneer dat zover is, zal het vervoer van medische isotopen, vooral die met een korte halfwaardetijd, zeker een mogelijkheid zijn.” **K**

Menno Jelgersma

➤ Veel media-aandacht voor de inzet van drones voor onder meer het vervoer van medische isotopen.

De toekomst

Sinds 31 december 2020 is er nieuwe Europese wetgeving op het gebied van dronegebruik, waarbij er ook gevlogen mag worden buiten het gezichtsveld. Die wetgeving is aangenomen

om goederenvervoer per drone mogelijk te maken. Er moet volgens Bakker wel eerst nog een onbemand verkeersmanagementsysteem komen genaamd U-space, wat ervoor zorgt dat bemand en onbemand luchtverkeer op een

Onderzoek naar vervoer kant-en-klare technetium-spuitjes

Technetium 99m (Tc-99m) wordt ook wel het werkpaard van de nucleaire geneeskunde genoemd. Tc-99m wordt gebruikt bij onderzoek naar een veelvoud aan ziektebeelden. Jaarlijks vinden er wereldwijd ongeveer 48 miljoen onderzoeken en behandelingen plaats met medische isotopen. In meer dan 80% van de gevallen – dat zijn ongeveer 40 miljoen verrichtingen – wordt de medische isotoop Technetium-99m gebruikt. Om over Tc-99m te beschikken, maken ziekenhuizen veelal gebruik van technetiumgeneratoren. In deze generatoren zit de isotoop molybdeen-99 (99Mo) die de grondstof is voor de productie van Tc-99m. Ziekenhuispersoneel kan de metastabiele isotoop 99mTc extraheren dat bij het radioactief verval van 99Mo ontstaat. 99Mo heeft een halveringstijd van 66 uur en kan gemakkelijk over lange afstanden worden vervoerd naar ziekenhuizen waar het vervalproduct Technetium-99m (met een halfwaardetijd van slechts 6 uur, lastig voor transport) wordt gewonnen en gebruikt voor een verscheidenheid aan diagnostische procedures, waar de korte halfwaardetijd erg handig is. Toch zijn er steeds meer ziekenhuizen die kiezen voor kant-en-klare technetium-spuitjes, omdat ze dan niet hoeven te beschikken over specifieke radiologische kennis met bijbehorende nucleaire infrastructuur. Volgens Bakker gaat het om 77 ziekenhuizen waarvan er 37 geen eigen apotheek hebben om met technetiumgeneratoren te werken en het een groeiende trend is om van kant-en-klare producten gebruik te maken. Vanwege de korte halveringstijd is snelle levertijd dus van belang.



Robothond Spot helpt bij ontmanteling

Op het nucleaire complex Sellafield in het noordwesten van Groot-Brittannië is de bekende robothond Spot drie dagen ingezet om te helpen bij de veilige ontmanteling van de kerncentrale. De demonstratie werd gehouden in samenwerking met de Amerikaanse fabrikant Boston Dynamics, de in Cumbria gevestigde technische consultant Createc en de UK Atomic Energy Authority (UKAEA).

Het complex omvat onder meer een opwerkingsfabriek voor nucleair afval en enkele buiten bedrijf gestelde kernreactoren, waaronder de kerncentrale Calder Hall. Het uitzenden van robots naar gevaarlijke omgevingen is niets nieuws in Sellafield. Een vloot van land-, lucht- en onderwatervoertuigen draagt nu al bij aan de ontmantelings- en schoonmaakwerkzaamheden. Spot werd eerder dit jaar al ingezet in Tsjernobyl.

Robotvloot

Het gebruik van robots voor routinetaken in gevaarlijke omgevingen zorgt ervoor dat mensen uit de gevarenzone kunnen blijven. Maar voordat de technologie op een locatie kan worden ingezet, is het

belangrijk om uitvoerig te testen. De voormalige turbinehal van Calder Hall vormde het perfecte heikele terrein om de behendigheid van Spot te testen. Als Spot daar slaagt, kan hij deel gaan uitmaken van de robotvloot van Sellafield Ltd., die op de hele site taken zal uitvoeren zoals

inspecties en gegevensregistratie. Rav Chunilal, hoofd robotica en kunstmatige intelligentie van Sellafield: "Robots zoals Spot zijn een integraal onderdeel van onze toekomst. Ze bieden ons een manier om werkzaamheden in gevaarlijke omgevingen uit te voeren en tegelijkertijd mensen buiten gevaar te houden." Volgens Chunilal zijn robots uitstekend in het uitvoeren van repetitieve en tijdrovende taken. "Hierdoor kunnen we onze mensen vrijmaken voor meer voldoening gevend werk dat bijdraagt aan ons doel: het creëren van een schone en veilige omgeving voor toekomstige generaties. De actieve demonstratie van Spot heeft ons veel inzicht gegeven in zijn mogelijkheden. We zullen nu de bevindingen bestuderen voordat we beslissen of we deze technologie in Sellafield gaan gebruiken."

Remote operations

"Spot is het ideale hulpmiddel om apparatuur in te zetten in industriële omgevingen die alleen zijn ontworpen voor menselijke verkenning met twee benen", aldus Will Newsom, hoofd nucleair bij Createc. "Het zal een belangrijk onderdeel zijn van de gereedschapset om toe te voegen aan de remote-operations capaciteit van Sellafield Ltd. Wij werken samen met Boston Dynamics als hun voorkeurspartner voor nucleaire toepassingen om deze geavanceerde technologie te leveren en nieuwe mogelijkheden te integreren, waardoor de oplossing business-as-usual wordt voor onze klanten." **K**

Boston Dynamics

Spot is een vierbenige, zeer mobiele hondachtige robot, gemaakt door Boston Dynamics, een Amerikaans bedrijf dat is gespecialiseerd in engineering en robotica. De robothond is heel flexibel, hij heeft zowel in de knieën als in de schouders gewrichten waardoor hij kan traplopen en hij kan op ruw terrein zijn weg vinden. Spot heeft vijf camera's: twee aan de voorkant, een aan elke zijkant en een aan de achterkant. In plaats van mensen werkzaamheden te laten uitvoeren in gebieden waar ze gevaar zouden kunnen lopen, kan Spot worden ingezet.



K Niger krijgt eerste radiotherapiecentrum

Na meer dan tien jaar voorbereiding werd op 8 juni de eerste openbare radiotherapiefaciliteit (CNLC) van Nigeria in gebruik genomen. Het internationaal Atoomagentschap (IAEA) ondersteunde de ontwikkeling van het centrum dat een belangrijke mijlpaal vormt in de strijd van Niger tegen kanker. Voor het eerst krijgen patiënten toegang tot essentiële behandelingen.

✈ De eerste openbare radiotherapiefaciliteit (CNLC) van Niger is in de hoofdstad Niamey in gebruik genomen.

hoofdstad Niamey is gevestigd, jaarlijks aan ongeveer 600 kankerpatiënten uit Niger en zijn buurlanden in West-Afrika radiotherapiediensten zal verstrekken. De nieuwe radiotherapiediensten zullen de levenskwaliteit van kankerpatiënten verbeteren en het sterftecijfer terugdringen.

Idi Mainassara, minister van Volksgezondheid en Sociale Zaken van Niger roemde de samenwerking met de IAEA. "De IAEA heeft Niger bijgestaan bij elke stap op zijn weg naar de oprichting van zijn eerste radiotherapiecentrum. Nu zijn we klaar om radiotherapie hier in Niger uit te voeren." Jaarlijks kent Niger bijna 10.000 nieuwe kankergevallen, meer dan 50 procent hiervan zou baat hebben bij radiotherapie als onderdeel van hun behandeling. Dat is met inbegrip van degenen bij wie borst-, baarmoederhals- en longkanker wordt gediagnosticeerd. Er wordt voorspeld dat het aantal kankerpatiënten in Afrika zal stijgen van 844.279 in 2012 tot meer dan 1-5 miljoen in 2030. Veel landen hebben echter nog steeds geen toegang tot radiotherapie

als onderdeel van een alomvattende kankerzorg. Afrika telt 28 landen die nog steeds niet over een radiotherapieapparaat beschikken. Met de opening van de nieuwe faciliteit behoort Niger daar nu niet meer toe. Voordat de radiotherapiemachine in gebruik werd genomen, waren er geen openbare diensten voor de behandeling van kanker beschikbaar in Niger, met uitzondering van beperkte chemotherapiediensten, die radiotherapie aanvullen, maar niet kunnen vervangen. Hoewel sommige patiënten zorg in het buitenland konden krijgen, zijn de kosten van een internationale reis en behandeling onbetaalbaar voor de meeste van de duizenden nieuwe kankergevallen die elk jaar worden vastgesteld. Verwacht wordt dat het CNLC, dat in de

Langdurig proces

Het opzetten van een radiotherapiecentrum is een complex en langdurig proces. Zo moet een land een regelgevingsinfrastructuur tot stand brengen voor een veilig gebruik van radioactieve bronnen. Ook voor de behandeling van deze bronnen wanneer zij niet langer in gebruik zijn. Landen moeten een regelgevend orgaan oprichten en deskundigheid op het gebied van stralingsbescherming ontwikkelen. Op de bouw van het radiotherapeutisch centrum moet worden toegezien door deze regelgevende instantie, die uiteindelijk een vergunning verleent om het centrum te bouwen en vervolgens te exploiteren. Tegelijkertijd moet het toekomstige ✨



© Shutterstock

personeel van het centrum worden opgeleid en deskundigheid verwerven, vaak in een soortgelijke faciliteit in een ander land. Het kostte Niger tien jaar om al deze stappen te zetten maar nu is het Nigere nationale centrum voor kankerbestrijding klaar om zijn eerste patiënten te ontvangen.

Lockdown

Ter gelegenheid van de opening van het centrum organiseerde de IAEA van 8 tot 10 juni een virtuele vergadering met minister Mainassara, ambassadeur Labo en zijn collega's van het CNLC. De vergadering werd bijgewoond door ambtenaren van Niger en vertegenwoordigers van de Islamitische Ontwikkelingsbank, die het project financiert. "De IAEA heeft bijgedragen aan het ontwerp van het gebouw van het centrum, heeft de aankoop, levering en installatie van apparatuur vergemakkelijkt en heeft de basis- en voortgezette opleiding van het personeel gesteund", aldus minister Mainassara. Na deskundigenmissies en de bouw van twee bunkers om de radiotherapiemachines te huisvesten en af te schermen, heeft de IAEA opleidingen verzorgd voor 12 specialisten, waaronder stralingsoncologen, medisch fysici en radiotherapietechnologen. In september 2020 faciliteerde de IAEA de oplevering van de laatste

✎ *Maar liefst 28 landen in Afrika hebben geen radiotherapieapparaat. Niger beschikt nu wel over een eigen faciliteit.*

onderdelen van de faciliteit, midden in de pandemische lockdown van COVID-19. Naast capaciteitsopbouwactiviteiten was technische ondersteuning voor de vergunningverlening van het radiotherapeutisch centrum van het CNLC een belangrijk onderdeel van het inbedrijfstellingsproces. "De IAEA is er veel aan gelegen Niger te helpen bij de oprichting van zijn eerste radiotherapiefaciliteit", aldus Shaukat Abdulrazak, directeur van de afdeling technische samenwerking voor Afrika van de IAEA. "Dit blijkt uit de nauwe onderhandelingen en de bijstand die nodig was om de broodnodige radiotherapieapparatuur en specialistische opleiding te leveren, ondanks de moeilijke omstandigheden die COVID-19 met zich meebracht. Wij zullen steun blijven verlenen".

Routekaart

De IAEA heeft de regering van Niger ook bijstand verleend om haar nationale stralingsveiligheids- en beveiligingsregelingen te versterken. Dit omvatte de ontwikkeling en goedkeuring van een nucleaire wet, de instelling van een regelgevingskader voor stralingsveiligheid,

met inbegrip van de oprichting van een nieuwe nationale regelgevende autoriteit. Deze verwezenlijkingen vormen een stevige basis voor het veilige gebruik van ioniserende stralingsbehandelingen in het radiotherapiecentrum en op andere gebieden. In mei 2021 hebben de IAEA en een team van internationale deskundigen op verzoek van de regering van Nigeria een International Physical Protection Advisory Service (IPPAS)-missie in het land uitgevoerd. IPPAS-missies helpen landen om hun nationale nucleaire beveiligingsregelingen, -systemen en -maatregelen te versterken. Een nieuw stappenplan, overeengekomen door Niger en de IAEA, zal het land helpen zijn doelstelling te bereiken om de diensten voor kankerpatiënten te verbeteren. Het draiboek geeft aan welke opleiding en middelen nodig zijn voor de uitbreiding van de radiotherapiediensten - waaronder de installatie van extra apparatuur in het CNLC met middelen die door de Islamitische Ontwikkelingsbank zijn verstrekt - en welk regelgevend toezicht nodig is voor stralingsveiligheid en -beveiliging in Niger. **K**

Bron: IAEA

Het HABOG voor het eerst een tint lichter geschilderd



© Covra

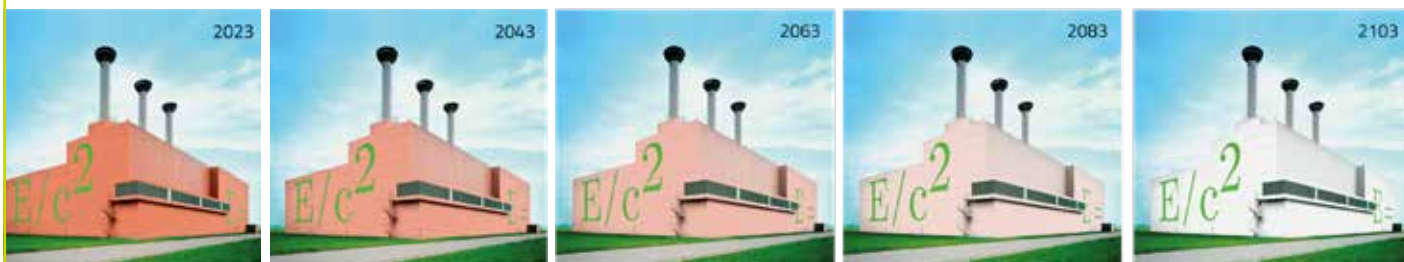
plus krijgen een schilderbeurt. Het gaat in totaal om 6.500 vierkante meter schilderwerk, waarvan 4.500 vierkante meter voor het HABOG en 2.000 vierkante meter voor de uitbreiding. Het werk wordt uitgevoerd door vier schilders die het bestaande HABOG eerst hebben ingespoten met een mos- en algendoder. Waar nodig zijn verkleuringen in het beton uitgehakt en opgevuld. Na enkele weken konden de schilders het oppervlak onder hoge druk schoonspuiten, waarna twee lagen Keim-verf zijn aangebracht. Het HABOG-plus is nieuw dus moesten de schilders het 'schone' beton eerst reinigen met water onder hoge druk, vervolgens een primer aanbrengen en afwerken met twee lagen Keim-verf. Het werk neemt in totaal enkele maanden in beslag. Het werk is nog niet opgeleverd, want ook de metalen delen zoals kozijnen en deuren moeten nog worden aangepakt.

De Keim-verf die wordt toegepast leent zich uitstekend voor het schilderen van een steenachtige ondergrond. De verf vormt een vaste, minerale en onoplosbare verbinding met het beton van het HABOG. Keim kenmerkt zich door hoge dampdoorlaatbaarheid en voorkomt de vorming van condens achter de verflaag en de groei van schimmels of bacteriën. De verflaag is onbrandbaar en zeer kleurvast en bevat geen milieubelastende componenten. **K**

Het HABOG, het Hoogradioactief Afval Behandelings- en Opslaggebouw voor de opslag van hoogradioactief afval van de COVRA krijgt voor het eerst een lichtere kleur. Elke twintig jaar wordt het gebouw een tint lichter geschilderd, totdat het over honderd jaar wit is. Het geeft daarmee het concept aan van radioactief verval van het afval dat veilig in het HABOG ligt opgeslagen en naarmate de tijd vordert steeds minder radioactief is.

Het HABOG is een opvallende oranjegekleurde bunker midden op het terrein van COVRA. De vormgeving van het HABOG is bedacht door kunstenaar William Verstraeten. Het was zijn idee om het gebouw elke twintig jaar een tint lichter te schilderen, totdat het over honderd jaar helemaal wit is. Daarmee laat het gebouw op een toegankelijke manier het concept van radioactief verval zien. Op dit moment legt COVRA de laatste hand aan de uitbreiding van

het HABOG, het HABOG-plus. Er ligt circa 110 kubieke meter hoogradioactief afval opgeslagen in het bestaande HABOG. De uitbreiding waar nu aan gewerkt wordt, biedt straks 50 kubieke meter extra opslagcapaciteit voor warmteproducerend hoogradioactief afval. De uitbreiding is onder andere noodzakelijk door het langer openblijven van de kerncentrale in Borssele en de onderzoeksreactoren in Petten en Delft. Zowel het HABOG als het HABOG-



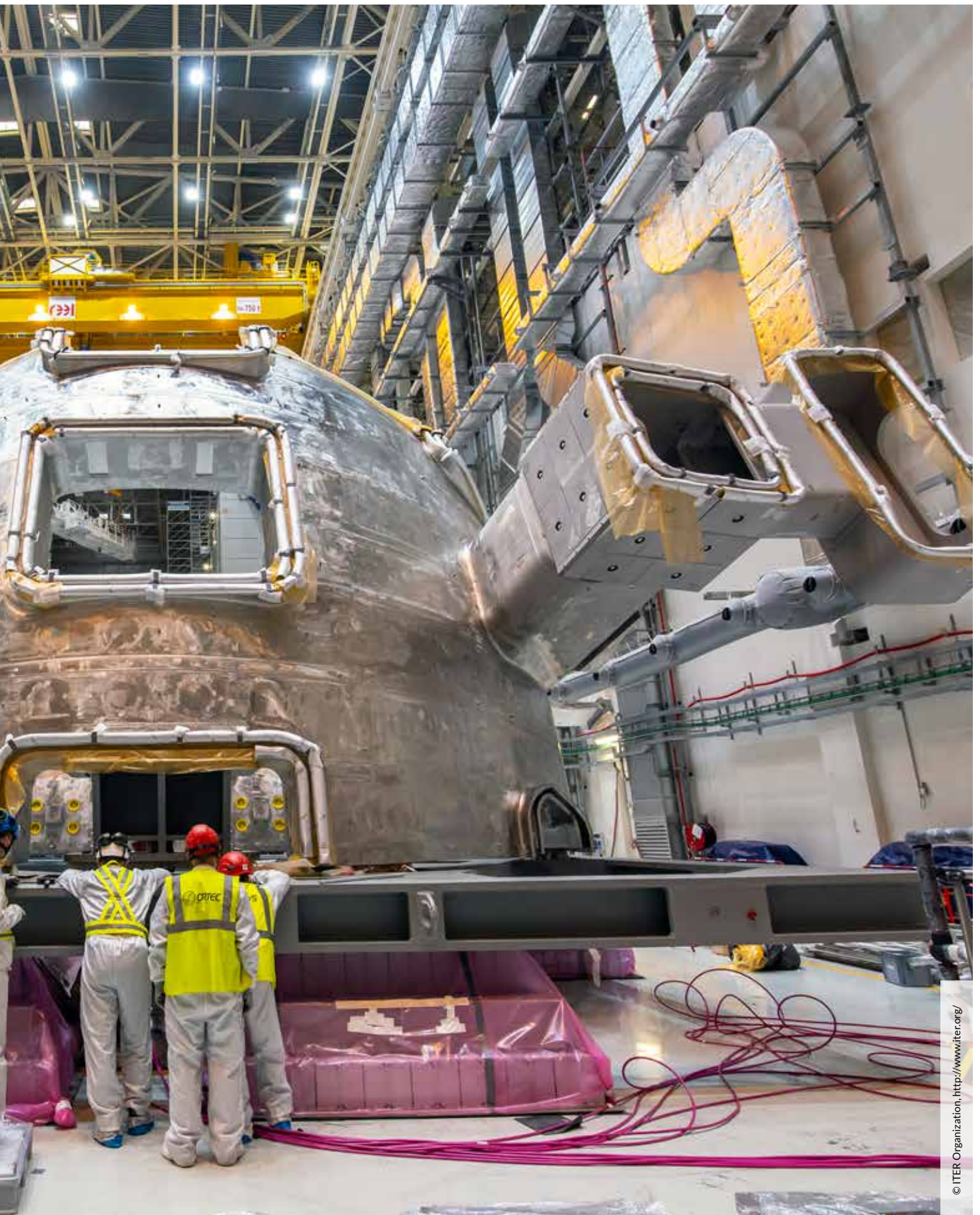
Sector #1 van ITER-vacuümvat in Cadarache aangekomen

Het laatste onderdeel van het vacuümvat van de ITER-Tokamak is in Cadarache in Zuid-Frankrijk aangekomen. Het betreft sector #1 en het is de tweede vacuümvatsector van 440 ton die door Korea voor het internationale ITER-project is aangeleverd.

Eenmaal geassembleerd zullen in het vacuümvat, een hermetisch afgesloten stalen vat en hart van de ITER-installatie, op termijn de fusie-experimenten plaatsvinden. Het vacuümvat zorgt voor een hoogvacuümomgeving voor het plasma, verbetert de stralingsafscherming en de stabiliteit van het plasma, fungeert als de primaire insluitingsbarrière voor radioactiviteit en biedt ondersteuning voor onderdelen in het vat, zoals de deken (blanket) en de divertor. De deken beschermt de rest van de reactor door het grootste deel van de stralings- en deeltjeswarmtestromen van het hete plasma te absorberen en door de meeste neutronen die het resultaat zijn van de fusiereacties tegen te houden of af te remmen. Sommige dekenmodules zullen in latere fasen ook worden gebruikt voor het testen van materialen voor tritiumkweekconcepten. De divertor, die zich op de bodem van het vacuümvat bevindt, onttrekt warmte en as die door de fusiereactie worden geproduceerd, beperkt de plasmaverontreiniging tot een minimum en beschermt de omringende wanden tegen thermische en neutronische belasting.

Het ITER-vacuümvat krijgt een inwendig volume van 1.400 kubieke meter. Het volume van het plasma in het centrum van het vat (840 m^3) is tien keer zo groot als dat van de grootste werkende Tokamak ter wereld op dit moment. Hoe groter het volume van de vacuümkamer van een Tokamak is, des te gemakkelijker het plasma kan worden opgesloten en het soort hoge-energieregime kan worden bereikt waarmee een aanzienlijk fusievermogen kan worden opgewekt. **K**





© ITER Organization, <http://www.iter.org/>



© Shutterstock

Groot-Brittannië zet groot in op waterstof

De Britse regering kondigde onlangs de waterstofstrategie van het land aan - UK Hydrogen Strategy - die voor de komende decennia duizenden banen en miljarden ponden aan investerings- en exportmogelijkheden voorspelt via de oprichting van een koolstofarme waterstofsector in Groot-Brittannië. Uit het onderzoeksdocument Advanced Modular Reactors Technical Assessment van het Nuclear Innovation and Research Office (NIRO) blijkt bovendien dat HTGR's (High Temperature Gas Reactors) voor de productie van waterstof de voorkeur genieten.

De 121 bladzijden tellende strategie, die in augustus werd gepubliceerd, bouwt voort op de verbintenissen die vorig jaar zijn aangegaan in het Tienpuntenplan voor een groene industriële revolutie, dat onder meer een hoofdstuk bevatte over het stimuleren van de groei van koolstofarme waterstof. In het voorwoord van de strategie zegt parlamentslid Kwasi Kwarteng, Secretary of State for Business, Energy & Industrial Strategy (BEIS): "In samenwerking met de industrie streven wij naar 5GW aan koolstofarme waterstofproductiecapaciteit tegen 2030 voor gebruik in de hele economie. Hiermee zou waterstof kunnen worden geproduceerd die overeenkomt met de hoeveelheid gas die jaarlijks door meer dan 3 miljoen huishoudens in het VK wordt verbruikt. Deze nieuwe, koolstofarme waterstof kan helpen schonere energie te leveren voor onze economie en ons dagelijks leven - van fornuizen tot distilleerderijen,

van filmopnames tot elektriciteitscentrales, van vuilniswagens tot staalproductie, en van graafmachines van 40 ton tot de verwarming van onze huizen."

Om deze ambitie waar te maken, heeft het VK zich verbonden tot een "tweesporenaanpak" voor de waterstofproductie, waarbij zowel elektrolytische als (carbon capture, usage, and storage) CCUS-waterstof naar voren wordt gebracht om een verscheidenheid aan productiemethoden te ondersteunen met als doel het niveau van waterstof te leveren dat nodig is om uiteindelijk netto nul te halen. De tweesporenaanpak heeft volgens de strategie al geleid tot succesvolle innovatie via de Low Carbon Hydrogen Supply Competition, die tot doel had de ontwikkeling en kostenverlaging van een breed scala van wereldwijd toonaangevende technologieën te

ondersteunen waaronder methaanreformers met een hoger koolstofafvangrendement, schaalvergroting van modules en steun voor de geautomatiseerde fabricage van elektrolyseapparaten, en werkzaamheden om de haalbaarheid aan te tonen van elektrolyse op basis van koolstofarme kernenergie.

Met betrekking tot kernenergie wil het BEIS besluiten nemen over de richting van het R&D-demonstratieprogramma voor geavanceerde modulaire reactoren (Advanced Modular Reactor - AMR). Hierbij wordt voortgebouwd op de toezeggingen die zijn gedaan in het Energy White Paper: Powering our Net Zero Future en het Tienpuntenplan voor een groene industriële revolutie voor een AMR-demonstratie uiterlijk begin 2030, om het potentieel van de technologie aan te tonen. Hogere temperatuuroutput van AMR's heeft potentieel brede toepassingen in termen van hoogwaardige warmte, waterstofproductie, industriële decarbonisatie en de productie van synthetische brandstoffen. Het onderzoeksdocument van het Nuclear Innovation and Research Office (NIRO) bevat een beoordeling van de meest veelbelovende AMR-technologieën en maakt gebruik van Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) om de voorkeurskeuze te bepalen voor een AMR-technologie die kan bijdragen aan de verwezenlijking van de Britse doelstellingen om tegen 2050 de klimaatveranderingsdoelstellingen "netto nul" te halen.

Uit deze analyse blijkt dat HTGR's (High Temperature Gas Reactors) om verschillende redenen de voorkeur genieten omdat HTGR's met een kwalificatie van 7 over een hoog technologiegereedheidsniveau (Technology Readiness Level - TRL) beschikken. TRL 7 geeft aan dat het ontwerp zich in ontwikkelstatus bevindt voor niveau 8 - systeemtestfase- en 9 - systeem is operationeel. HTGR's zouden met verdere ontwikkeling en demonstratiemodellen een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan het

bereiken van Net Zero in 2050. Naast de HTGR (met inbegrip van de gasreactor met zeer hoge temperatuur of VHTGR) zijn ook andere reactoren geanalyseerd waaronder: de natriumgekoelde snelle reactor, de superkritisch-watergekoelde reactor, de gasgekoelde snelle reactor, de loodgekoelde snelle reactor en de gesmolten-zoutreactor. In de evaluatie wordt geconcludeerd dat het HTGR-concept het grootste potentieel heeft om de toezegging van het Verenigd Koninkrijk om netto-nul-reactoren te produceren, te ondersteunen.

HTGR

- Met uitgangstemperaturen van 700°C - 950°C bieden HTGR's een grotere veelzijdigheid in de toepassingen die zij potentieel kunnen ondersteunen om te voorzien in een warmte- en waterstofeconomie, en bieden zij dus de grootste kans om tegen 2050 Net Zero te bereiken.
- HTGR's kunnen worden beschouwd als een evolutie van de geavanceerde gasreactoren (AGR's), een technologie waarmee het Verenigd Koninkrijk aanzienlijke ervaring heeft en veel van de veiligheidskenmerken van de HTGR-ontwerpconcepten, waaronder passieve veiligheid, zijn in grote lijnen bewezen, hoewel deze voor een specifiek ontwerp zullen moeten worden onderbouwd.
- HTGR's werken met een open splijfstofcyclus, zoals de bestaande kerncentrales in het VK, en leveren bijgevolg geen significante problemen op het gebied van veiligheid en veiligheidscontrole, noch extra kosten in verband met de infrastructuur van een gesloten splijfstofcyclus.
- De historische ervaring van het VK met Magnox-reactoren en AGR's kan een voordeel zijn voor de ontwikkeling en de uitrol van HTGR's in de vloot in termen van overdraagbare vaardigheden en capaciteit van de toeleveringsketen, het potentieel voor de ontwikkeling van Britse intellectuele eigendom en het potentieel voor internationale partnerschappen

die de kosten en risico's van een AMR-demonstratieprogramma voor R&D verder kunnen beperken.

Er wordt ook gewezen op het feit dat bij de inzet van HTGR's grafietafvalstromen te verwachten zijn, zowel in de vorm van moderatorblokken en onderdelen van de verbruikte splijstof. De open splijfstofkringloop van de voorgestelde HTGR-exploitatie zal naar verwachting grotere hoeveelheden afval opleveren dan andere AMR-systemen, en van dezelfde aard zijn als het afval dat eerder in het VK werd beheerd. De levering van heliumkoelmiddel (een niet-hernieuwbare hulpbron) in de vereiste hoeveelheden is ook een factor die tijdens de hele levensduur van de reactor in aanmerking moet worden genomen. Er zijn aanwijzingen dat een HTGR-vloot slechts een zeer klein percentage van de huidige bekende heliumreserves nodig zal hebben.

Een bloeiende waterstofeconomie in heel Groot-Brittannië zou volgens de regering 900 miljoen pond (ruim 1 miljard euro) waard kunnen zijn en tegen 2030 meer dan 9.000 hoogwaardige banen kunnen opleveren, met een potentiële groei tot 100.000 banen en een waarde van 13 miljard pond (ongeveer 15 miljard euro) tegen 2050.

Samenwerking VK en Japan bij de ontwikkeling van een HTGR

Op 30 juli is de High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR), een 30 MW experimentele gasgekoelde hogetemperatuurreactor (HTGR) van het Japanse Agentschap voor Atoomenergie (JAEA) opnieuw opgestart. Het Britse Penultimate Power is een samenwerking aangegaan met de JAEA met als doel tegen 2029 een gasgekoelde hogetemperatuurreactor te bouwen in het VK.

Na het ongeluk in Fukushima werden in Japan aanvankelijk alle kerncentrales uit veiligheidsoverwegingen stopgezet. Na de veiligheidstoetsing door toezichthouder

in overeenstemming met de nieuwe regelgevingsvereisten, kreeg JAEA de toestemming voor de herstart van de HTTR. In het kader van het OESO/NEA-project zal JAEA veiligheidsdemonstratietests gaan uitvoeren. Ook heeft JAEA een plan om verschillende tests uit te voeren om de veiligheid, kernfysica & thermisch-fluidische kenmerken, brandstofprestaties te bevestigen. Bovendien wordt het demonstratieplan voor waterstofproductie met de HTTR momenteel besproken.

In dat kader is het Britse Penultimate Power, onderdeel van Electric Power Generation, Transmission and Distribution Industry een samenwerking aangegaan met de JAEA met als doel tegen 2029 een gasgekoelde hogetemperatuurreactor te bouwen in het VK. De aankondiging kwam nadat het Britse Department for Business, Energy and Industrial Strategy (BEIS) in mei 2021 de Generic Design Assessment (GDA) voor geavanceerde nucleaire technologieën heeft geopend. De GDA is het zware proces om een vergunning te krijgen voor een technologie in het VK en wordt uitgevoerd door het Office for Nuclear Regulation en het Environment Agency. Penultimate Power UK verklaarde dat zij ernaar streeft als eerste in aanmerking te komen voor het nieuwe vergunningsstelsel met de EH HTGR, een heliumgekoelde reactor die gebruik maakt van TRISO-splijstof.

Afhankelijk van de goedkeuring van de regering is het de bedoeling om "de eerste in bedrijf te hebben tegen 2029 en 20 eenheden per jaar vanaf begin 2030," voegde het bedrijf eraan toe. **K**

Bronnen:

<https://www.ans.org/news/article-3118/uk-requests-input-on-htgr-potential/>

<https://www.nnl.co.uk/2021/08/response-to-uk-governments-hydrogen-strategy/>

<https://www.neimagazine.com/news/newsukjapan-partnership-look-to-license-htgr-in-the-uk-8788562>

<https://www.jaea.go.jp/english/news/press/2021/073003/>



Waterstof & kernenergie



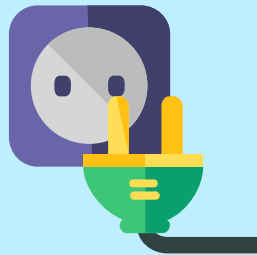
Wat is waterstof?



- Het waterstofatoom is het eenvoudigste en het meest voorkomende elementen in het universum.
- Het is een energiedrager, net als elektriciteit.
- Het is een niet giftig, smaakloos, reukloos en hoogontvlambaar gas.

Soorten waterstof

Waterstof krijg je door water te splitsen met elektrolyse of aardgas te splitsen met stoom. Dit kan met verschillende vormen van energie.



Groene waterstof
gemaakt met CO₂-vrije energie

Grijze waterstof
gemaakt met fossiele brandstoffen

Blauwe waterstof
gemaakt met fossiele energie met CO₂-afvang

Kernenergie

Kerncentrales kunnen de benodigde elektriciteit leveren om waterstof te maken. De voordelen:



- Veel energie.
- Weinig ruimtebeslag.
- Altijd beschikbaar.
- Geen CO₂-uitstoot.
- Betaalbare energie.

Wereldwijde H₂-productie

- aardgas: 48%
- steenkool: 18%
- olie: 30%
- elektrolyse groen: 1%
- elektrolyse grijs: 3%



Waterstofstations

Nederland telt **4.200** benzinstations. Op dit moment zijn er **8** waterstofstations. Er zijn **12** stations in aanbouw.



Toepassingen



opslag



transport



industrie



verwarming



Brandstof van de toekomst

Waterstof wordt gezien als de toekomstige vervanger van fossiele brandstoffen en moet een rol gaan spelen in de energietransitie.



Feiten en getallen



Nucleaire oplossingen



Nieuwe reactorontwerpen zoals sommige kleine, modulaire reactoren, de **SMR's** en hogetemperatuurreactoren, de **HTGR's**, zullen in de nabije toekomst in staat zijn water thermochemisch te splitsen zonder gebruik van elektriciteit voor CO₂-vrije waterstof.

Mensen



We bestaan atomair voor **10%** uit waterstof en moleculair voor **60%** uit water.

Lichtgewicht



Waterstofgas is een extreem licht gas, het is wel **veertien** keer lichter dan lucht.

Voetafdruk



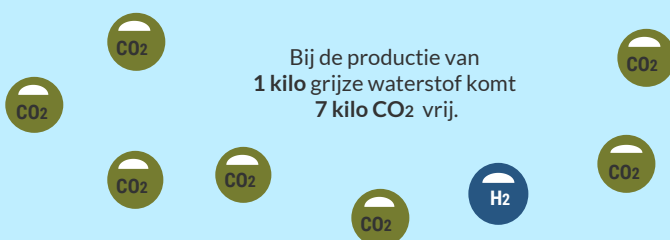
diesel

waterstof

steenkool

De CO₂-voetafdruk van waterstof is **0,3 kg CO₂ per kilowattuur** en ligt daarmee tussen diesel (0,27 kg CO₂) en steenkool (0,34 kg CO₂).

Uitstoot



Boem!

Waterstof is één van de drie elementen die direct na de **Big Bang** ontstonden.



In combinatie met CO₂-vrije energieopwekkers zoals wind, zon en nucleair kan waterstof bijdragen aan een duurzame toekomst.

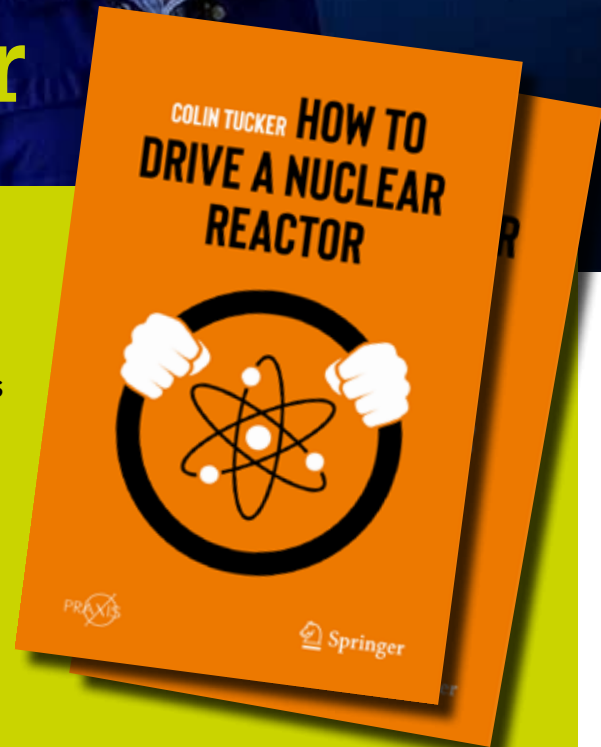


Boekbespreking

How to Drive a Nuclear Reactor



Als je wilt weten hoe een kernreactor werkt, zijn er heel veel filmpjes op internet te vinden die in een paar minuten uitleggen wat de principes zijn. Heb je interesse en wil je wat meer weten dan is de kans groot dat je bij specialistische boeken terecht komt, die ervan uitgaan dat de lezer bekend is met natuurkundige processen. Het boek *How to Drive a Nuclear Reactor* van Colin Tucker voorziet in die behoefte en beschrijft op, voor een leek, heldere en zeer uitgebreide wijze hoe een kerncentrale werkt aan de hand van drie sleutelconcepten: Reactiviteit, stabiliteit en de aansluiting van een reactor op de rest van de centrale.



Tucker begint zijn boek met de prikkelende stelling die hij eens hoorde dat dat een moderne kerncentrale bediend kan worden door een man en een hond. De man zou er zijn om de hond te voeden, en de hond om de man te bijten als hij een van de knoppen aanraakt.

“Was het maar waar”, merkt Tucker op. “Er komt veel meer bij kijken.” Operator word je niet zomaar. Dat vergt jaren training, inclusief honderden uren ervaring opdoen in een simulator. Veiligheid staat bij alles bovenaan. Als operator moet je in staat zijn om te beslissen wanneer te handelen, snel te handelen en wanneer op een meer gematigde manier. “Na veiligheid kun je nadenken over wat het beste is voor de

mensen en de centrale, maar veiligheid komt op de eerste plaats. Desondanks zal je begrijpen dat je centrale gewoon een fabriek is om elektriciteit te maken.”

De Nijl

De focus van Tucker ligt op BWR's, kokendwaterreactoren en PWR's, hogedrukwaterreactoren. Dat doet hij omdat van de ongeveer 440 installaties wereldwijd de meeste een BWR dan wel PWR zijn. *How to Drive a Nuclear Reactor* geeft informatie over alles, bijna van elke knop op het bedieningspaneel tot de aansluiting op het net, waardoor je een zeer compleet begrip krijgt van hoe een kerncentrale werkt. De keerzijde hiervan

is dat de auteur er niet aan ontkomt om de lezer te overladen met veel vergelijkingen en technische taal waarbij enige kennis van natuurkundige begrippen vereist is. Maar dit is natuurlijk ook weer precies waarvoor dit boek is bedoeld: het opvullen van de lacune tussen de basisuitleg hoe een kernreactor werkt en de leerboeken die je nodig hebt om een operator te worden. Aan de andere kant leest Tuckers boek juist zo prettig omdat hij de tijd neemt om af en toe 'weetjes' mee te nemen in de tekst. Zo ook over reactiviteit, wat in beginsel een verhoudingsgetal is en geen eenheid. Mensen werkzaam in de civiele nucleaire industrie in het Verenigd Koninkrijk spreken desondanks

van een 'Nile' en verwijzen daarbij naar een verandering in de verhouding van 1 procent. Waarom? Omdat een dergelijke verandering een zeer grote delta (k) is en wat heeft nog meer een zeer grote delta? De rivier de Nijl." Dat vergeet je dus niet meer.

Veertig Boeings

Tucker schetst een beeld van wat een ongelooflijk staaltje van zowel wetenschap als techniek een reactor is en vergelijkt het bedrijven van een kerncentrale qua kracht en omvang met het tegelijkertijd in de lucht houden van veertig vol geladen Boeings 747's. Hij gaat uit van drie sleutelconcepten om de werking van een PWR te doorgronden. Als eerste noemt hij reactiviteit, ofwel hoe de omstandigheden in de reactor de splijtingskettingreactie beïnvloeden. Ten tweede gaat het om de stabiliteit van de reactor, de terugkoppelingsmechanismen die de reactor stabiel houden. En de stabiliteit van de centrale is het derde begrip. Wat gebeurt er als je de reactor koppelt aan de rest van de installatie. Wat betreft reactiviteit als eerste sleutelconcept, zegt Tucker dat het niet erg nuttig is om alleen te bedenken of de veranderingen die we doorvoeren de kettingreactie helpen of hinderen. "Wat we echt willen is een manier om het effect te meten." Een reactor moet een constant aantal splijtingen per seconde (bij constant vermogen) ofwel reactiviteit hebben die tussen beide in ligt, dat wil zeggen gelijk is aan nul. Maar wat voor soort getallen zijn typisch voor een PWR? "Eigenlijk zijn

ze verrassend klein." Je verandert het vermogen meestal heel langzaam in je reactor (behalve in een snelle uitschakeling of 'trip'), dus de reactiviteit kan niet erg ver van nul komen. "Anders gezegd, zelfs een verandering in reactiviteit zo klein als 1% (0.01) zou beschouwd worden als een enorme verandering in reactiviteit op een PWR."

Stabiliteit proces en stabiliteit centrale

Bij het tweede sleutelconcept, stabiliteit, maakt Tucker de vergelijking met een auto. Wanneer een PWR-reactor stabiel draait, gaat de reactortemperatuur omhoog als het vermogen van de reactor een beetje omhooggaat. "Wanneer de temperatuur stijgt zullen de effecten op de reactiviteit het reactorvermogen terugdrijven naar waar het begon. Hetzelfde gebeurt omgekeerd als het vermogen van de reactor daalt." Het lijkt volgens Tucker op het besturen van een auto met veren aan het stuur. "De auto zal blijven proberen in een rechte lijn te rijden, zelfs als je het stuur een beetje duwt." Dit is een systeem met "negatieve terugkoppeling" en is zelf stabiliserend. "Een PWR zal dagenlang op constant vermogen kunnen draaien zonder dat een regelstaaf beweegt; gewoon stabiel gehouden door deze temperatureffecten." De auteur ziet stabiliteit als een tweesnijdend zwaard. Het houdt de reactor stabiel, wat geweldig is als je wilt dat het proces stabiel verloopt. Maar hij beschrijft ook wat je allemaal moet doen en waar je rekening mee moet houden om

in vermogen of in temperatuur verandering aan te brengen. Het derde sleutelconcept is de stabiliteit van de centrale. Wat gebeurt er als je je reactor verbindt met de rest van de centrale (en verder). "Dit is de echte sleutel. De meeste leerboeken over reactorfysica stoppen bij de reactor." Hij laat zien dat het gedrag van een PWR gedicteerd wordt door waar de centrale mee verbonden is. "Je beweegt de kleppen van je turbine, en je reactor zal volgen. Je breekt een stoomleiding, en je reactor vermogen zal omhooggaan om aan de hogere stoomvraag te voldoen. Je schakelt de turbine in en het reactorvermogen daalt als een baksteen tenzij je ergens anders de stoom kan lozen."

Waar het boek echt goed in is, is de openheid waarmee Tucker het onderwerp kernenergie benadert. Er is er nog ontzettend veel weerstand tegen het omarmen van kernenergie als CO₂-vrije optie. Maar hij schuwt het niet om in te gaan op wat er fout ging in Fukushima en waarom een ongeluk zoals in Tsjernobyl nooit in een PWR kan plaatsvinden. Uitleg over hoe een reactor werkt, geeft vertrouwen in de techniek. Met uitleg over de positieve eigenschappen van de energiedichtheid van uranium ten opzichte van steenkool en al helemaal van zonne- en windenergie, krijgt de lezer bovendien een goed beeld van de rol die kernenergie speelt en kan spelen in een CO₂-vrije energievoorziening. **K**

Menno Jelgersma

Colin Tucker

Colin Tucker werkt al 30 jaar in de Britse nucleaire industrie, waarvan het grootste deel van die tijd op de Sizewell B-kerncentrale. Hij is gespecialiseerd in nucleaire veiligheid: de veilige werking van de reactor, zodat de centrale altijd klaar is voor alles wat er kan gebeuren. Een groot deel van zijn loopbaan heeft hij besteed aan het bezoeken van scholen, clubs en andere gelegenheden om te vertellen over kerncentrales - hoe ze werken, hoe ze veilig kunnen worden gehouden, enz. In zijn vrije tijd is hij een vlermuisliefhebber en een bewaker en seinwachter op de Ffestiniog Railway in Wales.

Overzicht

Boektitel: **How to Drive a Nuclear Reactor**
 Auteur: **Colin Tucker**
 Uitgeverij: **Springer Nature Switzerland AG**
 Taal: **Engels - 264 pagina's**
 eBook: **€ 18,10 - www.springer.com**
 Paperback: **€ 25,06 - www.springer.com**



De Franse race voor kleine modulaire reactoren

De race om de ontwikkeling en productie van kleine modulaire reactoren (SMR) is meer dan omvangrijk met ten minste 72 concepten in verschillende stadia van ontwikkeling in landen als Argentinië, Canada, de VS, het VK, Rusland en China. Frankrijk heeft zich in 2019 bij de race aangesloten met een consortium dat een SMR aan het einde van het volgende decennium op de markt wil brengen onder de naam NUWARD (Nuclear Forward).

De tactiek is duidelijk. Frankrijk wil NUWARD op de markt brengen om het te beperkte aanbod van de Franse nucleaire sector uit te breiden. Deze is tot nu toe grotendeels afhankelijk geweest van de verkoop van zijn EPR, een grote drukwaterreactor van 1.600 MW die inmiddels is verkocht aan China, het VK en Finland en die in eigen land ook in aanbouw is in Flamanville. SMR's worden gedefinieerd als kernreactoren van in het algemeen 300 MWe-equivalent of minder. Ze zijn ontworpen met behulp van

modulaire technologie waarbij gebruik wordt gemaakt van fabrieksmatige fabricage van modules, met het oog op serieproductie tegen voordelige prijzen en met een korte bouwtijd. De prijs van een SMR zal op termijn vergelijkbaar zijn met die van offshore-windenergie, maar dan wel met het voordeel van leveringszekerheid. Deze definitie, van de World Nuclear Association, is gebaseerd op die van de IAEA en het US Nuclear Energy Institute. De reden waarom zo veel landen SMR's steunen? Ze worden gezien als een

cruciale koolstofvrije technologie die een aanvulling kan vormen op intermitterende energiebronnen zoals wind- en zonne-energie. In het streven naar netto nul betekenen SMR's de mogelijkheid van nucleaire capaciteit tegen veel lagere kosten. Ook hebben ze veiligheidskenmerken waardoor ze kunnen worden ingezet op plaatsen waar ze in het verleden nooit zijn overwogen.

NUWARD

Hoewel het NUWARD-project twee jaar geleden formeel van start is gegaan, zijn de voorbereidende studies begonnen in 2012 en wordt het project sinds 2017 gesteund door de Franse regering. Tijdens een eerste periode van zeven jaar hebben de partners (het nucleaire agentschap CEA, het staatsbedrijf EDF, het reactorontwerp- en onderhoudsbedrijf TechnicAtome en de Naval Group) pre-haalbaarheidsstudies uitgevoerd en een pre-conceptuele fase voltooid, waardoor de belangstelling voor - en het potentieel van - het project werden bevestigd. Na de aankondiging in 2019 ging het project een drie jaar durende conceptuele ontwerpfase in. De projectplanning ligt op schema en is niet noemenswaardig beïnvloed door de Covid-19-pandemie, voornamelijk omdat de huidige fase op afstand kan worden uitgevoerd. De fase van het basisontwerp - die volgt op de fase van het conceptuele ontwerp - moet in 2023 beginnen. Er zijn al besprekingen begonnen met de Franse nucleaire toezichthouder ASN met het oog op het verlenen van een vergunning voor de NUWARD-reactor, aldus CEA. NUWARD is een drukwaterreactor (PWR) van de generatie III die twee reactoren van 170 MW combineert voor een totaal vermogen van 340 MW. Een van de belangrijkste kenmerken van de centrale zal de integratie zijn van bewezen PWR-technologie in een compacte modulaire configuratie. Volgens EDF zal NUWARD gebruikmaken van de beste Franse technologieën, die voortkomen uit meer dan 50 jaar ervaring op het gebied van het ontwerp, de ontwikkeling en de bouw van PWR's en uit meer dan 2.000 reactorjaren ervaring met de exploitatie van PWR's.

NUWARD wordt een multifunctionele centrale, met een ontwerp dat voor diverse toepassingen kan worden aangepast, waaronder de productie van groene waterstof, ontzilting en warmtekrachtkoppeling. Dit is een ander belangrijk voordeel van SMR's - hun potentiële gebruiksmogelijkheden buiten de productie van elektriciteit voor gevestigde netten. Het Internationaal Energieagentschap liet eerder al weten dat SMR's kunnen bijdragen tot de flexibiliteit in landen met grote elektriciteitsnetten, of kunnen worden gebruikt in landen of regio's met kleine elektriciteitsnetten die niet geschikt zouden zijn voor grote kerncentrales op basislastniveau.

Kosten vergelijkbaar met offshore-windenergie

Verscheidene landen of afnemers verwachten rond 2030 SMR's in gebruik te kunnen nemen. In dit stadium worden nog geen kostenramingen voor het NUWARD-project bekendgemaakt, maar aangezien de SMR-markt zo concurrerend is als hij op dit moment is, zullen financiële overwegingen op de voorgrond staan. In het VK leidt Rolls-Royce een consortium voor de ontwikkeling van een SMR die de klant naar eigen zeggen in eerste instantie ongeveer 2,2 miljard pond per eenheid zal kosten, wat zal dalen tot 1,8 miljard pond tegen de tijd dat er vijf zijn voltooid. Dit betekent dat de prijs vergelijkbaar zal zijn met die van offshore-windenergie (ongeveer 50 pond/MWh). Kosteneffectiviteit en het voldoen aan de marktbehoeften waren redenen voor de Franse nucleaire industrie om het 600 MW Astrid-project voor de bouw van een prototype van een natriumgekoelde snellekweekreactor op te schorten. Astrid was bedoeld als de eerste installatie van een generatie IV-vloot die tegen het einde van de 21e eeuw operationeel zou kunnen zijn, maar volgens het CEA is er geen industriële of economische stimulans om een dergelijke installatie in de nabije toekomst te bouwen, "terwijl er in de komende decennia wel een marktkans en een behoefte aan SMR's bestaat."

Na de SMR's zullen geavanceerde modulaire reactoren (AMR's) gebaseerd op Generatie IV-technologieën volgen. SMR's worden beschouwd als een aanvullende technologie op traditionele grote reactoren van het type dat in kerncentrales over de hele wereld in bedrijf is. Deze variëren doorgaans in grootte van ongeveer 1.000 tot 1.200 MW. De IAEA heeft onlangs gezegd dat SMR's begin 2030 commercieel levensvatbaar kunnen zijn. Voor de bouw van de eerste reactoren is internationale samenwerking noodzakelijk.

Economische voordelen

Het NUWARD-project heeft 50 miljoen euro ontvangen als onderdeel van een Frans herstelplan dat eind 2020 werd aangekondigd, toen president Emmanuel Macron zijn steun herhaalde voor de nucleaire industrie van het land en zijn bereidheid om Frankrijk te steunen als een belangrijke speler in de SMR-sector. "Kernenergie is een koolstofarme, veilige energie die een hoeksteen van onze energiemix moet blijven," zei Macron bij die gelegenheid. Volgens het NEA gaan de meest optimistische scenario's voor de uitrol van SMR's uit van een succesvolle vergunningverlening en de totstandbrenging van de fabrieksproductie en bijbehorende toeleveringsketen die tot kostenconcurrentie zou leiden. Als SMR's op grote schaal worden geproduceerd, vergelijkbaar met commerciële vliegtuigen, zouden de economische voordelen aanzienlijk kunnen zijn, aldus de NEA. Maar hiervoor zou de markt voor één ontwerp relatief groot moeten zijn en bestaat de kans dat slechts een klein aantal van de vele ontwerpen die in ontwikkeling zijn, uiteindelijk succesvol zullen zijn. Het bedrijf TechnicAtome zegt vertrouwen te hebben in het NUWARD-project omdat het gebaseerd is op de beproefde Generatie III-technologie. Volgens hen is dit type reactor vergelijkbaar met een reactor voor Franse kernonderzeeërs, dus de technologie bestaat al in een andere vorm. Rusland is ook bezig met de aanpassing van reactoren

die worden gebruikt in zijn nieuwe generatie ijsbrekers. Naast de maritieme variant heeft het staatsbedrijf Rosatom verklaard dat het van plan is een SMR te bouwen in Jakoetië, ook bekend als Sacha, een autonome republiek 4.000 kilometer ten oosten van Moskou, tussen Siberië en het verre oosten van Rusland in. Het is de bedoeling om in 2024 met de bouw te beginnen en de eenheid in 2028 in bedrijf te nemen.

Potentiële wereldmarkt

Ondertussen krijgen SMR-projecten over de hele wereld steeds meer vorm. Een van de meest recente is te vinden in de VS. Energiebedrijven onder leiding van de miljardairs Bill Gates en Warren Buffett hebben de staat Wyoming uitgekozen om het eerste natrium kernreactorproject te starten op de locatie van een steenkoolcentrale die met pensioen gaat. "Dit is onze snelste en duidelijkste koers om koolstofnegatief te worden," zei Mark Gordon, gouverneur van Wyoming. "Kernenergie is duidelijk een onderdeel van mijn allesomvattende energiestrategie", zei Gordon in Wyoming, de staat met de grootste steenkoolproductie van het land. De potentiële wereldmarkt voor SMR's wordt geraamd op meer dan 10 miljard dollar tegen 2027. Sommige onderzoeksbedrijven schatten de waarde op 325 miljard dollar tegen 2035. Frankrijk en het consortium achter NUWARD hebben hun oog laten vallen op dit enorme potentieel, waarbij EDF zegt dat de technologie een concurrerende oplossing zal zijn en dat de NUWARD-partners open staan voor internationale samenwerking. De voorzitter van EDF, Jean-Bernard Lévy, noemde NUWARD: "een veelbelovend begin van een veilig en concurrerend nucleair ontwerp dat bedoeld is om het scala aan oplossingen voor koolstofarme basislast-energie dat door de Franse nucleaire industrie wordt aangeboden, te verbreden." De Franse uitdaging voor de toekomst bestaat er nu in een werkend prototype van de NUWARD te bouwen en een commerciële versie op de markt te brengen - vóór de concurrentie. **K**



Urenco opent Leonardo da Vinci-cascade

Urenco in Almelo heeft op 5 oktober een nieuwe cascade met ultracentrifuges geopend. De installatie heet de Leonardo da Vinci-cascade naar de Renaissance-man die wereldberoemd werd om zijn veelzijdigheid. Met de nieuwe cascade beschikt Urenco over een installatie die veelzijdig toepasbaar is voor het verrijken van een grote verscheidenheid aan isotopen. Urenco kan daarmee inspelen op de kansen en ontwikkelingen op het gebied van nucleaire geneeskunde.

hogere verrijgingsgraad. De nieuwe cascade heeft de naam Leonard da Vinci gekregen omdat het een buitengewoon veelzijdige cascade is. Hij is ontworpen voor de verrijking van isotopen van verschillende elementen, waaronder: cadmium, germanium, iridium, molybdeen, selenium, tellurium, titanium, wolfrum, xenon en zink. De klanten van Urenco gebruiken deze producten voor medische, industriële of onderzoekstoepassingen.

Op 5 oktober heeft Urenco in Almelo de Leonardo da Vinci-cascade geopend. Het gaat om een installatie met ultracentrifuges die gasvormige stoffen (isotopen) kan verrijken. Je spreekt van verrijken wanneer je een andere (rijkere) verhouding van het aantal isotopen van eenzelfde element wil hebben. Gas waarin zich dergelijke isotopen van eenzelfde element bevinden,

zal wanneer het in een centrifuge wordt gebracht, onder invloed van centrifugale krachten een scheiding laten zien waarbij de zware isotopen zich dicht tegen de wand bevinden dan de lichtere. Het gas kan door middel van scoops uit de centrifuge worden gehaald. Omdat de scheiding in één centrifuge gering is, worden centrifuges in lijn ofwel cascades geplaatst voor een

Arjan Bos, head of Stable Isotopes bij Urenco: "We openen deze nieuwe installatie om in te kunnen spelen op de kansen en ontwikkelingen op het gebied van nucleaire geneeskunde. De vraag naar onze producten groeit en er komen ook steeds nieuwe toepassingen bij. Verrijkt xenon-129 is één van deze producten. Het wordt gebruikt bij MRI-scans om longziekten op

te sporen. Daarnaast doen we samen met partners onderzoek naar oplossingen in de behandeling van kanker. Nu al worden er jaarlijks honderdduizenden patiënten behandeld met producten die gemaakt zijn van onze stabiele isotopen.” Andere toepassingen van Urenco-producten variëren van kwantumcomputers tot onderzoek naar de opname van voedsel door het lichaam in derdewereldlanden. Urenco kijkt er naar uit om in de toekomst samen met hun klanten te werken aan nieuwe onderzoeken die leiden tot kostenefficiënte producten van hoge kwaliteit die levens op een positieve manier kunnen veranderen. **K**



© Urenco Nederland

➤ Opstelling van ultracentrifuges in een cascade.

Column




Kernenergie in de EU: erop of eronder.

Wat u en ik allang wisten is nu ook officieel bevestigd: kernenergie is schoon en duurzaam. Het eigen onderzoeksbureau van de EU, het Joint Research Centre, JRC, heeft in een bijna 400 pagina's tellend rapport verklaard dat er genoeg uranium en thorium is, dat opslag en beheer van radioactief afval in alle opzichten voorbeeldig

is, en dat de veiligheid van kerncentrales meer dan voldoende is gewaarborgd. Waarom dit onderzoek? Welnu, Duitsland domineert het energiebeleid van de EU al twee decennialang met de verplichting om groene energiedoelen na te jagen. Dit heeft een rem gezet op nucleaire nieuwbouwplannen; geen enkele EU-lidstaat heeft nog een lange termijn kernenergieprogramma. Terwijl kernenergie wereldwijd groeit, heeft Duitsland kernenergie wettelijk verboden. Duitsland had ooit dertig kerncentrales; volgend jaar gaan de laatste drie dicht. De Atomausstieg is pas voltooid wanneer alle kerncentrales, waar ook ter wereld, dicht zijn; dit is een officiële Duitse overheidsmissie. Als het aan Duitsland had gelegen, dan had de zogeheten EU-taxonomie de genadeslag voor kernenergie moeten worden. Deze taxonomie regelt welke grote projecten nog financiering mogen ontvangen in de EU, al dan niet begeleid door staatsteun. De systematiek achter deze taxonomie berust op even vage als selectieve duurzaamheidscriteria en regelrecht lobbyisme. Zo zit CO₂-opslag erin en wordt er nog hard gelobbyd om aardgas erin te krijgen: zonnepanelen en windmolens hebben aardgas immers hard nodig. Hoe dan ook, die genadeslag is er niet gekomen. Een oplettend Europees Parlement, aangevoerd door een aantal verstandige fracties, heeft om dat te bekijken JRC om onderzoek gevraagd. De uitkomst: kernenergie hoort volwaardig en om onvoorwaardelijk thuis in de EU-taxonomie. Nu het tijdperk Merkel voorbij is en er een reële kans bestaat dat Duitsland een rood-groene regering krijgt, is te verwachten dat zo'n regering er alles aan zal doen om kernenergie dan maar maatschappelijk ongewenst, of iets in die geest, te verklaren. Het wordt erop of eronder voor kernenergie in de EU. Zet u maar schrap. **K**

André Wakker

Dr. Ir. André Wakker is zelfstandig organisatieadviseur, en energiedeskundige. Voorheen werkte hij als business developer bij achtereenvolgens Shell, ECN en NRG. Als levenslang voorvechter van kernenergie mengt hij zich regelmatig in het energietransitiedebat. Hij is afgestudeerd in de kernfysica en gepromoveerd op fluctuaties in extreem onderkoeld water.



De Nederlandse Nucleaire Sociëteit en KIVI-kerntechniek zijn blij u weer te kunnen uitnodigen voor een 'face-to-face' mini-congres:

“New nuclear power in the Netherlands beyond 2030”

Om de klimaatproblemen als gevolg van de opwarming van de aarde te beperken, zet Nederland zich in voor volledige decarbonisatie in 2050. Dit stelt de samenleving voor een grote uitdaging en alle creativiteit en alle mogelijke oplossingen zullen nodig zijn om dit doel te bereiken. Een herintroductie van kernenergie in Nederland, naast andere koolstofarme bronnen zoals wind en zon, zou dit doel dichterbij kunnen brengen.

Het symposium zal de volgende onderwerpen behandelen:

- De herintroductie van nucleair, complementair aan wind en zon, in Nederland
- kenmerken en mogelijkheden van de nieuwste reactorontwerpen, die de komende 10 jaar in de handel verkrijgbaar zullen zijn.
- Zowel grote reactorontwerpen als kleine modulaire reactoren zullen aan bod komen.
- De voorwaarden nodig om nieuwe kernenergie in Nederland te herintroduceren.

Plaats: Enschede, Universiteit Twente,
Zaal Spiegel 1, Drienerlolaan 5, 7522NB

Tijd: 10:00 - 17:00

Voertaal: Engels

Toegang: 25 euro, gratis voor KIVI, NNS, Kernvisie en studenten UT.

Aanmelden via:

<https://www.kivi.nl/afdelingen/kerntechniek/activiteiten/activiteit/new-nuclear-power-in-the-netherlands-beyond-2030>

Corona-maatregelen: toelating via COVID-QR-app

Het aantal toehoorders is beperkt. Toewijzing op grond van reserveringsdatum. Wanneer u gereserveerd heeft, en besluit toch niet deel te nemen, wordt u dringend verzocht om tijdig af te melden, zodat u plaats door een ander gebruikt kan worden. Afmelden via KIVI site of kerntechniek@kivi.nl

Programma

Morning:

Nuclear Vendors

Technology and project progress

09:30h	Coffee
10:00h	Welcome
10:15h	Presentation Rolce Royce (UK)
11:00h	Presentation EdF (F)
11:45h	Presentation SMR vendor USA (to be confirmed)
12:30h	Buffet lunch

Afternoon:

Decarbonization

Social and organizational aspects

13:30h	Presentation Bram-Paul Jobse (EPZ); New nuclear in Borssele
14:15h	Presentation Ad Louter (Urenco); Nuclear power and decarbonization in the Netherlands
15:00h	Coffee break
15:30h	Presentation Rauli Partanen (FIN); Nuclear energy and climate change.
16:15h	Discussion
17:00h	Drinks

Organisation

NNS/KIVI Kerntechniek in collaboration with Regio Oost en Students Twente.

