

DE ITER-BOUWPUT IN HET FRANSE CADARACHE

Logistieke nachtmerrie

HET GROOTSTE WETENSCHAPSPROJECT EN DE MEEST COMPLEXE MACHINE OP AARDE: KERNFUSIEREACTOR ITER LIJKT ALLE RECORDS TE BREKEN. ZES LANDEN EN DE EUROPESE UNIE WERKEN SAMEN OM VAN ALLE HIGHTECH ONDERDELEN IN ZUID-FRANKRIJK EEN WERKEND APPARAAT TE MAKEN.

360 BLOKKEN BETON, IN TOTAAL 800 ton, 40 m lang, 9 m breed en 11 m hoog, bewogen afgelopen september vijf nachten achter elkaar met een gemiddelde snelheid van 5 km/h langs de Provençaalse dorpjes Lambesc, Le Puy Sainte Réparate en Saint-Paul-lez-Durance naar het Zuid-Franse Cadarache, op een transportplatform met 88 assen en 352 rupsbanden. Het is een testkonvoi, bestemd voor de in aanbouw zijnde kernfusiereactor ITER in Cadarache. De omvang en het

Rotondes zijn deels geplaveid om bochten te vermijden

gewicht van de betonblokken komt grofweg overeen met de grootste en zwaarste onderdelen die naar ITER moeten worden vervoerd, zoals het vacuümvat, dat in negen secties om en nabij 2017 arriveert. Speciaal voor deze en andere *highly exceptional loads* is een 104 km lange weg tussen de haven van Fos-sur-Mer (nabij Marseille) en Cadarache (in de Luberon) aangepast. De wegen zijn verbreed, bruggen vernieuwd, kruispunten heringericht en rotondes deels geplaveid om bochten te vermijden. De lading passeert zestien dorpen, zestien rotondes en meer dan dertig bruggen. Vanaf vol-

gend jaar volgt de eerste 'echte' zware lading: een waterreservoir uit de Verenigde Staten.

In het heuvelachtig gebied tussen de naaldbomen verrijst de grootste tokamak ter wereld: een donutvormige machine waarin een plasma ontstaat, dat door een even extreem magnetisch veld bij elkaar wordt gehouden. In het gasvormige plasma smelten bij een temperatuur van 150 miljoen graden en onder hoge druk de kernen van de waterstofisotopen deuterium en tritium samen. Deze fusie levert helium en neutronen op. Helium is voor ITER slechts een – weliswaar gewild – bijproduct. Het draait om de neutronen, die hun hitte afgeven aan de wanden van de machine. Koelwaterleidingen voeren het hete water af, dat vervolgens een stoomturbine kan aandrijven voor het produceren van elektriciteit. ITER gaat echter geen energie produceren, maar moet demonstreren dat het mogelijk is. Volgens de specificaties heeft de machine 50 MW nodig om het plasma aan gang te krijgen, en produceert hij 500 MW aan energie. Zo'n hoog rendement met kernfusie is in de praktijk nog nooit gehaald. De voorganger van ITER, de Joint European Torus (JET) in Groot-Brittannië, wist in 1997 16 MW aan energie te produceren, maar dat kostte wel 23 MW. ITER moet bewijzen dat kernfusie wel loont.



Het testtransport naar de bouwput van ITER, met 800 ton aan betonblokken.

De tokamak bestaat uit ongeveer een miljoen verschillende onderdelen. De grootste zijn een 5000 ton wegend vacuümvat waarin de fusiereactie plaatsvindt, daaromheen een extreem koud koelsysteem van 3500 ton en aan de onderkant een 700 ton wegende divertor die hitte en helium op de bodem van het vacuümvat moet afvoeren. De divertor bestaat uit 54 cassettes van wolfram, een metaal dat bestand is tegen de hitte van de wegschietende neutronen. De miljoen puzzelstukjes moeten minutieus in elkaar passen. Het zijn dure, hoogtechnologische onderdelen, dus niet elk technisch bedrijf heeft de expertise in huis om die te maken. Mede daar-

om is ITER een samenwerkingsproject van de EU, China, India, Japan, Zuid-Korea, Rusland en de VS. Zij bouwen allemaal mee aan de puzzel en leggen daar ruim veertien miljard euro voor neer.

Het hart van de machine, het vacuümvat, wordt door Italië en Zuid-Korea gemaakt. Het zijn negen D-vormige dubbelwandige roestvrij stalen secties. Italië maakt er zeven, Korea twee. 'Ze produceren niet allemaal exact volgens het ontwerp', verzucht dr. Rem Haange, de Nederlandse adjunct-directeur van het technische departement van ITER. 'De Italianen hebben het ontwerp aangepast. Zij gebruiken een andere lastechniek, terwijl de Ko-



De eerste fase van de fundering van de fusiereactor. De 1,7 m hoge betonnen pilaren hebben een aardschokbestendige bovenkant.

reanen min of meer het originele ontwerp volgen.' De Italianen hebben een nieuwe lastechniek ontwikkeld, op basis van elektronenbundels. Deze techniek is sneller en efficiënter, werkt met lagere temperaturen en geeft minder vervormingen. Maar er ging wel een lang ontwikkeltraject aan vooraf en het benodigde materieel is duurder. De Koreaanse las-

techniek is niet nieuw en daarom goedkoper, maar wel langzamer en minder efficiënt. Dit verschil in aanpak bezorgt de ITER-organisatie in Frankrijk kopzorgen. Want uiteindelijk moeten de Italiaanse en Koreaanse secties aan elkaar worden gelast tot een feilloos vacuümvat. Haange: 'Het is eigenlijk ondoenlijk om de componenten zo onafhankelijk van el-

HOLLANDS GLORIE

Nederland heeft tot nu toe bijna 9,5 miljoen euro aan contracten en subsidies voor ITER in de wacht gesleept. Het Noord-Hollandse bedrijf DeMaCo bijvoorbeeld maakt onderdelen voor de cryogene koelinstallatie. Deze order, ter waarde van een miljoen euro, voert het bedrijf uit als onderaannemer voor het Indiase ITER-agentschap. 3D Metal Forming uit Flevoland maakte in 2008 al een prototype van een dubbelgekromd paneel voor het vacuümvat. Nu werkt het bedrijf met Italiaanse partners aan een verbindingstechniek om de roestvrij stalen onderdelen in het vacuümvat te bekleden met een koperlaag. Heemskerck Innovative Technology en Dutch Space zijn in de race voor *remote handling*-opdrachten.

Van de Europese landen trekt Italië veel van de grote klussen naar zich toe vanwege de lagere loonkosten, zoals de productie van de zeven secties van het 300 miljoen euro kostende vacuümvat. Nederland moet het vooral van kleinere opdrachten hebben. 'Tot nu toe zijn we een tikje teleurgesteld', vertelt *industrial liaison officer* ir. Toon Verhoeven. Zijn taak is om het Nederlandse bedrijfsleven bij ITER te betrekken. 'Maar er staan nog tientallen miljoenen op de plank.' Ook de Nederlandse wetenschap ontwikkelt mee aan de fusiereactor. Zo onderzoekt energie-instituut DIFFER in Nieuwegein hoe de wand van de reactor zich gedraagt onder extreem hoge temperaturen en ontwikkelt het controletechnieken voor de beheersing van het plasma. www.iter-nl.nl

kaar te ontwerpen en bouwen. Maar de aannemers willen de onderdelen zo goedkoop mogelijk maken en doen daarvoor aanpassingen. De verschillen maken de eindmontage complex.'

CONVOI EXCEPTIONNEL

Voor de magneten is 450 ton supergeleidende kabel nodig van niobium-tin. Net als bij een touw worden de strengen van dit materiaal vervlochten tot een kabel. Er is nu al 85 000 km van die strengen geproduceerd, in Europa, Rusland, Japan, Korea, China en de VS, meestal in samenwerkingsverbanden tussen landen. Zo worden de 15 ton wegende kabels als convoi exceptionnel met politie-escort van Moskou naar La Spezia in Italië vervoerd, waar de kabels een dikke coating (jacketing) krijgen. Vervolgens worden ze verscheept naar China waar de kabels worden gecomprimeerd en gewikkeld. Dit jaar zijn er al twee van deze reizen gemaakt; in totaal vindt er vijftien keer zo'n konvooi plaats. Ook

Korea maakt kabels, maar laat de jacketing ook in La Spezia doen, om de kabels vervolgens in Japan te laten wikkelen.

'Het is een

logistische nachtmerrie', verzucht Neil Mitchell, hoofd van de magnetendivisie. 'Maar het verschepen van grote componenten is goedkoper dan het bouwen van een eigen productiefaciliteit.'

Japan heeft zo'n faciliteit, waar de kabels eerst in een verdichtingsmachine gaan. Een werknemer had een handdoek op de kabel laten liggen, die in de machine tussen de kabels werd geplet, met als gevolg een verwoest stuk kabel. Mitchell: 'De handdoek veroorzaakte putten van 2 cm diep. Het is een supergeleidende kabel, dus die kan niet zomaar afgesneden worden, en de toleranties zijn kleiner dan 1 mm. Dus dat deel kon naar de schroot. Een schadepost van 3,5 miljoen euro.'

De tot spoelen gewikkelde kabels vormen het magneetsysteem rond de tokamak. De zes *poloidal field coils*, die in ringen de reactorkamer omsluiten, worden ter plekke gemaakt en gewikkeld, omdat ze te groot zijn om te verschepen. Een immense hal staat al klaar om de spoelen te fabriceren. Europese bedrijven zouden de productie op zich nemen, maar de contracten laten nog even op zich wachten, omdat de drie overgebleven partijen prijsafspraken maakten. 'Er zijn maar weinig bedrijven die deze spoelen kunnen maken',

Een werknemer had een handdoek op de kabel laten liggen, die in de machine tussen de kabels werd geplet

NUCLEAIRE ERFENIS

Om het fusieproces op gang te krijgen is tritium nodig, een materiaal dat niet van nature voorkomt, dus het moet worden geproduceerd. ITER kan 1 kg van het materiaal per jaar van een Canadese kernenergiereactor betrekken. Cadarache mag hooguit 4 kg als voorraad aanhouden. Het materiaal is namelijk een ingrediënt voor de waterstofbom en dus potentieel levensgevaarlijk. De ITER-site staat dan ook te boek als nucleaire site, met alle bijbehorende controle-regimes. Dat is niet alleen vanwege het tritium, maar ook omdat het fusieproces de machine licht radioactief maakt. Het materiaal blijft echter 'maar' honderd jaar radioactief, waar dat bij kernsplijting duizenden jaren is. Een meltdown, zoals in Tsjernobyl of Fukushima, is onmogelijk, omdat het plasma direct stilvalt bij een verstoring. Maar zelfs een draaiend plasma richt weinig schade aan. De Britse ITER-onderzoeker Richard Pitts weet het beeldend te verwoorden: 'Als je in een brandende fusiereactor zou stappen met je armen uitgestoken, dan zou je arm verdampen, maar niet je gehele lichaam, want de dichtheid van de deeltjes is daarvoor te laag.'



Foto boven: Betonvlechters werken aan de vloer, die de 23 000 ton wegende reactor moet dragen.

Foto links: Balken en platen vormen een gesloten onderlaag.

aldus communicatiemedewerker Sabina Grifith. 'De drie bedrijven vormden een consortium en vroegen een hoge prijs. Daarom hebben we het contract nu in zeven delen opgesplitst. Zij kunnen de prijs niet dicteren; ons prijskaartje ligt vast.' De aanbesteding heeft flinke vertraging opgelopen. Mogelijk gaan nu ook Chinese partijen aan de magneten werken.

PUZZELSTUKJES

Als het dan lukt om alle onderdelen volgens specificatie gereed te krijgen en naar Zuid-Frankrijk te transporteren, dan moet alles nog tot op de millimeter precies in elkaar worden gezet. Eind volgend jaar zou de assemblageoperatie moeten beginnen. Robots lassen de meer dan 20 000 naden aan elkaar. De 30 m hoge centrale koelmachine is met 700 ton het zwaarste onderdeel. Twee kranen, die een Duits-Frans consortium hiervoor speciaal gaat bouwen, worden in de machine geplaatst. Zij kunnen maximaal 750 ton hijsen. Brian Macklin is bij ITER verantwoordelijk voor de assemblage. Met de vele werknemers, bedrijven en landen die de ontwerpen op hun eigen manier interpreteren, is het maar de vraag of het uiteindelijk allemaal keurig aan elkaar past. Macklin: 'Er is steeds minder ruimte voor wijzigingen. Het ontwerp ligt vast. Iemand die nu nog iets anders voorstelt, wordt naar de guillotine gestuurd.'

In 2023 moet het eerste plasma door de machine gaan zweven. De reactorwand wordt dan licht radioactief, met een korte halfwaardetijd. Het personeel kan dus niet zomaar de reactorkamer inlopen om onderhoud uit te voeren. Dat gebeurt van afstand met een monoraail. De 4 ton wegende modules die de reactorwand bekleden en de 9 ton wegende *divertor cassettes* worden met een robotarm vervangen. Er is een opening van 1,5 m waardoor deze materialen worden aan- en afgevoerd.

Rond 2027 gaat de machine pas echt op vol vermogen draaien. Dan zal blijken of het megaproject inderdaad het gedroomde energiewonder blijkt te zijn. Rendabele kernfusiemachines zullen de komende decennia nog niet als paddestoelen uit de grond schieten. 'De engineeringuitdaging kunnen we wel aan', meent adjunct-directeur van het ITER-project Carlos Alejaldre. 'De stap van demonstratiefase naar commercieel gebruik zal uitdagender zijn. Maar studies wijzen uit dat fusie-energie competitief kan zijn. Kernfusie is de enige potentiële kandidaat voor groot-schalige duurzame energieproductie.' ● www.iter.org

'Iemand die nu nog iets anders voorstelt, wordt naar de guillotine gestuurd'