

## Reactor Centrum Nederland werkt aan kernreactor voor het voortstuwen van schepen

**Citation for published version (APA):**

Bogaardt, M., & Muysken, M. (1961). Reactor Centrum Nederland werkt aan kernreactor voor het voortstuwen van schepen. *Electronica*, 14(346), 293-295, 297.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1961

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

## Reactor Centrum Nederland werkt aan kernreactor voor het voortstuwen van schepen

*Plan drukwaterreactor wordt uitgewerkt*

door prof. dr. M. Boogaardt en ir. M. Muysken, Reactor Centrum Nederland, 's-Gravenhage

De afdeling Beoordeling en Ontwerp van het RCN begon in 1957 met voorstudies in verband met het ontwerpen van scheepsreactoren. In oktober 1958 werd een voorontwerp van een dergelijke kleine reactor met hoog specifiek vermogen ter hand genomen. Dank zij voorstudies kon op 1 juni 1959 een voorlopig ontwerp worden opgesteld. Dit voorontwerp was al zozeer afgerond, dat op grond hiervan een ontwikkelingsplan kon worden gemaakt, enerzijds om de mogelijkheid van vereenvoudigingen ten opzichte van de Amerikaanse voorbeelden te onderzoeken, anderzijds om nog niet voldoende uitgewerkte details nader te bestuderen.

Op grond van dit ontwikkelingsplan, dat in 1960 gereedkwam, was het mogelijk een eerste raming te maken voor de tijd en kosten voor alle onderzoeken en ontwikkelingswerk tot het ogenblik waarop het definitieve ontwerp van een prototype van een scheepsreactor kan worden vastgesteld. Dit ogenblik zal, naar schatting kunnen worden bereikt tegen het einde van 1963.

Op basis van dit ontwikkelingsplan zijn in begin 1961 de onderhandelingen met Euratom geopend. Op 14 juli besloot de commissie van Euratom in principe tot een deelneming in het project tot een maximum van 1,9 miljoen dollar. Thans, 1 december 1961, is het contract tussen Euratom en RCN gesloten.

### Nederlandse industrie intensief ingeschakeld

De Nederlandse industrie wordt intensief ingeschakeld bij de onderzoekingsarbeid van deze scheepsreactoren. Onze industrie kan zich door deze eigen activiteit een onafhankelijke positie verwerven. Natuurlijk moet men daarnaast niet afzien van medewerking aan de bouw van energiecentrales in opdracht van derden, omdat een dergelijke medewerking reeds een onmiddellijke ervaring in de fabricage techniek geeft. Daar staat tegenover dat een soortgelijke medewerking niet tot een onafhankelijk positie van de industrie kan leiden.

De keuze van het RCN, een klein reactor-

Het Reactor Centrum Nederland (RCN) is momenteel doende met een uitgebreid onderzoek in verband met de ontwikkeling van een kernreactor voor het voortstuwen van schepen. Hiertoe werden in de jaren 1957-1961 voorstudies gemaakt en een programma opgesteld. Met medewerking en met financiële steun van Euratom worden de plannen thans nader uitgewerkt. Het definitieve ontwerp van een prototype van een scheepsreactor zal waarschijnlijk over drie jaar kunnen worden tegemoetgezien. De tussen Euratom en RCN gemaakte afspraken met betrekking tot deze samenwerking werden vastgelegd in een contract, dat op 1 december werd getekend. Op deze dag ook hebben prof. dr. M. Boogaardt (hoofd van de afdeling Beoordeling en Ontwerp van RCN) en ir. M. Muysken (plaatsvervangend hoofd van deze afdeling) mededelingen gedaan over de inhoud van het ontwikkelingsprogramma. De belangrijkste passages uit de beschouwingen van prof. Boogaardt en ir. Muysken worden hier afgedrukt.

systeem voor scheepsgebruik te ontwikkelen, is een voor de hand liggende. Voor een land als het onze met zijn traditionele interessen voor de scheepsbouw is het uiterst belangrijk de nieuwe ontwikkelingen op dit gebied te volgen. De omvang van de kosten voor prototypen en eerste reactor is klein ten opzichte van de investeringen in elektriciteitscentrales. Scheepsreactoren hebben voorts de aantrekkelijkheid, om bij gebleken bruikbaarheid op zee, jaarlijks in kleine series te worden gebouwd. De ontwikkeling van een prototype in eigen land biedt voorts de gelegenheid om vrijwel alle onderdelen van het reactorsysteem door de Nederlandse industrie te doen vervaardigen, en hiermede een groep technici te kweken, die met de problemen van de bouw van reactorinstallaties volledig vertrouwd raken.

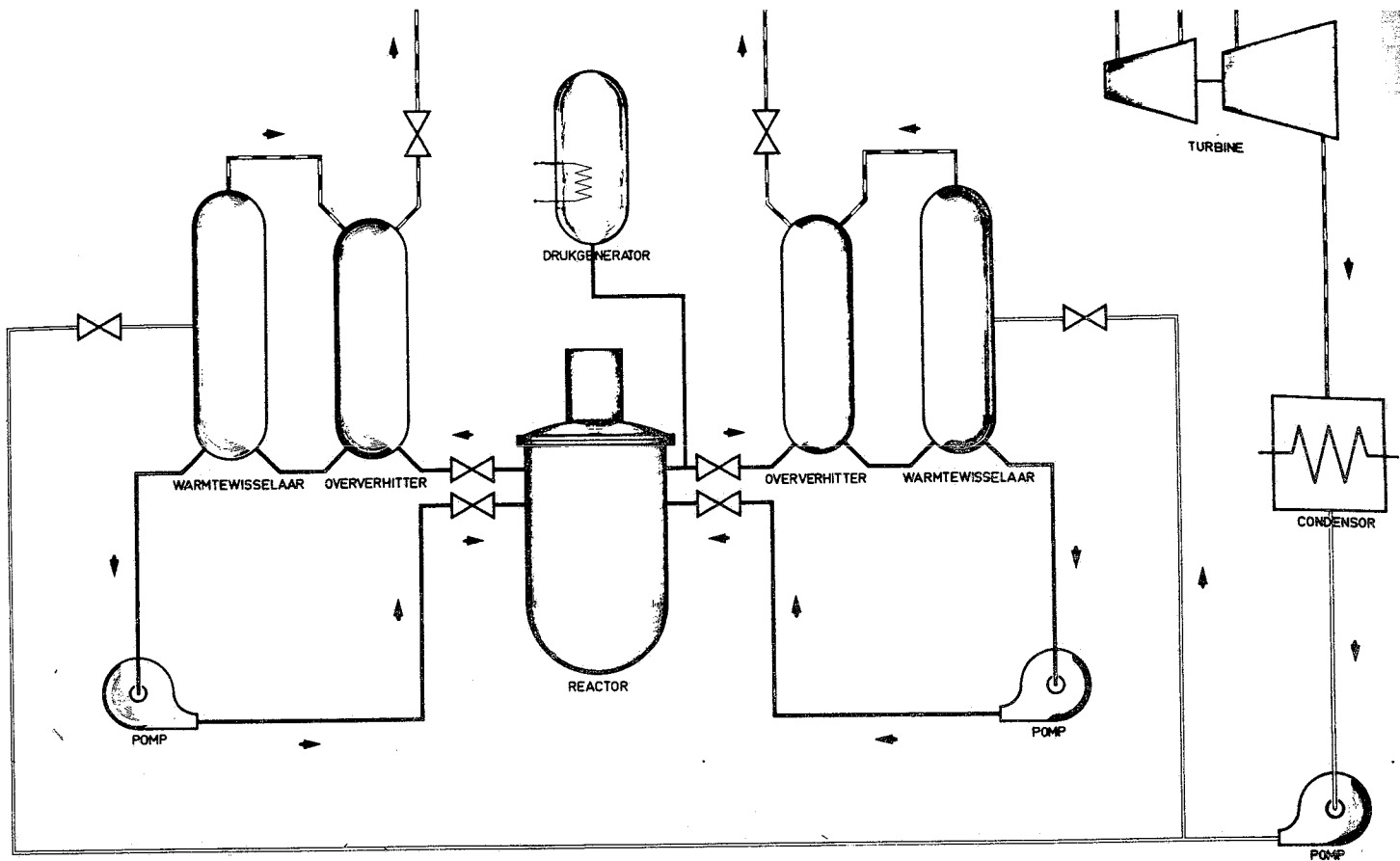
Een reactor, geschikt voor scheepsvoortstuwing, dient onder meer aan de volgende voorwaarden te voldoen:

1. Hoge graad van veiligheid bij bedrijf.
2. Een kleine omvang, doch tegelijkertijd voldoende toegankelijkheid tot onderdelen ervan.
3. Een eenvoudige bedrijfsvoering en grote bedrijfszekerheid.

4. Ongevoeligheid voor de bewegingen van een schip bij ruwe zee.
5. Veiligheid van het systeem in geval van scheepsrampen.
6. Lange levensduur van de kern om de tijd voor verwisselen van de splijtstof tot een minimum te beperken.

### 'PWR-reactor' het meest geschikt

Alleen de reactor onder hoge druk met water als koelmiddel en moderator (PWR) heeft thans een ontwikkelingsfase bereikt, waarbij bewezen is, dat deze reactor geschikt gemaakt kan worden om aan al deze voorwaarden te voldoen. Deze reactor behoort dan ook tot de categorie terdege onderzochte reactortypen, waartoe het RCN zich heeft bepaald. De PWR heeft, juist bij het gebruik van scheepsreactoren, reeds onomstotelijk bewezen burikbaar en betrouwbaar te zijn. Uitgebreide en kostbare fundamentele research, die noodzakelijk zou zijn om aan te tonen dat reactoren van dit type realiseerbaar zijn, is dus niet meer nodig. Een andere belangrijke reden is het feit, dat de ontwikkelingsmogelijkheden voor de PWR-systemen gunstig lijken, vooral wat betreft de vereenvoudiging van het ontwerp, terwijl nog andere factoren kunnen bijdragen tot een meer economische toepassing van het PWR-systeem.



Figuur 1. Principeschema van het primaire systeem dat warmte opneemt in de reactor en weer afstaat in de warmtewisselaars waar stoom gevormd wordt voor de turbine.

Tot de keuze van de PWR kwam het RCN in 1957. Het is interessant op te merken, dat deze keuze thans nog volkomen aanvaardbaar is door de ontwikkeling in de Verenigde Staten van Amerika, waar dit reactortype ook het eerst als zodanig is gebruikt. Ook daar geldt de hogedrukwaterreactor als de meest-belovende reactor voor ontwikkeling op korte termijn; op grond van de mogelijke verbeteringen. Ook heeft men daar interesse in gasgekoelde systemen, waarvan de vooruitzichten op dit moment echter niet duidelijk zijn. In Engeland, waar de gasgekoelde reactor in ontwikkeling is gebracht toont men juist weer veel belangstelling voor watergekoelde reactoren als energiebron voor scheepsvorststuw-  
wing.

#### Constructie van het reactorsysteem

De reactor bestaat feitelijk uit de reactor kern, die geplaatst is in een drukvat. De hoogte, zowel als de diameter van de kern is 130 cm. De splijtstofelementen, bestaan uit uraniumoxyde, verrijkt tot een percentage van ruim 3% U-235 en voorzien van hulzen van zircaloy. De kern is uitgevoerd in twee zones van verschillende verrijking. De hoogte van het drukvat, waarin de kern, is 350 cm. de diameter 200 cm.

Het thermische vermogen, dat door de kern wordt geproduceerd, is ca. 65 MW voor een asvermogen van 20.000 pk. De reactor wordt, behalve door de negatieve temperatuurs- en dampbelcoëfficiënten, geregeld met behulp van 12 regelementen.

Gewoon water wordt als koelmiddel en als

moderator gebruikt. Dit water dient wel een zeer hoge graad van zuiverheid te bezitten. Het water wordt in twee circuits, die aangesloten zijn op het reactorvat, rondgepompt. Elk circuit bevat twee pompen, één warmtewisselaar, twee terugslagkleppen en twee snelsluitende hoofdafsluiters, welke zich dichtbij het reactorvat bevinden. Op deze hoofdcircuits zijn ten behoeve van het reactorbedrijf 16 hulpcircuits aangesloten.

De afscherming van de bij de kernreactie vrijkomende straling en van de bij de splijting geproduceerde radioactieve afvalstoffen wordt op de volgende manier verkregen:

1. Tussen de kern en het drukvat wordt een aantal staalplaten in een tank, gevuld met water, opgesteld.
2. Buiten het drukvat is een biologische afscherming aangebracht, welke het mogelijk maakt om 20 minuten na afzetten van de reactor de reactorruimte te betreden voor het verrichten van controle- of herstelwerkzaamheden. Een dergelijke afscherming is ook aangebracht rondom de ionenwisselaars en filters.
3. Een secundaire afscherming is nog aangebracht aan de wand van de gehele reactorruimte.

De reactorruimte is in feite de ruimte omsloten door het beveiligingsvat. In dit beveiligingsvat staat het complete reactorsysteem opgesteld, bestaande uit de reactor met de twee hoofdcircuits en de hulpcircuits.

De ontwikkeling van de scheepsreactor, zoals die door het RCN tezamen met Euratom verder ter hand wordt genomen, heeft uitsluitend

betrekking op het gedeelte van de nucleaire voortstuwingsinstallatie, welke in dit beveiligingsvat staat opgesteld.

#### Het ontwikkelingsprogramma van het RCN

Het ontwikkelingsprogramma van de scheepsreactor houdt in feite een hoeveelheid werk in, waardoor het voorontwerp (tot stand gekomen in de jaren 1957-1961) als het ware naar het ontwerp van het prototype toe groeit. Niet alle facetten van het reactor-systeem hebben tot dusverre in gelijke mate de aandacht gehad.

Daarbij zijn sommige problemen noodgedwongen onvolledig behandeld, hetzij door tijdsgebrek, hetzij door gebrek aan experimentele gegevens. Het bestaande voorontwerp dient voortdurend te worden aangepast aan nieuwere gegevens, ten dele afkomstig uit de literatuur, ten dele uit eigen onderzoekingen en ontwikkelingswerk.

Het programma kan worden onderverdeeld in een drietal projecten: de projecten van het RCN; de projecten die door de Nederlandse industrie ter hand moeten worden genomen; de projecten geschikt om te worden uitgewerkt door de Technische Hogescholen en TNO.

#### Projecten van het RCN

De projecten, welke bij het RCN moeten worden uitgevoerd, zijn de volgende:

a. *Het Kritische Experiment ('KRITO')*. Dit is een reactoropstelling waarin de geprojecteerde reactor kern op zo eenvoudige mogelijke wijze wordt nagebootst. 'KRITO' wordt

ondergebracht in het centrum te Petten. Gedurende twee jaren zullen daar kritische experimenten voor de kern van de scheepsreactor worden uitgevoerd. Het belangrijkste deel van 'KRITO' wordt dus gevormd door de experimentele reactorkern met alle nodige onderdelen en voorzieningen. De tank, waarin de kern is ondergebracht, is 4,25 m hoog en heeft een diameter van 2,5 m. De moderator is water. In de kern bevinden zich 42 splijstofelementen.

b. Een tweede project behelst de *ontwikkeling van splijstofelementen op basis van uranium-oxyde (UO<sub>2</sub>)*. Het doel van dit project is: verbetering van de fysische eigenschappen van de splijstof, (geperste en gesinterde propjes of tabletten van UO<sub>2</sub>), voornamelijk gericht op het geschikt maken van de splijstof voor het zeer lang in bedrijf houden van de reactor. Een van de vereisten van de reactor is namelijk een lange levensduur van de kern. Aangezien een betrouwbare methode om de tableten te fabriceren, die het mogelijk maken de reactorkern langere tijd in bedrijf te houden, nog niet is ontwikkeld, is dit deelproject in het programma opgenomen.

c. *Het H.F.R.-circuit*. Dit bestralingscircuit dient voor het beproeven van de delen van een splijstofelement onder invloed van een intense neutronenflux. Daarnaast worden ook niet-splijtbare materialen in de reactor onderzocht. De verandering van de mechanische eigenschappen van het materiaal na het ondergaan van een bombardement door neutronen is vooral van belang, terwijl voorts de corrosieverschijnselen (onder invloed van het neutronenbombardement) en van lasverbindingen van constructie-onderdelen onderwerpen van studie zijn. Slechts splijstofelementen, materialen en lasverbindingen, die volgens de huidige inzichten in aanmerking komen om toegepast te worden in de scheepsreactor, en die zich in het primaire systeem bevinden en blootgesteld worden aan een hoge neutronenflux en waarvan te weinig of niets bekend is, zullen onderzocht worden.

d. Een tweede circuit zal noodzakelijk zijn in het kader van de studie van *corrosie en erosie*, het vierde project dat bij het RCN zal worden uitgevoerd. Het doel van dit onderzoek is onder andere een levensduur vast te stellen voor de diverse onderdelen van de scheepsreactor.

e. Een onderdeel van de werkzaamheden bij het RCN heeft betrekking op het *aanpassen van het ontwerp aan de ter beschikking komende gegevens van de overige projecten* en het verder uitwerken van de berekeningen op het gebied van de reactorfysica, reactordynamica en de afscherming. Niet alle grootheden, welke van belang zijn voor het ontwerp van de reactorkern, kunnen van tevoren worden gemeten. Twee voorbeelden van zulke grootheden zijn het verloop van de versplijting als functie van de tijd en de reactordynamica. Zo nauwkeurig mogelijke berekeningen moeten worden uitgevoerd om het gedrag van de kern en de installatie in beide opzichten te bepalen.

*Uit deze werkzaamheden, gecombineerd met*

*de resultaten van het overige ontwikkelingsprogramma, volgen de algemene ontwerpgegevens van de scheepsreactor. Uit het tot nog toe genoemde blijkt dat vrijwel iedere geleiding van het RCN met het programma te maken heeft. Afgezien van de genoemde laboratoria zijn nog te noemen het laboratorium voor de analytische chemie, de Gezondheidsbeveiliging en het laboratorium voor sterk radio-actief onderzoek.*

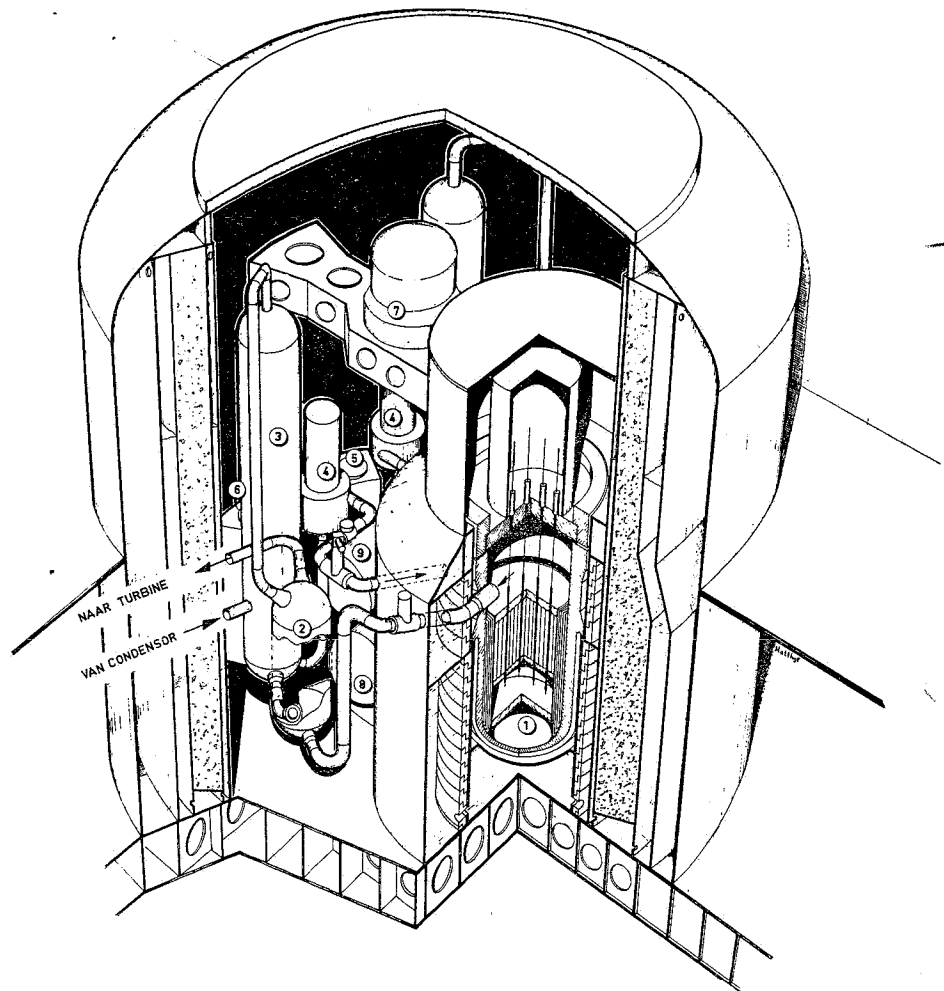
#### Projecten van de Nederlandse industrie

De projecten, die door de Nederlandse industrie ter hand zullen moeten worden genomen zijn:

a. Onderzoekingswerk omtrent het cilindrische *drukvat*, waarin zich de reactorkern bevindt. Dit betreft de spanningen en temperaturen, welke optreden in de onderdelen van het vat tijdens verschillende belastingstoestan-

den, die worden gekozen voor het opwekken van stoom met behulp van de in de kern ontwikkelde en door het primaire koelwater afgevoerde warmte. Bij dit type is een zeer compacte bouw, welke in een reactor compartiment zeer wenselijk is, mogelijk. Doordat uit de literatuur niet veel gegevens over het dynamische gedrag van de warmtewisselaars tot onze beschikking staan, is een onderzoek aan een klein model in combinatie met een stoomketelinstallatie noodzakelijk.

c. Op het gebied van *aandrijfmechanismen voor regelstaven* voor energiereactoren is in Nederland nog geen ervaring opgedaan. Bij het maken van het ontwerp werd dan ook rekening gehouden met de mogelijkheid van toepassing van twee principiële verschillende constructies, welke beide nader uitgewerkt en beproefd moeten worden, alvorens een keus gemaakt kan worden. Modellen op ware



Figuur 2. Het reactorcompartiment vormt een gasdicht omhulsel voor de reactor en de componenten van het primaire systeem.

1. reactor, 2. oververhitter, 3. warmtewisselaar, 4. circulatiepomp, 5. filters, 6. ionenwisselaars, 7. drukgenerator, 8. afblaastank, 9. spuitank.

den, de werking van de gekozen afdichting en de juistheid van de materiaalkeuze. Deze informatie is van groot belang, vooral omdat aan een reactordrukvat veel hogere eisen gesteld worden dan in de meer conventionele technieken het geval is. Een beproevingsonderzoek aan een in staal uitgevoerd model staat op het programma.

b. In de voorgestelde drukwaterreactor zijn warmtewisselaars van het verticale type ge-

grootte zullen moeten worden vervaardigd en beproefd.

e. Het gehele ontwikkelingsprogramma hangt voor een groot deel af van een betrouwbare *lastechniek* voor een aantal onderdelen van verschillende afmetingen en van verschillend ontwerp en voor diverse ongewone materialen. De meeste onderdelen, welke nodig zijn voor de bestralings- en corrosietests zullen vervaar-

digd worden van zirconium en andere ongewone materialen. Een onderzoekprogramma voor het lassen van dikke platen, zoals het zich voordoet bij de fabricage van het reactorvat, is opgesteld.

f. Vervolgens is een programma opgesteld van het onderzoek dat nodig is voor de *constructie van regelstaven*. Omdat de regelstaven opgebouwd zijn uit verschillende ongebruikelijke materialen en tijdens bedrijf in de reactor ongelijkmatig verwarmd worden, zijn er diverse vraagstukken met het oog op ontwerp, fabricage en keuze materialen. Indien één of meer schaalmodellen worden vervaardigd, kan hiermede een redelijke fabricage-ervaring worden opgedaan.

g. Het systeem voor de *behandeling van het primaire water* moet volledig worden uitgewerkt. Hierbij zijn niet alleen de ionenwisselaars inbegrepen, maar ook het monsternamesysteem, waterstof- en hydrazine-injectie en meting van de zuurstof- en waterstofconcentratie onder bedrijfsconditie.

h. Een essentieel onderdeel van de PWR is de zgn. *pressurizer, de drukgenerator*. In dit apparaat is een vrij wateroppervlak aanwezig. De druk die heerst in de ruimte boven het vrije wateroppervlak is bepalend voor de druk in het systeem. Deze druk moet bij belastingswisselingen zo veel mogelijk constant worden gehouden. Het ligt in de bedoeling een model van een drukgenerator aan te passen om daarmee de verschillende factoren die een rol spelen bij het proces in de drukgenerator na te gaan.

i. Er zullen een aantal *hulpwerktuigen en appendages*, nodig voor de reactorinstallatie, ontwikkeld moeten worden. Hieronder vallen o.m. primaire koelwaterpompen, ionenwisselaars en filters.

#### Projecten voor de Technische Hogescholen en TNO

De projecten, geschikt om te worden uitgewerkt door de Technische Hogescholen en TNO, zijn:

a. Het onderzoek van de *warmte-extractie* uit de kern. Daartoe zullen experimenten worden uitgevoerd en metingen worden gedaan aan een aantal modellen van een splijtstofelement door middel van een testinstallatie, welke zal worden opgesteld in de TH te Eindhoven.

b. Bij het ontwerp van een PWR is het van groot belang nauwkeurig de in het systeem aanwezige *hydraulische weerstanden* te kennen. De enige wijze, waarop deze gegevens met betrekking tot de reactor zelf, kunnen worden verkregen is door middel van een hydraulisch onderzoek aan een model van de reactor kern. Daartoe zullen metingen worden uitgevoerd aan een model van een splijtstofelement en aan een schaalmodel van een segment van de reactor. Aan het ontwerp van de installaties, welke opgesteld zullen worden in de Technische Hogeschool te Delft, wordt thans gewerkt.

c. *Afscherming*. Nadat berekeningen hieromtrent zijn uitgevoerd, verdient het aanbeveling de uitslag van deze berekeningen aan een model, hetwelk bijv. aangebracht kan worden aan één kant van een zwembad-

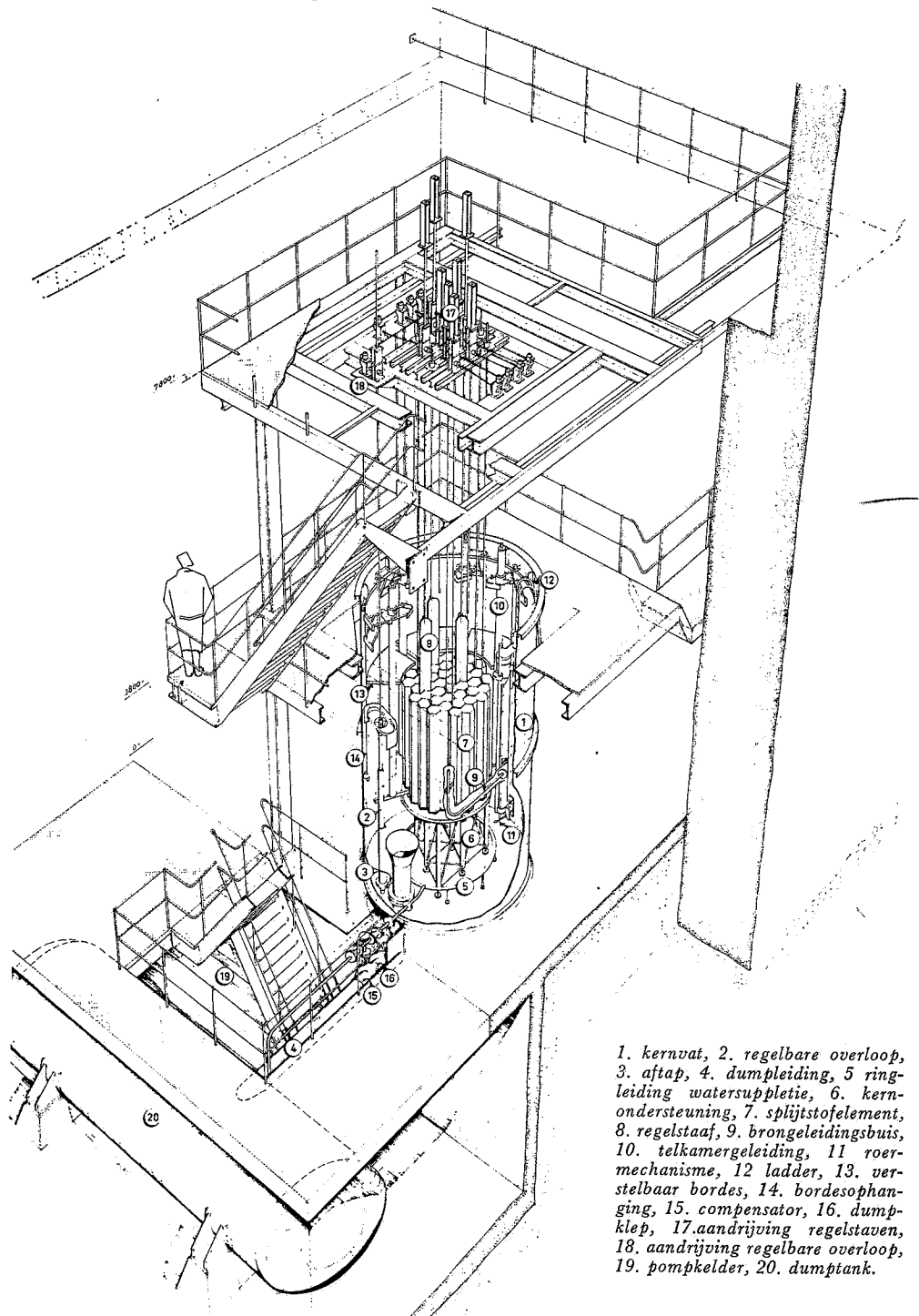
reactor, te verifiëren. Een beperkt volume en een laag gewicht zijn voor een scheepsreactor van het grootste belang. Vooral op dit gebied zal veel researchrekenwerk moeten geschieden.

#### De kosten

In drie jaar zal het hier beschreven programma in grote trekken waarschijnlijk zijn uitgevoerd. De geraamde kosten zullen in totaal

men moeten worden ruim f 3 miljoen en die, welke meer geschikt zijn voor de Technische Hogescholen en TNO ruim f 500.000,—.

Het is momenteel nog zo, dat een schip voortgestuwd met behulp van een kernreactor niet economisch is. Dit is pas te verwachten wanneer de reactorontwikkeling tezamen met de scheepsontwikkeling een evenwichtig totaalontwerp voor een nucleair schip heeft opgeleverd. Aan de hier bedoelde research op het



1. kernvat, 2. regelbare overloop, 3. aftap, 4. dumpleiding, 5. ringleiding watersuppletie, 6. kernondersteuning, 7. splijtstofelement, 8. regelstaaf, 9. brongeleidingsbuis, 10. telkamergeleiding, 11. roermechanisme, 12. ladder, 13. verstelbaar bordes, 14. bordesophanging, 15. compensator, 16. dumpklep, 17. aandrijving regelstaven, 18. aandrijving regelbare overloop, 19. pompkelder, 20. dumptank.

Figuur 3. De installatie waarin kritische experimenten ter bepaling van fysische gegevens over de reactor kern worden uitgevoerd. Deze installatie ('KRITO') wordt op het terrein van het RCN te Petten opgesteld.

f 14 tot 17 miljoen bedragen, waarvan f 3 miljoen momenteel onvoorzien is. De projecten, welke thans zijn vastgesteld en bij het RCN worden uitgevoerd vergen f 10 miljoen; die welke door de industrie ter hand geno-

gebied van scheepsvormen voor voortstuwing door kernenergie is door het RCN intussen een eerste initiatief genomen in samenwerking met TNO en het Scheepsbouwkundig Proefstation te Wageningen.