

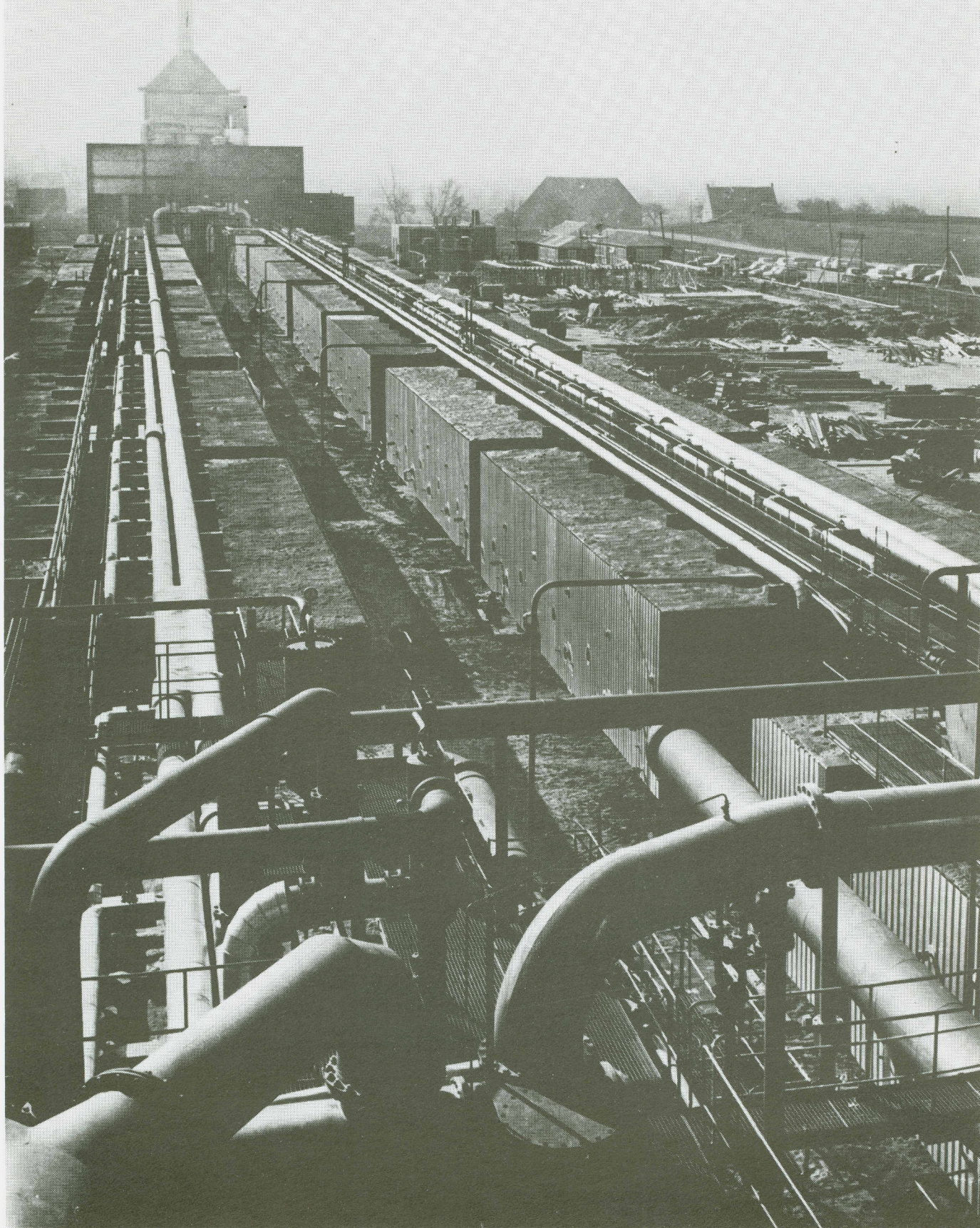
FLASHVERDAMPING

Mededeling nr. 51 van het KIWA

Rapport van de
Commissie Flashverdamping

Rijswijk, februari 1977

U.D.C. 628.165.048:621.175.46



Twee meertrapsontspanverdamers (MSF-long tube)
met 38 trappen. Capaciteit 2 x 600 m³/h.
(Foto beschikbaar gesteld door PZEM.)

INHOUDSOPGAVE

blz.

1	VOORWOORD	5
2	SUMMARY	10
3	SAMENVATTING EN CONCLUSIES	13
4	DE VERDAMPERINSTALLATIE	16
4.1	Inleiding	16
4.2	De meertraps ontspanverdamer	16
4.3	Overzicht van andere bekende typen verdampers en hun kenmerken	27
4.4	Waterproduktie met een meertraps ontspanverdamer in combinatie met energieopwekking	29
4.5	Ontwerpkriteria en theorie van de meertraps ontspanverdamer	39
4.6	Literatuur	46
5	EISEN VOOR HET VOEDINGWATER	47
5.1	Het slibgehalte	47
5.2	Ammoniak	48
5.3	Fosfaat	49
5.4	Zuurstof	49
5.5	Calciumcarbonaat	50
5.6	Calciumsulfaat	50
5.7	Mosselen	51
5.8	Literatuur	51

	blz.	
6	VESTIGINGSPLAATS EN MILIEUFACTOREN	52
6.1	Vestigingsplaats	52
6.2	Klimatologische invloeden	53
6.3	Milieufactoren	54
7	KWALITEIT EN NABEHANDELING VAN HET DESTILLAAT	57
7.1	Kwaliteit	57
7.2	De nabehandeling van het destillaat	61
7.3	Literatuur	66
8	BEDRIJFSERVARINGEN IN NEDERLAND	67
8.1	Inleiding	67
8.2	Belangrijke gegevens	67
8.3	De waarborgen m.b.t. ononderbroken produktie	68
8.4	Onderbrekingen van de produktie- en totale bedrijfstijd	70
8.5	Onderhoudskosten	73
8.6	Specifieke problemen	74
8.7	Aanbevelingen	77
9	PRODUKTIEKOSTEN	84
9.1	Inleiding	84
9.2	Grondslagen voor de berekening	84
9.3	Investerings	86
9.4	De kostprijs van het produkt	89

	blz.
9.5 Aanvullende overwegingen	91
9.6 Rekenschema	92
9.7 Nabeschouwing	95
10 TRANSPORT, OPSLAG EN METING	97
10.1 Algemeen	97
10.2 Transport	98
10.3 Opslag	101
10.4 Meting	103
10.5 Literatuur	104
<u>Bijlage I</u>	
Theoretische beschouwing van de meertraps ontspanverdamper	106
<u>Bijlage II</u>	
Evaluatie van het energieverbruik en de kosten van waterontziltling gecombineerd met elektri- citeitsopwekking.	117

I VOORWOORD

Aan het eind van de zestiger jaren waren de verwachtingen t.a.v. de ontwikkeling van het waterverbruik in Nederland en de mogelijkheden voor de waterwinning zodanig dat de kans op spoedige schaarste in bepaalde gebieden niet uitgesloten leek. Het werd daarom opportuun geacht om na te gaan in hoeverre waterontzouting een bijdrage tot de oplossing zou kunnen bieden. In dit kader werd in 1967 de Werkgroep Flashverdamping opgericht als onderdeel van de Commissie Ontzouting. In deze commissie kreeg de speurwerksamenwerking op dit gebied tussen het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (R.I.D.) en de Vereniging van Exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland (VEWIN) gestalte, waarbij de geïnteresseerde industrie als derde partner optrad. De commissie was verantwoordelijk voor de hoofdlijnen van het programma, regelde de financiering en zorgde voor de algemene coördinatie. Het directe werk geschiedde in werkgroepen waarin vertegenwoordigers van de drie partners waren opgenomen. De uitvoering werd opgedragen aan het KIWA. Na verloop van tijd ging de samenwerking met de industrie moeilijkheden opleveren. De concurrentiepositie waarin verschillende bedrijven ten opzichte van elkaar stonden bleek prohibitief voor gezamenlijke opzet en financiering van studie en speurwerk. Het contact met de industrie werd verbroken en daardoor viel een belangrijk takenveld van de Commissie

Ontzouting weg. Deze werd dan ook in 1971 opgeheven en de Werkgroep Flashverdamping werd omgezet in de Commissie Flashverdamping, werkend onder verantwoordelijkheid van het R.I.D. en de VEWIN.

In de werkgroep resp. commissie hebben in de loop van de tijd de volgende personen zitting gehad:

voorzitter prof.ir. P.L. Knoppert, D.W.L.
Rotterdam resp. Waterwinningbedrijf
Brabantse Biesbosch

secretaris ing. P.J. van Winsen, KIWA N.V.

leden

- drs. W. Bassie
- ir. B.G. Bleeker
- ir. P.R. Bom
- ir. A.H. van Breemen
- ir. H.W. Kockx
- dr.ir. D. Kuiper
- prof.dr.ir. C.F. Lerk
- dr. L.H. Louwe Kooymans
- ir. M.J. van Melick
- ir. A.C.M. Luteijn
- ir. G.A. Pieper
- drs. J.J. Rook
- ir. H. Rakers
- ir. A.A. Romeyn
- ir. J.C. Schippers
- G. Spanhaak
- ir. P. Stoter M.Sc.
- ir. A.W. Veenman

De opdracht aan de werkgroep resp. de commissie was om na te gaan in hoeverre verdampingsprocessen in de naaste toekomst zouden kunnen bijdragen aan de

watervoorziening van bevolking- en industrie in Nederland. Hierbij moest in hoofdzaak aandacht worden besteed aan de kwalitatieve, bedrijfstechnische en financiële aspecten. Het lag niet in de bedoeling, dat direct technisch ontwikkelingswerk aan verdamper zou worden gedaan.

Er was ten tijde van de oprichting van de werkgroep één grote verdamper in Nederland operationeel, die te Terneuzen. In de loop van de tijd zijn daar de verdamper te Rotterdam en te Texel bijgekomen. Het door de eerste twee installaties vervaardigde water wordt rechtstreeks aan de industrie geleverd. De laatste is ingeschakeld bij de drinkwatervoorziening.

Het kwalitatieve onderzoek is ten dele verricht aan de bovengenoemde verdamperinstallaties ten dele met behulp van een speciaal gebouwde proefverdampert. In deze laatste konden naar goeddunken willekeurige stoffen aan het voedingswater worden toegevoegd waarvan het gedrag vervolgens kon worden nagegaan. De bedrijfstechnische aspecten zijn bestudeerd aan de hand van literatuuronderzoek, algemene ervaring en de bestaande verdamper te Terneuzen, Rotterdam en Texel.

Zowel het kwalitatieve als het bedrijfstechnische onderzoek hebben niet geleid tot bedenkingen tegen toepassing van verdamper voor de gedachte doeleinden. Anders is het gelopen met de financiële - prijstechnische - aspecten. Het was bekend, dat de

laagste kostprijs werd gekregen bij de combinatie van een verdamperinstallatie met een energiecentrale. De in de literatuur vermelde hoogte van deze kostprijs was echter nogal eens gebaseerd op een zekere mate van "wishful thinking". Te weinig werd meestal rekening gehouden met de eisen ten aanzien van veiligheid van kwaliteit en kwantiteit. Desalniettemin was aanvankelijk de indruk van de commissie dat reeds bij een kostprijsdaling van ca 30%, verdamping in sommige gevallen een aantrekkelijk alternatief zou worden bij de oplossing van de te verwachten problemen bij de watervoorziening. Deze kostprijsdaling leek mogelijk door de verdere uitwerking van een op de Technische Hogeschool te Delft ontwikkeld nieuw type vertikale verdamper.

De energiekrisis heeft echter ook op dit punt ingrijpende veranderingen gebracht. Door het hoge energiegebruik van het verdampingsproces is de kostprijs sterk in ongunstige zin beïnvloed.

In het rapport zijn uitvoerige kostprijsbeschouwingen opgenomen. Hierbij zijn ondermeer in een ad hoc samenwerking tussen de VEWIN en de Vereniging van Exploitanten van Elektriciteitsbedrijven in Nederland (VEEN), een aantal energieopwekking-watervedamping combinaties doorgerekend op basis van prijzen in 1975.

Anderzijds doet zich het feit voor, dat de prognoses van het toekomstig watergebruik in Nederland thans lager uitkomen dan voor enige jaren.

Een en ander is er de oorzaak van geweest, dat het verdampingsproces weinig toepassingsmogelijkheden lijkt te hebben bij de waterzuivering in Nederland. Slechts in zeer speciale gevallen zal het nog een aanvaardbare oplossing kunnen bieden.

Te vermelden valt tenslotte nog, dat diverse hoofdstukken van dit rapport door verschillende leden van de commissie in concept zijn geschreven, al naar hun eigen specialiteit. Dit betekent dat er een verschil in stijl en benadering valt op te merken. De verwachting mag worden uitgesproken, dat de leesbaarheid er niet te veel door heeft geleden.

prof.ir. P.L. Knoppert, voorzitter
ing. P.J. van Winsen, secretaris

2. SUMMARY AND CONCLUSIONS

The multistage flash evaporator is the type of evaporator that can best be applied for desalination of brackish surface water and seawater.

Experiences with this type of evaporator in Rotterdam, Terneuzen and Texel showed that these installations can reach a high degree of availability. From the point of view of the public water supply however this degree of availability is still too low. This means that when designing such a plant, the additional production capacity as well as the storage capacity have to be taken into account.

Medio 1976 the cost of the distillate would have been be Dfl. 2,90 per m³, excluding the posttreatment like aeration and hardening for a plant for public water supply with its own steam generation and with a total capacity of 2700 m³ per hour, consisting of multistage flash evaporators of 450 m³ per hour, which would be constructed in phases during a period of 10 years.

When the distillate is produced for industrial customers the price would have been Dfl. 2,60 per m³ because of the higher loadfactor for reasons of less fluctuations in the consumption pattern and a higher acceptable temperature.

Desalination of water by means of evaporation combined with power generation will give a decrease in the costprice. Moreover, the costprice will be lowest when desalination is combined with

a nuclear power plant from which extraction steam is withdrawn.

The price for drinking water and industrial water will then be Dfl. 2,15 and Dfl. 1,80 per m³ respectively.

In future the costs of the distillation process may be reduced about 20 to 25 percent, by the application of new types of evaporators like for example the "Fluidized Bed Evaporator".

This type is developed by Dr. D.G. Klaren at the Technological University in Delft.

To industry the distillate is a high grade product that can generally be applied without or with only a limited posttreatment. However, when using the distillate as potable water, the quality will be unsatisfactory since it is aggressive to materials like concrete, asbestos cement, steel, cast iron and copper. Moreover, it contains hardly any oxygen and hardness and its temperature is too high.

It is necessary therefore, to remove the aggressivity e.g. by mixing with water having an adequate buffer capacity, by filtration on marble or dolomite after the addition of carbon dioxide or by a dosage of lime and carbon dioxide. The oxygen content can be increased and the temperature lowered by aeration in a cooling tower.

When the distillate has to be delivered to industrial consumers the posttreatment is generally

omitted. From the financial point of view, it is more attractive to use plastic pipelines and to line fittings and storage tanks instead of a post-treatment.

When the raw water contains ammonium and/or taste and odour compounds it will be necessary to apply breakpoint chlorination of the raw water and filter ~~the distillate~~ through active carbon.

In general, compounds which are stable at higher temperatures and which have a relative high volatility with respect to water, will be removed only to a limited extent during the evaporation process.

The site of the desalination plant will be determined to a high degree by the place where water is required, where raw water is available and brine can be discharged, since transport over a great distance will increase the costprice. Whenever desalination is combined with power generation the considerations which apply to the site of the powerstation are to be taken into account as well. The definite site will also be determined by the policy pursued by the Government with respect to the landscape management and ecological planning.

3. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

De meertraps ontspanverdamer is het type verdamer dat het meest in aanmerking komt om toegepast te worden voor de ontzilting van brak oppervlaktewater en zeewater.

De ervaringen met dit type verdamer in Rotterdam, Terneuzen en Texel hebben geleerd dat met deze installaties een hoge graad van beschikbaarheid kan worden bereikt. Vanuit het oogpunt van de openbare drinkwatervoorziening beschouwd is de beschikbaarheidsgraad echter nog te laag, zodat bij het ontwerp rekening moet worden gehouden met de installatie van extra produktie- en opslagcapaciteit.

De kostprijs van het destillaat exclusief nabehandeling bedroeg medio 1976 ca. f. 2,90 per m³, wanneer uitgegaan werd van een installatie met eigen stoomopwekking en meertraps ontspanverdamers met een capaciteit van 450 m³ per uur, die na 10 jaar, waarin de bouw gefaseerd plaatsvindt, een geïnstalleerde capaciteit van 2700 m³ per uur heeft en water produceert voor de openbare drinkwatervoorziening.

Wordt het destillaat ten behoeve van industriële afnemers bereid, dan zou de kostprijs ca. f. 2,60 per m³ geweest zijn, daar in dit geval de bezettingsgraad van de installatie hoger is, door geringere fluctuaties in het afnamepatroon en geen nabehandeling nodig is.

Ontzilting van water door middel van verdamers in combinatie met elektriciteitsopwekking levert een verlaging van de kostprijs op. In het geval dat ontzilting gecombineerd wordt met een kerncentrale waarbij zowel aftapstoom als reservestoom van de centrale wordt betrokken, wordt de laagste kostprijs berekend.

De kostprijs voor drinkwater en industriewater wordt dan resp. f. 2,15 en f. 1,80 per m³.

De kosten van het destillatieproces kunnen mogelijk in de toekomst met ca. 20 à 25% verlaagd worden door toepassing nieuwe typen verdamers, zoals bijvoorbeeld de "Fluidized Bed Evaporator".

Dit, aan de Technische Hogeschool te Delft door ir. D.G. Klaren ontwikkelde type wordt momenteel geëvalueerd.

Het destillaat is voor de industrie een hoogwaardig produkt dat doorgaans zonder of met een beperkte nabehandeling toegepast wordt. De kwaliteit van het destillaat is echter bij toepassing als drinkwater onvoldoende, daar het ongeacht de kwaliteit van het ruwe water, agressief is ten opzichte van materialen zoals beton, asbestcement, staal, gietijzer en koper. Bovendien bevat het nagenoeg geen hardheid, geen zuurstof en is de temperatuur te hoog.

Het is dan ook nodig de agressiviteit van het water op te heffen door bijv. menging met water van voldoende buffercapaciteit, filtratie over marmer of dolomiet na toevoeging van koolzuur of dosering van kalk en koolzuur. In een koeltoren kunnen de hardheid en het zuurstofgehalte op eenvoudige wijze verhoogd worden en de temperatuur verlaagd worden. Wordt het destillaat door industriële afnemers gebruikt dan wordt de nabehandeling doorgaans achterwege gelaten daar het in dat geval financieel aantrekkelijker is in plaats hiervan de leidingen in kunststof uit te voeren en appendages en voorraad-tanks van een bekleding te voorzien.

Bevat het ruwe water ammoniak en/of reuk- en smaakstoffen dan is toepassing van breekpuntchloring van het ruwe water nodig en filtratie over actieve kool van het destillaat ter verwijdering van resp. ammoniak en reuk- en smaakstoffen.

In het algemeen geldt dat verbindingen die bij hogere temperaturen stabiel zijn en een hoge relatieve vluchtigheid t.o.v. water hebben, tijdens het verdampingsproces slechts in beperkte mate worden verwijderd.

De situering van de ontziltingsinstallatie zal in hoge mate worden bepaald door de plaats waar het water nodig is, ruw water beschikbaar is en brijn geloosd kan worden, daar transport over grote afstand de kostprijs verhoogt. Wordt de ontzilting van water gecombineerd met elektriciteitsopwekking, dan gelden bovendien de overwegingen die voor de vestigingsplaats van een elektrische centrale gelden.

De definitieve plaats zal bovendien mede bepaald worden door het beleid dat door de overheid gevoerd wordt ten aanzien van ruimtelijke ordening en milieuhygiëne.

4. DE VERDAMPINGSINSTALLATIE

4.1 Inleiding

Gezien de grote plaats die in de waterontziltling wordt ingenomen door het meertraps ontspanprocédé, is het gerechtvaardigd aan dit proces de meeste aandacht te besteden; zo zal met name dit proces worden beschouwd in combinatie met energieopwekking. Eveneens zullen voor dit proces de relaties worden behandeld tussen het aantal trappen, het warmteverbruik, het te installeren warmtewisselend oppervlak en de invloed van temperatuurverliezen op het verwarmd oppervlak.

Naast de meertraps ontspanverdamer zullen andere bekende verdampersystemen kort worden genoemd.

4.2 De meertraps ontspanverdamer *)

Dit type verdamer heeft sinds 1962 de ontziltings-techniek beheerst.

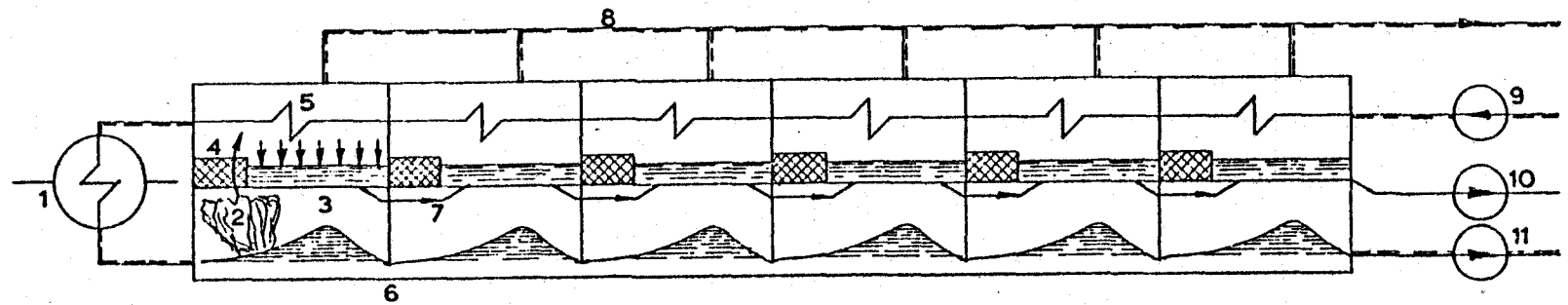
In Nederland en op de Nederlandse Antillen is deze verdamer op één enkele uitzondering na het enige type dat in gebruik is.

In figuur 1 wordt een vereenvoudigd schema weergegeven van een meertraps ontspanverdamer volgens het "doorpomp"-systeem. **)

De verdamer is opgebouwd uit een groot aantal achter elkaar geschakelde kamers (trappen) waarin verschillende verzadigingscondities heersen. Het ruwe water dat eerst in de condensors en de brijnverwarmer is verwarmd, doorloopt de verdampingskamers van hogere naar lagere druk. Tijdens het transport van kamer naar kamer zal ten gevolge van de drukverlaging, die het ruwe water ondergaat,

*) "Multi-Stage Flash Evaporator", soms aangeduid in de Nederlandse tekst als MSF-verdamer.

**) Ook wel als "eenmaal-door" of "once-through" systeem aangeduid.



- | | |
|-------------------|------------------------|
| 1 BRIJNVERWARMER | 6 SMOOROPENING |
| 2 ONTSPANKAMER | 7 DESTILLAAT TRANSPORT |
| 3 DESTILLAAT TROG | 8 VACUUM LEIDING |
| 4 DEMISTER | 9 VOEDING POMP |
| 5 CONDENSOR | 10 DESTILLAAT POMP |
| | 11 SPUI POMP |

FIG. 1 STROOMSCHEMA VAN EEN MEERTRAPS
ONTSPANVERDAMPER („DOORPOMP“ SYSTEEM)

dampvorming optreden. Men noemt dit "adiabatisch verdampen", "ontspannen" of "flashen" van water. Dit proces treedt gedeeltelijk op in de smoorspleten en verder in de verdamperkamers, hetgeen dan beter "uitkoken" kan worden genoemd. De gevormde damp wordt neergeslagen op condensorpijpen, die bovenin de verdamperkamer zijn geplaatst en die met kouder ruw water worden doorstroomd.

Het afdruipende condensaat wordt opgevangen in troggen die zich onder de condensorpijpen bevinden, waarna het in de destillaattrog in de aangrenzende kamer met lagere druk ontspant. Aan het koude einde van de verdamper wordt zowel de totale hoeveelheid destillaat als het "ingedikte" ruwe water (brijn) met pompen uit de laatste kamer verwijderd. De wattertoevoerpomp brengt het ruwe water uit de winplaats onder druk en transporteert het vervolgens (in tegenstroom met het verdampende water) door alle condensoren en de brijnverwarmer, waar resp. de regeneratieve en de uitwendige warmtetoevoer plaatsvindt, naar de eerste verdamperkamer.

De achter elkaar geschakelde verdamperkamers vormen in feite een tegenstroom-warmtewisselaar met fluïdum-stromen van gelijke sterkte. Dit houdt in dat de temperatuurstijging van het ruwe water in een condensor gelijk moet zijn aan de temperatuurdaling van het verdampende water in de betreffende kamer. In de praktijk wordt de temperatuurstijging van het ruwe water in de condensoren voor alle kamers ongeveer gelijk gekozen. Figuur 2 geeft een indruk van het temperatuurverloop in de verdamper.

Alle kamers dienen aangesloten te zijn op een vacuüm-systeem waarmee de niet condenseerbare gassen uit de verdamperkamers worden verwijderd; dit vacuüm wordt in de regel onderhouden met een stoomstraalejecteur.

In het bovenstaande is de meest eenvoudige werkwijze beschreven van een horizontale ontspanverdamer met slechts enkele trappen.

Een variant op het "doorpomp" systeem is het z.g. "recirculatie" systeem, waar recirculatie van het brijn wordt toegepast. Een vereenvoudigd stroomschema en temperatuurverloop van dit systeem is weergegeven in de figuren 3 en 4.

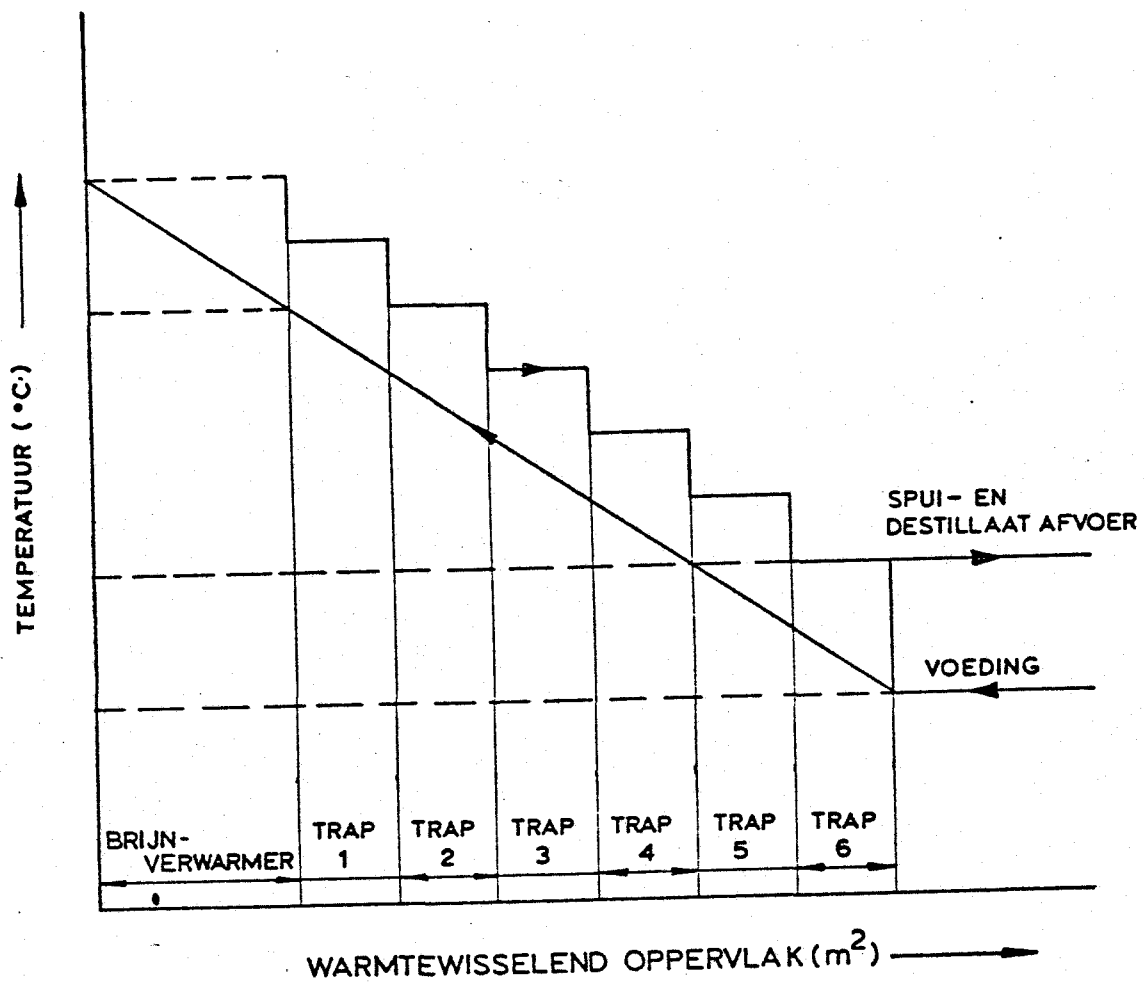
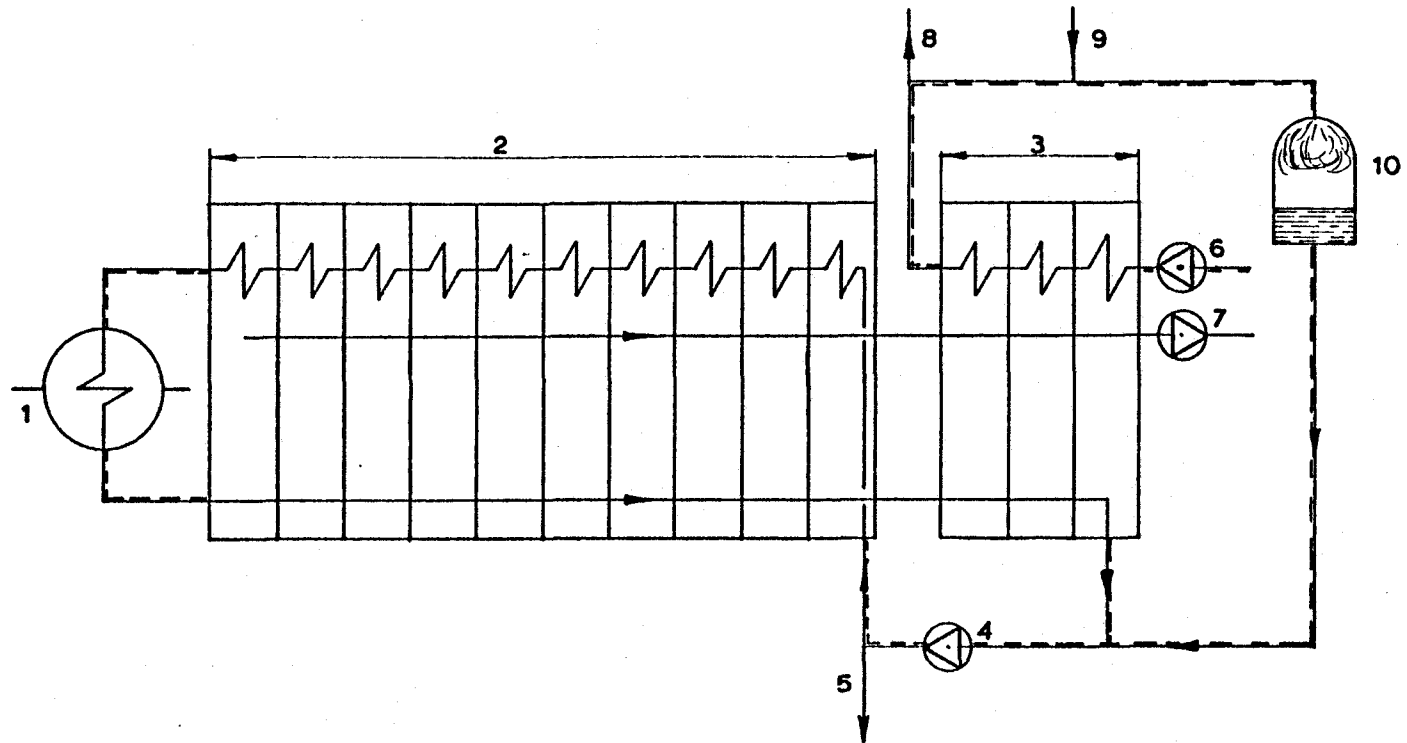


FIG. 2 TEMPERATUURDIAGRAM VAN EEN MEERTRAPS ONTSPANVERDAMPER („DOORPOMP SYSTEEM“)



- | | |
|-----------------------|-------------------|
| 1 BRIJNVERWARMER | 6 KOELWATERPOMP |
| 2 RECIRCULATIE SECTIE | 7 DESTILLAAT POMP |
| 3 WARMTEAFVOER SECTIE | 8 KOELWATERAFVOER |
| 4 RECIRCULATIE POMP | 9 ZUURTOEVOER |
| 5 SPUI | 10 ONTGASSER |

FIG. 3 STROOMSCHEMA VAN EEN MEERTRAPS
ONTSPAN VERDAMPER MET RECIRCULATIE

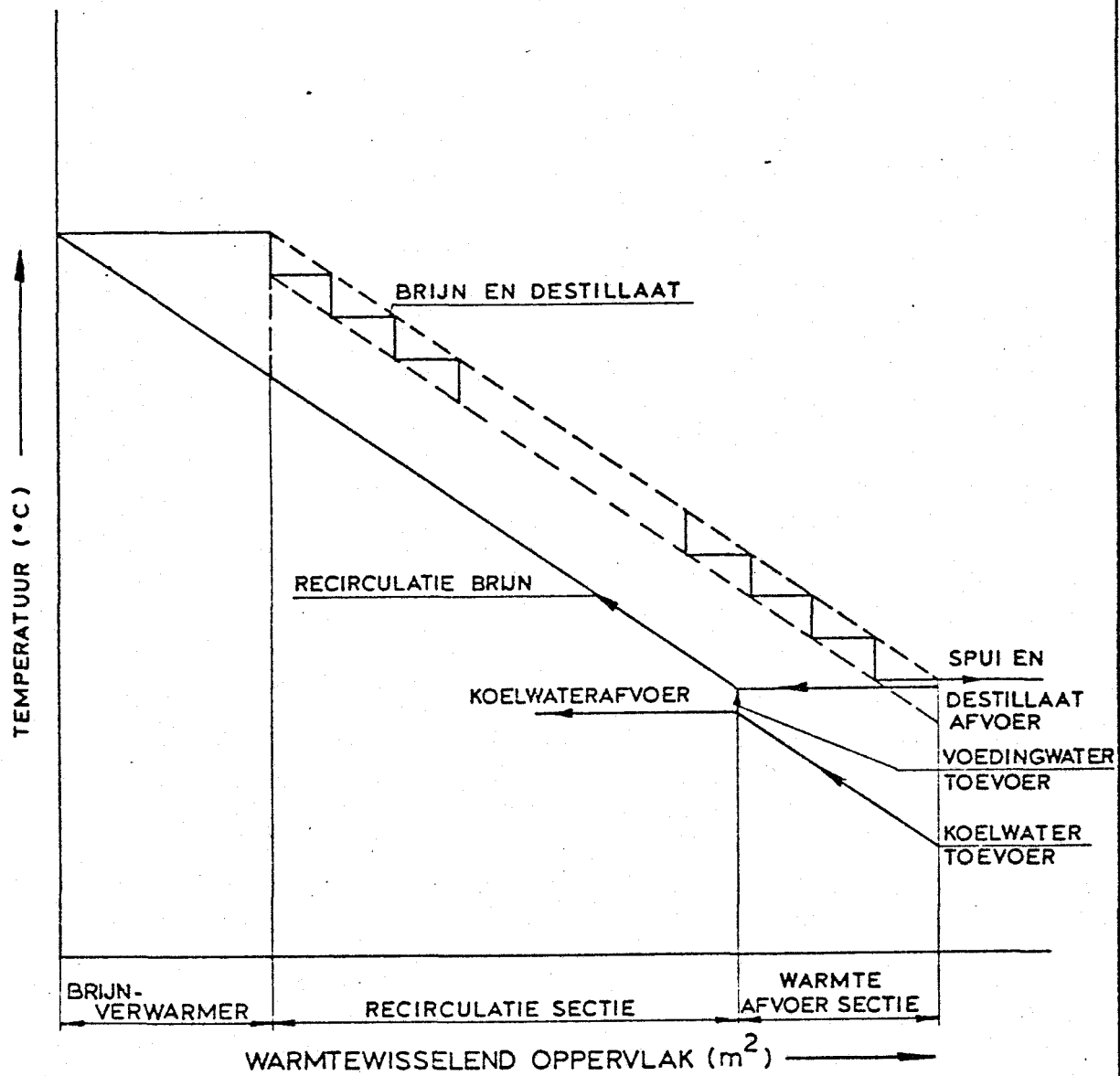


FIG.4 TEMPERATUURDIAGRAM VAN EEN MEERTRAPS ONTSPANVERDAMPER MET RECIRCULATIE

Uit deze figuren blijkt dat een deel van het ingedikte brijn wordt gecirculeerd nadat het eerst gemengd is met nieuw voedingwater waaraan chemicaliën zijn toegevoegd om schaalvorming in de condensorpijpen te voorkomen.

Als gevolg van het recirculatiesysteem bestaat een ontspanverdamper volgens dit principe uit een recirculatiesectie en een warmteafvoersectie; laatstgenoemde sectie is uiteraard noodzakelijk op grond van de energiebalans betrokken op het hele systeem.

De warmteafvoersectie wordt doorstroomd door koelwater, waarvan slechts een klein deel aan het proces wordt toegevoegd als voedingwater.

De voordelen van het recirculatiesysteem ten opzichte van het "doorpomp" systeem zijn de volgende:

- Het chemicaliënverbruik dat noodzakelijk is om schaalvorming in de condensorpijpen te voorkomen wordt aanzienlijk verminderd, aangezien een veel kleinere hoeveelheid voedingwater moet worden behandeld.
- De hoeveelheid opgeloste gassen die moet worden verwijderd neemt eveneens af bij een kleinere voedingwaterhoeveelheid.
- Ontgassing van het voedingwater in de ontgasser op een laag temperatuurniveau in combinatie met chemische behandeling van het water maakt het mogelijk om de toptemperatuur van het brijn te verhogen; later zal worden aangetoond dat dit een gunstige invloed heeft op het warmteverbruik en het warmtewisselend oppervlak van de installatie.
- De invloed van variaties van de koelwatertemperatuur als gevolg van seizoenveranderingen kunnen zodanig worden opgevangen dat over de recirculatiesectie een konstante temperatuurverdeling kan worden gehandhaafd, dit voorkomt niveauvariaties in de kamers.

Het enige nadeel van het recirculatiesysteem is de hogere brijnconcentratie en de daaruit voortkomende hogere kookpuntsverhoging, die aanleiding geeft tot hogere temperatuurverliezen in de ontspankamers.

Later zal worden aangetoond dat dit aanleiding geeft tot een iets groter warmtewisselend oppervlak in vergelijking met een "doorpomp"-systeem voor eenzelfde produktie en warmteverbruik.

Bovengenoemd nadeel weegt echter ruimschoots op tegen de voordelen en in het algemeen kan men stellen dat het "doorpomp" systeem slechts wordt toegepast voor kleine installaties.

Voor meer algemene informatie over het proces in meertraps ontspanverdamper en bestaande installaties wordt verwezen naar de referenties (1), (2) en (3).

Een variant op de meertraps ontspanverdamper is de z.g. meer-effect meertraps ontspanverdamper^{*}); deze verdamper is ontwikkeld om een lager warmteverbruik mogelijk te maken door de toptemperatuur te verhogen en bestaat feitelijk uit een aantal recirculatiekringlopen van een normale meertraps ontspanverdamper in serie.

Men kan stellen dat tot nu toe deze ontwikkeling zich niet heeft doorgezet, kennelijk als gevolg van de te hoge investeringen in vergelijking met de besparing op het energieverbruik. Voor meer informatie over dit proces wordt men verwezen naar referentie (4).

Een recente Nederlandse ontwikkeling is de meertraps ontspanverdamper met gefluïdiseerd bed warmtewisselaar^{**}).

Deze verdamper heeft vertikaal boven elkaar geplaatste kamers, waarin het brijn in neerwaartse richting ontspant, terwijl de condensor bestaat uit een groot aantal vertikaal opgestelde parallelle pijpen, welke voorzien zijn van korrels die door de opwaarts gerichte stroming in de pijpen worden gefluïdiseerd.

^{*}) Multi-Effect Multi-Stage Flash Evaporator, ook wel afgekort tot MEMS-verdamper.

^{**}) Multi-Stage Flash / Fluidized Bed Evaporator; afgekort tot MSF/FBE.

De voordelen van dit principe zijn:

- Het schoonhouden van de pijpen als gevolg van de licht schurende werking van de deeltjes op de pijp-wand waardoor een betere warmteoverdracht wordt verkregen.
- Het bedienen van de verdamper met een lager warmte-verbruik, waarbij dit voordeel niet teniet wordt gedaan door een stijging van de investeringskosten.

Een uitvoerige beschrijving van het principe van deze verdamper wordt gegeven in referentie (5).

4.2.1 Kenmerken en eigenschappen van de meertraps ontspanverdamer^{*)}

Zoals reeds eerder is opgemerkt bestaat de meertraps ontspanverdamer uit een groot aantal achter elkaar geplaatste kamers waarvan het aantal afhankelijk is van het specifieke warmteverbruik.

Een goede vuistregel voor het vaststellen van het optimale aantal kamers is:

$$n_{\text{opt}} = \frac{8000}{q}$$

Hierin is:

n_{opt} = het optimale aantal kamers

q = het specifieke warmteverbruik in kJ/kg geproduceerd destillaat

Het is vanzelfsprekend dat de bepaling van het aantal kamers een gevolg is van een economische optimalisatie, waarin de investering moet worden afgewogen tegen het warmteverbruik.

^{*)} Waarmee uitsluitend de meertraps ontspanverdamer met achter elkaar geschakelde kamers wordt bedoeld.

Een economisch werkende verdamper heeft een warmteverbruik van ongeveer 220 kJ/kg en zal volgens vergelijking (1) ongeveer 35 kamers hebben. De ontspanverdamer met achter elkaar geplaatste kamers biedt geen mogelijkheden tot een veel lager warmteverbruik dan het hierboven vermelde cijfer van 220 kJ/kg.

Het ontspantraject (d.i. het temperatuurtraject waarover het brijn trapsgewijs afkookt) van de verdamper varieert van 60 tot 80 °C afhankelijk van de wijze waarop de ketelsteenvorming in de condensorpijpen wordt vermeden; hierop zal later worden ingegaan.

Het temperatuurverschil per trap kan nu als volgt worden geschat:

$$\Delta T_{\text{trap}} = \frac{\text{ontspantraject}}{\text{aantal trappen}} \quad (2)$$

Bij een ontspantraject van 80 °C en 35 trappen bedraagt het verschil ongeveer 2,3 °C.

Het grote aantal kamers van meertraps ontspanverdampers geeft aanleiding tot het samenbouwen van meerdere kamers in één verdamperbak, waarbij meerdere verdamperbakken het totale aantal kamers van de installatie bevatten.

Zo kan b.v. een verdamper met 35 kamers worden samengebouwd in 5 bakken met elk 7 kamers.

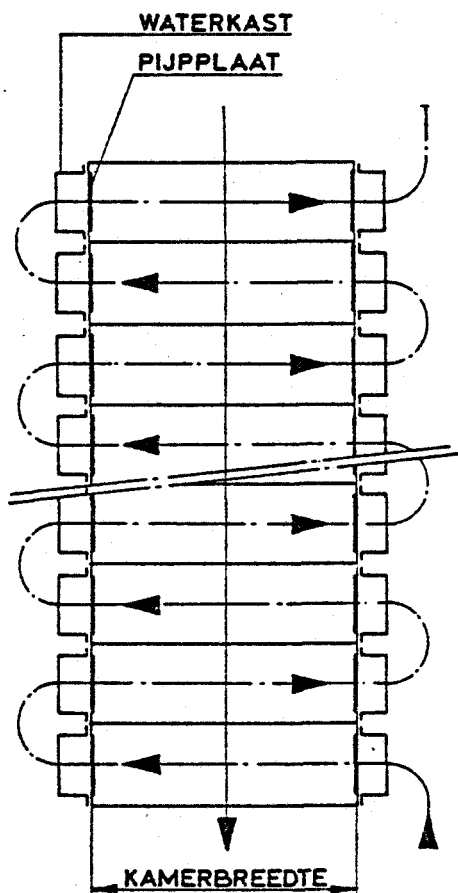
De condensors in de bakken kunnen van het type "lang-stroom"*) of "kruisstroom"***) zijn.

Bij "lang-stroom" is de stroming door de condensors parallel aan de ontspannende brijnstroom in de kamers; bij "kruisstroom" staat de stroming door de condensors loodrecht op de brijnstroom in de kamers. "Kruisstroom" geeft aanleiding tot een meer compacte bouw van de installatie dan "lang-stroom",

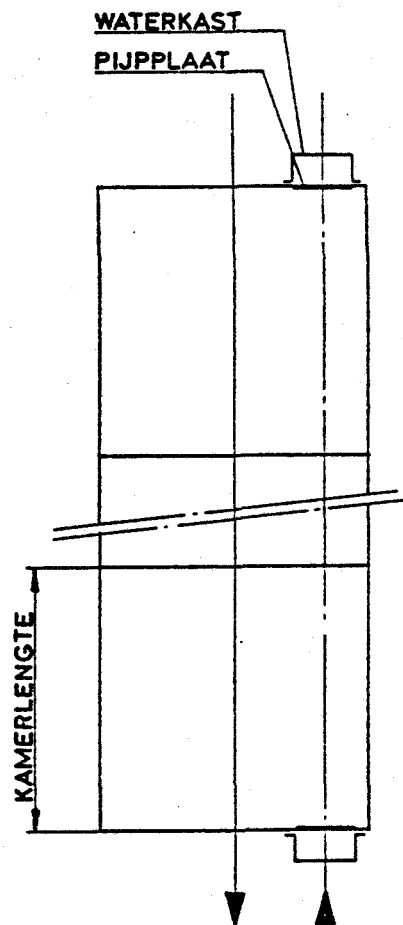
*) ook wel "long-tube" genoemd

**) ook wel "cross-tube" genoemd

"KRUISSTROOM"



"LANGSSTROOM"



- — — MASSASTROOM DOOR DE CONDENSOR
- — — ONTSPANNENDE BRIJNSTROOM

FIG. 5 VOORBEELD VAN EEN "KRUISSTROOM" EN "LANGSSTROOM"
ONTWERP VAN EEN ONTSPANVERDAMPER.

maar vraagt meer pompvermogen ten gevolge van de stromingsverliezen in de omkeerkasten en/of waterkasten en een groter aantal waterkasten en pijpplaten. Figuur 5 geeft een voorbeeld van een "kruisstroom" en "lang-stroom"condensator.

De warmtewisselaarpijpen en de pijpenplaten zijn gemaakt van koperlegeringen zoals b.v. koper-nikkel 90/10, koper-nikkel 70/30 of aluminium-messing. De waterkasten zijn van normaal C-staal en moeten voorzien zijn van een bekleding om galvanische corrosie te vermijden als gevolg van de directe aanwezigheid van de non-ferro warmtewisselaarpijpen en pijpplaten in een goed geleidende (zeewater!) omgeving.

Tot temperaturen van 60°C worden de waterkasten voorzien van een rubberbekleding; daarboven verdient het aanbeveling om de kasten te bekleden met een koper-nikkel legering welke door puntlassen op het C-staal wordt bevestigd.

Het materiaal van de verdamperbakken is normaal C-staal en wordt in het algemeen niet voorzien van een bekleding, behalve die plaatsen die onderhevig zijn aan een hevige inslag van het ontspannende zeewater bij een relatief hoge temperatuur of waar lokaal hoge snelheden kunnen optreden; daar wordt meestal roestvrijstaal toegepast.

Voor de water-stoomscheiding wordt gebruik gemaakt van pakketten gaas (demisters) die bovenin de verdamperkamer zijn geplaatst; deze pakketten zijn gemaakt van roestvrijstaal of monel en fungeren als druppelvanger voor de met de damp meegesleurde waterdruppels.

In het algemeen kan worden gesteld dat aan de materiaalkeuze van de diverse componenten grote zorg moet worden besteed i.v.m. de zeer corrosieve omstandigheden waaronder deze verkeren.

Omtrent de recirculatiepomp valt op te merken dat deze pomp meestal vertikaal moet worden uitgevoerd om aan de vereiste NPSH^{x)} te voldoen.

x) Nett Positive Suction Head

De regelbaarheid (d.i. variatie van de destillaat produktie) van de ontspanverdamer vindt plaats door gelijktijdig de toptemperatuur en de recirculerende bijnstroom te variëren; de regelbaarheid is beperkt tot ongeveer 60% van de nominale belasting.

4.3 Overzicht van andere bekende typen verdamperen en hun kenmerken

4.3.1 De ondergedompelde spiraalverdamer*

Ruw water wordt in een ketel door toevoer van warmte, meestal in de vorm van stoom, aan het koken gehouden; de gevormde damp wordt gecondenseerd in een koeler en als produkt afgevoerd.

Zie figuur 6 voor een ondergedompelde spiraalverdamer met één effect.

Meestal worden meer effecten in serie toegepast; in dat geval wordt de vrijkomende damp als verwarmingsmedium gebruikt en in een volgend effect gecondenseerd.

Dit volgende effect werkt op een lager druk- en temperatuurniveau. Het totaal aantal tonnen verkregen distillaat per ton verwarmingsstoom is bij benadering gelijk aan het aantal effecten dat in de installatie voorkomt.

4.3.2 De vertikale pijpverdamer**

Dit type is een verbeterde versie van de ondergedompelde spiraalverdamer waarbij het koken en condenseren plaatsvindt op resp. het binnen- en buitenoppervlak van een vertikale pijpen-warmtewisselaar.

*) Submerged-Coil Evaporator

**) "Vertical Tube Evaporator", ook wel afgekort tot VTE.

Soms echter ook wel aangeduid als:

"Long-Tube Vertical Evaporator", oftewel LTVE.

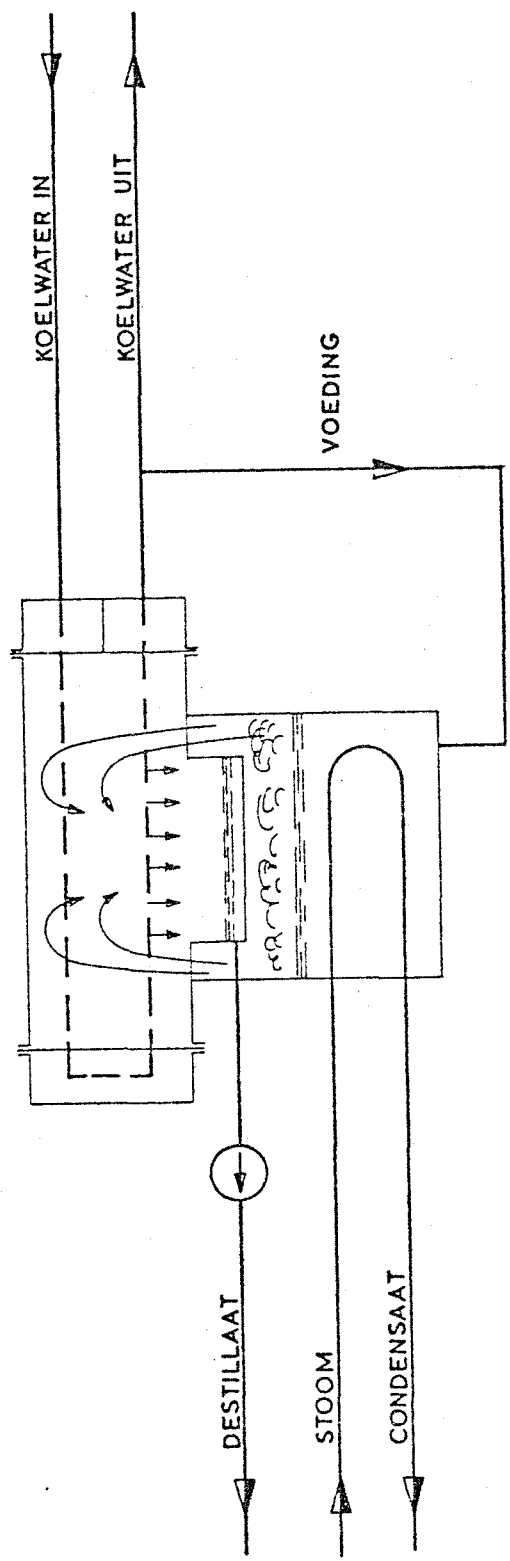


FIG.6 ONDERGEDOMPSELDE SPIRAAL-VERDAMPER (EÉN-EFFECT)

De voordelen van deze verdamper betreffen voornamelijk het aanzienlijk kleiner benodigd verwarmd oppervlak in vergelijking met de ondergedompelde spiraalverdamper als gevolg van de verbeterde warmte-overdracht.

Figuur 7 geeft een schematische voorstelling van een dergelijke verdamper met drie effecten.

4.3.3 De stoomcompressieverdamper*)

Deze verdamper, die in figuur 8 schematisch is weergegeven, heeft in normaal bedrijf alleen energie nodig voor aandrijving van een compressor. De door afkoken van het brijn gevormde damp wordt gecomprimeerd en kan daardoor condenseren bij een hogere druk dan de dampdruk van het kokende brijn. De gecomprimeerde damp condenseert in een warmtewisselaar en onderhoudt daarmee het koken van het brijn. Het specifieke energieverbruik ligt voor deze verdampers aanzienlijk lager dan voor de overige te beschouwen verdampertypen; er moet wel rekening worden gehouden met het feit dat het hier gaat om "hoogwaardige" mechanische energie.

4.4 Waterproduktie met een meertraps ontspanverdamper in combinatie met energieopwekking

Daar het ontziltingsproces een proces is met een grote vraag naar warmte, zal er in het algemeen naar gestreefd worden om een goedkope bron van energie te verwezenlijken. Daar de huidige olieprijsen als gevolg van de oliecrisis van 1973 verviervoudigd zijn zullen de kosten van de investeringen minder belangrijk gaan worden dan de kosten voor de warmtevoorziening.

*) "Vapour Compression Evaporator", ook wel afgekort tot VCE.

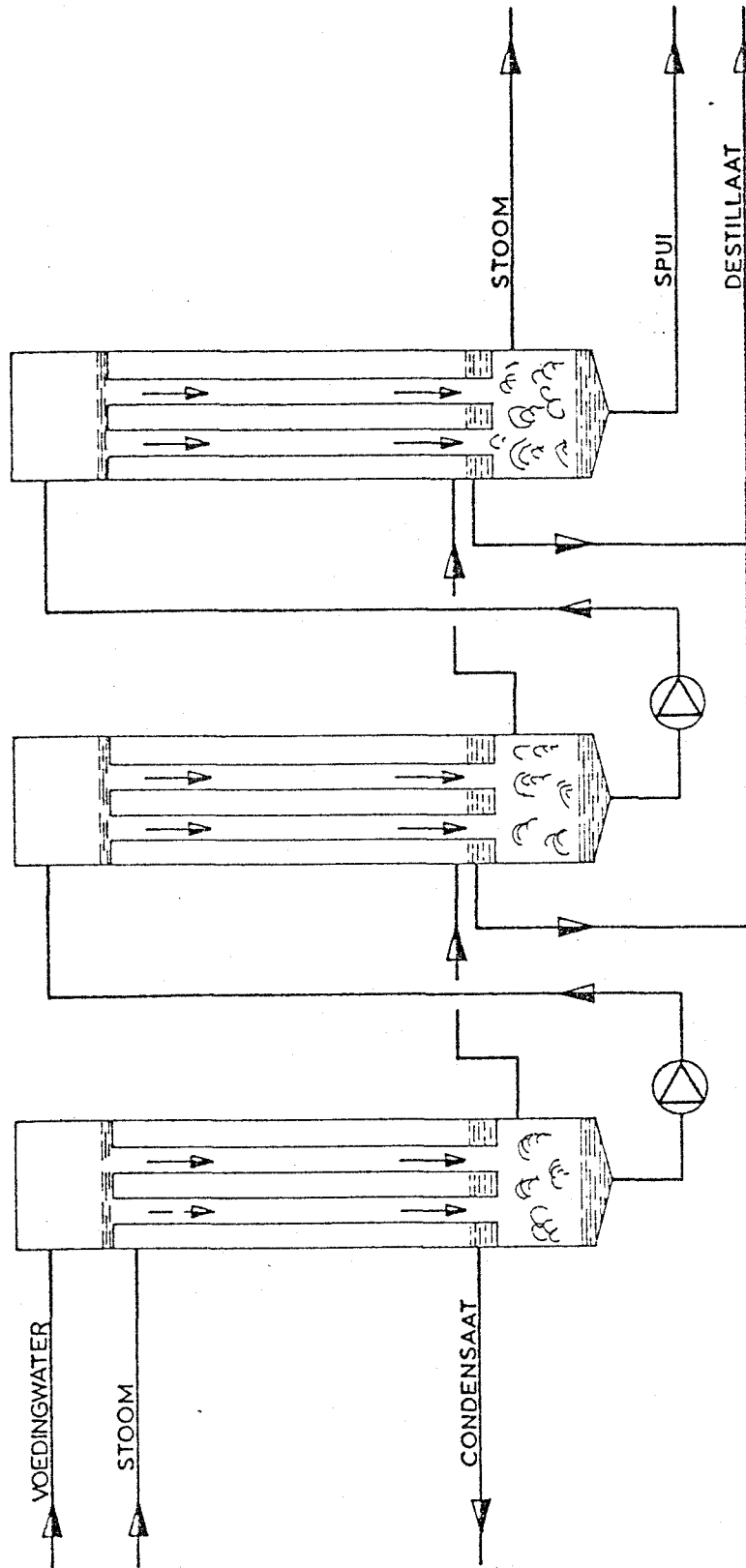


FIG 7 MEER-EFFECT-VERDAMPER (VERTIKALE-PIJP-TYPE)

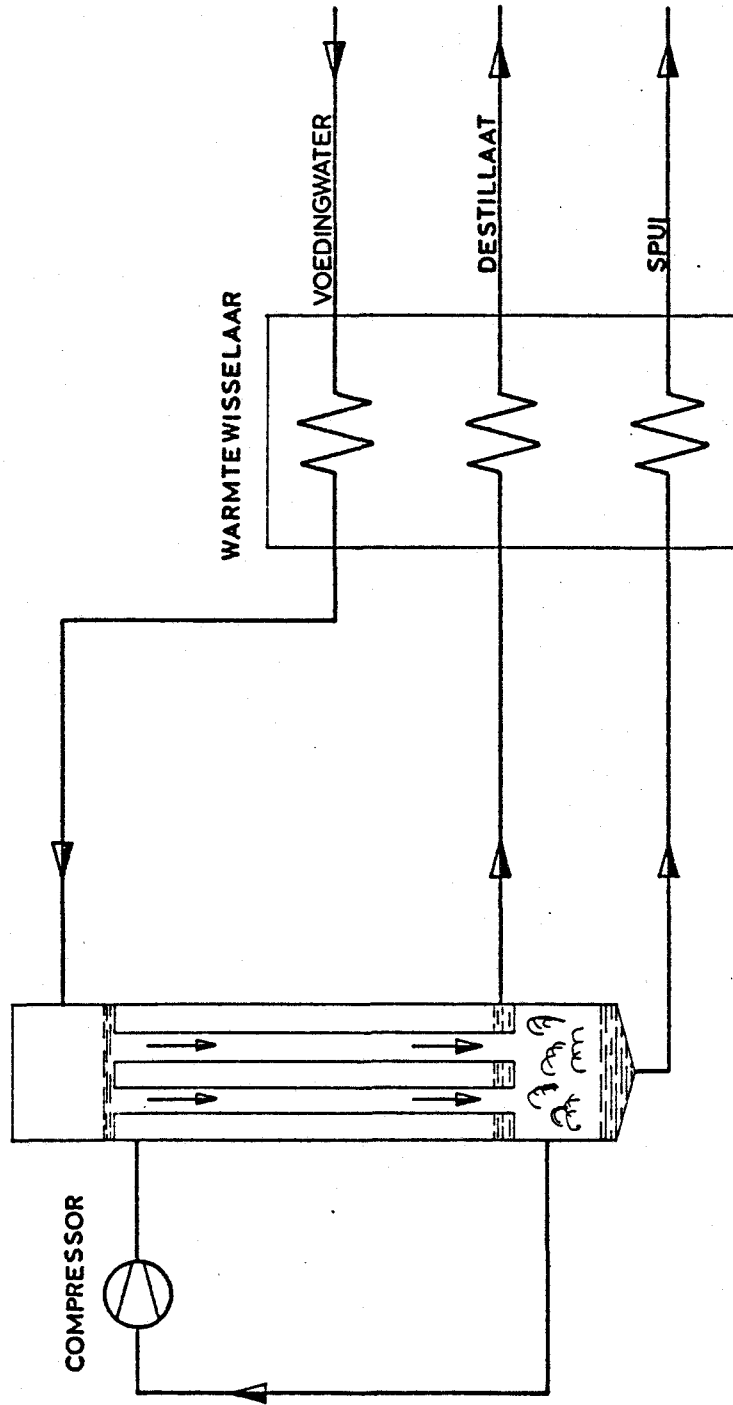


FIG.8. COMPRESSIE-VERDAMPER

De hoogste kostprijs voor stoom wordt verkregen indien in eigen stoomopwekking voorzien moet worden hetgeen betekent, dat alle kostenfactoren volledig ten laste van het water komen.

Een vereenvoudigd schema van een dergelijke onafhankelijke installatie wordt getoond in figuur 9. Dit soort installaties kan aangetroffen worden in afgelegen gebieden waar water moet worden geproduceerd.

Daarbij komt nog, dat in een dergelijk gebied meestal ook het elektriciteitsverbruik laag is en de daar aanwezige elektrische centrale meestal uit dieselgeneratoren zal bestaan. Hieruit volgt, dat ook de elektriciteitsprijs hoog zal zijn.

Indien in aanmerking wordt genomen dat de gemiddelde verdamper, indien deze is uitgerust met door elektromotoren gedreven pompen inclusief de energie benodigd voor verpompings naar het distributienet, 10,8 tot 14,4 mJ (3-4 kWh) per m³ water nodig heeft, zijn bij een elektriciteitsprijs van f. 0,28/mJ (f. 0,10/kWh) de kosten per m³ water aan elektriciteit alleen al f. 0,30 tot f. 0,40.

In een waterfabriek wordt 80% van het totaal benodigde elektrisch vermogen verbruikt door de recirculatie- en de ruwwaterinlaatpomp.

De eerste besparing, welke men in dit geval kan toepassen, is het aandrijven van de grotere pompen door tegendruk-turbines.

De stoomdruk, welke normaal erg laag zou kunnen liggen (2 - 3 ato), moet nu opgevoerd worden tot een hogere waarde. De investering voor de ketel zal echter nauwelijks veranderen t.g.v. een matige verhoging van de stoomdruk.

Het langdurig bedrijven van een ontspanverdamper op een verlaagde belasting verdient geen aanbeveling aangezien de verminderde brijnrecirculatie de vervuiling van de condensorpijpen in de hand werkt.

Voor de overgebleven pompen met klein vermogen zal in het algemeen elektrische aandrijving gehandhaafd blijven. Op deze wijze is het mogelijk de kosten voor pompenergie ten minste te halveren.

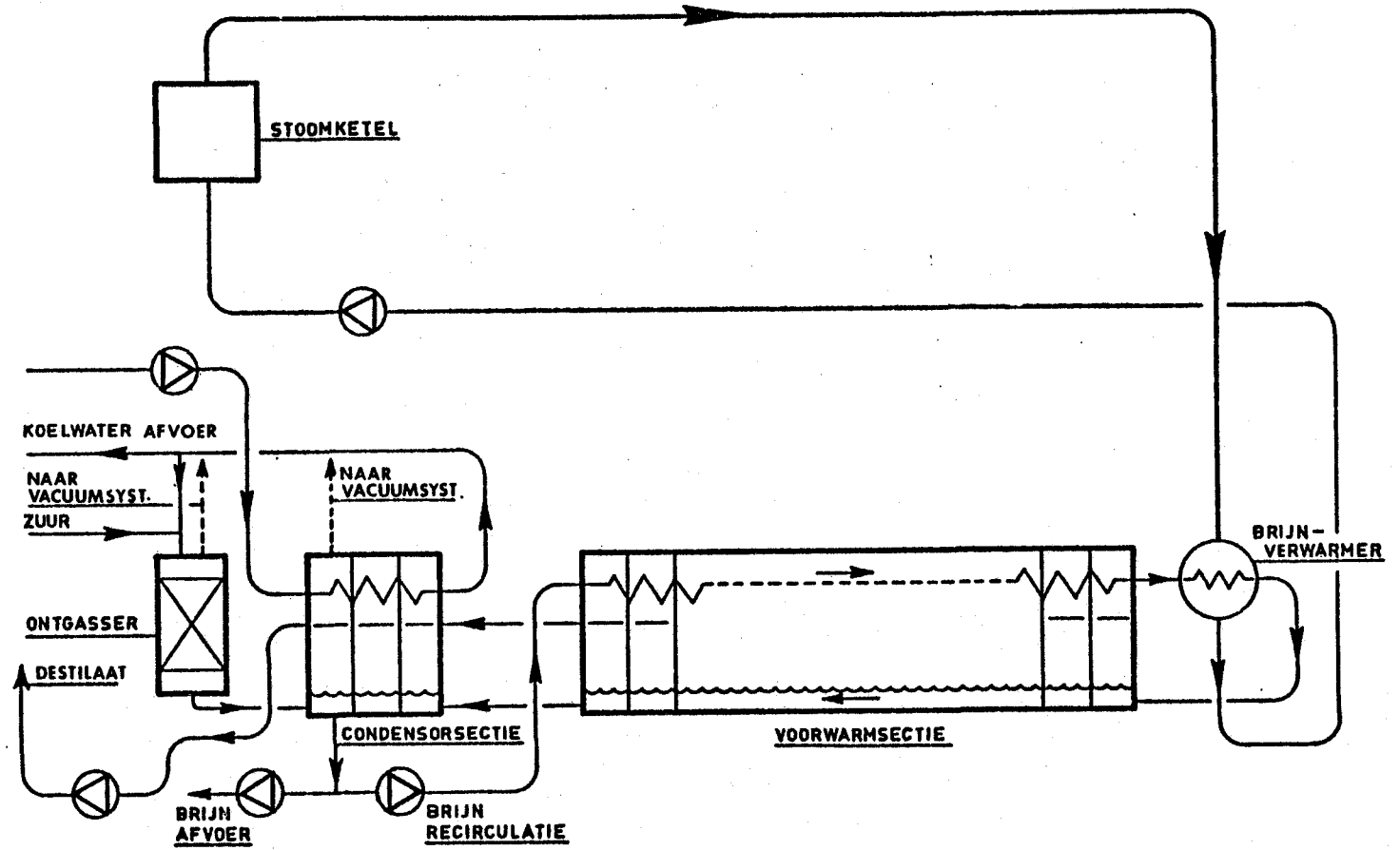


FIG.9 MEERTRAPS ONTSPANVERDAMPER MET EIGEN STOOMGENERATIE.

4.4.1 Meertraps ontspanverdamping in combinatie met een dieselcentrale

Teneinde de warmtekosten te beperken dient overwogen te worden of het aanbeveling verdient de dieselcentrale als warmtebron te gebruiken.

In het algemeen zal blijken, dat de fluctuaties in de elektriciteitsafname de koppeling dieselcentrale/waterfabriek niet voor 100% mogelijk maken.

Daar de warmtebehoefte van de waterfabriek continu is, blijkt meestal de capaciteit van de dieselcentrale te klein om tijdens minimum elektrische belasting toch de vereiste hoeveelheid warmte te leveren.

Toch kan een aanzienlijke besparing verkregen worden, zelfs indien het nodig blijkt nog een ketel te installeren om bij te springen tijdens lage elektrische belastingen.

Figuur 10 laat in een vereenvoudigd schema zien hoe de koppeling van de dieselcentrale en waterfabriek uit te voeren is. Door dieselmotoren te kiezen, die geschikt zijn voor een koelwateruitlaattemperatuur van 110°C - 120°C , kan de warmte die wordt afgevoerd door het koelwater, worden gebruikt voor de waterfabriek.

Door eveneens de warmte in de uitlaatgassen deels terug te winnen, kan met deze combinatie de totaal in de brandstof toegevoerde warmte tot 50 % worden gereduceerd. Dit wil zeggen, dat per mJ afgeleverde hoeveelheid energie 347 kcal aan de waterfabriek toegevoerd kan worden.

Heeft deze waterfabriek een warmteverbruik van 52 kcal/kg water, dan zou per mJ 6,66 kg water gemaakt kunnen worden. Deze hoeveelheid teruggewonnen warmte loopt echter terug bij lage motorbelastingen, daar dan de temperatuur van de uitlaatgassen sterk daalt. Rekening houdend met de laagste belasting, welke in het verzorgingsgebied optreedt, en het juist kiezen van dieseleenheden en waterfabriek, mag als eerste benadering gerekend worden, dat voor elke GJ elektrische energie voldoende warmte ter beschikking komt voor de produktie van 5,55 ton water per uur (20 ton/MW). Waar dus de minimum belasting bijvoorbeeld 7,2 GJ (2 MW) is, kan reeds 1000 ton/dag water geproduceerd worden zonder de brandstofkosten van de dieselcentrale te verhogen.

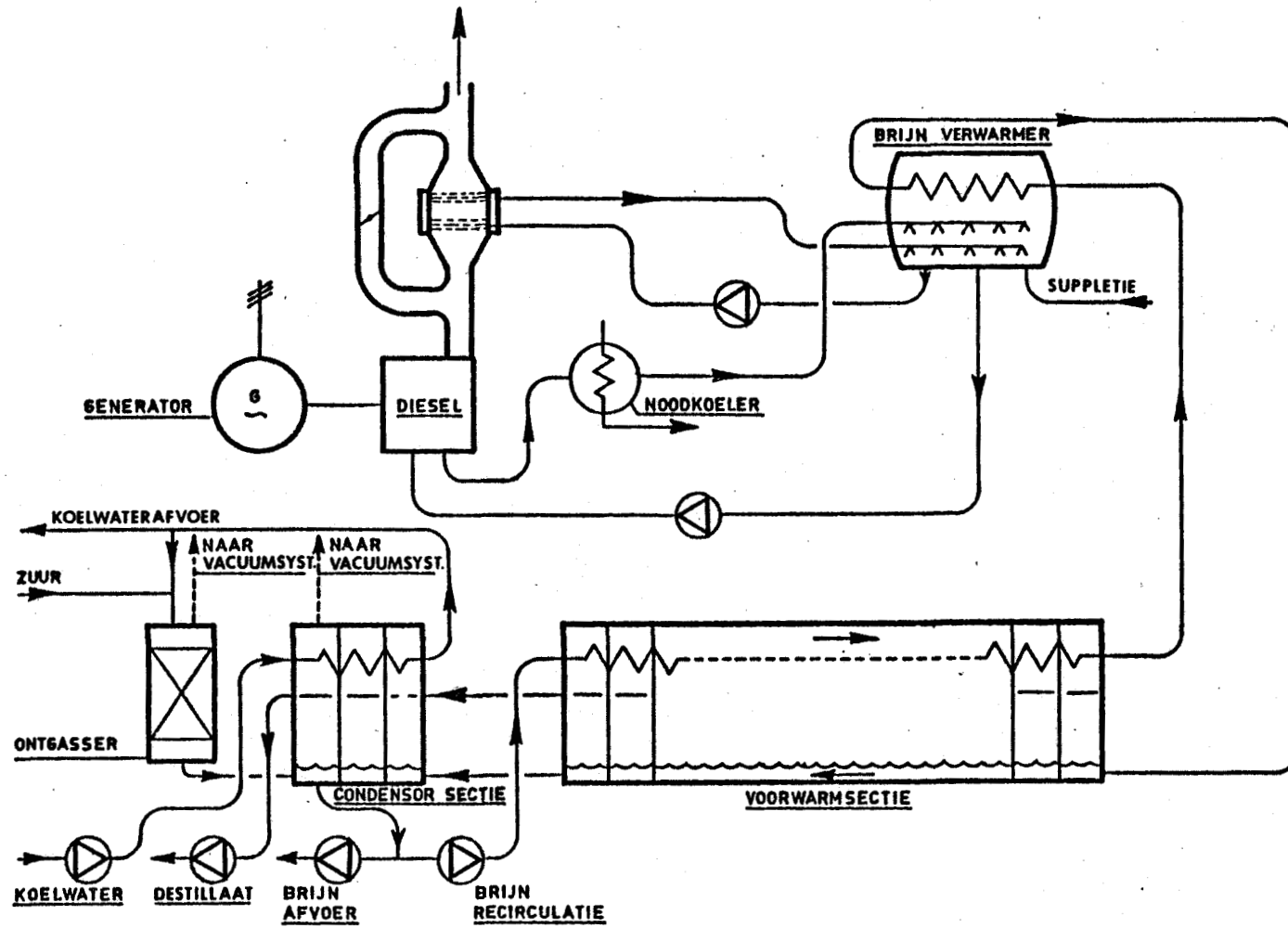


FIG.10 MEERTRAPSONTSPANVERDAMPER IN COMBINATIE MET EEN DIESELCENTRALE.

De investering in apparatuur om de afvalwarmte van dieselmotoren te benutten ligt ook lager dan die van een zelfstandige ketelinstallatie.

Gesteld kan worden dat, mits de vraag naar water niet te groot is en de minimum elektrische belasting niet te laag, een aanzienlijke kostenbesparing in de waterproductie kan worden gerealiseerd.

Aansluitend op het bovenstaande is het duidelijk, dat een soortgelijk systeem ook gebouwd kan worden, indien uitsluitend hete afgassen ter beschikking staan.

4.4.2 Meertraps ontspanverdamping in combinatie met een stoomcentrale

Indien de elektrische belastingen zo groot worden, dat een dieselcentrale geen economische propositie meer is, zal worden overgegaan op stoomgedreven turbogeneratoren. In dergelijke gevallen is de meest economische koppeling tussen waterfabriek en centrale mogelijk.

In dit verband heeft overigens niet uitsluitend aan elektriciteitsopwekking gedacht te worden.

In de meest algemene zin zal een waterfabriek een optimale mogelijkheid zijn daar waar stoom gebruikt wordt voor turbineaandrijvingen.

De voor samenwerking met een waterfabriek in aanmerking komende turbinetypes zijn de tegendruk- en de aftapcondensatieturbine. Figuur 11 geeft een vereenvoudigd schema weer met een tegendrukturbine.

Als de stoomvoeding door de uitlaatstoom van een tegendrukturbine wordt geleverd, is het een eerste eis, dat deze turbine regelmatig en maximaal belast wordt en niet moet dienen voor het opvangen van belastingvariaties in het elektrische net. De koppeling van een tegendrukturbine met een waterfabriek is een ideale, indien de turbogenerator op een constante belasting kan draaien zoals bijvoorbeeld in de gecombineerde waterfabriek/centrale in Terneuzen het geval is.

De turbine, welke haar energie onttrekt aan de

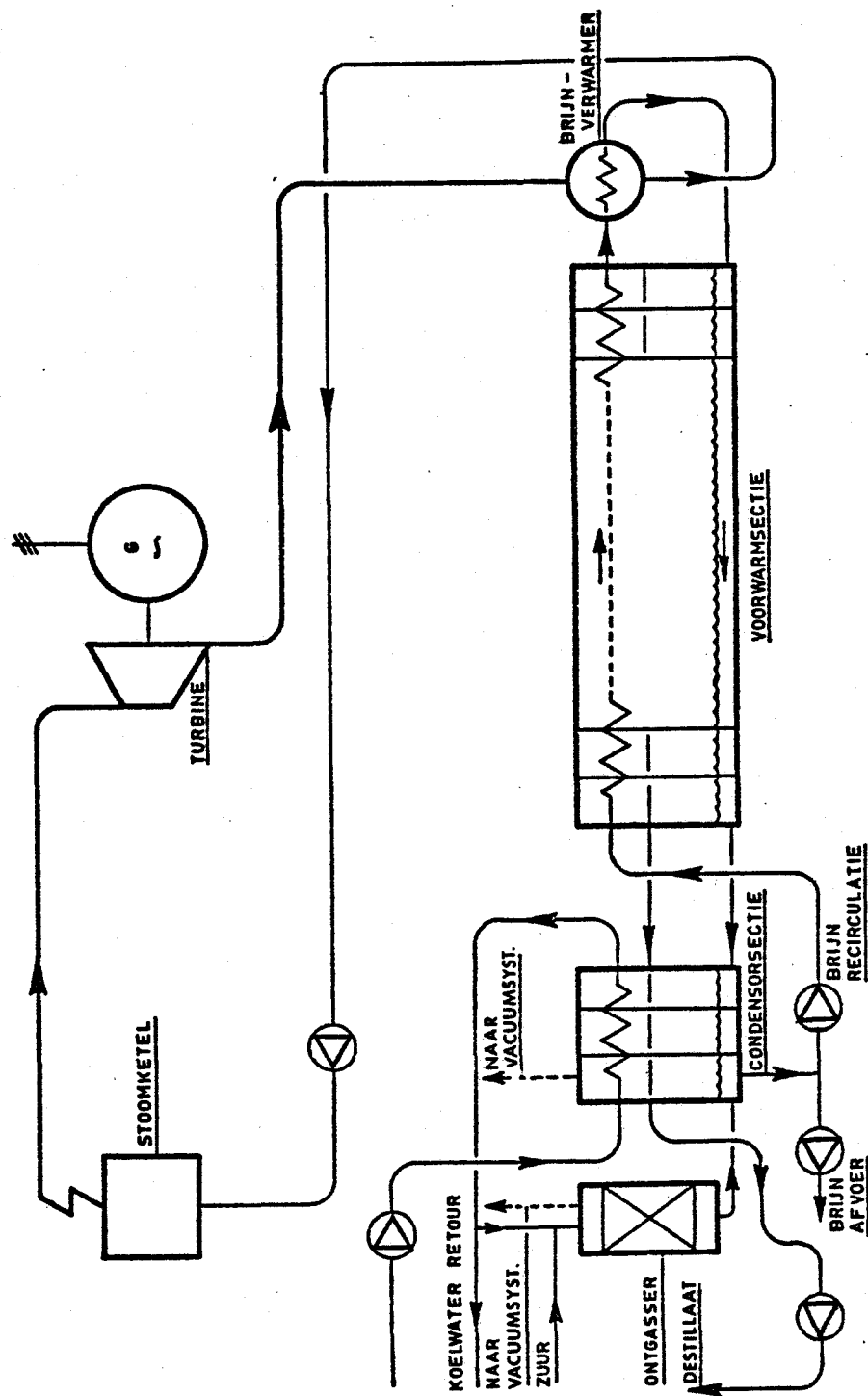


FIG. 11 MEERTRAPS ONTSPANVERDAMPER IN COMBINATIE MET EEN STOOMCENTRALE MET EEN TEGENDRUKTURBINE.

expansie van hoge druk stoom en de waterfabriek, welke de condensatiewarmte van lage druk stoom benut, krijgen hier beide grote voordelen. De turbineinstallatie wordt aanzienlijk goedkoper en indien de warmte in de uitgaande stoom voor de volle waarde aan de waterfabriek wordt verkocht, dan zou dit een rendement voor de turbogenerator betekenen van circa 90%.

Voor een installatie echter, zoals op Texel is gebouwd, gelden geheel andere overwegingen. Hier is het noodzakelijk alle belastingsvariatiën in het net op te nemen en zou een tegendrukturbine onjuist zijn. In zulk een geval is de aftapcondensatieturbine op zijn plaats. Stoom van de vereiste hoeveelheid en druk wordt aan de turbine onttrokken. Deze stoom is dan reeds gedeeltelijk geëxpandeerd in de turbine en zal een prijs hebben die ligt tussen de prijs van de rechtstreeks opgewekte stoom en die van de uitlaatstoom van de tegendrukturbine. Een installatie met aftapcondensatieturbines heeft verder het grote voordeel, dat zij bijzonder flexibel is en dat variatiën in elektriciteitsopwekking zowel als in waterproduktie eenvoudig en economisch uit te voeren zijn.

4.4.3 Meertraps ontspanverdamming in combinatie met afvalverbranding

In het voorgaande zijn de meest gebruikelijke systemen besproken; uiteraard zijn in speciale gevallen ook andere combinaties mogelijk.

Een wel zeer bijzonder geval doet zich voor in de installatie voor de N.V. Afvalverwerking Rijnmond in het Botlekgebied. Hier wordt een drietal systemen aan elkaar gekoppeld, t.w.

- afvalverbranding met stoomopwekking,
- elektriciteitsopwekking en
- produktie van proceswater met ontziltinstallaties.

Hoewel het mogelijk is de elektriciteitsopwekking als

een basisbelasting te beschouwen, doet zich nu het feit voor, dat in tegenstelling tot normale ketelininstallaties de stoomproduktie niet snel terug te nemen is.

Bij het plotseling uitvallen van een turbine of een waterfabriek doen zich dus ogenblikkelijk problemen voor.

De vele aspecten, welke ontstaan door deze koppeling, voeren te ver voor dit betoog.

Volstaan wordt met de vermelding, dat de hier geaccepteerde oplossing bestaat uit de installatie van twee tegendrukturbines, één aftapcondensatieturbine en één dumpcondensor.

4.5 Ontwerpkriteria en theorie van de meertraps ontspanverdamper

Voor het berekenen en ontwerpen van een meertraps ontspanverdamper heeft de ontwerper een goed inzicht nodig van de grenzen waarbinnen hij zijn ontwerp moet realiseren.

De meest belangrijke gegevens daarvoor zijn:

- Een nauwkeurige analyse van het voedingwater waaruit het destillaat moet worden gemaakt, aangezien de samenstelling van dit water in combinatie met de chemische voorbehandeling en de gekozen indikkingsfactor van het brijn, de maximale brijntemperatuur van de installatie bepaalt.
- De temperatuur van het koelwater en het verloop van die temperatuur over het jaar, aangezien deze temperatuur bepalend is voor de temperatuur in de koudste verdamperkamer van de installatie.

Bovengenoemde ontwerpkriteria zijn typisch opgelegd door de omgeving; de ontwerper kan er geen invloed op uitoefenen.

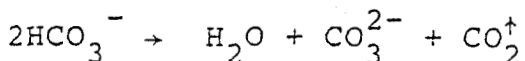
Uiteraard zijn ook de kosten van elektriciteit en stoom belangrijk voor het ontwerp. Deze kosten spelen uiteindelijk een belangrijke rol bij de afweging van de investeringskosten tegen warmtekosten.

De indikkingsfactor van het brijn is eveneens onderhevig aan een afweging van investeringskosten tegen warmtekosten.

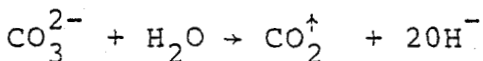
In bijlage I van dit rapport worden de theoretische achtergronden van het verdampingproces van de meertraps ontspanverdamer uitvoeriger beschreven.

4.5.1 De invloed van de samenstelling van het voedingwater op de maximale temperatuur van de installatie

Het grote probleem met alle verdampingsprocessen is, dat het te behandelen water altijd een zekere hardheid heeft. De bicarbonaationen (HCO_3^-) in zeewater of brak water ontleden bij verwarming in eerste instantie volgens de reactie:



Bij hogere temperatuur wordt CO_3^{2-} als volgt verder ontleed:



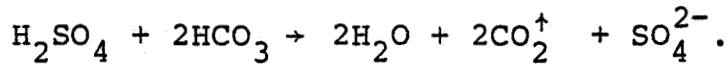
De gevormde CO_3^{2-} en OH^- ionen zullen met de aanwezige Ca en Mg ionen een oververzadiging geven, waardoor CaCO_3 en $\text{Mg}(\text{OH})_2$ kunnen neerslaan. Tot 60 à 80°C zal hoofdzakelijk CaCO_3 neerslaan, daarboven $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Daar in tegenstelling tot bijv. NaCl de oplosbaarheid van zowel CaCO_3 als $\text{Mg}(\text{OH})_2$ terugloopt bij hogere temperatuur, zal de neerslag zich bij voorkeur vormen op de warmste plaatsen in de verdamer, derhalve op de binnenzijde van de pijpen.

Zouden geen middelen aanwezig zijn om het ontstaan van deze afzettingen te vermijden of te vertragen, dan zou verdamping een uitzonderlijk duur proces zijn. Voordat dit mechanisme geheel begrepen was, konden de maximale watertemperaturen in verdampers in feite niet hoger zijn dan 60°C.

Daar echter het pijppoppervlak een hogere temperatuur had, trad toch al een zeer sterke schaalvorming op. Zo werden vroeger verdampers ongeveer elke week gestopt om de schaal, meestal met de hand, te ver-

wijderen. Momenteel kan gezegd worden, dat het vervuilen van verdampers ten gevolge van CaCO_3 of $\text{Mg}(\text{OH})_2$ onder juiste bedrijfscondities geheel vermeden kan worden.

De meest afdoende oplossing is het doseren in de voeding van een sterk zuur, zoals HCl of H_2SO_4 . Door het toevoeren van zuur kan de totale tijdelijke hardheid verwijderd worden volgens de reactie:



De CO_2 wordt uit het water verwijderd d.m.v. een ontgassingstoren, welke hetzij atmosferisch, hetzij onder vacuüm werkt.

Het doseren van zuur heeft echter een nauwkeurige bewaking nodig, daar bij eventuele overdosering sterke corrosie in de verdamper kan optreden. Voordat het zuurdoseren werd toegepast (1962), waren reeds een aantal middelen op de markt, waardoor het afzetten van schaal op de pijpwand werd verminderd of vertraagd. Deze chemische toevoegingsmiddelen worden ook heden nog op grote schaal toegepast, vooral in het Midden Oosten. De meest bekende zijn Hagevap, een polyfosfaatverbinding, en Darex, een polyelectrolyt. Beide middelen worden gedoseerd in de voeding naar de verdamper in hoeveelheden van 1 tot enkele mg/l. De resultaten zijn zeer verschillend bij diverse installaties en een juiste evaluatie van de voor- en nadelen van deze toevoegingsmiddelen is uiterst moeilijk, aangezien het niet mogelijk is betrouwbare informatie te verkrijgen van de bedrijven die het toepassen.

In het algemeen kan aangenomen worden, dat zowel Hagevap als Darex in meertraps ontspanverdampers met recirculatie een hoogste brijntemperatuur toelaten van 93°C - 95°C ; in meertraps ontspanverdampers van het doorpomp-type moet deze temperatuur beperkt blijven tot 85°C .

Wanneer zuur gedoseerd wordt, moet rekening gehouden worden met hogere corrosie in de installatie, wordt polyfosfaat/polyelectrolyt gedoseerd dan wordt de investering echter 20%-25% hoger voor een installatie met dezelfde capaciteit en hetzelfde warmteverbruik; daarbij komt dan nog, dat het elektriciteitsgebruik

bij toepassing van polyfosfaat/polyelectrolyt hoger ligt, terwijl ook sneller vervuiling optreedt.

Met de zuurgedoseerde eenheid kan, daar het probleem van de CaCO_3 en Mg(OH)_2 volledig is opgelost, een veel hogere temperatuur worden toegelaten dan bij de polyfosfaat/polyelectrolyt gedoseerde installatie. Helaas komt echter in normaal zeewater bij 2x indikking en 120°C het calciumsulfaat in oververzadiging.

Calciumsulfaat kan zich voordoen in 3 vormen, nl. CaSO_4 (anhydriet), $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ (hemihydraat) en $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (gips).

Het laatste (gips) is praktisch onoplosbaar bij elke temperatuur en zal neerslaan uit normaal zeewater, indien dit water plm. 3 x geconcentreerd is. De oplosbaarheid van anhydriet en hemihydraat is sterk afhankelijk van de temperatuur, waarbij de oplosbaarheid afneemt bij stijgende temperatuur (figuur 12). Een oplossing in oververzadiging heeft een zekere tijd nodig om uit te kristalliseren en het is gebleken, dat het anhydriet in de normale verblijftijden, zoals die in verdampers voorkomen, niet uit oververzadiging komt.

Met het hemihydraat is het echter anders. Zodra hier oververzadiging bereikt is, komt $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ direct uit de oplossing.

Wanneer een meertraps ontspanverdampers met normaal zeewater wordt gevoed met een concentratie van 35.000 mg/l, is bij een maximale concentratie van 70.000 mg/l in de brijnafvoer *) de maximaal toelaatbare temperatuur 121°C .

Daar normaal zeewater 2.650 mg/l SO_4^{--} bevat, beïnvloedt de H_2SO_4 dosering deze totale hoeveelheid slechts met enkele mg/l en wordt het $[\text{Ca SO}_4^{--}]$ ionenprodukt niet sterk beïnvloed. Veelal wordt verondersteld dat, indien water met een aanzienlijk lager zoutgehalte ontzilt wordt, een veel hogere indampconcentratie mogelijk is.

Dit is echter niet het geval, daar het ionenprodukt nu wel sterk beïnvloed wordt door H_2SO_4 dosering. Hier komt nog bij, dat de $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ oplosbaarheid toeneemt bij een hoger Cl^- gehalte.

*) Indikkingsfaktor of concentratiefaktor = $\frac{70.000}{35.000} = 2$.

VERZADIGINGS EVENWICHTS LIJNEN

CALCIUMSULFAAT IN ZEEWATER

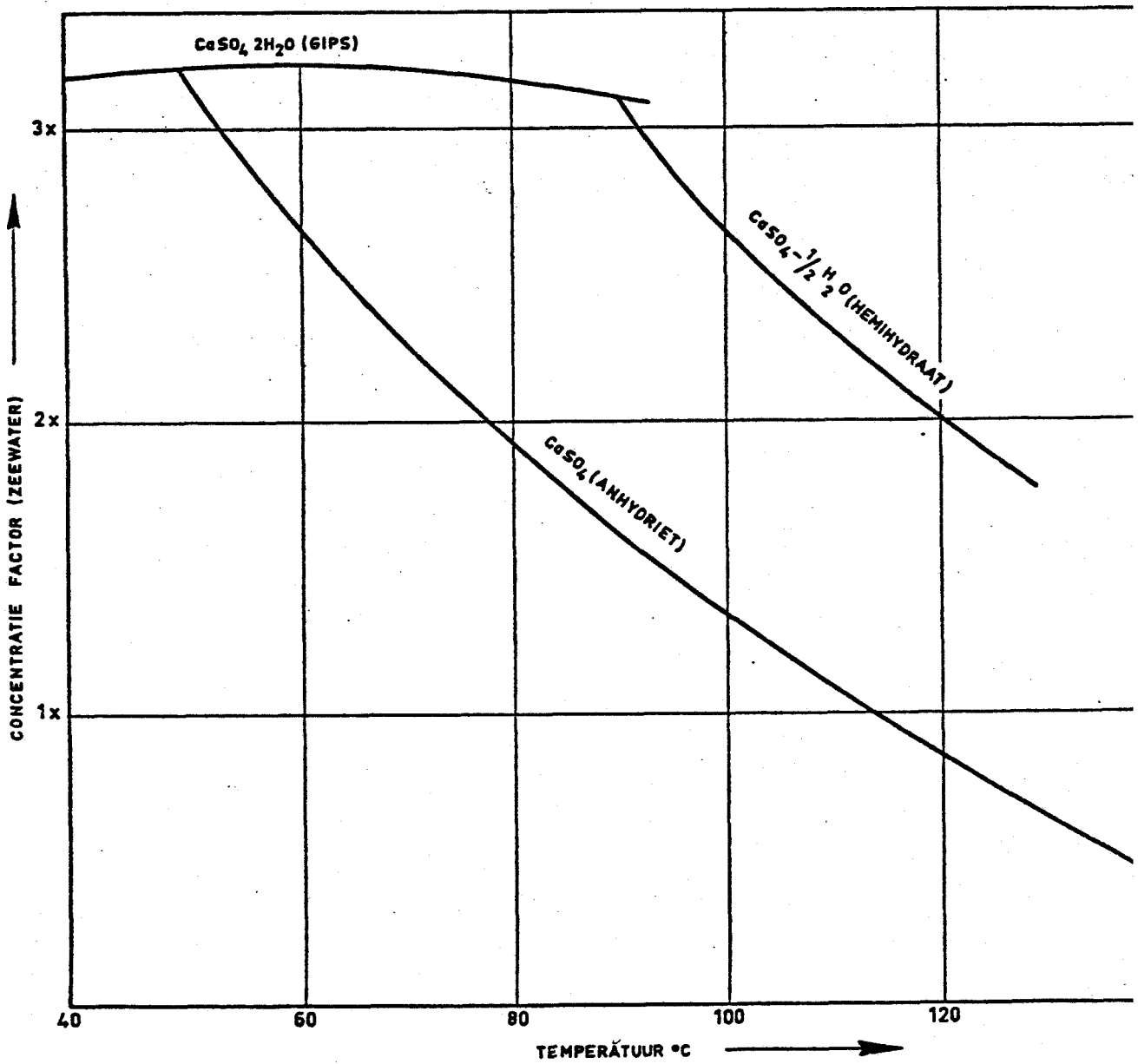


FIG. 12

Als voorbeeld kan dienen, dat het toch veel betere water van het Brielse Meer slechts 3 x ingedikt kan worden bij een toptemperatuur van 130°C.

Hoewel vele onderzoeken hebben plaatsgevonden, teneinde te trachten de toptemperatuur van de meertraps ontspanverdamper te verhogen (hoe hoger deze temperatuur hoe lager de investeringskosten), is tot op heden geen afdoend systeem gevonden. Het is weliswaar mogelijk de temperatuur te verhogen, maar dan moet de concentratie bij die hoogste temperatuur worden verlaagd.

Dit is in normale meertraps ontspanverdamper niet goed mogelijk.

Bij de meer-effect verdamper is dit wel mogelijk en theoretisch is een toptemperatuur van 150°C haalbaar. Hetzelfde geldt overigens voor de meer-effect meertraps ontspanverdamper.

Bij al dit streven naar hogere temperaturen moet echter een aantal belangrijke aspecten niet uit het oog verloren worden. Ten eerste zullen de kosten van stoom aanzienlijk stijgen, daar het optimale ontziltingsbedrijf in combinatie met energieopwekking wordt bereikt.

Ten tweede wordt de constructie van de verdamper aanzienlijk duurder, aangezien deze volledig als drukvat ontworpen moet worden.

Ten derde is het zelfs bij de huidig toegelaten temperatuur van 121°C beter de maximale temperatuur niet hoger te kiezen dan 115°C, daar verdere verhoging corrosie zeer sterk doet toenemen.

Uiteraard zijn betere materialen te kiezen, maar dit verhoogt dan weer de investering.

4.5.2 De invloed van de temperatuur van het koelwater op die in de koudste ontspankamer van de installatie

Zoals reeds is gebleken uit de temperatuurdiagrammen van de figuren 1 en 2, vindt het verdampingsproces in een meertraps ontspanverdamper plaats tussen twee duidelijk te definiëren temperaturen, namelijk:

- De maximale brijntemperatuur bij uittreden van de brijnverwarmer.
- De temperatuur van het brijn in de koudste ontspankamer.

Deze laatste temperatuur is evenmin als de maximale brijntemperatuur willekeurig te kiezen; immers de mogelijkheid om een condensatieproces te bewerkstelligen op een laag temperatuurniveau is volledig afhankelijk van de temperatuur van het aanwezige voedingwater (doorpomp systeem) of koelwater (recirculatie systeem). Deze temperatuur kan van plaats tot plaats sterk variëren, bijv. in Nederland van 0°C tot 24°C ; in de Perzische Golf van 20°C tot 33°C . Tegelijkertijd moet worden gerealiseerd dat dit soort installaties niet kan worden ontworpen voor een duurzaam vacuüm lager dan 0,04 - 0,05 ata. Daarom zal meestal, voor zover de koelwatertemperatuur dit toelaat, in de koudste ontspankamer een brijntemperatuur worden gekozen van 32 tot 35°C .

De goede ontwerper zal zich op de hoogte dienen te stellen van het verloop van de koelwatertemperatuur over het jaar en vervolgens een optimale keuze moeten maken.

Indien de produktie het gehele jaar op maximale capaciteit gehandhaafd moet worden, zal het ontwerp gebaseerd moeten zijn op de hoogste te verwachten koelwatertemperatuur; dit betekent een hogere investering!

4.6 Literatuur

1. Stewart, J.M.;
Some practical aspects of desalination by
evaporators.
First international symposium on water
desalination, Washington D.C. 1965.
U.S.Dept. of the Interior, Off. of Saline
Water.
2. Van Berkel, F.C.A.A., van Hasselt, J.W.,
van der Tooren, J.H.;
Experiences with large sea water flash
evaporators.
First international symposium on water
desalination, Washington D.C. 1965.
U.S.Dept. of the Interior, Off. of Saline
Water.
3. Pieper, G.A.;
Technische en economische aspecten van
meertraps ontspanverdamers.
De Ingenieur, maart 1973.
4. Pechenik, W., Ennis, C.E.;
Desalination plants using higher steam
pressures.
Proceedings Symposium on Nuclear
Desalination, Madrid 1968.
Published for the Int.Atomic Agency 1968
Elsevier's Publishing Co.
5. Klaren, D.G.;
Development of a Vertical Flash Evaporator.
Diss. T.H. Delft, mei 1975.

5. EISEN VOOR HET VOEDINGWATER

De kwaliteit van het voedingwater dient zodanig te zijn dat het verdampingsproces continue zonder storingen kan verlopen. Bij de meest bestaande verdamperinstallaties, zoals die op de Caraïbische eilanden en in het Midden Oosten, is het voedingwater "schoon" zeewater. Dit voedingwater kan neerslagen of "scale" van calcium- en magnesiumverbindingen in de installatie veroorzaken en ook corrosie van de metalen delen.

De neerslagen van magnesiumhydroxyde en calciumcarbonaat, d.i. de tijdelijke hardheid, worden doorgaans voorkomen door het voedingwater aan te zuren en het ontstane koolzuurgas te verwijderen in een atmosferische ontgasser. De corrosie wordt tegengegaan door de aanwezige zuurstof uit het voedingwater te verwijderen in een vacuumontgasser.

Onder Nederlandse omstandigheden zal het voedingwater van een verdamperinstallatie in het algemeen bestaan uit zeewater of brak water dat in meer of mindere mate is vervuild. Deze vervuiling kan een aantal nadelige gevolgen hebben op de procesvoering. Daarbij dient een onderscheid te worden gemaakt tussen het voedingwater van de eigenlijke verdamper en het koelwater. Aan het koelwater hoeven in het algemeen minder strenge kwaliteitseisen te worden gesteld dan aan het voedingwater, omdat het niet bij hogere temperaturen wordt gebruikt.

De volgende aspecten zijn van belang:

5.1 Het slibgehalte

Als het voedingwater slib bevat, kan dit samen met andere stoffen, waaronder vooral ijzer, neerslagen vormen in de condensorpijpen en daarin aankoeken. Onder deze laag zal in het algemeen corrosie van de condensorpijpen kunnen optreden. De mate waarin deze aankoeking optreedt hangt af van het slibgehalte, de deeltjesgrootte, de brijnsnelheid, de temperatuur en de pH. Het is mogelijk om de aangekoekte sliblaag periodiek te verwijderen door de installatie te spoelen

met een zuur. Men dient daarom bij de bedrijfsvoering tegen elkaar af te wegen de mate van voorzuivering, de brijnsnelheid, de pH en de frequentie van reiniging. Als voorzuivering worden in Terneuzen microzeven toegepast. Deze verwijderen echter niet slibdeeltjes die kleiner zijn dan 10 micron. Na de microzeven bevat het voedingwater dan ook nog ca. 100 mg/l slib met een deeltjesgrootte van 1-10 µm. De brijnsnelheid is 1,8 m/s en onder deze omstandigheden moet de verdamper 2 maal per jaar gedurende 1 à 2 dagen met zuur worden gereinigd. Het voedingwater van de verdamper op Texel bevat tot 10 mg/l slib met een deeltjesgrootte van ca. 10 µm. De brijnsnelheid is hier 1,1 m/s en ook onder deze omstandigheden treedt aancoeking door slib op. De aangeteekte laag wordt hier periodiek door spuiten met water onder hoge druk verwijderd. Verwacht mag worden dat bij de verdamping van Rijnwater eveneens aancoeking zal optreden en dat een verdamper enige malen per jaar gedurende een week zal moeten worden gereinigd.

Naast slib kan het voedingwater zand bevatten. Dit veroorzaakt slijtage van de condensorpijpen. Het zand dient daarom volledig te worden verwijderd, hetgeen kan worden gerealiseerd door bezinking. Grote zwevende bestanddelen dienen allereerst uit het ruwe voedingwater te worden verwijderd door middel van zeven.

5.2 Ammoniak

Het Nederlandse oppervlaktewater bevat variërende hoeveelheden ammoniak tot ca. 5 mg/l.

Als dit water als voedingwater voor een verdamper wordt gebruikt verdient het aanbeveling om het ammoniakgehalte te reduceren, tot minder dan 2 mg/l, omdat anders een sterke corrosie optreedt van de koperen condensorpijpen. Deze corrosie treedt alleen op als naast ammoniak ook zuurstof aanwezig is. Het ammoniakgehalte kan worden gereduceerd door middel van een breekpuntschloring. Daarvoor is ca. 8 à 10 mg Cl₂ nodig per mg NH₄ die verwijderd moet worden. De dosering van chloor bij toepassing van breekpuntschloring dient aangepast te worden aan de variaties

in het ammoniakgehalte van het voedingwater. In Rotterdam is hiervoor, na uitvoerig onderzoek, een succesvolle methode ontwikkeld. Bij deze methode wordt het ammoniakgehalte van het voedingwater continue gemeten met een ion-selectieve electrode. De chloordosering wordt dan automatisch met deze meting aangepast. Het is noodzakelijk wegens de sterk corrosieve eigenschappen om het resterende chloor te verwijderen. Dit kan plaatsvinden in de ontgassers, maar het is aan te bevelen om daartoe een reductiemiddel, bijvoorbeeld sulfiet, te doseren dat als bijkomend voordeel heeft dat het ook zuurstof verwijdert.

5.3 Fosfaat

Nederlands oppervlaktewater bevat vaak geringe concentraties fosfaat die in het heetste deel van een verdamper aanleiding kunnen geven tot neerslagen van calcium hydroxyfosfaten. Deze neerslagen veroorzaken samen met sporen zuurstof, een sterke corrosie van de condensorpijpen. Dit is duidelijk gebleken bij de verdamperinstallatie bij Terneuzen (1). Deze corrosie is te voorkomen door de volledige verwijdering van zuurstof en/of door periodieke reiniging.

Het is ook mogelijk, vooral bij hogere concentraties, om het fosfaat te verwijderen door middel van coagulatie/flocculatie.

Het voordeel is dat dan bovendien het slib wordt verwijderd. In Terneuzen treedt al fosfaatneerslag op als het voedingwater slechts 0,5 mg/l fosfaat bevat, waarvan 50% orthofosfaat is.

5.4. Zuurstof

Zoals hiervoor reeds is vermeld wordt zuurstof doorgaans uit het ruwe water verwijderd door middel van een vacuumontgasser. Het zuurstofgehalte wordt daarmee gereduceerd tot het gewenste gehalte van 50 µg/l of minder. Voor het geval de zuurstof volledig dient te worden verwijderd, zoals bij de fosfaat afzetting in Terneuzen, kan dit worden gerealiseerd door een reductiemiddel, zoals een ferrozout, aan het voeding-

water toe te voegen tot lage concentraties. De zuurstof wordt dan verwijderd doordat het tweewaardige ijzer wordt omgezet in driewaardig ijzer. Het ontstane ferrizout kan zich afzetten op de pijpen, doch kan periodiek worden verwijderd met zuur. Dit heeft echter op den duur aantasting van delen van de installatie tot gevolg. Daarom is het beter sulfiet te gebruiken als reductiemiddel dat dit nadeel niet heeft.

5.5. Calciumcarbonaat

Zoals hiervoor reeds is vermeld kan de afzetting van calcium- en magnesiumzouten worden beperkt door het bicarbonaat uit het voedingwater te verwijderen. Dit vindt plaats door het water aan te zuren tot pH = 4,2 en het ontstane koolzuurgas in de ontgassers te verwijderen. Daarbij stijgt de pH weer tot ca. 6,5. Een andere mogelijkheid is om sequestrerende middelen aan het voedingwater toe te voegen, zoals polyfosfaat of bepaalde organische polymeren. Het polyfosfaat is verreweg het goedkoopste. Deze toevoeging heeft tot resultaat dat de neerslagvorming van calciumcarbonaat wordt voorkomen, of eigenlijk, sterk wordt vertraagd. Het nadeel is dat deze methode slechts bij temperaturen beneden 95°C kan worden toegepast, omdat daarboven deze middelen worden afgebroken.

5.6 Calciumsulfaat

Zoals in hoofdstuk 2 reeds is vermeld neemt bij verhoging van temperatuur de oplosbaarheid van calciumsulfaat af. Voor zeewater geldt dat boven 120°C calciumsulfaat neerslaat bij een tweevoudige indikking. In een verdamper vormt het dan een harde, moeilijk te verwijderen neerslag. Deze neerslagen kunnen worden voorkomen door de verwijdering van òf het calcium, òf het sulfaat uit het voedingwater. De sulfaatverwijdering is technisch niet mogelijk, de calciumverwijdering is wel mogelijk door middel van ontharding, maar is relatief duur. In de praktijk wordt calciumsulfaat neerslag voorkomen door de hoogste brijntemperatuur te beperken tot 120°C.

Dit betekent uiteraard wél een beperking in de procesvoering.

5.7 Mosselen

In de aanvoerleiding van het ruwe zeewater treedt vaak sterke mosselgroei op. Deze kan worden voorkomen door een continue chlooring tot een lage chloorconcentratie of een periodieke chlooring tot een hoge concentratie. Mosselen zijn tamelijk resistent tegen chloor en de effectiviteit van de chlooring dient daarom wel te worden gecontroleerd. Bij een continue chlooring dient restchloor aanwezig te zijn tot aan de verdamper, omdat anders mosseleieren in de leiding kunnen uitgroeien. De voedingwaterinlaat op Texel ligt bij een mosselbank. Het is daar nodig continu 0,2 mg Cl₂/l te doseren of periodiek (50% van de tijd) 0,5 mg/l. Nadere informatie kan worden verkregen uit een KEMA-rapport (2).

In het algemeen kan worden opgemerkt dat vervuiling van het ruwe water (slib, ammoniak, fosfaat) problemen veroorzaakt bij de procesvoering van een verdamper. Het is daarom aan te bevelen om, indien mogelijk zo zuiver mogelijk voedingwater te gebruiken.

5.8 Literatuur

1. Romeijn, A.A.;
Scale formation in evaporator tubes and its prevention using polluted intake water.
Proc. Fourth Int.Symp. Fresh Water from the Sea, Heidelberg, September 1973.
2. KEMA-rapport
Onderzoek zeewatermosselen bestrijding.

6. VESTIGINGSPLAATS EN MILIEUFACTOREN

In dit hoofdstuk zullen enige algemene opmerkingen worden gemaakt met betrekking tot vestigingsplaats, klimatologische invloeden en milieufactoren.

6.1 Vestigingsplaats

Naast de algemene eisen welke gesteld worden aan iedere vestigingsplaats van een bedrijf van enige omvang geldt voor een zeewaterverdamperinstallatie in het bijzonder dat speciale eisen gesteld dienen te worden ten aanzien van de toe- en afvoer van zeewater. Deze water-technische aspecten zijn van belang omdat zij van invloed zijn op ontwerp en bedrijfsvoering van de installatie en dus een directe invloed hebben op de kostprijs van het gedestilleerde water.

In de praktijk is gebleken dat grote hinder kan worden ondervonden van in het ingenomen water aanwezige onzuiverheden zoals zwevende stoffen en lozingsprodukten. Theoretisch zou een keus gemaakt kunnen worden tussen òf het zuiveren van het ingenomen water (althans het gedeelte daarvan dat als verdampervoedingwater dienst doet) òf het water in ongezuiverde toestand accepteren en een minder efficiënte bedrijfsvoering inkalkuleren. In de praktijk wordt tot nog toe in hoofdzaak de tweede methode toegepast.

Dit is begrijpelijk als bedacht wordt dat zuiveren van het ingenomen water zou inhouden:

- a) het filtreren of anderszins verwijderen van zeer fijne (1 tot 10 micron) gesuspendeerde deeltjes, en
- b) het chemisch of anderszins verwijderen van lozingsprodukten als ammoniak, fosfaten, enz..

In Rotterdam wordt het ammoniak inderdaad uit het voedingwater verwijderd, doch zwevende stoffen en andere verontreinigingen worden in alle gevallen als zodanig geaccepteerd, omdat een zeer ver gaande voorzuivering tot te hoge exploitatiekosten zou leiden. Men accepteert dus een zekere vervuiling van de verdampers, met name van de condensorpijpen. Voor Terneuzen betekent dit het volgende:

- het gemiddelde warmteverbruik per m³ gedestilleerd water ligt 2 à 3% hoger dan in volkomen schone (ontwerp) toestand;
- voornamelijk vanwege de van tijd tot tijd nodige reiniging van de installatie is de bedrijfstijd circa 3% lager dan zonder deze reiniging mogelijk geweest zou zijn.

Bij de keuze van een vestigingsplaats, zodanig dat het ingenomen water geen zwevende stoffen en geen lozingsprodukten bevat, kan dus aanzienlijk worden bespaard op de produktiekosten van het gedestilleerde water.

Naar de mening van de commissie is het ingenomen water in het algemeen zuiverder naarmate de vestigingsplaats dichterbij open zee is gelegen.

Deze mening kan worden gestaafd met het volgende staatje, opgesteld aan de hand van RIZA gegevens met betrekking tot het fosfaatgehalte:

landinwaarts (Westerschelde, Nieuwe Waterweg)	: 0,2 à 1	mg/l
enige tientallen meters voor de kust van Nederland, Denemarken of Engeland	: 3 à 6	µg/l
midden op de Noordzee	: 0,1 à 0,5	µg/l

Voor de Westerschelde liggen de fosfaatcijfers als volgt:

bij de Belgische grens	: 1,6	mg/l
bij Hansweert	: 0,55	mg/l
bij Terneuzen	: 0,50	mg/l
tussen Vlissingen en Breskens	: 0,22	mg/l

Hieruit volgt dat een vestigingsplaats nabij open zee de voorkeur verdient.

Voorts moet worden gestreefd naar een gunstige lozingsmogelijkheid van het brijn, zodanig dat aan de milieueisen wordt voldaan.

6.2 Klimatologische invloeden

Aangezien grote installaties als zeewaterverdampers

steeds in de buitenlucht staan opgesteld moet het ontwerp zodanig zijn dat de goede werking gewaarborgd is bij lage omgevingstemperaturen. Bovendien moet de installatie bestand zijn tegen de veelal zoute atmosfeer.

6.2.1 Lage temperatuur

Het ontwerp dient in te houden een goede warmte-isolatie en beveiliging tegen vorst:

- a) tijdens bedrijf en
- b) tijdens stilstand.

Dit houdt ondermeer in:

- beveiliging van het inlaatsysteem tegen pakijs,
- vorstvrij houden van bassins, tanks en leidingen,
- voldoende afschot van vaten en leidingen met aftappunten,
- stoom- of elektrische verwarming van gevoelige onderdelen zoals meetleidingen en apparatuur.

6.2.2 Zoute atmosfeer

Afzetting van zoutkristallen moet verwacht worden. Dit kan leiden tot corrosie en tot overslag in onder hoogspanning staande delen (kabels, transformatoren, isolatoren).

In bepaalde gevallen zal besloten moeten worden de meest gevoelige apparatuur onder te brengen in een dicht gebouw dan wel in goed afsluitbare kasten met inwendige verwarming.

Het is van belang, voor alle electromotoren de geheel gesloten uitvoering te kiezen.

Stalen vaten, leidingen, enz. kunnen tegen uitwendige corrosie worden beschermd door een goed verf-systeem dan wel door omwikkeling met geteerd juteband of P.V.C.

Het onderhoud van deze verf of omwikkeling zal steeds de nodige aandacht blijven vragen.

6.3 Milieufactoren

Alvorens tot de bouw van een verdamperinstallatie besloten kan worden is het nodig de milieu-hygiënische aspecten hiervan te bestuderen. Immers de wetgeving

op het gebied van het milieu stelt eisen en/of biedt de mogelijkheid dit te doen ten aanzien toelaatbare emissies en lozingen. Bovendien zal de vestiging van een verdamperinstallatie in overeenstemming moeten zijn met het bestemmingplan en streekplan dat geldt voor de gekozen vestigingsplaats.

6.3.1 Luchtverontreiniging

De mate waarin luchtverontreinigingen plaatsvindt hangt o.a. af van:

- de capaciteit van de installatie
- de aard van de brandstof
- de mate waarin rookgasreiniging wordt toegepast
- de hoogte van de schoorste(e)n(en)
- het ontwerp in zijn algemeenheid

Aardgas wordt beschouwd als zijnde de schoonste brandstof doch rookgassen van ketels gestookt met aardgas bevatten doorgaans niet te verwaarlozen hoeveelheden stikstofdioxiden.

Aardolieprodukten mogen tot 2,5 % zwavel bevatten zodat bij toepassing van deze brandstof zwaveldioxide en in geringe mate zwavelzuur wordt uitgestoten. Bovendien worden tijdens het verbrandingsproces stikstofdioxiden gevormd.

Steenkolen bevatten eveneens zwavel en tijdens de verbranding worden ook stikstofdioxiden gevormd.

De toepassing van steenkolen introduceert bovendien het probleem van de uitworp van vliegias.

Dit probleem is van zodanige omvang dat nagenoeg elke installatie van enige omvang uitgerust is met een rookgasreinigingsinstallatie.

Huishoudelijk en industrieel afval introduceren bij verbranding, naast zwaveloxiden, stikstofdioxiden en vliegias ook aanzienlijke hoeveelheden zoutzuur en fluorwaterstof. De laatste twee componenten ontstaan uit chloor en fluorhoudende kunststoffen zoals P.V.C. en Teflon. Een intensieve rookgasreiniging is hierbij dan ook vereist.

Nucleaire brandstoffen produceren een scala van radioactieve gasvormige afvalprodukten zoals edelgassen en halogenen. Het voert echter te ver om in het kader van dit rapport hier uitvoeriger op in te gaan.

Een bijzondere vorm van luchtverontreiniging treedt op wanneer er gebruik gemaakt moet worden van koeltorens. De toepassing hiervan brengt de introductie van aanzienlijke hoeveelheden waterdamp met zich mee hetgeen plaatselijk kan leiden tot mist en gladheid.

6.3.2 Geluidhinder

De optredende geluidhinder zal doorgaans beperkt dienen te blijven, zowel tijdens normaal bedrijf als tijdens het stoppen en starten. De toelaatbare geluidsemisatie zal echter afhangen van de plaats van de installatie t.o.v. bijv. woonwijken.

6.3.3 Waterverontreiniging

Tijdens de normale bedrijfsvoering zal het koelwater in temperatuur worden verhoogd. De beheerder van het oppervlaktewater zal afhankelijk van de situatie eisen stellen ten aanzien van de maximale temperatuurverhoging van het koelwater en het oppervlaktewater waar op geloosd wordt, om het biologisch evenwicht te beschermen.

Een constante lozing van het brijn behoort eveneens tot de normale bedrijfsituatie. De aanwezige normale zouten in het brijn zullen doorgaans geen problemen met zich meebrengen, doch de aanwezigheid van koper en nikkel is minder gewenst daar deze metalen toxische eigenschappen hebben t.a.v. het hydrobiologisch leven.

Het kan nodig zijn op gezette tijden een beitsing uit te voeren.

De beitsvloeistof met daarin o.a. opgelost ijzer, koper, nikkel en zuur zal geloosd moeten worden. Afhankelijk van de situatie zal er rekening mee moeten worden gehouden, dat het koper verwijderd en het zuur geneutraliseerd zal moeten worden.

7. KWALITEIT EN NABEHANDELING VAN HET DESTILLAAT

7.1 Kwaliteit

Als verdampingsinstallaties worden toegepast in gebieden waar het voedingwater bestaat uit onvervuild zeewater, zoals bijvoorbeeld in de landen van het Midden-Oosten en op de Caraïbische eilanden is het destillaat zeer zuiver en bevat geen ongewenste stoffen.

Normaal wordt het verkocht met de garantie dat het TDS-gehalte maximaal 100 mg/l bedraagt. In het algemeen is het TDS-gehalte echter veel lager, in de orde van 10 mg/l. In Rotterdam wordt zelfs een waarde van 1 mg/l bereikt.

Naast keukenzout zal men doorgaans de volgende concentraties van andere componenten in het destillaat aantreffen.

Fe	0,05	mg/l
Cu	0,03	mg/l
SiO ₂	0,005	mg/l
Hardheid	0,000	mg/l

Onder Nederlandse omstandigheden zal het voedingwater bestaan uit brak oppervlaktewater of zeewater, maar beide soorten voedingwater zullen in meer of mindere mate vervuild zijn. De vervuiling bestaat ten dele uit ongewenste vluchtige stoffen die tijdens het verdampingsproces geheel of gedeeltelijk "meedestilleren" met het water en terecht komen in het destillaat.

Hoewel deze stoffen slechts in uiterst geringe hoeveelheden in het destillaat voorkomen is hun aanwezigheid toch merkbaar en/of kan een potentieel gevaar voor de gezondheid opleveren.

Er zijn drie groepen vluchtige stoffen die van belang zijn:

- Ammoniak
- Reuk- en smaakstoffen
- Toxische stoffen, zoals bestrijdingsmiddelen.

Voor al deze stoffen geldt dat ze vollediger worden overgedestilleerd naarmate hun "relatieve vluchtigheid" ten opzichte van water groter is. De relatieve vluchtigheid is de verhouding van de dampdruk van de betreffende zuivere stof tot de dampdruk van water bij de betreffende temperatuur.

In een eerder in "H₂O" verschenen beschouwing van de Commissie Flashverdamping (1) wordt nader ingegaan op relatie tussen de molekuulstructuur en de relatieve vluchtigheid van een stof.

Het is bijzonder ingewikkeld om een kwantitatieve relatie te vinden tussen de relatieve vluchtigheid van een stof en de mate waarin deze in een bepaalde verdamperinstallatie overdestilleert, maar kwalitatief kan worden aangegeven dat de relatieve vluchtigheid en daarmee het "overdestilleren" toeneemt naarmate de betreffende stof:

- een hogere dampspanning heeft, en dus in het algemeen een lager molecuulgewicht heeft;
- minder goed mengbaar is met water, hetgeen betekent mindere polaire groepen bevat zoals -OH en -COOH groepen en meer het gedrag vertoont van zuivere koolwaterstoffen.

Omdat elders in de wereld geen of weinig ervaring aanwezig was met het overdestilleren van vluchtige stoffen is dit aspect een belangrijk onderdeel geweest van de werkzaamheden van de Commissie Flashverdamping.

Het gedrag van vluchtige stoffen is nagegaan in drie verdampers: de Waterfabriek te Terneuzen, de voormalige Rijnmond Proefverdamer te Rotterdam en de KIWA proefverdamer bij Terneuzen.

Uit onderzoek valt het volgende te concluderen:

7.1.1 Ammoniak

Als het voedingwater ammoniak bevat komt een deel daarvan terecht in het destillaat. De mate waarin ammoniak "overdestilleert" hangt van een aantal factoren af. De belangrijkste is de pH.

Bij een "normale" bedrijfsvoering met een pH van ca. 7 is de ammonium concentratie in het destillaat 50 à 100% van de concentratie in het voedingwater.

Het ammoniak is bij deze pH-waarde grotendeels aanwezig als het ammonium ion NH_4^+ , dat een verwaarloosbare vluchtigheid heeft. Het destilleert dan, ook over als NH_3 gas dat een hoge relatieve vluchtigheid heeft.

Bij een hogere pH-waarde wordt een groter deel van het NH_4^+ omgezet in NH_3 en het destillaat zal meer ammoniak bevatten. Bij een pH-waarde van 8 of hoger is de ammoniak concentratie van het destillaat gelijk of hoger dan die van het voedingwater.

Als het bicarbonaat niet volledig is verwijderd kan dit tot gevolg hebben dat meer ammoniak overdestilleert. Immers, het bicarbonaat is in evenwicht met koolzuurgas, CO_2 , dat gemakkelijk overdestilleert. Als gevolg hiervan wordt het bicarbonaat volledig omgezet in CO_2 en uit het voedingwater verwijderd. Tijdens het aflopen van deze reactie is de pH hoger.

7.1.2 Reuk- en smaakstoffen

In Rotterdam en in mindere mate in Terneuzen is gebleken dat het destillaat een smaak heeft en soms zelfs een zeer slechte smaak. Daarbij dient in eerste instantie te worden aangetekend dat reuk en smaak worden veroorzaakt door vluchtige organische stoffen die in zeer geringe concentratie in het water aanwezig zijn.

Drinkwater bereid uit oppervlaktewater bevat een zeer groot aantal reukstoffen.

Als dit water een goede smaak heeft zijn deze stoffen ook aanwezig maar in geringe concentraties, beneden de smaakgrens. De smaakgrens hangt af van het totaal van de aanwezige stoffen want de smaak of reuk van één component wordt doorgaans gemaskeerd door andere stoffen. In het destillaat bevinden zich slechts enkele smaakstoffen, die niet door andere stoffen worden gemaskeerd en die daarom geprononceerd worden waargenomen.

De reuk- of smaakgrens kan in dit zuivere water wel bij twee- of vijfmaal lagere concentraties liggen dan bij normaal drinkwater. Dit neemt echter niet weg dat de smaak een onaangename faktor is en daarom is het gedrag van reuk- en smaakstoffen apart bestu-

deerd door een aantal stoffen in het voedingwater van de KIWA-proefverdamer te injecteren en het gedrag ervan in de verdamer te volgen. Daartoe werden op verschillende plaatsen in de verdamer monsters genomen en geanalyseerd. De resultaten voor een aantal van deze stoffen staan weergegeven in tabel 1. Deze stoffen op zich zijn geen specifieke reuk- en smaakstoffen, maar ze geven wel het gedrag van vluchtige stoffen in een verdamer weer.

Uit deze resultaten blijkt dat de concentratie van vluchtige stoffen afneemt in de volgorde:

- voedingwater
- voedingwater in atmosferische ontgasser
- voedingwater in vacuümontgasser
- brijn.

Bij een grote vluchtigheid zal de concentratie zeer snel dalen in de eerste trappen, bij een beperkte vluchtigheid is het effect van de eerste trappen gering en zal de concentratie belangrijker afnemen in de laatste, de destillatie, trap. Stoffen die tijdens het destillatie proces verdampen (en dus niet volledig in de ontgassers zijn verwijderd) zullen weer condenseren en in het destillaat terecht komen.

Omdat het ontspanproces ook nog plaatsvindt in de destillaatruimte zullen de vluchtigste van deze stoffen niet volledig in het destillaat terecht komen. Hoewel het destillaat in het algemeen dus vluchtige stoffen zal bevatten, verdwijnt een groot deel van deze stoffen via de ontgassers en de condensaatkoeler.

7.1.3 Bestrijdingsmiddelen

In de proefverdamer te Terneuzen is eveneens een aantal bestrijdingsmiddelen geïnjecteerd. De resultaten staan in tabel 2, samen met de oplosbaarheden die zeer globaal een maat kunnen zijn voor de relatieve vluchtigheid. Uit deze tabel volgt dat een groot aantal van de onderzochte stoffen niet bestand is tegen de hoge

temperaturen in de verdamer en thermisch worden ontleed, hetgeen op zich een gelukkige bijkomstigheid is.

Overigens volgen deze bestrijdingsmiddelen het algemene gedrag zoals dat hiervoor is beschreven.

7.2 De nabehandeling van het destillaat

De noodzakelijke nabehandeling van het destillaat hangt af van het doel waarvoor het bereid is en verschilt dan ook voor industriewater en voor drinkwater.

Bij industrieel gebruik zal men in het algemeen een zo zuiver mogelijk water wensen en iedere toevoeging van zuurstof, koolzuur, hardheid of zouten zal men bij voorkeur vermijden. Ook de hoge temperatuur van 35°C is geen bezwaar en kan zelfs een voordeel betekenen. De nabehandeling bij industrieel gebruik zal dus in het algemeen beperkt of nihil zijn.

Dit is anders bij gebruik als drinkwater. Daar is een aantal kwaliteitseisen van belang, waaraan het destillaat niet voldoet. Het zijn:

- Het zuurstofgehalte van het destillaat is nihil, terwijl drinkwater zuurstof moet bevatten en bij voorkeur verzadigd moet zijn.
- Het drinkwater moet een zekere hardheid hebben, omdat het anders corrosief is voor metalen en betonnen leidingen.
- Aanbevolen wordt een tijdelijke hardheid van 1 à 2 milliequivalenten te creëren, terwijl de pH overeen moet komen met de pH-waarde die bij het kalkkoolzuur evenwicht behoort. Het water zal mogelijk in de toekomst verder in hardheid moeten worden verhoogd, indien blijkt dat er inderdaad een causaal verband bestaat tussen de mate van hardheid van drinkwater en het voorkomen van hart- en vaatziekten.
- Drinkwater mag geen slechte smaak hebben en als dit wél het geval is met het destillaat moet de smaak worden verwijderd.
- Als het ammoniak gehalte van het destillaat maximale waarde (0,05 mg/l) overschrijdt moet dit worden verwijderd.
- De temperatuur van het destillaat is ca. 35°C, ter-

wijl voor drinkwater een waarde van 15°C wordt aanbevolen.

- Het water moet bacteriologisch betrouwbaar zijn voordat het wordt gedistribueerd. Dit is onder normale omstandigheden het geval direkt na de verdamper, maar tijdens de verschillende nabehandelingen kan het weer besmet worden.

Onder ongunstige omstandigheden zoals deze zich in Nederland voordoen dienen dus de volgende behandelingen met het destillaat te worden uitgevoerd:

- ammoniakverwijdering
- smaakverwijdering
- beluchting
- aanharding
- koeling
- transportchloring.

7.2.1 Ammoniakverwijdering

De verwijdering van ammoniak is slechts nodig als het in een zekere concentratie aanwezig is. Doorgaans zal onder Nederlandse omstandigheden breekpuntschloring in aanmerking komen voor de verwijdering van ammoniak.

7.2.2 Smaakverwijdering

De slechte smaak van het destillaat kan worden verwijderd door filtratie over een actief koolfilter. Dit is onderzocht met een proefopstelling bij de Rijnmond proefverdamer. Een dergelijke smaakverwijdering is niet kostbaar, omdat de actieve kool slechts in geringe mate wordt belast. Immers, het destillaat bevat slechts minimale hoeveelheden organische stoffen. Regeneratie van de kool zal met een geringe frequentie uitgevoerd behoeven te worden. Op het koolfilter zal zeker bacteriegroei ontstaan hetgeen de toevoeging van een geringe hoeveelheid chloor aan het eindprodukt noodzakelijk maakt.

7.2.3 Beluchten en aanharden

Een eenvoudige maar dure methode om het destillaat aan te harden is het toevoegen van calciumchloride en natriumcarbonaat.

Een goedkopere methode is om het water over een magnofilter ($MgO + CaCO_3$) te leiden. Daarbij dient bovendien CO_2 te worden toegevoegd. In plaats van magno wordt ook wel koraal of marmer gebruikt, daar deze materialen betrekkelijk goedkoop zijn, indien zij ter plaatse aanwezig zijn.

Voor Nederland lijkt de goedkoopste methode te bestaan uit het toevoegen van kalk en koolzuur.

7.2.4 Koelen

Het destillaat kan worden gekoeld met een normale warmte wisselaar. De uiteindelijke temperatuur zal ca. $5^{\circ}C$ hoger zijn dan de temperatuur van het oppervlaktewater, waarmee wordt gekoeld. Dit betekent dat in de zomermaanden de temperatuur van het te distribueren water niet lager dan $25^{\circ}C$ à $30^{\circ}C$ zal zijn. Dit is hoger dan de aanbevolen maximumtemperatuur van $15^{\circ}C$ voor drinkwater, maar verdere koeling is zonder extreme kosten niet mogelijk.

Gezien het grote aantal behandelingen dat het destillaat voor drinkwatergebruik dient te ondergaan, zou het aantrekkelijk kunnen zijn om een aantal van deze behandelingen te combineren. Dit lijkt mogelijk door middel van een verdampingskoeler. Daarmee kan in principe worden gekoeld, belucht, CO_2 toegevoegd en smaak verwijderd.

De dosering van kalk kan vooraf plaatsvinden. Deze aantrekkelijke combinatie is onderzocht bij de Rijnmond proefverdamer. Het is daarbij gebleken dat alle gewenste effecten weliswaar optreden, maar dat smaakverwijdering niet volledig is.

Ook de koeling was minder goed dan met een warmte wisselaar te bereiken is. Omdat zoveel behandelingen op natuurlijke wijze te combineren zijn in een dergelijke koeler lijkt het toch aanbelenswaardig deze methode niet te negeren en mogelijk te perfectio-neren.

Een duidelijk nadeel van deze open koeling is dat ca. 5% verdampingsverliezen van het (dure) water optreden.

TABEL 1

Reuk- en smaak- stoffen Alle waarden in µg/l	dosering in voed- ding	voeding na zuur	voeding na atm. ontg.	voeding na vac. ontg.	brijn tussen trap 7 en 8	dest. trap 5	dest trap 8	damp- conden- saat	oplosbaarheid OC	dampdruk mm hg bij OC
Cyclo pentanon		1000	550	300	>1000	700	400	>1000	n. opl.b.	-
Anisol		1000	100	100	200	10	5	>1000	n. opl.b.	-
2-Ethyl-1-butanol		1000	525	250	100	350	200	>1000	weinig	-
1-Heptanol		1000	375	180	50	300	100	>1000	18.10 ⁶	1 34
Benzylalcohol		1000	200	80	50	50	20	>1000	400.10 ⁶	1 58
1-Decanol		1000	825	400	--	50	30	>1000	n. opl.b.	--
Indeen		1000	115	60	--	15	--	70	n. opl.b.	1 16,4
p-Dichloorbenzeen		1000	15	<10	--	--	--	<10	n. opl.b.	-
p-Nitrotolueen		1000	45	35	--	--	--	15	n. opl.b.	1 53,7
p-Chloornitro- benzeen		1000	645	290	--	--	--	>1000	n. opl.b.	-
Chloroform		100	10	3	1,5	1,5	4	1,5	82.10 ⁶	20 25,9
Tolueen		100	18	5,5	5	4	11	3,0	n. opl.b.	20 18,4
Heptaan		100	2	1	0,5	0,5	0,5	0,5	n. opl.b.	-
Trichloorethyleen		100	12,5	6,5	2	--	12,5	1,5	12,5.10 ⁶	60 20
p-Methylchlor- benzeen	1000	1000	35	10	< 0,5	5	5	5	n. opl.b.	-
p-Dichloorbenzeen	1000	1000	40	10	< 0,5	1	< 1	-	n. opl.b.	-
p-Methylnitro- benzeen	1000	1000	420	185	< 0,5	140	30	110	4.10 ⁶	30 -
p-Chloornitro- benzeen	1000	1000	900	190	< 0,5	45	5	44	n. opl.b.	-
Phenol	1000	780	580	580	360	710	680	720	140.10 ⁶	1 40

TABEL 2

Bestrijdings- middelen Alle waarden in µg/l	dosering in voe- ding	voeding na zuur toev.	voeding na atm. ontgass.	brijn tussen trap 7 en 8	destill. na dest. koeler	destill. na dest. pomp	damp- conden- saat	oplos- baar- heid	dampdruk mm hg bij 20 °C
Lindaan	10	n. bep.	6,5	n. bep.	3,1	1,7	9,4	10.10 ³	9, .10 ⁻
DDT	10	n. bep.	3,1	n. bep.	-	-	2,5	100	1,9.10 ⁻⁷
Dieldrin	10	n. bep.	5,9	n. bep.	4,5	4,2	8,1	190	2, .10 ⁻⁷
Aldrin	10	n. bep.	1,2	n. bep.	0,4	0,36	0,21	27	2,3.10 ⁻⁵
pp-DDD	10	n. bep.	4,4	n. bep.	2,4	2,2	5,5	onopl.	-
Endosulfan 1)	10	n. bep.	9,2	n. bep.	0,55	0,27	3,5	1)	-
Heptachloor	10	n. bep.	0,53	n. bep.	-	-	-	50	3, .10 ⁻⁴
Parathion	120	84	92	30	1,6	1,2	10,0	24.10 ³	3,5.10 ⁻⁵
Gusathion	71	83	68	10	-	-	2,0	33.10 ³	-
DDVP	114	66	69	1,8	1,1	1,5	9,7	10.10 ⁶	1,2.10 ⁻²
Malathion	84	72	79	4,0	-	-	2,6	145	4, .10 ⁻⁵
Phosalone	177	123	177	30	1,7	1,0	9,5	onopl.	-
Diazinon	85	49	70	3,5	34	32	101	40.10 ³	1,4.10 ⁻⁴
Polychloor- bifenyyl	1000	n. bep.	1030	20	110	310	16700	-	-

1) α Endosulfan 260 µg/l

β Endosulfan 100 µg/l

Gebruikt is een mengsel van α en β Endosulfan

7.3 Literatuur

1. Kuiper, D., Verdouw, J.;
De vluchtigheid van stoffen in water,
H₂O 1971 nr. 14 p. 308-316.

8. BEDRIJFSERVARINGEN IN NEDERLAND

8.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een beknopt overzicht gegeven van de ervaringen die in Nederland zijn opgedaan met de exploitatie van de volgende zeewaterverdampingsinstallaties te:

- Terneuzen (inbedrijfname 1969),
- Texel (inbedrijfname 1972),
- Rijnmond (inbedrijfname 1973).

Deze verdampers hebben de volgende technische eigenschappen gemeen:

- ze zijn alle van het multi-stage-flash type,
- de maximum brijntemperatuur ligt in alle gevallen boven 115°C,
- het verdampervoedingwater wordt in alle gevallen voorbehandeld met zuur ter bestrijding van calciumcarbonaat afzettingen.

8.2 Belangrijkste gegevens

De belangrijkste gegevens, zoals de ontwerpcijfers en de algehele opzet van de installaties, zijn samengevat in tabel 3.

Een belangrijke rol speelt de hoedanigheid van het ingenomen water en de voorbehandeling van het verdampervoedingwater.

De drie beschouwde verdamperinstallaties worden gevoed met water van de volgende kwaliteit:

Terneuzen : Water van de Westerschelde met een zoutgehalte van gemiddeld 2,6%, een hoeveelheid zwevende bestanddelen van gemiddeld 65 ppm en verontreinigd door industriële en huishoudelijke lozingen.

Texel : Zeewater van de waddenzee met een zoutgehalte van gemiddeld 3%, nagenoeg niet verontreinigd behoudens colloïdaal opgeloste klei.

Het water is uit biologisch oogpunt gezond hetgeen kan leiden tot een sterke groei van algen, nosselen en dergelijke.

Rijnmond : Water van de Nieuwe Waterweg met een sterk wisselend zoutgehalte. Het water bevat zwevende stoffen en is verontreinigd door industriële en huishoudelijke lozingen. De biologische activiteit in het water is beperkt, doch bevat het aanzienlijke hoeveelheden ammoniak.

De behandeling van het koelwater en van het verdampervoedingwater loopt dan ook voor de drie beschouwde verdamperinstallaties uiteen.

Een samenvatting is gegeven in tabel 4.

8.3 De waarborgen m.b.t. ononderbroken produktie

De situatie voor de drie beschouwde verdamperinstallaties is als volgt:

Terneuzen : Slechts één stoomketel staat ter beschikking. Daarom is een zeer eenvoudig en betrouwbaar type stoomketel gekozen. De gekozen brandstof (aardgas) geeft zeer weinig aanleiding tot ketelstoringen. Bij uitval van de enige turbogenerator kan via een omloopreducerinstallatie stoom worden geleverd aan de verdamper, zodat de destillaatproduktie in dat geval niet onderbroken wordt. Bij uitval van één van de zeewaterverdamperen daalt de destillaatproduktie met 50%. Teneinde de benodigde tijdsduur voor onderhouds- en revisiebeurten zoveel mogelijk te beperken is van nagenoeg alle pompen en elektromotoren een reserve exemplaar aanwezig.

Het gedestilleerde water wordt afgenomen door de Watermaatschappij Zuid-West Nederland, die zorgdraagt voor de afzet aan de chemische industrie. In geval van gehele of gedeeltelijke onderbreking van de produktie van destillaat wordt in de waterbehoefte van deze industrieën voorzien door maatregelen welke in onderling overleg tussen deze industrieën, de Watermaatschappij Zuid-West Nederland en de Provinciale Zeeuwse Energie Maatschappij genomen worden.

Texel : Aangezien de elektrische centrale uit twee vrijwel aparte eenheden bestaat zal de stoomvoorziening van de zeewaterverdamper in hoge mate gewaarborgd zijn. Bovendien zijn van nagenoeg alle pompen de belangrijkste onderdelen in reserve aanwezig. Onderbrekingen van enkele uren kunnen worden overbrugd met behulp van reinwaterkelders, met een totale inhoud van 2.800 m³. Bij een langduriger storing in de waterproduktie zal de dan tijdelijk overbelaste duinwaterwinning de watervoorziening van Texel moeten overnemen.

Rijnmond : Wisselingen in de aanvoer van de brandstof worden opgevangen met behulp van bunkers die een opslagcapaciteit bezitten van enige dagen ketel-vollast. Van de zes stoomketels zijn vier stuks voldoende voor de stoomvoorziening van alle drie de zeewaterverdamperen. De turbogeneratoren zijn voorzien van omloopstoomreducerinstallaties. Zelfs bij een storing aan een secundaire stoomleiding kan te allen tijde minstens één verdamper van stoom worden voorzien. De stoomvoorziening van de verdamperen is dus in hoge mate gewaarborgd. Bovendien is van alle grote pompen en motoren een reserve exemplaar aanwezig.

Wisselingen in de produktie van destillaat worden opgevangen door opslagtanks met een gezamenlijke inhoud gelijk aan de vollastproduktie van één verdamper gedurende $2\frac{1}{2}$ dag.

8.4 Onderbrekingen van de produktie- en totale bedrijfstijd

Elke zeewaterverdamer is gevoelig voor corrosie, dit geldt in het bijzonder voor zeewaterverdamers waar bij het voedingwater aangezuurd wordt. Tengevolge van het corrosieproces kunnen er onverwachte storingen in de produktie optreden. Daarnaast is voor herstel of vervanging van de gecorrodeerde onderdelen korter of langer durend onderhoud noodzakelijk.

Bovendien kan door velerlei oorzaken de kwaliteit van het gedestilleerde water te wensen overlaten.

De reden hiervoor kan wederom zijn corrosie van bepaalde onderdelen doch het is ook mogelijk dat door instabiliteiten in het proces en/of door een snel wisselende zeewatersamenstelling zogenaamde "carry-over" optreedt, zodat het zoutgehalte van het destillaat boven de toelaatbare waarde stijgt. In een dergelijk geval moet het destillaat geloosd worden, hetgeen aan afnemerszijde als een bedrijfszonderbreking wordt ervaren.

Een en ander houdt in dat steeds rekening gehouden moet worden met bedrijfszonderbrekingen die slechts ten dele vooraf vast te stellen zijn.

De tijdsduur van deze onderbrekingen kan uiteenlopen van enkele minuten tot meerdere dagen.

De zeewaterverdamers te Terneuzen zijn reeds meerdere jaren in kontinu vollast bedrijf, zodat de ervaringen met deze verdamers enig inzicht kunnen verschaffen betreffende frekwentie en tijdsduur van de te verwachten storingen.

Tevens kan uit deze gegevens een te verwachten totale bedrijfstijd worden berekend.

8.4.1 Onderbrekingen van de produktie

In Terneuzen staan twee verdampers opgesteld. Indien beide buiten bedrijf zijn wordt gesproken van een 100%-onderbreking; indien slechts één verdamper buiten bedrijf is spreekt men van een 50%-onderbreking.

Met deze verdampers is ervaring beschikbaar die zich uitstrekt over circa zeven jaar.

Indien nieuwe verdampers ontworpen zouden worden, zouden bepaalde systeem- en ontwerp- onvolkomenheden die aan de huidige installatie kleven, vermeden kunnen worden.

Thans voert men een programma uit dat gericht is op het aanbrengen van verbeteringen in de installaties opdat storingen en onderhoud tot een minimum beperkt worden.

De resultaten van deze verbeteringen zijn thans reeds duidelijk waarneembaar. Verwacht mag worden dat uiteindelijk met de hierna volgende kansen op onderbreking van de produktie gerekend moet worden.

Kans op een 100%-onderbreking:

<u>tijdsduur</u>	<u>frekwentie</u>	<u>opmerkingen</u>
langer dan 3 dagen	0,3 x per jaar	voorspelbaar
1 à 3 dagen	1 x per jaar	voorspelbaar
½ à 1 dag	2 x per jaar	waarvan 1 x voorspelbaar
korter dan ½ dag	1 x per jaar	niet voorspelbaar
korter dan 1 uur	10 x per jaar	niet voorspelbaar

Kans op een 50%-onderbreking:

<u>tijdsduur</u>	<u>frequentie</u>	<u>opmerkingen</u>
langer dan 3 dagen	5 x per jaar	voorspelbaar
1 à 3 dagen	18 x per jaar	voorspelbaar
½ à 1 dag	2 x per jaar	waarvan 1 x voorspelbaar
korter dan ½ dag	6 x per jaar	niet voorspel- baar
korter dan 1 uur	25 x per jaar	niet voorspel- baar

8.4.2 Overall bedrijfstijd

Op grond van de te verwachten frequentie van de onderbrekingen van de produktie kan een totale bedrijfstijd berekend worden van ongeveer 90 %. Deze bedrijfstijd wordt evenwel niet dadelijk bereikt aangezien gedurende de eerste jaren aanloopproblemen zullen moeten worden opgelost. In Terneuzen heeft de totale bedrijfstijd zich in de loop van de jaren als volgt ontwikkeld:

bedrijfsjaar	overall bedrijfstijd, gecorrigeerd voor vollast- produktie
--------------	--

1 (gedeeltelijk)	34 %
2	78 %
3	71 %
4	75 %
5	85 %
6	90 %
7	91 %

Opgemerkt moet worden dat een totale bedrijfstijd van 90% in de wereld van de elektriciteitsbedrijven en van de chemische industrie als zeer acceptabel geldt.

8.5 Onderhoudskosten

De onderhoudskosten laten zich splitsen in drie groepen, te weten:

- normale onderhoudskosten,
- reinigingskosten,
- kosten ontstaan door corrosie.

8.5.1 Normale onderhoudskosten

Deze kosten hebben betrekking op herstel of vervanging van versleten of beschadigde onderdelen zoals kogellagers, pakkingen en asbussen. Ook het onderhoud van de meet- en regelapparatuur valt onder de normale onderhoudskosten. Daarnaast worden de belangrijkste pompen zoals brijnrecirculatiepompen, brijnspuipompen en waterringpompen volgens een vast onderhoudsprogramma gerevideerd. De normale onderhoudskosten maken ongeveer 40% uit van de totale onderhoudskosten.

8.5.2 Reinigingskosten

Tengevolge van het hoge slibgehalte van het ingenomen water van de Westerschelde vervuilen de zeewaterverdamper te Terneuzen geleidelijk. Met name bouwt zich een harde laag op aan de binnenzijde van de verdamperpijpen. Het verwijderen van deze afzetting vormt het belangrijkste onderdeel van de post "reinigingskosten". Tegelijk met het reinigen van de verdamperpijpen worden tevens waterkasten, verdampervaten, zeven, leidingen en dergelijke schoongemaakt. De reinigingskosten maken 20% uit van de totale onderhoudskosten.

8.5.3 Kosten ontstaan door corrosie

Deze kosten hebben betrekking op het herstel van korrosiewerende lagen (glasvezelgewapende kunststof,

rubber, roestvast staal of cupronikkel) in leidingen en verdampervaten, zowel als op het herstel of de vervanging van gecorrodeerde onderdelen in de zeewaterverdampers (brijndoorvoeropeningen, tussenwanden, demistermatten e.d.).

Eventueel zeer ingrijpende maatregelen zoals het vervangen van een deel der verdamperpijpen dienen afzonderlijk verantwoord te worden.

De kosten, ontstaan door corrosie, maken ongeveer 40 % uit van de totale onderhoudskosten.

Het totale bedrag van de onderhoudskosten hangt sterk af van het ontwerp van de betreffende zeewaterverdampers.

De thans in aanbouw zijnde zeewaterverdampers zijn veelal ontworpen met meer corrosie-bestendige materialen dan de verdampers die in de zestiger jaren ontworpen werden.

De totale onderhoudskosten van de zeewaterverdampers te Terneuzen (jaar van in bedrijfname 1969) bedragen jaarlijks 1,5% van de vervangingswaarde.

8.6 Specifieke problemen

Vooraf tijdens de eerste jaren van exploitatie kan men bij zeewaterverdampers geconfronteerd worden met technische problemen die dikwijls tot kostenverhogende maatregelen leiden. Deze problemen kunnen bij nieuwe verdampers beperkt worden, door gebruik te maken van de ervaringen die opgedaan zijn bij de huidige in bedrijf zijnde installaties.

De ervaring met de drie beschouwde zeewaterverdampingsinstallaties wordt hiertoe beknopt weergegeven.

8.6.1 Terneuzen

1. Bovengrondse ongewapende kunststofleidingen zijn kwetsbaar en inmiddels alle vervangen door inwendig met rubber beklede stalen leidingen.
2. Waterkasten bekleed met glasvezelgewapende epoxy voldoen bij temperaturen tot 90°C goed, mits de bekleding goed is aangebracht. Reparatie blijft van tijd tot tijd noodzakelijk.

Voor hogere temperaturen worden de waterkasten bekleed met cupronikkel. Dit systeem blijkt zeer goed te voldoen.

3. Leidingen van grotere diameters, inwendig bekleed met rubber, voldoen goed behalve direct na bochten, afsluiters en dergelijke. Op dergelijke plaatsen verdient austenitisch roestvast staal b.v. AISI 316 de voorkeur.
4. Rootsblowers in het vacuümsysteem zijn vastgelopen en moesten worden vervangen door stoomstraal ejecteurs.
5. Waterringpompen in het vacuümsysteem voldoen goed mits de juiste materialen voor de verschillende componenten worden gebruikt en voldoende onderhoud plaatsvindt.
6. Cupronikkelen pijpen voldoen goed mits afzettingen op de pijpwand regelmatig worden verwijderd.
7. Ni-resist pomphuizen vertonen ernstige scheurvorming tenzij nodulair ni-resist toegepast wordt. Dit geldt zowel voor ni-resist I als voor ni-resist II.
8. Het is voorgekomen dat door een storing in de zeewaterverdamer tengevolge van afkoeling onderdruk ontstond in de stoomruimte van de brijnverwarmer. Hierdoor kwam brijn in het condensaat waardoor een ernstige schade aan de stoomketel ontstond.
9. Het zuurstofgehalte in de brijnstroom te Terneuzen bedroeg circa 40 µg/l. Dit was tamelijk hoog, waardoor de corrosie van de cupronikkel pijpen werd versneld. De corrosieproducten slaan neer op de stalen verdampervaten waardoor de corrosie van het staal eveneens wordt versneld. Door constructieve wijzigingen en dosering van sulfiet is het zuurstofgehalte inmiddels verlaagd.
10. Erosie-corrosie in de stalen verdampervaten treedt vooral op aan bodems, doorvoeropeningen

voor de brijn en tussenwanden.
Geleidelijk worden de meest kwetsbare delen bekleed met, of vervangen door roestvast staal.

8.6.2 Texel

1. De waterkasten zijn oorspronkelijk bekleed geweest met glasvezelgewapende polyester. Dit materiaal voldeed niet en werd vervangen door glasvezelgewapende epoxy. Ook dit materiaal voldeed niet (onvoldoende hechting, scheuren) zodat thans overgegaan wordt op een bekleding met cupronikkel.
2. Door achtergebleven vuil dat tijdens de constructie is geïntroduceerd in de brijnverwarmer werden een tiental pijpen in deze brijnverwarmer niet of althans minder goed doorstroomd.
In deze pijpen traden zodanig ernstige sulfaat-afzettingen op dat deze pijpen niet meer werden doorstroomd.
3. In de hoge temperatuurzone werden in zeven verdampingskamers de stalen brijndoorstroomopeningen vervangen door roestvast stalen doorstroomopeningen.
Tevens werden in deze kamers roestvast stalen spatschermen aangebracht.

8.6.3 Rijnmond

1. De hechting van glasvezelgewapende epoxy-bekleding van de waterkasten laat te wensen over, waarschijnlijk door de penetratie van chloriden in het staal. Mogelijk is het staal vooraf onvoldoende zorgvuldig gereinigd.
2. Het restchloorgehalte in het verdampervoedingwater te Rijnmond bedraagt ca. 3 mg/l.
Dit is aan de hoge kant, hetgeen mogelijk de oorzaak is geweest van het verhoogde kopergehalte van het destillaat, als gevolg van uitwendige aantasting van de verdamperpijpen.
Inmiddels is dit verholpen door toevoeging van

natriumsulfiet waardoor tevens een verlaging van het zuurstofgehalte is bereikt.

8.7 Aanbevelingen

Door uitwisseling van ervaringen zijn de exploitanten van de drie in dit rapport beschouwde installaties gekomen tot een aantal aanbevelingen betreffende de bedrijfsvoering.

De belangrijkste van deze aanbevelingen zijn de volgende:

8.7.1 Brijnrecirculatie

Uit erosie-overwegingen wordt een maximum snelheid van het brijn in de pijpen aangehouden van circa 2 m/sec.

Anderzijds dient deze snelheid ook weer niet te laag gekozen te worden daar dan de kans op de vorming van afzettingen toeneemt.

Een minimum snelheid van 1,3 m/sec. wordt aanbevolen.

8.7.2 Maximum brijntemperatuur

Unaniem zijn de exploitanten van mening dat de corrosieproblemen sterk toenemen bij verhoogde brijntemperatuur.

Daarom wordt de theoretische maximum brijntemperatuur van 120°C in werkelijkheid teruggebracht tot 113 à 116°C.

8.7.3 Restzuurstofgehalte in het brijn

Gestreefd moet worden naar een zeer laag restzuurstofgehalte; indien mogelijk niet hoger dan 10 à 15 µg/l. Indien de werking van de ontgasser in deze onvoldoende is dient het doseren van reductiemiddelen (FeSO_4 , Na_2SO_3) te worden overwogen.

8.7.4 Zuurgraad van het brijn

De pH van het brijn dient bij voorkeur hoger dan 7,5 te zijn. Bij een pH hoger dan 9 ontstaat gevaar voor afzetting van aluminiumhydroxide op de pijpen.

8.7.5 Bestrijding van afzettingen in de verdamperpijpen

Dit is een zeer belangrijke zaak.

Bestrijding van afzettingen kan geschieden door:

- niet te lage snelheden in de pijpen (zie 8.7.1),
- niet te hoge temperaturen van het brijn (zie 8.7.2),
- het installeren van een Taprogge reinigingssysteem. Dit is een installatie waarmee de vorming van afzettingen op de pijp wand vertraagd wordt met behulp van sponsrubber ballen die van tijd tot tijd door de pijpen gevoerd worden,
- het van tijd tot tijd toedienen van een hoeveelheid zuur (pH 2 à 2,5 gedurende 15 à 20 minuten, binnen 24 uur nogmaals herhaald),
- het van tijd tot tijd uit bedrijf nemen en reinigen van de installatie. Dit reinigen kan geschieden mechanisch (borstelen), hydraulisch (water-jet-cleaning) of chemisch (beitsen).
- het doseren van zogenaamde anti scaling agents. De ontwikkelingen op dit gebied gedurende de laatste jaren zijn veelbelovend.

8.7.6 Dagelijkse controle

Behalve de routinematige analyses en metingen dient dagelijks een controle plaats te vinden op:

- corrosie, door de ijzer- en kopergehalten van de brijnspui te bepalen,
- afzettingen in de pijpen door het specifiek warmteverbruik en/of het drukverlies over de verdamperpijpen te bepalen.

TABEL 3 : BELANGRIJKSTE GEGEVENS.

	Terneuzen	Texel	Rijnmond
Eigenaar	N.V. PZEM, Middelburg	N.V. Texelstroom, Den Burg	N.V. Afvalverwerking, Rijnmond
<u>Stoomketels :</u>			
aantal	1	2	6
fabrikaat	Schelde CE	Schelde CE	Schelde-Rotterdamse Droogdok Mij.
type	VU 60	VP 12	"Düsseldorf"
brandstof	aardgas	stookolie	huis- en industrievuil
stoomproduktie	1 x 135 ton/uur	2 x 40 ton/uur	6 x 35 ton/uur
stoomconditie	105 ata, 520 °C	63 ata, 465 °C	28 ata, 360 °C
<u>Turbogeneratoren :</u>			
aantal	1	2	3
fabrikaat	Stork-Smit	English Electric	Brown Boveri (RMD)
type	tegendruk	aftap-condensatie	2 x tegendruk 1 x aftapcondensatie
bruto opgewekt vermogen	1 x 25 MW	2 x 7,5 MW bij gesloten aftap	2 x 14 MW 1 x 27,4 MW bij gesloten aftap

Vervolg tabel 3	Terneuzen	Texel	Rijnmond
maximale secundaire stoomhoeveelheid	1 x 115 ton/uur	2 x 13 ton/uur	3 x 60 ton/uur
secundaire stoomconditie voor insputing	3 ata, 135 °C, 1,5% verz.	2,6 ata, 160 à 190 °C	2,5 ata, 140 à 180 °C
Zeewaterverdampers aantal	2	1	3
ontwerp	Werkspoor Water Amsterdam	Tebhin Haarlem	Piecon controleerde de uitvoering
fabrikaat	Werkspoor Amsterdam	Begeman Helmond	engineering: Werkspoor Water/Aqua Chem. IHC
type	MSF long tube	MSF long tube	MSF long tube
maximum brijntemperatuur	120 °C	120 °C	120 °C
maximum brijnrecirculatiehoeveelheid	2 x 4.600 ton/uur	1 x 1.000 ton/uur	3 x 3.900 ton/uur
maximum destillaatproduktie	2 x 600 m ³ /uur	1 x 130 m ³ /uur	3 x 540 m ³ /uur
destillaat/stoomverhouding	10,6 op 1	10 op 1	9 op 1
elektriciteitsverbruik bij vollast	2 x 2,25 MW	1 x 0,475 MW	3 x 1,55 MW

Vervolg tabel 3	Terneuzen	Texel	Rijnmond
<p><u>Pijpmateriaal</u> kondensor sekties opwarm sekties brijnverwarmers</p>	<p>cupronikkel 70-30 cupronikkel 90-10 cupronikkel 90-10</p>	<p>cupronikkel 90-10 aluminium messing cupronikkel 90-10</p>	<p>cupronikkel 90-10 cupronikkel 90-10 cupronikkel 90-10</p>
<p>Taprogge systeem destillaat kwaliteit</p>	<p>geïnstalleerd op alle sekties</p> <p>≤ 5 mg/l TDS ≤ 0,05 mg/l Fe ≤ 0,05 mg/l Cu</p>	<p>niet aanwezig</p> <p>≤ 25 mg/l TDS ≤ 0,1 mg/l Fe ≤ 0,05 mg/l Cu</p>	<p>niet aanwezig</p> <p>≤ 1 mg/l TDS ≤ 0,1 mg/l Fe ≤ 0,05 mg/l Cu ≤ 0,01 mg/l Si</p>

TABEL 4 : BEHANDELING VAN KOELWATER EN VAN VERDAMPERVERVOEDINGWATER

	Terneuzen	Texel	Rijnmond
Verwijdering van drijvende en zwevende stoffen	grofrooster in pompstation fijnrooster maaswijdte 80 micron op centraletterrein	grofrooster olievanger bezinkbassin van 3 ha tweede grofrooster fijnrooster maaswijdte 2 mm	grofrooster fijnrooster maaswijdte 4 mm
Overige behandeling koelwater	chloordosering ter bestrijding van mosselgroei; opwarming door recirculatie tot 20 °C	chloordosering ter bestrijding van mosselgroei; opwarming door recirculatie tot 20 °C	verwarming door recirculatie systeem tot 24 °C
Behandeling verdampervoedingwater	zoutzuurdosering automatische pH-regeling ontgassing zuurstofstrippen onder vacuüm	zwavelzuurdosering handbediende pH-regeling ontgassing zuurstofstrippen onder vacuüm	breekpuntschlooring ter afbraak van ammoniak zwavelzuurdosering automatische pH-regeling ontgassing zuurstofstrippen onder vacuüm
Konditie verdampervoedingwater na behandeling	restchlorogehalte 0,1 mg/l restzuurstofgehalte 150 µg/l	restchlorogehalte 0,05 mg/l restzuurstofgehalte 25 µg/l	restchlorogehalte < 3 mg/l restzuurstofgehalte 25-75 µg/l
Nabehandeling en opslag destillaat	geen nabehandeling geen opslag	opharding tot 2,5 °D menging met grondwater in voorraadkelders met een inhoud van 2.800 m ³	geen nabehandeling 2 opslagtanks van ieder 15.000 m ³
Gebruiksdoel destillaat	industriewater	drinkwater	industriewater

Vervolg tabel 4	Terneuzen	Texel	Rijnmond
Normale wijze van exploitatie van de verdamper	kontinu vollast brijtemperatuur 115 °C	's zomers vollast 's winters deellast brijtemperatuur 115 °C	produktie wordt bepaald door aanbod brandstof en door afname destillaat waardoor sterk wisselende bedrijfsvoering. In principe produceren twee verdamperen terwijl de derde stand-by staat. Brijtemperatuur 115 °C
Datum in bedrijfsname	maart 1969	september 1972	april 1973

9. PRODUKTIEKOSTEN

9.1 Inleiding

Indien men de produktiekosten voor het ontziltten met behulp van een verdamperinstallatie wenst te bepalen, verdient het de voorkeur uit te gaan van de gegevens van reeds gebouwde installaties.

Om een vergelijking van een te bouwen verdamperinstallatie met één of meer bestaande installaties te maken, is het noodzakelijk alle kostprijsbepalende factoren tot eenzelfde basis te herleiden.

Het hierna te behandelen rekenschema is op het bovenstaande gebaseerd.

Het rekenschema is opgebouwd uit twee delen:

1^e Het begroten van de investering voor nog te bouwen verdamperinstallaties.

2^e De berekening van de kostprijs voor het produkt. Uit de benodigde investeringen voor nog te bouwen installaties of de berekende investeringen voor bestaande installaties kan de kostprijs per m³ produkt worden berekend.

9.2 Grondslagen voor de berekening

9.2.1 Technische basis-informatie

De begroting voor de investering voor een verdamperinstallatie moet worden gebaseerd op proces-, leidingen- en instrumentatieschema's.

Op deze schema's moeten alle belangrijke procesgegevens, de te installeren hoofdapparatuur, leidingen en instrumenten worden vermeld.

Deze basisinformatie is noodzakelijk om de afmetingen, capaciteiten en werkcondities voor de apparatuur vast te stellen.

Aan de hand van de basisinformatie moet een gedetailleerde lijst van de hoofdapparatuur worden opgesteld, waarop de investering voor ieder te installeren onderdeel, inclusief reserve delen, wordt vermeld.

9.2.2 Gegevens voor de kostprijsberekening

De volgende gegevens zijn van belang:

- 1^e De produktiecapaciteit per verdampereenheid in m³/h.
- 2^e De kwaliteitseisen te stellen aan het produkt (mg/l opgeloste stoffen).
- 3^e De benodigde hoeveelheid koelwater in m³/h.
- 4^e Samenstelling van het koelwater (mg/l opgeloste stoffen).
- 5^e Hoeveelheid spuiwater in m³/h.
- 6^e Samenstelling van de spui (mg/l opgeloste stoffen).
- 7^e Elektriciteitsverbruik (MJ).
- 8^e Warmteverbruik in kJ/h (eventueel stoomverbruik in ton/h met de stoomcondities).
- 9^e Personeelsbezetting.
- 10^e Lijst van de hoofdapparatuur.
- 11^e Proces-, leidingen- en instrumentatieschema's.
- 12^e Opstellingstekeningen.
- 13^e Prognose van de waterbehoefte.

9.2.3 Capaciteit van de verdamperinstallatie

Voor de meeste installaties dalen de produktiekosten, naarmate de capaciteit van de installatie toeneemt, aangezien in het algemeen de investering en de arbeidskosten per m³ produkt afnemen, naarmate de geïnstalleerde capaciteit toeneemt.

Het spreekt voor zich zelf, dat om redenen van bedrijfszekerheid het gewenst zal zijn de totale produktiecapaciteit te verdelen over meerdere eenheden.

9.2.4 De opbouw van de kostprijs

9.2.4.1 De vaste kosten

De vaste kosten worden gevormd door de totale investering per geproduceerd m³ produkt.

De totale investering is opgebouwd uit:

- 1^e De investering voor de verdamper(s) zelf.
- 2^e De investering voor de nabehandelinginstallatie.
- 3^e Het civieltechnisch werk,
 - a) Koelwater inlaat.
 - b) Uitlaatwerk voor koelwater en spui.
 - c) Gebouwen.
 - etc.

- 4^e Het werktuigbouwkundige werk.
- 5^e Het elektrotechnische werk.
- 6^e Grondaankoop.
- 7^e Opstartkosten.

9.2.4.2 De operatie (variabele) kosten

De variabele kosten worden gevormd door de kosten voor het maken van een m³ produkt.

De kosten zijn:

- 1^e De kosten voor elektrische energie.
- 2^e De kosten voor de warmte (stoom).
- 3^e Chemicaliën kosten.
- 4^e De kosten voor bediening.
- 5^e Het onderhoud.

9.3 De investeringen

9.3.1 De verdamper(s) zelf

De vaste kosten worden voor een belangrijk deel bepaald door investering voor een bedrijfsklare verdamperinstallatie.

De investering hiervoor wordt begroot op basis van het ontwerp, waarvan de gegevens zijn weergegeven op proces-, leidingen- en instrumentatieschema's en de opstellingstekeningen.

Indien men de beschikking heeft over gegevens van soortgelijke installaties kunnen deze nuttig zijn bij het opstellen van de begroting.

Opmerking: Reserve apparatuur, (reserve pompen etc.) die is geïnstalleerd of opgeslagen, teneinde een continue waterlevering te kunnen garanderen, wordt beschouwd als zijnde een deel van de verdamperinstallatie.

9.3.2 De nabehandelingsinstallatie

Indien het produkt wordt gebruikt als proces water is in het algemeen nabehandeling niet noodzakelijk. Bij toepassing van het produkt als drinkwater moet in de begroting rekening worden gehouden met een

koel-, een koelfiltratie- en/of een ophardingsinstallatie. Deze installatie kan op eenzelfde wijze worden begroot als de verdamper(s) zelf.

9.3.3 Koelwatervoorziening en behandeling

Er moet worden nagegaan of voldoende koelwater beschikbaar is.

Het verdient aanbeveling het koelwater te zeven en/of over filters te leiden, zodat vissen, vaste delen en andere verontreinigingen worden verwijderd. Het gereinigde water wordt vervolgens naar de verdampers verpompt.

Indien algen- en/of mosselgroei in de koelwateraanvoer wordt verwacht moet een chloordoseerinstallatie in de begroting worden opgevoerd.

Voorzieningen t.a.v. de koelwatervoorziening en behandeling worden niet gerekend te behoren tot de verdamper(s) zelf.

9.3.4 De opslag van het produkt

De benodigde opslag voor het produkt is afhankelijk van het aantal verdampereenheden waaruit de totale installatie is opgebouwd en de te verwachten onregelmatigheid van de afname door het voorzieningsgebied. Om continue levering te kunnen garanderen zal de opslagcapaciteit groter moeten worden gekozen, naarmate het aantal verdampereenheden kleiner is.

9.3.5 Diensten faciliteiten en gebouwen

Voor een verdamperinstallatie, die geen deel uitmaakt van een reeds bestaand complex, moeten een magazijn, onderhoudswerkplaats, laboratorium, kantoor etc. beschikbaar zijn.

9.3.6 Energie en stoom

Voor een autonome verdamperinstallatie, kan het noodzakelijk zijn, dat in eigen energie moet worden voorzien. In dit geval moet in de investering reke-

ning worden gehouden met de bouw van een centrale, welke de verdamper kan voorzien van stoom en elektrische energie.

Voor het rekenschema wordt er van uitgegaan dat voldoende stoom en elektrische energie beschikbaar is en kan worden ingekocht.

9.3.7 Opstartkosten

Voor grote installaties moeten ook tijdens de aanloopperiode, terwijl de produktie laag en intermitterend is, lonen en bedrijfskosten worden betaald. Deze kosten kunnen worden opgevat als een investering.

Aangezien de kosten van het opstarten een klein deel vormen van de totale kostprijs, worden deze kosten in het rekenschema verwaarloosd.

9.3.8 Onvoorzienne kosten

Onvoorzienne kosten worden opgevoerd als een vast percentage van de investeringen genoemd onder 9.3.1 t/m 9.3.6.

9.3.9 Engineering

De kosten voor ontwerp; teken-, inkoop- en toezichtwerkzaamheden vormen ook een investering.

De kosten hiervoor kunnen worden opgebracht als vast percentage van de investeringen genoemd onder 9.3.1 t/m 9.3.8.

Voor grote installaties zal dit percentage circa 10% bedragen, terwijl voor kleinere installaties deze kosten kunnen oplopen tot 20%.

9.3.10 Fabrieksterrein

De grondkosten zijn afhankelijk van de plaats van vestiging.

De grondkosten kunnen worden begroot op basis van het benodigde grondoppervlak, de plaatselijk geldende prijs per m², de kosten van ontsluiting en bouwrijpmaken.

9.3.11 Rente op de investeringen tijdens de bouwperiode

Tijdens de bouwperiode moeten investeringen worden gedaan, waar geen inkomsten tegenover staan. Deze bouwrente moet in rekening worden gebracht. Voor vergelijkingsdoeleinden kan worden aangenomen dat de gemiddelde bouwperiode 18 maanden bedraagt. Bij aannname, dat de investeringen gelijkmatig over de bouwperiode zijn verdeeld, wordt de bouwrente $\frac{1,5}{2} = 0.75$ van de jaarrente over de totale investering.

9.4 De kostprijs van het produkt

9.4.1 Grondstoffen

In het rekenschema wordt aangenomen, dat zee- of brak water gratis in voldoende hoeveelheid aanwezig is.

Wel moet er op worden gelet, dat rechten kunnen worden geheven voor het lozen van verontreinigd koelwater (spui).

Het onderhoud en de bediening van de in- en uitlaatuwerken moeten in de bedrijfskosten worden opgenomen.

9.4.2 Elektrische energie

Afhankelijk van de plaats van vestiging en capaciteit van de verdamperinstallatie, dus het opgestelde vermogen, moet worden gerekend met het plaatselijk vastrecht en de kWh tarieven.

9.4.3 Stoom

De kostprijs van de stoom is afhankelijk van de situatie.

Indien de stoom moet worden opgewekt in een stoomgenerator, die alleen stoom voor de verdamperinstallatie levert, zullen de stoomkosten hoog zijn. In vele gevallen is het mogelijk goedkope stoom, onder lage druk te betrekken van een nabij gelegen installatie.

De in te zetten stoomprijs moet dus van geval tot geval worden bekeken.

9.4.4 Chemicaliën

De kosten voor chemicaliën, zoals zuur of polyfosfaat voor de voedingwaterbehandeling, chloor voor de koelwaterbehandeling en actieve kool, dolomiet en CO₂ voor behandeling van het produkt (drinkwater), moeten afzonderlijk worden begroot en worden opgevoerd.

9.4.5 Materialen voor onderhoud, reserveonderdelen en andere behoeften

Deze materialen zijn noodzakelijk om de installatie in bedrijf te houden.

Deze post omvat reserveonderdelen, verf, oliën en vetten, kantoorbehoeften etc.

9.4.6 Bedieningspersoneel

De kosten voor bediening kunnen worden begroot op basis van het benodigde personeel.

Bij kleine verdamperinstallaties, welke deel uitmaken van een fabriekscomplex, kan het reeds beschikbare personeel tevens de bediening van de verdamper(s) verzorgen.

Voor grote verdamperinstallaties, bestaande uit meerdere eenheden, zal in de meeste gevallen extra personeel aangetrokken moeten worden.

Het salarisaandeel in de kostprijs dient dus van geval tot geval te worden bekeken.

9.4.7 Onderhoudswerkzaamheden

De kosten voor het onderhoud van de verdamperinstallatie kunnen worden geschat op 1.5% per jaar van de totale vervangingswaarde voor de compleet werkende verdamperinstallatie.

9.4.8 Overhead_kosten

In deze post worden administratieve en kantoorwerkzaamheden verrekend.

Deze overheadkosten kan men begroten op 30% van de arbeidskosten voor bediening en onderhoud.

9.4.9 Amortisatie

De afschrijving is afhankelijk van de te hanteren normen.

De industrie zal in het algemeen over een kortere periode afschrijven dan de werkelijke levensduur van de installatie.

Overheidsbedrijven zullen de installatie in het algemeen afschrijven over de werkelijke levensduur, welke circa 20 jaar bedraagt, volgens de annuïteiten methode.

9.5 Aanvullende overwegingen

9.5.1 Herleiding van de kostprijs

De basis voor het begroten van de totaal benodigde investering voor de verdamperinstallatie en de kostprijs van het produkt is onder 9.2 t/m 9.4 weergegeven.

Om verschillende installaties met elkaar te kunnen vergelijken is het gewenst om de investeringen uit te drukken in guldens per m³ dagelijkse produktie en de kostprijs per m³ produkt.

9.5.2 De beschikbaarheid van de verdamperinstallatie

Een verdamperinstallatie kan niet gedurende 365 dagen per jaar in bedrijf zijn. De installatie zal periodiek uit bedrijf moeten voor onderhoudswerkzaamheden. Indien meerdere verdampers parallel staan, gecombineerd met een opslag voor het produkt, behoeft dit geen stagnatie in de waterlevering te geven.

Moderne verdampers halen een bedrijfstijd van 8200 uur per jaar, of een beschikbaarheid van 8200: (365 x 24) x 100% = 93,6%

Indien jaarlijks een bepaalde hoeveelheid moet worden

geproduceerd moet de uurcapaciteit op de beschikbaarheid worden afgestemd, waarbij met een bedrijfstijd van 8200 uur moet worden gerekend.

Een waarschuwing moet worden toegevoegd t.a.v. de nominale capaciteit van een verdamper. Hoewel in theorie de nominale capaciteit van een verdamper te handhaven is over de maximale bedrijfstijd (8200 uur), wijst de praktijk uit dat t.g.v. vervuiling, onderbezetting en bedieningsfouten het beter is te rekenen met 95 % van de nominale capaciteit. De jaarproduktie wordt gebaseerd op 8760 uur per jaar en de nominale capaciteit op 93,6 % van 95 % is 89 %.

9.5.3 Nauwkeurigheid van de berekening

Absolute nauwkeurigheid van de kostprijsberekening voor nog te bouwen installaties is volgens het behandelde schema niet mogelijk.

De toegepaste methode is echter goed bruikbaar om diverse installaties met elkaar te vergelijken.

9.6 Rekenschema

9.6.1 Investerings

1 ^o	Hoofdapparatuur verdamper	: f.
2 ^o	Reserve apparatuur	: f.
	Totaal hoofdapparatuur verdamper	<hr/> f.
3 ^o	Leidingwerk, montage en samenbouw installatie circa 30% van 1 ^o + 2 ^o	: f.
4 ^o	Instrumentatie en elektrische installatie circa 10% van 1 ^o + 2 ^o	: f.
	Totaal verdamperinstallatie	<hr/> : f.
	<u>Bijkomende investeringen</u>	
5 ^o	Nabehandelingsinstallatie	: f.
6 ^o	Koelwatervoorzieningen inclusief in- en uitlaatwerk	: f.
	Transport	: f.

	Transport	: f.	
7°	Produktopslag	: f.	
8°	Diensten faciliteiten en gebouwen circa 10% van 1° + 2°	: f.	
9°	Onvoorzien circa 10% van 1° t/m 8°	: f.	
10°	Engineering circa 10% van 1 t/m 9	: f.	
11°	Aankoop bouwterreinen	: f.	
12°	Bouwrente X % van de investering zijnde de som van 1° t/m 11°	: f.	+
	Investering voor de installatie	: f.	
13°	Opstartkosten Operatiekosten voor circa 2 maanden Productie	: f.	+
	Totale investering	: f.	
	Berekend uit de totale investering de investering per m ³ /dag produktie	: f.	/m ³ /dag

9.6.2 De kostprijs

Basis 8200 bedrijfsuur/jaar
De kosten worden berekend per bedrijfsuur.

9.6.2.1 Variabele kosten

1°	Elektrische energie X MJ à f. / MJ	: f.
2°	Stoom y ton/h à f. /ton	: f.
3°	Chemicaliën	: f.
4°	Reserve onderdelen en onderhouds materi- alen circa 0,75% per jaar over de	
	Transport	: f.

	Transport	: f.
	totale investering van de installatie (hst. 6.1 post 1 t/m 12) gerekend over 8200 uur.	: f.
5°	Bedieningskosten Totale jaarlijkse kosten voor het be- dienend personeel omgeslagen over 8200 uur.	: f.
6°	Onderhoudskosten circa 1,5% per jaar over de totale ver- vangingswaarde van de installatie (zie 9.6.1 post 1 t/m 12) gerekend over 8200 uur	: f.
7°	Extra kosten voor overwerk etc. circa 15% van de som van post 5° en 6°	: f.
8°	Overhead kosten voor administratie circa 30% van post 1° t/m 7° dus ook over energie en chemicaliën	: f.
	Variabele kosten	: f.
<u>9.6.2.2 Vaste kosten</u>		
1°	<u>Amortisatie</u> Te berekenen over de totale investering van de installatie. (hst. 9.6.1 post 1 t/m 12) Omgelagen over 8200 bedrijfsuren/jaar	: f.
2°	Verzekeringen Omgelagen over 8200 bedrijfsuren/jaar	: f.
3°	Renteverlies over de opstartkosten Omgelagen over 8200 bedrijfsuren/jaar	: f.
	Vaste kosten/uur	: f.
<u>9.6.2.3 De kostprijs van het produkt</u>		
	De kostprijs van het produkt is de som van hst. 9.6.2.1 en hst. 9.6.2.2	
	Variabele kosten (hst. 9.6.2.1)	: f.
	Vaste kosten (hst. 9.6.2.2)	: f.
	Totaal	: f.

Berekend uit de kostprijs per bedrijfsuur de kostprijs per m³ produkt f. /m³.

9.7 Nabeschuwing

Tot voor kort werden ontziltingsinstallaties gebouwd met overzetverhoudingen van 7 op 1 tot 10 op 1.

De installaties met een groot warmteverbruik waren relatief iets goedkoper in investeringskosten en een lage stoomprijs was dan meestal de reden om verdampers te installeren met overzetverhoudingen lager dan het maximaal mogelijke.

Sinds de oliecrisis is echter het beeld drastisch veranderd en met de huidige kosten voor warmte zal de hogere investering om een lager warmteverbruik te bereiken een zeer ondergeschikte rol spelen. Het blijkt dat met dit aspect tot nu toe nog onvoldoende rekening wordt gehouden.

Helaas is echter het verder opvoeren van de economie met de conventionele verdamper praktisch niet mogelijk boven een overzetverhouding van 12 op 1.

Het is daarom vanzelfsprekend dat in de gehele wereld wordt gezocht naar mogelijkheden om de overzetverhouding belangrijk te verhogen, waarbij opvalt dat dit bij destillatieprocessen aanleiding geeft tot een vertikale bouwwijze van de installaties.

Als exponenten van deze nieuwe types kunnen worden genoemd:

- Meer-effect sproeiverdampers met boven elkaar liggende effecten.
- Meertraps-ontspanverdampers met gefluïdiseerd-bedwarmtewisselaar.

Het ziet er naar uit dat in de toekomst, met bovengenoemde type verdampers overzetverhoudingen van 20 op 1 of zelfs hoger kunnen worden bereikt; dit maakt het dan mogelijk om de warmtekosten tot de helft van de huidige kosten te verminderen.

Hoe belangrijk de invloed van de warmtekosten is op de kostprijs van het geproduceerde destillaat volgt uit bijlage II.

Deze bijlage is het resultaat van een uitgebreide studie, uitgevoerd in opdracht van de VEEN en de VEWIN, betreffende de kosten die verbonden zijn aan waterontziltling gecombineerd met elektriciteitsopwekking.

Het blijkt dat bij een grote verdampingsinstallatie gecombineerd met conventionele elektriciteitsopwekking de kostprijs van het vervaardigde drinkwater, medio 1976, f. 2,50 à f. 2,65 per m³ bedroeg.

10. TRANSPORT, OPSLAG EN METING

10.1 Algemeen

Gedestilleerd water, dat geen nabehandeling heeft ondergaan, is agressief ten opzichte van kalk, evenals ten opzichte van ijzer. Dat wil zeggen, dat buizen, vervaardigd uit beton, asbest-cement, gietijzer en staal niet in onbeschermd toestand voor het transport in aanmerking komen.

Toegepast kunnen worden:

- a inwendig beschermde stalen buizen,
- b buizen van non-ferro-metalen,
- c buizen van thermoplastische kunststoffen,
- d inwendig beschermde gewapend-betonnen buizen,
- e met glasvezel versterkte kunststof buizen.

De keuze wordt bepaald door de eisen die de installatie van elk afzonderlijk project stelt, hetzij bovengronds, hetzij ondergronds, de drukk niveau's en de agressiviteit van de vloeistof.

- a Inwendig beschermde stalen buizen.
Hierover kan het volgende worden opgemerkt:
 - de aanlegkosten zijn hoog,
 - de kwaliteit van de bescherming bij hogere temperatuur valt tegen. Aan de oppervlaktebehandeling en de aanhechting van de beschermingslaag aan het staal worden zware eisen gesteld bij optredend vacuum,
 - hieruit volgen hoge onderhoudskosten.
- b Buizen van non-ferro-metalen.
Deze zijn eenvoudig aan te brengen, maar duur. Voor diameters tot 50 mm, in een koperlegering of zelfs roestvast staal, is de kostenverhouding met kunststoffen gunstig, maar boven deze diameter vormen zij meestal een onaantrekkelijk alternatief.
- c Buizen van thermoplastische kunststoffen.
Deze buizen zijn goed bestand tegen de corrosieve werking van gedestilleerd water. Onder de thermoplasten is PVC een financieel aantrekkelijk

materiaal voor buizen. Bezwaren die aan dit materiaal kleven zijn de lagere toelaatbare spanning bij hogere temperaturen en de grote uitzettingscoëfficiënt. In punt 10.2 wordt hier nader op ingegaan aan de hand van een praktijkgeval. In gevallen dat PVC in verband met de hoge temperaturen niet kan worden toegepast kan men de PVC-buizen versterken met een glasvezelgewapende polyesteromwikkeling aan de buitenzijde. In dat geval wordt de hoge weerstand tegen corrosie van PVC gecombineerd met de mechanische sterkte van glasvezelgewapend polyester.

- d Inwendig beschermde gewapend-betonnen buizen. Evenals bij stalen buizen het geval is, geeft de aanhechting van de beschermingslaag problemen. Voor het transport van gedestilleerd water zijn zij om deze reden niet aan te bevelen.
- e Met glasvezel versterkte kunsthars buizen. Met glasvezel versterkte polyester- en epoxy kunstharsen bezitten goede mechanische eigenschappen. In de eerste plaats de weerstand tegen hoge temperaturen en hoge drukken, in de tweede plaats heeft men door de relatief geringe uitzettingscoëfficiënt minder constructieve problemen dan bij PVC. Een bezwaar van deze materialen is de, op dit moment, nog vrij hoge prijs.

10.2 Transport

In het navolgende wordt een overzicht gegeven van de toegepaste transportsystemen bij de waterfabriek te Terneuzen en de Rijnmond-verdamper te Rotterdam.

Het destillaat van de waterfabriek te Terneuzen wordt getransporteerd door twee PVC-leidingen, ieder met een diameter van 400 mm en een wanddikte van 11,7 mm.

PVC is een thermo-plastische kunststof. Dat wil zeggen, dat de toelaatbare inwendige druk lager wordt naarmate de temperatuur hoger wordt.

Het water, dat de Waterfabriek te Terneuzen verlaat, heeft een temperatuur van 37°C. Bij deze temperatuur is de toelaatbare bedrijfsdruk voor deze buizen 4,5 ato.

De rubbermanchetten zijn vervaardigd van styreenbutadieenrubber. Dat wil niet zeggen, dat andere rubbersoorten minder geschikt zouden zijn voor toepassing bij gedestilleerd water. Geadviseerd wordt in voorkomende gevallen contact op te nemen met de fabrikant van de rubberringen.

In het algemeen kan worden verwacht, dat in leidingen extra spanningen optreden ter plaatse van bochten, dijk- en slootkruisingen e.d. Om deze spanningen op te vangen is de leiding plaatselijk uitgevoerd in glasvezelgewapend polyester, gewikkeld rond een dunwandige PVC-buis diameter 400 mm met een wanddikte van 3 mm. De omwikkeling is 7 mm dik en maakt de buizen met een 6,75-voudige zekerheid geschikt voor een inwendige waterdruk van 10 ato.

De buisleiding bestaat nu ter plaatse van deze versterking uit PVC met een lineaire uitzettingscoëfficiënt van $6 \times 10^{-5} \text{ m'/m'.}^{\circ}\text{C}$ en glasvezelversterkt polyester met een uitzettingscoëfficiënt van $1,5 \text{ à } 2 \times 10^{-5} \text{ m'/m'.}^{\circ}\text{C}$. PVC zet dus 3 à 4 maal zoveel uit als polyester. Dit behoeft geen bezwaar te zijn. PVC is een thermoplast. Bij verhoging van temperatuur wordt de elasticiteitsmodulus, E, lager. Het materiaal gaat in feite iets verweken.

In dit verband is het tevens van belang, dat de PVC-buis dunwandig is. Dit beperkt de op het polyester overgebrachte krachten. De uiteinden van de met polyester versterkte bochten, C-stukken e.d. bestaan uit PVC-buis (400 x 376,6 mm).

De verbindingen kunnen zodoende tot stand worden gebracht met de normale dubbele moffen. In de leiding ingebouwde afsluiters zijn van binnen met Rilsan bekleed. De aansluiting aan de leiding geschiedt via met glasvezelgewapend polyester versterkte F-stukken.

In de praktijk blijkt dit niet te voldoen.

De flensverbinding tussen de beide, zo verschillende materialen (gietijzer en kunststof) is te star. In de nek van de kunststofflens ontstaan scheuren.

Beter is het, gebruik te maken van inwendige gecoate gietijzeren F-stukken met een dubbele mof voor de overgang op PVC.

Nagegaan is welke loodafgifte optreedt, uit het PVC naar het gedestilleerde water. Lood wordt hoofdzakelijk

afgegeven door een op de binnenzijde van de buis aanwezige zeer dunne en loodrijke laag. Het lood is afkomstig uit glijmiddelen en stabilisatoren.

Uit onderzoeken is gebleken, dat gedestilleerd water niet meer lood uit de buiswand opneemt dan drinkwater.

Onderzoeken in het Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene te Berlijn hebben aangetoond dat de loodafgifte aan Berlijns leidingwater zelfs groter was dan aan gedestilleerd, chloorhoudend water.

De afgifte van lood loopt met de tijd sterk terug tot waarden van 10 à 20 µg/l. Bij de onderzoeken in Berlijn werd deze waarde bereikt na 5 uur doorstroming (ref. 1-5).

De verhoogde loodafgifte van een nieuwe PVC-leiding is alleen van belang, wanneer het erdoor stromende water als drinkwater wordt gebruikt. In dat geval is voor het kiemvrij maken van de leiding na aanleg reeds zoveel spoelwater gebruikt, dat de grootste loodafgifte reeds heeft plaatsgevonden.

Het water van de verdamper in Terneuzen wordt tot nu toe hoofdzakelijk gebruikt als ketelvoedingwater bij enkele industrieën.

Het destillaat van de Rijnmondverdampers wordt naar de afnemers getransporteerd door buizen, vervaardigd uit met glasvezels versterkte epoxy-hars. De bovengrondse terreinleidingen zijn vervaardigd van met glasvezel-versterkt polyesterhars. De redenen hiervoor zijn lagere prijs, de eenvoudigere verwerkbaarheid en de geringe uitwendige belastingen. De redenen, dat voor de ondergrondse leidingen in het Euro-poort gebied, buiten het eigen terrein, met glasvezel-versterkte epoxyhars is toegepast in plaats van het goedkopere PVC zijn:

- de gekozen diameter is 600 mm. De benodigde wanddikte is in verband met de relatief hoge temperatuur groter dan normaal gebruikelijk. Bij de vereiste wanddikten ontstaat bij het extruderen van PVC de kans op luchtinsluitingen;
- bij de talrijke kruisingen met andere leidingen liggen de buizen op diepten van 2,5 m' en meer. Op deze diepten zijn in het Rijnmondgebied de buizen naderhand moeilijk bereikbaar voor reparaties.

- in het Europoortgebied liggen zeer veel ondergrondse kabels en leidingen. De bereikbaarheid van de leiding wordt ook hierdoor belemmerd. Tevens is de kans op mechanische beschadiging groot, omdat veelvuldig in de grond wordt gewerkt. Met glasvezelversterkte epoxy is beter bestand tegen mechanische beschadiging dan PVC.

In de leiding is het gebruik van gietijzeren hulpstukken zoveel mogelijk vermeden. Waar dit materiaal toch is toegepast, zoals bij afsluiters, is het inwendig met rubber bekleed.

Ten behoeve van het uitbouwen van afsluiters is gewerkt met rubber expansiestukken. Alle verbindingen zijn trekvast uitgevoerd. De reden hiervoor is, dat in het Europoortgebied de vele ondergrondse leidingen op onderlinge afstanden van 40 cm liggen. Bij ontgraving naast de destillaatleiding zal geen zijdelingse steun meer aanwezig zijn.

Uitbuiging in zijdelingse richting zal, dankzij de trekvaste uitvoering, worden beperkt. Trekvaste verbindingen hebben als nadeel, dat lengteveranderingen door temperatuurschommelingen gedeeltelijk worden verhinderd.

De ten opzichte van PVC geringe uitzettingscoëfficiënt van epoxy is hierbij een voordeel.

De verbindingen zijn uitgevoerd met afdichtingsringen van neoprene.

10.3 Opslag

Bij het ontwerpen van een ontspanverdamper dient men ervan uit te gaan, dat deze een aantal malen per jaar al of niet voorspelbaar uit produktie is.

In het contract tussen waterleverancier en afnemer zal moeten worden vastgelegd, welke frequentie en tijdsduur van onderbrekingen in de levering toelaatbaar worden geacht.

Hiervan uitgaande zal het in vele gevallen noodzakelijk zijn een zekere voorraad van het produkt aan te leggen. Bij het ontwerp van de reservoirs moet rekening gehouden worden met de hogere temperatuur en de agressiviteit van het water.

Bij reservoirs van gewapend beton kan het relatief grote temperatuursverschil tussen binnen- en buitenzijde van de konstruktie leiden tot scheurvorming. De bekleding, welke men aan de binnenzijde van het betonnen reservoir aanbrengt kan hierdoor eveneens scheuren en zal dan plaatselijk de beton niet meer beschermen. De bekleding zal zelf ook door optredende temperatuursveranderingen uitzetten en krimpen. Om losraken van de wand te voorkomen dient een goede hechting te bestaan tussen konstruktiemateriaal en bekleding. Het verdient bij toepassing van beton dan ook aanbeveling, het beton van zijn buitenste cementhuid te ontdoen door middel van stralen.

Om scheuren van de beschermlaag te voorkomen zal deze een zekere blijvende elasticiteit moeten hebben. Deze blijvende elasticiteit moet ook in een milieu van gestedilleerd water verzekerd zijn.

Bij het ontwerpen van stalen reservoirs moet er op worden gelet, dat aan de binnenzijde geen scherpe konstruktiedelen voorkomen. Naden tussen de konstruktiedelen moeten alle worden dichtgelast voor het conserveren.

Een apart probleem bij stalen reservoirs is het verschijnsel dat wordt genoemd: de koudeafdruk van de conservering.

Dit verschijnsel houdt verband met het grote temperatuursverschil tussen de stalen buitenwand en het warme destillaat dat in het reservoir is opgeslagen. Hierdoor is het mogelijk dat via de poriën van het conserveringsmiddel water condenseert tegen het koude stalen oppervlak.

De hierdoor veroorzaakte aantasting van het staal vermindert de hechting van de conservering.

Bij opslag in gesloten reservoirs zijn geen grote kwaliteitsveranderingen van het destillaat te verwachten.

Metingen te Terneuzen gedurende een periode van 6 weken lieten een afname zien van de pH van 8,4 naar 6,8, een toename van het zuurstofgehalte van 1,2 naar 5,5 mg/l, terwijl het geleidingsvermogen, het NH_3 - en het CO_2 -gehalte nagenoeg konstant bleven. (tabel 5)

Om eventuele verontreinigingen uit de buitenlucht tegen te gaan, is te overwegen, in gesloten reservoirs

een stikstofatmosfeer met een geringe overdruk boven het wateroppervlak te handhaven. Ter vermindering van verontreiniging door koolzuur van het destillaat bestemd voor industriële toepassing kunnen de be- en ontluchtingsopeningen worden voorzien van CO₂-filters, b.v. werkend met natronkalk. De weerstand van deze filters moet gering zijn om schade aan de reservoirs te voorkomen, tijdens het vullen en ledigen. Het verdient bovendien aanbeveling extra watersloten of breekplaten aan te brengen.

Een afwijkende vorm van opslag is toegepast in Zeeuwsch-Vlaanderen.

De afnemer van de totale produktie aan gedestilleerd water van de Waterfabriek te Terneuzen, de Watermaatschappij Zuid-West-Nederland had de beschikking over een open reservoir met een inhoud van ongeveer 60.000 m³. Dit reservoir wordt gebruikt voor de opslag van destillaat om grote onderbrekingen in de produktie van de waterfabriek te kunnen overbruggen. Bij optredende storingen wordt dit water door een diatomeeënfilterinstallatie geleid en als vervangend water geleverd aan de industrie.

De verblijfsduur in het reservoir varieert van enkele weken tot enkele maanden. De belangrijkste kwaliteitsveranderingen die het destillaat gedurende deze opslag ondergaat zijn:

- afkoeling tot de omgevingstemperatuur,
- verzadiging met zuurstof,
- oplossen van koolzuur 10-20 mg/l. Daarmee gaan gepaard een toename K₂₀ tot 10-20 µS/cm en een toename van het indampresidu tot 10-20 mg/l,
- toename van het silicaatgehalte tot 0,1-0,5 mg/l,
- toename van het zwevend stofgehalte (voornamelijk algen) tot 0,5-2 mg/l.

10.4 Meting

Gedestilleerd water heeft doorgaans een hogere waarde dan drinkwater. Een nauwkeurige meting is derhalve van groot belang, zowel voor de afnemer als voor de leverancier.

Hierbij moet worden aangetekend dat:

- magnetische doorstromingsmeters slechts dan betrouwbaar functioneren, indien het geleidingsvermogen van de doorstromende vloeistof niet lager is dan $10 \mu\text{S}/\text{cm}$. De geleidbaarheid van gedestilleerd water is lager;
- turbine-meters in normale uitvoering geschikt zijn voor temperaturen tot max. 35°C . IJking geschiedt doorgaans bij watertemperaturen tussen 5° en 15°C . Het is van belang de nauwkeurigheid en de bedrijfszekerheid eveneens te bepalen bij de gebruikelijke temperatuur van destillaat, welke meestal omstreeks 35°C zal zijn;
- de in de meters toegepaste materialen bestand moeten zijn tegen de agressieve eigenschappen van het gedestilleerde water;
- om de continuïteit in de afname te bevorderen, het nuttig is te werken met piek-tariefmeters of hoeveelheidsbegrenzers.

10.5 Literatuur

1. Boelens, A.H.M.;
Loodafgifte door buizen van hard PVC
Water 44 (1960) p. 350-351.
2. Untersuchungen an verlegten PVC-Rohren,
Bundesgesundheitsamt Berlin 1962.
3. Auswanderung vom Blei aus bleistabilisierten PVC-Rohren,
Kunststoffe Heft 1 - 1961
Kunststoffe Heft 2 - 1964
4. Ein Prüfverfahren für Trinkwasserleitungsrohre aus hart PVC auf ihre Eignung in hygienischen Hinsicht,
Wasser, Heft 14 - 1968.
5. Untersuchungen zur Bleiauswanderung aus bleistabilisierten Hart-PVC-Rohren von Heinrich Sontheimer und Ivo Wagner,
Gas- und Wasserfach, Wasser-Abwasser 110(1969)18,
p. 487-492.
6. Health aspects relating to the use of PVC- pipes of community water supply.
Int. Reference Centre, Voorburg.
-Technical paper series 4 July 1973.

TABEL 5

Kwaliteitsverandering van destillaat in een gesloten reservoir te Terneuzen

DATUM	pH	Geleidings- vermogen $\mu\text{S/cm}$ 20° C	NH ₃ mg/l	temp. °C	CO ₂ mg/l	m-getal	O ₂ mg/l
8- 6-'72	8,4	4,7	0,35	24	spoor	0,06	1,2
12- 6-'72	8,2	4,6	0,34	18	spoor	0,06	1,8
13- 6-'72	8,5	4,4	0,38	18	spoor	0,04	2,2
15- 6-'72	8,4	4,4	0,22	17	spoor	0,07	2,9
19- 6-'72	8,3	4,3	0,34	16	spoor	0,07	3,0
21- 6-'72	8,1	4,3	0,37	16,5	spoor	0,09	3,5
26- 6-'72	8,0	4,2	0,35	18	0,8	0,10	3,8
28- 6-'72	8,1	4,3	0,34	17	spoor	0,08	4,0
3- 7-'72	7,6	4,3	0,35	19	spoor	0,08	4,5
7- 7-'72	7,0	4,4	0,37	18,5	spoor	0,08	5,5
11- 7-'72	7,0	4,3	0,37	18,5	spoor	0,06	5,7
14- 7-'72	6,8	4,7	0,37	20	spoor	0,06	5,5
18- 7-'72	6,3	4,5	0,36				

Monsterpunt 1 meter boven de bodem

BIJLAGE I

THEORETISCHE BESCHOUWING VAN DE MEERTRAPS ONTSPAN- VERDAMPER

De theorie zoals hier gepresenteerd dient slechts een indruk te geven van de invloed van de verschillende parameters op het te installeren verwarmd oppervlak van de installatie dat voor een belangrijk deel de investeringskosten vertegenwoordigt.

Uitgangspunt van de theoretische afleiding is opnieuw het temperatuurdiagram van de meertraps ontspanverdamer zoals in figuur 1 is weergegeven, dat echter is gebaseerd op de volgende vereenvoudigde aannamen:

- Het noodzakelijke warmtewisselende oppervlak is gelijk voor de condensoren van alle kamers.
- De warmtedoorgangscoefficiënt is voor alle condensoren gelijk.
- De temperatuurstijging van het koelmiddel^{*}) in de condensorpijpen is voor iedere kamer evenredig met de condensorpijplengte.
- De verdampingswarmte van het brijn en het destillaat is voor alle kamers gelijk en onafhankelijk van de temperatuur.
- De verdampingswarmte van de verzadigde stoom toegevoerd naar de brijnverwarmer is gelijk aan de verdampingswarmte van het brijn en het destillaat.
- De soortelijke warmte van het brijn, destillaat en het koelmiddel in de condensorpijpen is voor alle kamers gelijk en onafhankelijk van de temperatuur.

Op grond van bovengenoemde veronderstellingen en het feit dat het destillaat op dezelfde wijze als het brijn ontspanst tot aan de laagste temperatuur, zal de temperatuurstijging in de condensorpijpen gelijk zijn aan de temperatuurdaling van het brijn resp. destillaat in de ontspankamers.

^{*}) Dit koelmiddel kan zijn: de recirculatiestroom of de koelwaterstroom bij een recirculatiesysteem dan wel de voeding bij een "doorpomp" systeem.

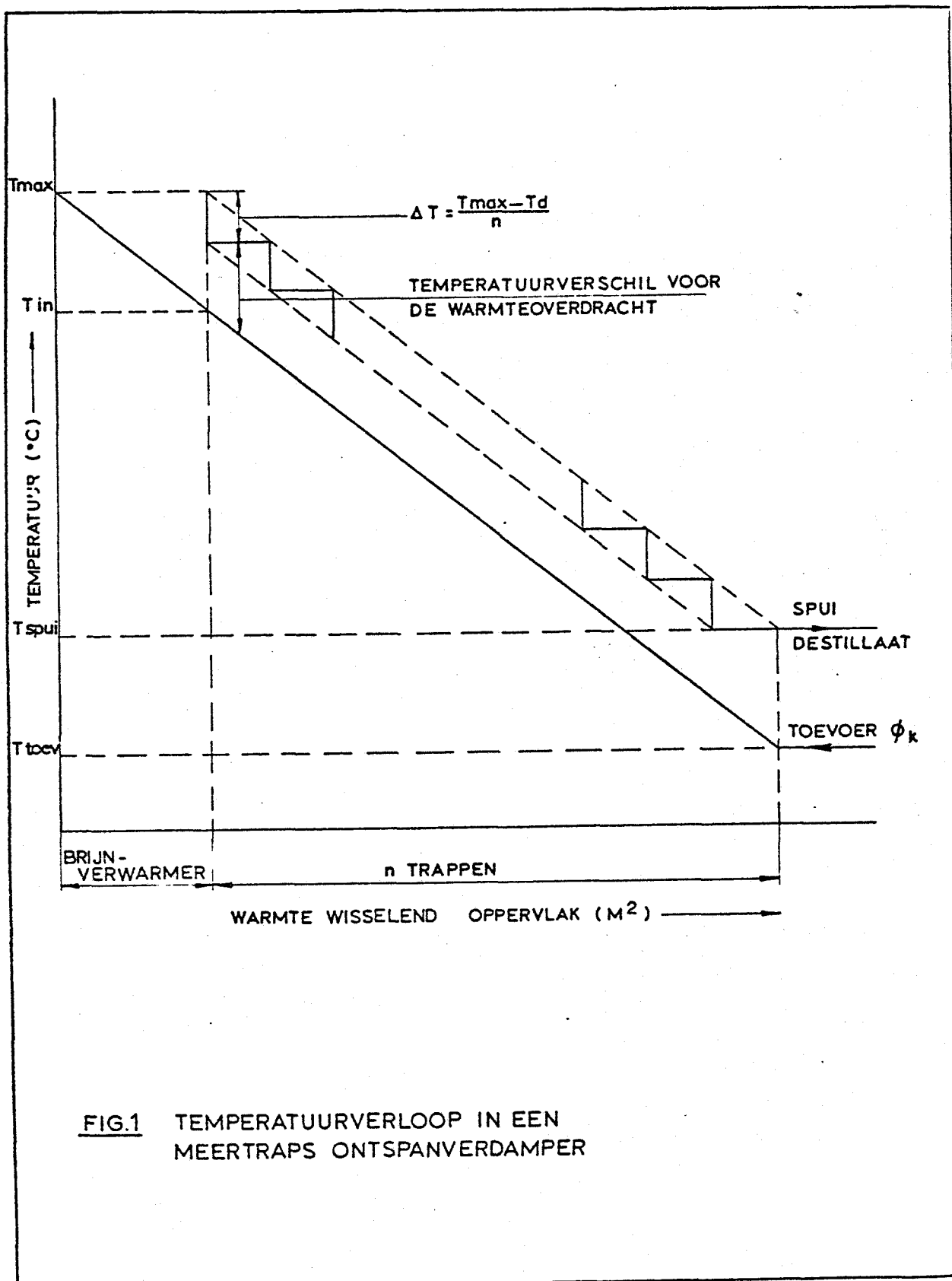


FIG.1 TEMPERATUURVERLOOP IN EEN MEERTRAPS ONTSPANVERDAMPER

Het specifieke warmteverbruik wordt gedefinieerd als volgt:

$$q = \frac{Q_{\text{toegev.}}}{\sum_{m=1}^n \phi_{d,m}} \quad (1)$$

hierin is:

q = specifieke warmteverbruik

$Q_{\text{toegev.}}$ = toegevoerde warmte in de brijnverwarmer

$\sum_{m=1}^n \phi_{d,m}$ = totale destillaatproduktie in alle n-trappen

De toegevoerde warmte in de brijnverwarmer kan ook als volgt worden uitgedrukt:

$$Q_{\text{toegev.}} = \phi_K C (T_{\text{max}} - T_{\text{min}}) \quad (2)$$

waarin:

ϕ_K = koelwatermassastroom door de brijnverwarmer

C = soortelijke warmte van de koelwatermassastroom

$T_{\text{max}} - T_{\text{min}}$ = temperatuurstijging van de koelwatermassastroom over de brijnverwarmer

De toepassing van de massa en energiebalans op het brijn en het destillaat in de ontspankamers met verwaarlozing van de kinetische energie van het brijn en het destillaat geeft voor de hoeveelheid destillaat geproduceerd in de eerste kamer:

$$\phi_{d,1} = \phi_K \quad (3)$$

waarin:

$$K = \frac{C \Delta T}{r} \quad (4)$$

terwijl:

$$\Delta T = \frac{T_{\max} - T_{\text{spui}}}{n} \quad (5)$$

In de vergelijkingen (3) t/m (5) hebben de gebruikte symbolen de volgende betekenis:

- K = hoeveelheid destillaat die in een kamer wordt gevormd per kg brijn
- r = verdampingswarmte
- ΔT = temperatuurdaling van het brijn per trap
- $T_{\max} - T_{\text{spui}}$ = ontspantraject van de verdamper
- n = totaal aantal trappen of ontspankamers van de verdamper

Voor de hoeveelheid destillaat die in de tweede ontspankamer wordt geproduceerd geldt de volgende uitdrukking:

$$\phi_{d2} = \phi_k K(1-K) \quad (6)$$

zodat in totaal in de eerste twee kamers is gemaakt:

$$\sum_{m=1}^2 \phi_{d,m} = \phi_k K(1-K) + \phi_k K = \phi_k K [1 - (1-K)^2] \quad (7)$$

Voor de destillaatproduktie in n-kamers kan nu in het algemeen worden beschreven:

$$\sum_{m=1}^n \phi_{d,m} = \phi_k [1 - (1-K)^n] \quad (8)$$

Wordt in vergelijking (8) met inachtnaam van vergelijking (4) in een reeks ontwikkeld, dan ontstaat:

$$\sum_{m=1}^n \phi_{d,m} = \phi_k \left[\frac{c}{r} (T_{\max} - T_{\text{spui}}) \right] - \quad (9)$$

$$-\frac{1}{2!} \frac{n-1}{n} \left[\frac{c}{r} (T_{\max} - T_{\text{spui}}) \right]^2 + \frac{1}{3!} \frac{(n-1)(n-2)}{n^2} \left[\frac{c}{r} (T_{\max} - T_{\text{spui}}) \right]^3 - \dots$$

Bij benadering mag vergelijking (9) ook als volgt worden beschreven:

$$\sum_{m=1}^n \phi_{d,m} = \phi_k \frac{c}{r} (T_{\max} - T_{\text{spui}}) \quad (10)$$

Substitutie van de vergelijkingen (2) en (10) in vergelijking (1) geeft nu voor het specifieke warmteverbruik van een meertraps ontspanverdamer:

$$q = r \frac{T_{\max} - T_{\text{in}}}{T_{\max} - T_{\text{spui}}} \quad (11)$$

Soms is het wenselijk om het begrip overzetverhouding te hanteren i.p.v. specifiek warmteverbruik. De overzetverhouding van een meertraps ontspanverdamer wordt als volgt gedefinieerd:

$$g_r = \frac{\text{totaal aantal kg geproduceerd destillaat per uur}}{\text{totaal aantal kg toegevoerde stoom in de brijnverw. per uur}}$$

In formulevorm geldt voor de overzetverhouding de volgende uitdrukking:

$$g_r = \frac{\sum_{m=1}^n \phi_{d,m}}{Q_{\text{toegev.}}} \quad (12)$$

Welke vergelijking na substitutie van de vergelijkingen (2) en (10) in vergelijking (12) overgaat in:

$$g_r = \frac{T_{\max} - T_{\text{spui}}}{T_{\max} - T_{\text{in}}} \quad (13)$$

Typische waarden voor de overzetverhouding zijn b.v. 2, 5, 8, 10, 12, welke getallen dus het aantal kg destillaat aangeven dat per kg toegevoerde stoom in de brijnverwarmer wordt geproduceerd.

Zo is b.v. een installatie met een overzetverhouding 12 veel zuiniger dan een installatie met een overzetverhouding van 2. Anders gezegd:

Het energieverbruik is voor de installatie met een overzetverhouding 12, maar liefst 6 x (!!) lager dan voor die installatie met overzetverhouding 2.

Het is te verwachten dat dergelijke grote verschillen in energieverbruik consequenties moeten hebben voor het verwarmd oppervlak van de verdamperinstallatie. Dit zal in het onderstaande worden aangetoond. Uit het temperatuurdiagram van figuur 2 volgt de uitdrukking voor het noodzakelijke warmtewisselende oppervlak per kg geproduceerd destillaat per uur.

$$F_s = \frac{r}{k \left[(T_{\max} - T_{\text{in}}) - \frac{\Delta T}{2} \right]} \quad (14)$$

waarin:

F_s = specifieke warmtewisselende oppervlak

k = warmtedoorgangscoefficiënt

Het verband tussen het specifieke warmtewisselende oppervlak, het aantal kamers en het specifieke warmteverbruik volgt na substitutie van de vergelijkingen (5) en (11) in vergelijking (14):

$$F_s = \frac{r}{k(T_{\max} - T_{\text{spui}}) \left(\frac{q}{r} - \frac{1}{2n} \right)} \quad (15)$$

Op basis van de overzetverhouding wordt vergelijking (15) als volgt:

$$F_s = \frac{r}{k(T_{\max} - T_{\text{spui}}) \left(\frac{1}{q_r} - \frac{1}{2n} \right)} \quad (16)$$

In de vergelijkingen (14), (15) en (16) wordt geen rekening gehouden met de optredende temperatuurverliezen in de verdampertrappen, die een ongunstige invloed hebben op het te installeren warmtewisselende oppervlak. Dergelijke temperatuurverliezen zijn een gevolg van het verschil tussen brijntemperatuur en de verzadigingstemperatuur van de damp in de condensor, welk verschil wordt veroorzaakt door:

- De kookpuntsverhoging van het brijn die toeneemt bij hogere temperatuur en hogere concentratie.

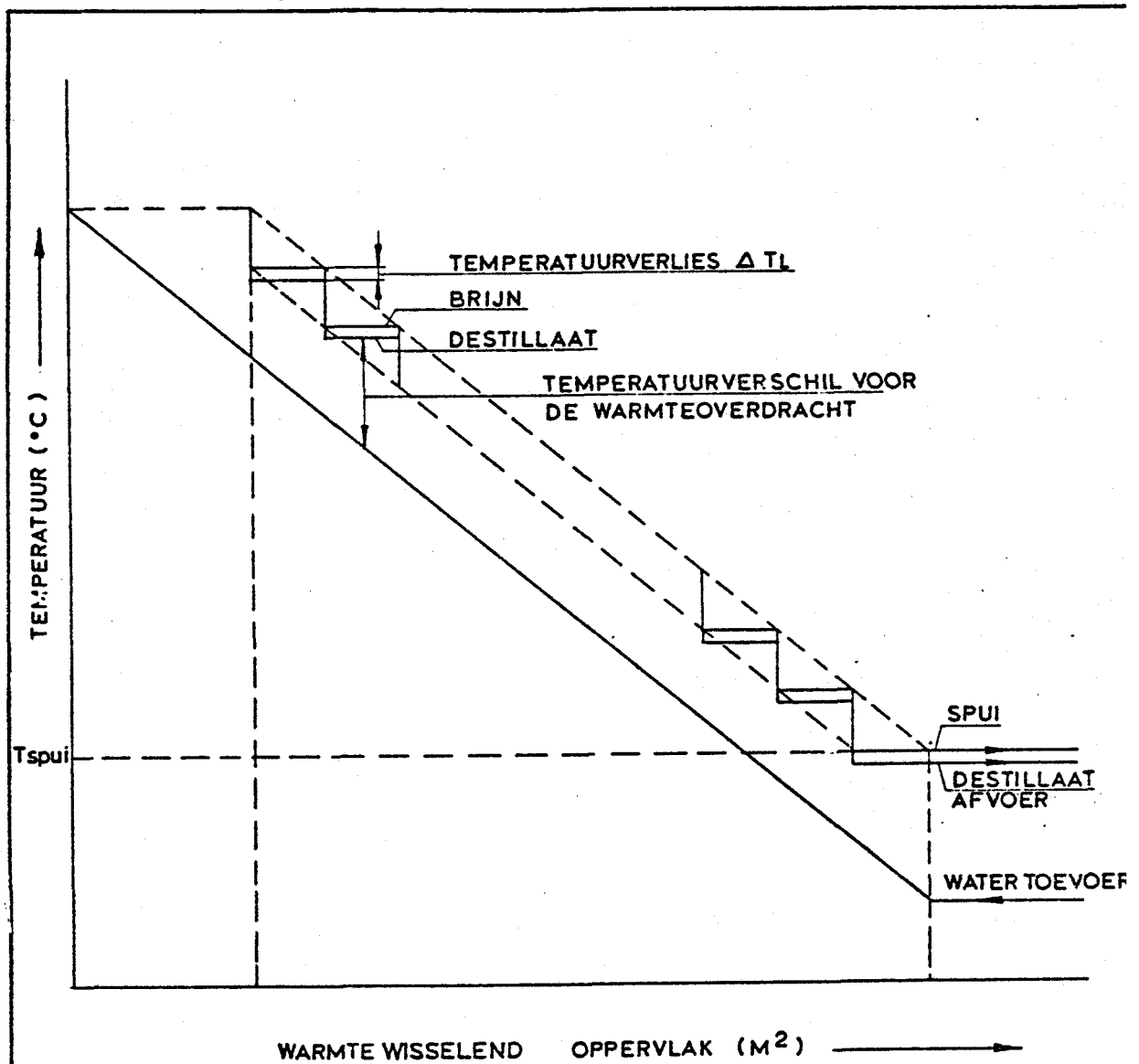


FIG. 2 INVLOED VAN HET TEMPERATUURVERLIES OP HET TEMPERATUURDIAGRAM VAN EEN MEERTRAPS ONTSPANVERDAMPER

- Het onvolledig uitkoken van het brijn in de ontspankamer.
- Het drukverlies van de damp bij het stromen naar de condensor door de gaaspakketten in de demister.

Figuur 2 geeft nu het temperatuurdiagram, indien rekening wordt gehouden met een gemiddeld temperatuurverlies ΔT_1 in de verdampertrappen; de vergelijkingen (14), (15) en (16) wijzigen zich dan als volgt:

$$F_s = \frac{r}{k \left[(T_{\max} - T_{\text{in}}) - \frac{\Delta T}{2} - \Delta T_1 \right]} \quad (17)$$

$$F_s = \frac{r}{k (T_{\max} - T_{\text{spui}}) \left(\frac{g}{r} - \frac{1}{2n} - \frac{\Delta T_1}{T_{\max} - T_{\text{spui}}} \right)} \quad (18)$$

$$F_s = \frac{r}{k (T_{\max} - T_{\text{spui}}) \left(\frac{1}{g_r} - \frac{1}{2n} - \frac{\Delta T_1}{T_{\max} - T_{\text{spui}}} \right)} \quad (19)$$

De invloed van de verschillende parameters van vergelijking (18) is nu in figuur 3 aangegeven. Opvallend is de grote invloed van het temperatuurverlies op het warmtewisselende oppervlak bij installaties met een laag specifiek warmteverbruik; voor de ontwerper is het dus terdege belangrijk om zeer kritisch te staan ten opzichte van de grootte van ΔT_1 welke voor een belangrijk deel wordt bepaald door de concentratie van het brijn en dus door de gekozen indikkingsfaktor!

Uit figuur 3 blijkt duidelijk dat voor een bepaald warmteverbruik het verwarmd oppervlak afneemt bij een toenemend aantal trappen; in de praktijk is er een optimum in de investeringskosten waar de besparing op wisselend oppervlak niet meer opweegt tegen het installeren van steeds meer trappen. Het vergroten van

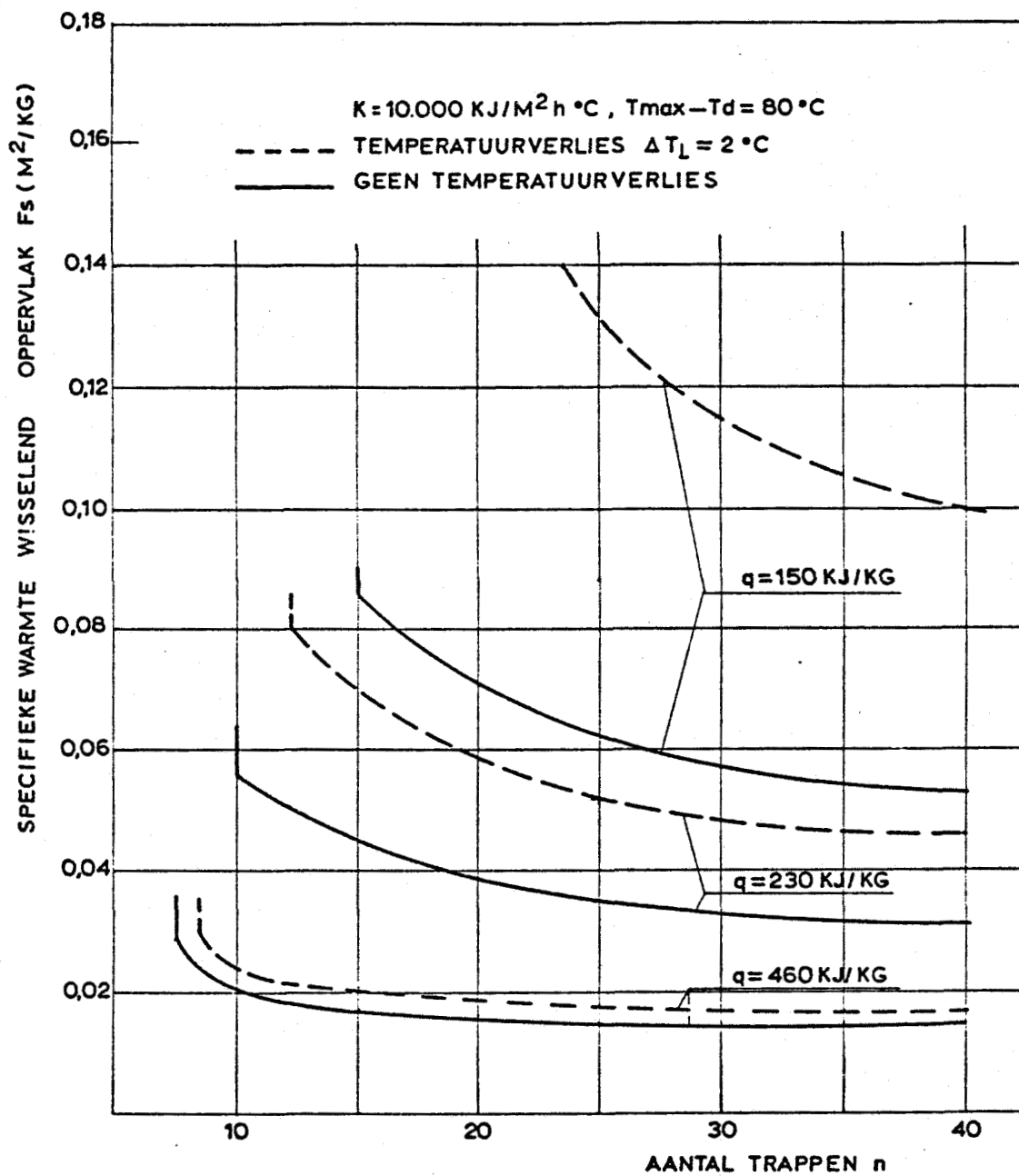


FIG. 3 INVLOED VAN HET AANTAL TRAPPEN, TEMPERATUURVERLIES EN HET WARMTEVERBRUIK OP HET SPECIFIEKE WARMTE WISSELENDE OPPERVLAK.

het aantal trappen tot oneindig doet het warmte-wisselende oppervlak tot de limietwaarde naderen, die in vergelijking (20) is aangegeven:

$$F_s \underset{n \rightarrow \infty}{=} \frac{r}{k(T_{\max} - T_{\text{spui}}) \left(\frac{q}{r} - \frac{\Delta T_1}{T_{\max} - T_{\text{spui}}} \right)} \quad (20)$$

Het minimale aantal trappen dat voor een bepaald warmteverbruik mogelijk is, volgt uit de betrekking:

$$T_{\max} - T_{\text{in}} - \Delta T - \Delta T_1 > 0 \quad (21)$$

Deze betrekking geeft in feite aan dat het eindverzadigingstemperatuurverschil voor de condensor altijd groter moet zijn dan nul.

Bovengenoemde vergelijking kan ook worden omgewerkt tot de uitdrukking:

$$n_{\min} > \frac{g_r}{1 - \frac{\Delta T_1}{T_{\max} - T_{\text{spui}}}} \quad (22)$$

Uit bovengenoemde vergelijking volgt het minimale aantal trappen als functie van de overzetverhouding, het temperatuurverlies en het ontspantrajekt.

Tot slot de opmerking dat uit de vergelijkingen (17), (18) en (19) zeer duidelijk de invloed blijkt van het ontspantrajekt op het warmte-wisselende oppervlak.

Hoe groter het ontspantrajekt, hoe kleiner het noodzakelijk oppervlak; het streven naar een verhoging van de maximale brijntemperatuur in de installatie, ondanks alle problemen met betrekking tot de vorming van afzettingen in de condensorpijpen, moet dan ook worden beschouwd als een mogelijkheid om het warmte-wisselende oppervlak aanzienlijk te verkleinen en als zodanig de investeringskosten te verlagen.

Anderzijds kan ook gelden voor een bepaalde gelijkblijvende investering:

Hoe groter het ontspantrajekt hoe lager het warmteverbruik; dit volgt o.a. direct uit de vergelijkingen (11) en (13).

symbolen

C	= soortelijke warmte	$\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C}$
F_s	= specifieke warmteoverdragend oppervlak	m^2/kg
g_r	= overzetverhouding	-
K	= destillaatfractie	-
k	= warmtedoorgangscoefficiënt	$\text{kJ/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$
n	= totaal aantal trappen	-
N_{min}	= minimale aantal trappen	-
$Q_{\text{toegev.}}$	= toegevoerde warmte	kJ/h
q	= specifieke warmteverbruik	kJ/kg
r	= verdampingswarmte	kJ/kg
T_{in}	= intreetemperatuur eindvoorwarmer	$^{\circ}\text{C}$
T_{max}	= uittreetemperatuur eindvoorwarmer	$^{\circ}\text{C}$
T_{spui}	= spuittemperatuur	$^{\circ}\text{C}$
ϕ_K	= massastroom	kg/h
$n \sum_{m=1} \phi_{d,m}$	= totale destillaatproduktie in n-trappen	kg/h
ΔT	= temperatuurverschil	$^{\circ}\text{C}$
ΔT_1	= temperatuurverlies	$^{\circ}\text{C}$

BIJLAGE II

VERENIGING VAN EXPLOITANTEN VAN
ELECTRICITEITSBEDRIJVEN IN NEDERLAND

VERENIGING VAN EXPLOITANTEN VAN
WATERLEIDINGBEDRIJVEN IN NEDERLAND

Evaluatie van het energieverbruik
en de kosten van waterontziltning
gecombineerd met elektriciteits-
opwekking

december, 1976

Samenstellers: ir. B.A. Kleinbloesem (KEMA)
ir. A.A. Romeijn (PZEM)
ir. J.C. Schippers (KIWA)

SAMENVATTING

Naar aanleiding van de bevindingen van de Commissie voor de bestudering van het vraagstuk der "total energy" van de VDEN, neergelegd in het rapport "Inleidende Studie over het gebruik van bij elektriciteitsproduktie vrijkomende restwarmte voor stadsverwarming en ontziltling" (1) is een nader onderzoek gedaan naar het energieverbruik en de kosten van waterontziltling wanneer hierbij gebruik gemaakt wordt van aftapstoom van een elektriciteitscentrale.

Voor de elektriciteitsproduktie-eenheden waarvan de aftapstoom wordt betrokken is uitgegaan van moderne grote produktie-eenheden, n.l. een conventionele eenheid van 600 MW en een kernenergie-eenheid van 1000 MW. De hoeveelheden aftapstoom die gekozen zijn, zijn in verhouding vrij gering, zodat de basisconceptie van de turbines gehandhaafd kan blijven en geen aanmerkelijke extra investeringen optreden. Voor de verdamperen zijn meertrapsontspanningsverdamperen gekozen, met een overzetverhouding van 10 : 1 en een produktiecapaciteit van 450 m³/h per eenheid, hetgeen in overeenstemming is met de huidige stand der techniek. De gekozen aftapstoomhoeveelheden, hoewel klein t.o.v. de elektriciteitscentrale, geven aanleiding tot, naar huidige begrippen en ook gezien in het kader van de gebruiksmogelijkheden, grote waterfabrieken, n.l. met een totale produktiecapaciteit van 1800 respectievelijk 2700 m³/h.

Nagegaan is wat in beide gevallen het energieverbruik voor de waterproduktie is en ter vergelijking tevens wat het energieverbruik zou zijn als de warmte voor de destillatie in een speciale ketel zou worden geproduceerd.

Vervolgens is een berekening gemaakt van de kosten van de waterproduktie. Deze kostenberekening is uitgevoerd op basis van jaarlijkse kosten. De berekeningen zijn uitgevoerd op prijspeil midden 1975. De gebruikte rentevoet is 10%. Aangezien de ontwikkeling van de afzet een lange periode in beslag kan nemen en aanleiding kan geven tot aanzienlijke aanloopverliezen, was het noodzakelijk dit in

rekening te brengen. Dit is gebeurd door de gemiddelde jaarproduktie naar verhouding te verminderen. Hoewel dit geen exacte benadering geeft (de aanloopverliezen treden met name op in de eerste jaren en worden dus enigszins ondergewaardeerd) mag toch worden aangenomen dat deze benadering voor het doel van deze vergelijkende berekeningen voldoende nauwkeurig is. Tegenover de onderwaardering van de aanloopverliezen staat dat geen inflatiecorrectie is toegepast, waardoor de situatie met name voor de latere jaren enigszins te ongunstig wordt voorgesteld.

Zou men deze effecten nauwkeuriger in rekening willen brengen dan zou een "discounted cash flow" of nettocontante waarde methode worden toegepast.

Hiervan is echter in verband met de overzichtelijkheid afgezien. De berekeningen zijn afzonderlijk uitgevoerd voor de produktie van destillaat ten behoeve van de industrie en ten behoeve van de drinkwatervoorziening. Terwille van een eenvoudige kostenvergelijking is er in dit laatste geval van uitgegaan dat het afnamepatroon van de drinkwatervoorziening volledig gevolgd wordt. De kosten van de overige drinkwaterproduktie worden dan niet beïnvloed.

Aandacht is besteed aan de mogelijkheden de kosten te verlagen, waarbij met name genoemd zijn de mogelijkheden om gebruik te maken van een gedeelte van de draaiende reserve van de elektriciteitsproduktie-eenheden, de toepassing van nieuwe verdampertechnieken en met betrekking tot de produktie ten behoeve van de drinkwatervoorziening, de optimale inpassing in het bestaande produktiesysteem.

Tenslotte is aandacht besteed aan de gebruiksmogelijkheden.

CONCLUSIES

- Ten opzichte van de huidige situatie is door gecombineerde elektriciteitsproduktie en waterontziltling bij toepassing van verdampers volgens de huidige stand van de techniek geen energiebesparing en vermindering van de naar de omgeving af te voeren warmte te bereiken.
- Van een besparing op het primaire energieverbruik en de naar de omgeving af te voeren warmte bij gebruik van aftapstoom voor waterontziltling kan eerst dan sprake zijn als het noodzakelijk is voor de waterproduktie energie-intensieve methoden te gebruiken.
- De produktie van gedestilleerd water voor industriële toepassing kan als een hoge waterkwaliteit geëist wordt, concurrerend zijn met andere produktiemethoden met name als aftapstoom van een kernenergie-eenheid gebruikt wordt en gebruik gemaakt kan worden van een gedeelte van de "draaiende reserve" van deze eenheid.
- Indien door toepassing van nieuwe verdampertechnieken, zoals de door Klaren ontwikkelde F.B.E. ("fluidized bed evaporator") een kostenreduktie van 20 à 25% verwezenlijkt kan worden, zal de produktie van gedestilleerd water ook als aftapstoom van een conventionele eenheid wordt gebruikt, goedkoper zijn dan andere methoden voor de produktie van water met een zeer laag zoutgehalte.
- De kostprijs van gedestilleerd water is vooralsnog te hoog voor algemene toepasbaarheid van dit proces voor de drinkwaterproduktie.
- Een mogelijke toepassing voor de produktie van drinkwater is het bijmengen van destillaat bij op conventionele wijze geproduceerd drinkwater ter verlaging van het zoutgehalte. Ter beoordeling van de mogelijkheden en de wenselijkheid hiervan is nadere studie nodig.

<u>INHOUDSOPGAVE</u>	<u>blz</u>
SAMENVATTING	119
CONCLUSIES	121
SYMBOLENLIJST	124
REFERENTIES	125
1 AANLEIDING EN DOEL VAN DE STUDIE	126
2 INLEIDING	127
3 DE ZEEWATERONTZILTINGSINSTALLATIE	129
3.1 De verdamper	129
3.2 Het aantal verdamper	130
3.3 Gemiddelde jaarlijkse waterproduktie, bedrijfstijd	130
4 DE STOOMPDUKTIE	137
4.1 Stoomproduktie in een speciale ketel	137
4.2 Aftapstoom van een conventionele eenheid	137
4.3 Aftapstoom van een kernenergie-eenheid	139
5 ENERGIEVERBRUIK VOOR DE WATERPRODUKTIE	141
6 KOSTEN VAN DE PRODUKTIE VAN PROCESWATER VOOR DE INDUSTRIE	144
6.1 Waterfabriek met stoomlevering door speciale ketel	144
6.2 Waterfabriek met gebruik van aftapstoom van een conventionele eenheid	146
6.3 Waterfabriek met gebruik van aftapstoom van een kernenergie-eenheid	148
7 KOSTEN VAN DE PRODUKTIE VAN GEDESTILLEERD WATER VOOR DE BEREIDING VAN DRINKWATER	151
7.1 Waterfabriek met stoomlevering door speciale ketel	151
7.2 Waterfabriek met gebruik van aftapstoom van conventionele eenheid	152
7.3 Waterfabriek met gebruik van aftapstoom van een kernenergie-eenheid	154

8	EEN AANTAL MOGELIJKHEDEN TOT VERLAGING VAN DE KOSTPRIJS	158
8.1	Kostenreduktie door toepassing van nieuwe verdampertechnieken	158
8.2	Kostenreduktie door gebruikmaking van de draaiende reserve van de elektriciteits produktie-eenheid	158
8.3	Kostenreduktie bij de waterproduktie ten behoeve van de drinkwatervoorziening, door optimale inpassing in het totale systeem	160
9	GEBRUIKSMOGELIJKHEDEN	162
9.1	Gebruiksmogelijkheden als industrieewater	162
9.2	Gebruiksmogelijkheden voor de drinkwatervoorziening	163

FIGUREN

fig. 1	: Schema verdamper	165
fig. 2	: Ontwikkeling van de afname en de op te stellen produktiecapaciteit bij een waterfabriek bestaande uit vier verdampers	166
fig. 3	: Ontwikkeling van de afname en de op te stellen produktiecapaciteit bij een waterfabriek bestaande uit zes verdampers	167
fig. 4	: Brandstof-/splitsstofkosten van stoom	168
fig. 5	: Warmteschema conventionele eenheid (600 MW)	169
fig. 6	: Warmteschema kernenergie-eenheid (1000 MW)	170
fig. 7	: Kostprijs van gedestilleerd water voor industriëel gebruik	171
fig. 8	: Kostprijs van gedestilleerd water voor de bereiding van drinkwater	172

SYMBOLENLIJST

- K_z = kosten zuiveringscapaciteit per m^3/h per jaar
- K_b = kosten berging per m^3 inhoud per jaar
- P = brandstofprijs gld/GJ
- Q = splijtstofprijs gld/GJ
- Y = hoeveelheid aftapstoom t.b.v. waterfabriek (kg/sec)

REFERENTIES

- (1) Inleidende Studie over het gebruik van bij Elektriciteitsproduktie vrijkomende restwarmte voor stadsverwarming en ontzilting; Commissie voor de bestudering van het vraagstuk der "total energy"; VDEN, oktober 1974
- (2) Plaats en capaciteit van reinwaterkelders; Rapport van de Werkgroep plaats en capaciteit van reinwaterkelders; KIWA, mededeling nr. 36, augustus 1975
- (3) Voorstel voor een tarief voor industriële en daarmee overeenkomende grootverbruikers; Commissie voor tarieven; VDEN, juli 1970
- (4) Development of a vertical flash evaporator; D.G. Klaren
Proefschrift ter verkrijging van de graad van doctor in de technische wetenschappen aan de Technische Hogeschool te Delft; mei 1975

1 AANLEIDING EN DOEL VAN DE STUDIE

In haar rapport "Inleidende Studie over het gebruik van bij elektriciteitsproduktie vrijkomende restwarmte voor stadsverwarming en ontzilting" (1) is door de Commissie voor de bestudering van het vraagstuk der "total energy" van de Vereniging van Directeuren van Elektriciteitsbedrijven in Nederland (VDEN) de waterontzilting genoemd als mogelijkheid om de restwarmte bij de elektriciteitsproduktie te benutten.

Teneinde deze mogelijkheid nader te onderzoeken is door de Vereniging van Exploitanten van Elektriciteitsbedrijven in Nederland (VEEN) en de Vereniging van Exploitanten van Waterleidingbedrijven in Nederland (VEWIN) een gespreksgroep ingesteld. Het doel van deze studie, die in opdracht van de gespreksgroep is uitgevoerd, is om na te gaan wat het energieverbruik en de kosten zullen zijn van waterproduktie door middel van zoutwaterontzilting, indien de waterproduktie gecombineerd met elektriciteitsproduktie plaatsvindt.

2 INLEIDING

Voor de produktie van water met een laag zoutgehalte staan in principe verschillende methoden ter beschikking. Destillatie van zout en brak water met behulp van verdamper is momenteel één van de meest toegepaste methoden. Het destillatie-proces is in staat een sterke reductie van het zoutgehalte van het water te bewerkstelligen, tevens wordt het zwevend- en organisch stofgehalte sterk verlaagd. Vluchtige organische stoffen en ammoniak worden daarentegen slechts in geringe mate verwijderd, zodat hiertoe, indien gewenst, aanvullende zuiveringstechnieken zoals actievekoolfiltratie en breekpuntschloring ingezet moeten worden.

In het algemeen wordt destillaat voor industriële toepassingen bereid. In een beperkt aantal gevallen wordt het destillaat ook als drinkwater gedistribueerd.

Het produkt wordt hierbij, alvorens het te distribueren, gemengd met drinkwater dat op conventionele wijze is bereid en/of geconditioneerd om de corrosieve eigenschappen weg te nemen.

De waterleidingbedrijven in Nederland leveren water met een kwaliteit, die gesteld wordt aan drinkwater. De kwaliteitseisen die gesteld worden aan drinkwater zijn van dien aard, dat het doorgaans ook zeer geschikt is voor industriële toepassingen, hetgeen dan ook op ruime schaal plaatsvindt.

In een aantal gevallen zijn de eisen die industriële afnemers stellen aan hun proceswater hoger dan vereist is voor het gebruik als drinkwater. Deze eisen betreffen doorgaans het zoutgehalte. Een tweetal waterleidingbedrijven in Nederland is aan de wensen van hun industriële afnemers tegemoet gekomen, door een deel van hun zuivering uit te rusten met destillatie-apparatuur.

Het produkt wordt hierbij rechtstreeks via aparte leidingen aan de industrie geleverd.

De noodzaak om het zoutgehalte van het leidingwater, dat via het distributienet als drinkwater wordt geleverd, te verlagen doet zich in toenemende mate gelden, in het bijzonder in die gevallen waarbij het zoutgehalte van het oppervlaktewater, waaruit het

drinkwater wordt bereid, een stijgende tendens vertoont.

De Nederlandse waterleidingbedrijven hebben dan ook zeker belangstelling voor de mogelijkheden die er zijn of ontwikkeld kunnen worden, om water met een laag zoutgehalte te bereiden op een economisch verantwoorde wijze.

Aangezien het destillatieproces een proces is dat warmte van een betrekkelijk laag temperatuurniveau gebruikt, is het bij uitstek geschikt voor restwarmtebenutting bij chemische processen of combinatie met een krachtproductieproces. Veel van de bestaande waterfabrieken van dit type zijn daarom dan ook gecombineerd met een elektriciteitsproductie-eenheid. Dit is het geval bij de waterfabrieken in Rotterdam, Terneuzen en op Texel.

Hoewel een waterverdamer niet geschikt is om de restwarmte te benutten op het temperatuurniveau waarop het bij een normale elektriciteitsproductie-eenheid aan het koelwater wordt afgestaan, kan door gebruikmaking van aftapstoom van een voor de verdamer geëigend temperatuurniveau met het gecombineerde proces toch een besparing op het energieverbruik ten opzichte van dat bij afzonderlijke elektriciteits- en waterdestillatie bereikt worden. In dit rapport worden de kosten en het energieverbruik van waterproductie met een verdamer bij gebruik van aftapstoom van een elektriciteitsproductie-eenheid onderzocht en vergeleken met het energieverbruik en de kosten wanneer voor de waterproductie direct stoom gegenereerd zou moeten worden.

Ten aanzien van de elektriciteitsproductie is uitgegaan van moderne grote eenheden, te weten een conventionele eenheid van 600 MW en een kernenergie-eenheid van 1000 MW.

De hoeveelheden aftapstoom zijn daarbij zodanig gekozen, dat het normale turbineconcept gehandhaafd kan blijven.

Speciaal voor grote hoeveelheden aftapstoom ingerichte turbines en tegendrukturbines van deze vermogens zijn, voor zover bekend, nog niet beschikbaar.

3 DE ZEEWATERONTZILTINGSINSTALLATIE

3.1 De verdamper

Uitgegaan is van een verdamper van het type M.S.F. (multi-stage flash-evaporator), een meertraps horizontale ontspanningsverdamper. Van dit type zijn reeds een groot aantal installaties gedurende lange tijd in bedrijf, onder meer in Nederland (Terneuzen, Texel, Rotterdam).

De kosten van een installatie van dit type zijn afhankelijk van de overzetverhouding. Onder de overzetverhouding van een verdamper wordt verstaan het aantal tonnen gedestilleerd water dat wordt geproduceerd per ton stoom.

Van de installaties die momenteel in Nederland in bedrijf zijn, bedraagt de overzetverhouding 10 à 10,5 : 1.

Binnen zekere grenzen kan, door het warmte-overdragend oppervlak te vergroten, de overzetverhouding naar believen verhoogd worden. Dit betekent echter ook een verhoging van de investering. De economische optimale overzetverhouding wordt bepaald door investeringskosten enerzijds en stoomprijs anderzijds en kan van geval tot geval berekend worden.

De maximaal toelaatbare brijntemperatuur bedraagt bij dit type verdamper ca. 120° C. Hierbij is maximaal een overzetverhouding van ca. 12 : 1 mogelijk. Volgens literatuurgegevens zou deze overzetverhouding reeds optimaal zijn vanaf een stoomprijs van f 0,004/kg.

Als de turbine-aftap, waarvan de stoom wordt afgetapt, optimaal gekozen wordt bij volle belasting van de turbine, is het mogelijk dat bij gedeeltelijke belasting de maximale brijntemperatuur van 120° C niet meer bereikt kan worden.

Zou de verdamper ook bij een toptemperatuur van 100° C nog bedreven kunnen worden, dan zal dit voor de meeste belastingssituaties van de turbine voldoende zijn. De overzetverhouding van de verdamper zal dan niet meer dan ca. 10 : 1 mogen bedragen. Terwille van de eenvoud is bij alle volgende berekeningen uitgegaan van eenzelfde verdamper met een

overzetverhouding van 10 : 1. Bij uitvoering zou voor iedere situatie de optimale overzetverhouding bepaald moeten worden.

Voor de hier uitgevoerde berekeningen is deze benadering echter voldoende nauwkeurig.

De overige gegevens van de in dit rapport beschouwde verdamper zijn:

- maximale destillaatproduktie : 125 kg/s (450 m³/h)
- maximale brijntemperatuur : 120° C
- benodigd elektrisch vermogen : 1,2 MW
- investering : f 19.000.000.-

In figuur 1 is een schema van de verdamper gegeven.

3.2 Het aantal verdampers

Momenteel bestaan nog geen grote turbines die speciaal ingericht zijn voor het leveren van grote hoeveelheden aftapstoom. Bij de keuze van het aantal verdampers dat aan een turbine wordt gekoppeld is er van uitgegaan dat het basisconcept van het turbineontwerp gehandhaafd moet kunnen blijven zodat ook de investering in de turbine ongeveer gelijk blijft.

Bij gebruik van aftapstoom van de conventionele eenheid van 600 MW is uitgegaan van een waterfabriek bestaande uit vier verdampers. Dit zal een vermogensreduktie van ca. 22,25 MW tot gevolg hebben, d.i. ca. 3,7% van het vermogen. Bij gebruik van aftapstoom van de kernenergieeenheid van 1000 MW is uitgegaan van een waterfabriek bestaande uit zes verdampers. De vermogensreduktie die daardoor bij de kernenergie-eenheid optreedt is ca. 33,75 MW, d.i. ca. 3,4% van het vermogen.

De totale capaciteit van de waterfabrieken is dan: 1800 resp. 2700 m³ destillaat per uur. Voor huidige begrippen zijn dit zeer grote waterfabrieken.

Ter vergelijking:

Waterfabriek Terneuzen : ca. 1250 m³/uur

Waterfabriek Rijnmond : ca. 1350 m³/uur.

3.3 Gemiddelde jaarlijkse waterproduktie, bedrijfstijd

Wegens het grote aandeel van de investeringskosten in de produktiekosten van het water, is de gemiddelde

jaarlijkse waterproduktie van groot belang bij de bepaling van de kosten van de waterproduktie. Ook de ontwikkeling van de afzet in de aanlooperperiode is van groot belang.

Om tot een vereenvoudiging bij de berekening te komen op basis van jaarlijkse kosten, wordt de gedeeltelijke belasting in de aanlooperperiode tot uitdrukking gebracht in de gemiddelde produktie. Andere factoren die de gemiddelde produktie bepalen zijn de fluctuaties in het afnamepatroon en de niet-beschikbaarheidsgraad van de verdamper.

3.3.1 Ontwikkeling van de afname tijdens de aanlooperperiode

Bij de berekeningen wordt er van uitgegaan, dat vanaf de inbedrijfname van de eerste eenheid een periode van 10 jaar nodig is voordat de volledige afzet is bereikt.

Aangenomen is een afzet van 10% bij inbedrijfname van de eerste eenheid en een lineaire groei gedurende de eerste 10 jaar. Er wordt van uitgegaan dat de verdamper gefaseerd in gebruik worden genomen en wel zo dat in de aanlooperperiode steeds één verdamper meer ter beschikking staat dan op grond van de verwachte afname noodzakelijk zou zijn. Aangezien voor elektriciteitscentrales momenteel geldt dat deze 25 jaar na inbedrijfstelling definitief buiten gebruik gesteld worden en voor de verdamper met een afschrijvingstermijn van 20 jaar wordt gerekend, moet er mee gerekend worden dat de laatste waterfabriek uiterlijk binnen 5 jaar na de inbedrijfstelling van de centrale in gebruik wordt genomen.

Een waterfabriek bestaande uit 4 verdamper zal dan in de volgende fasen in bedrijf worden genomen:

verdamper 1 - bij aanvang
verdamper 2 - bij aanvang
verdamper 3 - na 2 jaar
verdamper 4 - na 5 jaar

Zoals blijkt uit fig. 2 zal de gemiddelde jaarproduktie van elk der verdamper over de afschrijvingstermijn van 20 jaar dan 84% bedragen van de

uiteindelijke jaarproduktie bij volledig ontwikkelde afzet.

Een waterfabriek bestaande uit zes verdamper zal in de volgende fasen in bedrijf worden genomen:

verdamer 1 - bij aanvang
verdamer 2 - bij aanvang
verdamer 3 - na 1 jaar
verdamer 4 - na 3 jaar
verdamer 5 - na 5 jaar
verdamer 6 - na 5 jaar.

Zoals blijkt uit fig. 3 zal de gemiddelde jaarproduktie van elk der verdamper over de afschrijvings-termijn van 20 jaar dan 87% bedragen van de uiteindelijke jaarproduktie bij volledig ontwikkelde afzet.

Invloed van het afnamepatroon

Ten aanzien van de invloed van het afnamepatroon moet onderscheid gemaakt worden tussen afname in de vorm van proceswater voor de industrie en afname ten behoeve van de drinkwatervoorziening.

Proceswater

Bij de levering van proceswater voor de industrie is sprake van een vrijwel constante afname. In de praktijk is gebleken dat bij volledig ontwikkelde afname een jaarproduktie van ca. 7500 uur bedrijfstijd van het maximum haalbaar is.

Bij de berekeningen in dit rapport wordt hier van uitgegaan. Er moet echter bij aangetekend worden dat conjunctuurschommelingen er toe kunnen leiden dat de waterbehoefte van de industrie ook bij volledig ontwikkelde afname kan wijzigen, waardoor de bedrijfstijd tijdelijk minder zal kunnen zijn.

Voorts wordt er van uitgegaan dat een opslagcapaciteit ter grootte van 1 maal de dagproduktie van de gehele waterfabriek voldoende is.

Hiermee kan een storing van één der verdamper worden opgevangen van gemiddeld:

- bij een waterfabriek bestaande uit 4 verdamperen:

$$\frac{4 \times 8760}{7500} = \underline{4,7 \text{ dagen}}$$

- bij een waterfabriek bestaande uit 6 verdamperen:

$$\frac{6 \times 8760}{7500} = \underline{7 \text{ dagen}}$$

Dit is niet voldoende om een te allen tijde ongestoorde levering te garanderen. Aangenomen wordt echter dat een deel van de industrie tijdelijk met een geringere levering kan volstaan door een verlaging van het verbruik, gebruik van vervangend water van mindere kwaliteit of gebruik uit eigen opslag. Een en ander zal van geval tot geval nader moeten worden bezien.

Drinkwater

Er wordt bij de berekening van de kosten van de waterproduktie ten behoeve van de drinkwatervoorziening van uitgegaan dat deze produktie volledig vervangend is voor alternatieve drinkwaterproduktie, hetgeen betekent dat de levering steeds gegarandeerd moet zijn en dat het afnamepatroon volledig gevolgd wordt. In dat geval zal ook het afnamepatroon voor de overige drinkwaterproduktie niet veranderen en treedt hierbij geen (moeilijk te berekenen) kostenverhogend effect op.

Het afnamepatroon van drinkwater vertoont sterke afnamefluctuaties. In principe is volledige afvlakking van het afnamepatroon mogelijk met behulp van een accumulatieservoir. De mate van afvlakking vormt een optimalisatieprobleem tussen de investering in de zuiveringscapaciteit en in de reservoircapaciteit. Dit is een probleem dat ook speelt bij andere wijzen van waterzuivering.

Door de Werkgroep "plaats en capaciteit van reinwaterkelders" (KIWA) (2) is een rapport opgesteld waarop de volgende beschouwingen zijn gebaseerd. Hoe groter de

verhouding $\frac{K_z}{K_b}$ (waarin K_z = kosten zuiveringscapaciteit per m^3/h per jaar en K_b = kosten berging per m^3)

inhoud per jaar hoe groter de optimale accumulatieperiode.

De maximale accumulatieperiode, die in het rapport is onderzocht, is 7 dagen. Deze periode is optimaal

bij $\frac{K_z}{K_b} \approx 54$. Voor een verdamper geldt ongeveer

$\frac{K_z}{K_b} \approx 350$, zodat waarschijnlijk een nog grotere

accumulatieperiode gekozen zou moeten worden.

Volgens het rapport moet bij 7-daagse accumulatie de zuiveringscapaciteit per uur 5,089% zijn van het gemiddelde etmaalverbruik. Dit betekent dat gemiddeld over het gehele jaar deze capaciteit voor

$\frac{100}{5,089 \times 24} \times 100\% = 82\%$ benut wordt, wat overeenkomt

met een bedrijfstijd van het maximum van 7183 uur. Voor de 7-daagse accumulatie is een reservoir nodig ter grootte van 53,27% van het gemiddeld etmaalverbruik, hetgeen dan overeenkomt met

$\frac{53,27}{5,098 \times 24} = 43,62\%$ van de produktiecapaciteit.

Bovenstaande berekening is gebaseerd op een beschikbaarheid van de waterzuiveringsinstallatie van 100%. Voor een verdamperinstallatie mag hier niet mee gerekend worden. In verband met de niet beschikbaarheid van de verdampers moet gerekend worden met een extra produktie en opslagcapaciteit.

Aangenomen is dat volstaan kan worden met een extra opslagcapaciteit ter grootte van de maximale produktie van 1 verdamper gedurende 7 dagen zijnde de langste periode waarin een verdamper buiten bedrijf zal kunnen zijn en met een extra produktiecapaciteit van 10% overeenkomend met de niet beschikbaarheidsgraad van de verdampers.

In het meest extreme geval, namelijk als gedurende enige weken na elkaar sprake is van een maximale afname van water, zal als één der verdampers gedurende 7 dagen uit bedrijf is, de extra opslagcapaciteit grotendeels zijn benut, n.l.

- bij een waterfabriek bestaande uit 4 verdampers:

waterafname : 100%

waterproduktie : $\frac{3}{4} \times 110\% = 82,5\%$

extra opslagcapaciteit: $\frac{1}{4} \times 110\% = 27,5\%$

gebruikte deel extra opslag: $\frac{100\% - 82,5\%}{27,5\%} \approx 0,64$ of 4,5 dagen

- bij een waterfabriek bestaande uit 6 verdamper:
waterafname : 100%

waterproduktie : $\frac{5}{6} \times 110\% = 92\%$

extra opslagcapaciteit: $\frac{1}{6} \times 110\% = 18,3\%$

gebruikte deel extra opslag: $\frac{100\% - 92\%}{18,3\%} \approx 0,45$ of 3,2 dagen

De tijdsduur waarin de extra reservoircapaciteit weer gevuld is, bedraagt in deze periode van maximale afname als zich geen verdere produktie-storingen voordoen:

- bij een waterfabriek bestaande uit 4 verdamper:
extra produktiecapaciteit : 10%

gebruikte deel opslagcapaciteit : $0,64 \times 27,5\%$

tijdsduur vullen: $\frac{0,64 \times 27,5\%}{10\%} \times 7 \text{ dagen} \approx 12 \text{ dagen}$

- bij een waterfabriek bestaande uit 6 verdamper:
extra produktiecapaciteit : 10%

gebruikte deel opslagcapaciteit: $0,45 \times 18,3\%$

tijdsduur vullen: $\frac{0,45 \times 18,3\%}{10\%} \times 7 \text{ dagen} \approx 6 \text{ dagen}$

Aangezien dit een extreme situatie is lijkt dit aanvaardbaar. Blijkens de voorgaande berekening is bij 7-daagse accumulatie de gemiddelde afname slechts 82% van de maximale afname. Over het algemeen zal bij uitval van één verdamper een veel geringer deel van de extra reservoircapaciteit worden aangesproken en zal door de grotere overcapaciteit dit ook sneller worden aangevuld.

Bij 7-daagse accumulatie en de veronderstelde 10% extra produktiecapaciteit moet de produktiecapaciteit per uur gelijk zijn $5,089 \times 11\%$ van het gemiddeld etmaalverbruik.

Deze capaciteit wordt gemiddeld voor

$\frac{100}{5,089 \times 1,1 \times 24} = 74,4\%$ benut, hetgeen overeenkomt met een bedrijfstijd van het maximum van 6520 uur. De reservoircapaciteit moet daarbij zijn:

- voor een installatie van 4 verdampers : 8,6 maal de dagproduktie van 1 verdamper
- voor een installatie van 6 verdampers : 9,4 maal de dagproduktie van 1 verdamper.

3.3.3 Gemiddelde bedrijfstijd van het maximum

De gemiddelde bedrijfstijd van het maximum, waarin zowel de ontwikkeling van de afname tijdens de aanlooperperiode (zie 3.3.1) als het afnamepatroon en de niet-beschikbaarheid (zie 3.3.2) tot uitdrukking zijn gebracht, bedraagt nu:

a voor proceswater:

bedrijfstijd van het maximum

vier verdampers	84% van 7500 = 6300 uur
zes verdampers	87% van 7500 = 6526 uur

b voor drinkwater:

bedrijfstijd van het maximum

vier verdampers	84% van 6520 = 5475 uur
zes verdampers	87% van 6520 = 5675 uur

4 DE STOOMPRODUKTIE

De kosten van de stoom en het gebruik aan primaire energie voor de stoomproduktie, zijn afhankelijk van de wijze waarop de stoom wordt geproduceerd. Deze worden achtereenvolgens bepaald voor de gevallen dat de stoom wordt opgewekt in een speciale ketel (4.1); dat aftapstoom van een conventionele eenheid wordt gebruikt (4.2) en dat aftapstoom van een kernenergie-eenheid wordt gebruikt (4.3).

De brandstof- resp. splijtstofkosten voor de stoomproduktie zijn grafisch weergegeven in figuur 4.

4.1 Stoomproduktie in een speciale ketel

Indien geen gebruik gemaakt wordt van aftapstoom, zal stoom geproduceerd moeten worden in een speciale ketel. In principe kan de stoom voor de verdamper geleverd worden door een eenvoudige stoomketel die verzadigde stoom produceert met een druk van 2,5 bar.

4.1.1 Brandstofverbruik en -kosten van de stoom

Om 1 kg stoom van de gewenste conditie te produceren dient 2,19 MJ warmte aan het ketelvoedingwater te worden toegevoerd. Bij een ketelrendement van 90% is daarvoor 2,44 MJ brandstof nodig. De brandstofkosten bedragen bij een brandstofprijs van P gld/GJ dan: 0,00244 P gld/kg stoom. In figuur 4 zijn deze grafisch weergegeven.

4.1.2 Investing van de ketel

Voor één verdamper moet de ketel een capaciteit van ca. 12,5 kg/sec hebben. De investering hiervoor is begroot op ca. f 800.000,-.

4.2 Aftapstoom van een conventionele eenheid

In figuur 5 is het warmteschema gegeven van een conventionele eenheid van 600 MW. De stoom voor de verdamper wordt afgetapt van de eerste aftap van het lagedrukhuis van de turbine en heeft bij vollast een druk van 2,5 bar.

Bij 60% deellast van de conventionele eenheid bedraagt de druk van deze aftap nog ca. 1,5 bar, zodat

de maximale brijntemperatuur dan nog ca. 100°C kan bedragen.

In figuur 5 is in het onderste vakje van de labels, die de stoeimeenschappen aangeven, het getransporteerde vermogen gegeven.

Het vermogen dat door de turbine wordt afgegeven, kan worden gevonden door sommering van de door de in- en uitgaande stroomstromen getransporteerde vermogens, waarbij de uitgaande stromen een negatief teken dienen te krijgen.

Als geen stoom voor de waterfabriek wordt afgetapt ($Y = 0$) bedraagt het vermogen van de eenheid aan de turbine:

$$1726,1 - 1581,3 + 1637,0 - 96,5 - 135,5 - 55,4 - 65,2 - 67,7 - 30,6 - 724,2 = 607,2 \text{ MW.}$$

Aan de generator is dat bij een generatorrendement van 98,9% = 600 MW. Als ten behoeve van de waterfabriek Y kg stoom per seconde wordt afgetapt, is de vermogensreductie aan de turbine:

$$(2,82 - 0,17 - 0,18 - 0,07 - 1,95) Y \text{ dat is: } 0,45 Y \text{ MW.}$$

Aan de generator is dat: 0,445 MW.

4.2.1 Brandstofverbruik en -kosten ten behoeve van stoom

Het netto-rendement van een moderne grote conventionele eenheid bedraagt gemiddeld ca. 38%. Voor 1 MWS elektrische energie bedraagt het brandstofverbruik gemiddeld dus 2,63 MJ.

De levering van 1 kg/s aftapstoom heeft een reductie van het elektrisch vermogen met 0,445 MW tot gevolg. Het brandstofverbruik voor de aftapstoom bedraagt: $0,445 \times 2,63 \text{ MJ} = 1,17 \text{ MJ/kg.}$

De brandstofkosten bedragen bij een brandstofprijs van P gld/GJ: 0,00117 P gld/kg stoom. De brandstofkosten zijn in figuur 4 grafisch weergegeven per 10^3 kg stoom in afhankelijkheid van de brandstofprijs.

4.2.2 Investering in de eenheid t.b.v. stoom

De investering van een moderne kolengestookte eenheid van 60 MW is begroot op f 700,-/kW (prijsspeil 1975).

De levering van 1 kg stoom per seconde heeft een vermogensreductie van 0,445 MW tot gevolg. Dit komt overeen met een investering van: $0,445 \times 1000 \times f 700,- = f 311.500,-$.

Voor één verdamper is nodig: 12,5 kg/sec.

De investering in de eenheid ten behoeve van de stoomvoorziening van één verdamper bedraagt dus: $12,5 \times f 311.500,- = f \underline{3.893.750,-}$.

4.3 Aftapstoom van een kernenergie-eenheid

In figuur 6 is het warmteschema gegeven van een kernenergie-eenheid van 1000 MW.

De stoom voor de waterfabriek wordt afgetapt van de eerste aftap van het lagedrukhuis van de turbine en heeft bij vollast een druk van 4,8 bar. Door middel van een reduceerinstallatie wordt de druk teruggebracht tot 2,51 bar.

Als geen stoom wordt afgetapt bedraagt het vermogen aan de turbine:

$4045,6 - 269,5 - 243,4 - 3170,4 + 3227,7 - 214,2 - 224,4 - 110,8 - 2026,7 \text{ MW} = 1013,9 \text{ MW}$.

Aan de generator is dat bij een generatorrendement van 98,9%: 1002,75 MW.

Als ten behoeve van de verdamper Y kg/sec. stoom wordt afgetapt, bedraagt de vermogensreductie:

$(-0,07 + 2,785 - 0,21 - 0,11 - 1,94) \times Y \text{ MW} = 0,46 \text{ MW}$.

Aan de generator is dat 0,45 Y MW.

4.3.1 Spleijstofverbruik en -kosten t.b.v. de aftapstoom

Het netto thermische rendement van een moderne grote kernenergie-eenheid bedraagt gemiddeld ca. 32%. Voor 1 MW elektrisch vermogen bedraagt het warmteverbruik: 3,125 MJ/s.

Voor de levering van 1 kg aftapstoom moet 0,45 MWs elektrische energie worden opgeofferd. Hiervoor zou nodig zijn: $0,45 \times 3,125 \text{ MJ} = 1,406 \text{ MJ}$ warmte uit de spleijstof.

Het spleijstofverbruik ten behoeve van de aftapstoom is dus: 1,406 MJ/kg.

Bij spleijstofkosten van Q gld/GJ bedragen de spleijstofkosten ten behoeve van de stoom:

$0.00146 Q \text{ gld/kg}$. In figuur 4 zijn deze kosten per 10^3 kg stoom weergegeven als functie van de spleijstofprijs.

4.2.3 Investering in de eenheid t.b.v. de aftapstoom

De investering van een kernenergie-eenheid van 1000 MW is begroot op f 1200,-/kW (prijsspeil 1975).

De levering van 1 kg aftapstoom per seconde heeft een vermogensreductie van 0,45 MW tot gevolg. De investering hiervoor komt overeen met:

$0,45 \times 1000 \times f 1200,- = f 540.000,-.$

De investering ten behoeve van de aftapstoom voor één verdamper bedraagt:

$12,5 \times f 630.000,- = f \underline{6.750.000,-}.$

5 ENERGIEVERBRUIK VOOR DE WATERPRODUKTIE

In het rapport "Inleidende Studie over het gebruik van bij elektriciteitsproduktie vrijkomende restwarmte voor stadsverwarming en ontziltling" van de Commissie voor de bestudering van het vraagstuk der "total energy" van de VDEN (1) wordt ontziltling genoemd als een van de mogelijkheden om de restwarmte van de elektriciteitsproduktie te benutten, teneinde een besparing op het verbruik van primaire energie en een vermindering van de warmte-afvoer naar de omgeving te verkrijgen.

Hoewel het ook uit het genoemde rapport blijkt lijkt het zinvol te vermelden dat van een besparing alleen sprake is in vergelijking met een situatie waarin voor de waterproduktie destillatie zonder gebruikmaking van aftapstoom, of een even energie-intensieve techniek wordt gebruikt. De besparing die dan optreedt kan als volgt worden berekend.

Een verdamper verbruikt energie in de vorm van stoom en elektriciteit. In hoofdstuk 3 is de hoeveelheid benodigde primaire energie per kg. stoom voor de verschillende wijzen van stoomproduktie bepaald, n.l.:

- bij gebruik van een speciale ketel : 2,44 MJ/kg (4.1.1)
- bij gebruik van aftapstoom van een conventionele eenheid: 1,17 MJ/kg (4.2.1)
- bij gebruik van aftapstoom van een kernenergie-eenheid : 1,406 MJ/kg (4.3.1)

Aangezien de overzetverhouding van de verdamper 10 : 1 bedraagt, is voor 1 m³ (1000 kg) 100 kg stoom nodig.

Het verbruik aan primaire energie voor de stoomvoorziening bedraagt dus per m³ water:

- bij gebruik van een speciale ketel : 100x2,44 MJ = 244 MJ
- bij aftapstoom van een conventionele eenheid : 100x1,17 MJ = 117 MJ

- bij aftapstoom van een kernenergie-eenheid : $100 \times 1,406 \text{ MJ} = \underline{140,6 \text{ MJ}}$

Het verbruik aan primaire energie voor de elektriciteitsvoorziening van de waterfabriek is voor deze gevallen gelijk en is er alleen afhankelijk van of de elektrische energie met een conventionele of een kernenergie-eenheid wordt opgewekt.

Het elektriciteitsverbruik bedraagt 1,2 MWh per uur.

Bij een waterproduktie van $450 \text{ m}^3/\text{h}$ is dat:

$0,002667 \text{ MWh}/\text{m}^3$ of $9,6 \text{ MWh}/\text{m}^3$.

Zoals bepaald in hoofdstuk 4 bedraagt het primair energieverbruik van een conventionele eenheid: 2,63 MJ voor 1 MWh en van een kernenergie-eenheid:

3,125 MJ voor 1 MWh.

Het primair energieverbruik voor de elektriciteitsvoorziening bedraagt dus per m^3 water:

- bij opwekking met conventionele eenheid : $9,6 \times 2,63 \text{ MJ} = \underline{25,2 \text{ MJ}}$
- bij opwekking met kernenergie-eenheid : $9,6 \times 3,125 \text{ MJ} = \underline{30 \text{ MJ}}$

Ten opzichte van de installatie met een speciale ketel wordt bij gebruik van aftapstoom $244 - 117 \text{ à } 140,6 = 103 \text{ à } 127 \text{ MJ}$ aan primaire energie bespaard. Procentueel is dat:

$$\frac{103 \text{ à } 127}{244 + 25,2 \text{ à } 30} \times 100\% = \underline{38 \text{ à } 47\%} \text{ (uitgedrukt in}$$

procenten van het energieverbruik van een verdamper waarvoor de stoom in een speciale ketel wordt opgewekt).

Voor de waterproduktie door middel van destillatie is ook als gebruik wordt gemaakt van aftapstoom nog een aanzienlijke hoeveelheid primaire energie nodig, n.l.

- bij gebruik van aftapstoom en elektriciteit van een conventionele eenheid: $117 + 25,2 = \underline{142,2 \text{ MJ}/\text{m}^3}$.
- bij gebruik van aftapstoom en elektriciteit van een kernenergie-eenheid: $140,6 + 30 = \underline{170,6 \text{ MJ}/\text{m}^3}$.

Aangezien voor de waterproduktie, zowel ten behoeve van de drinkwatervoorziening als ten behoeve van de industrie over het algemeen methoden gebruikt worden die minder energie vergen en destillatie in Nederland alleen plaats vindt in combinatie met elektriciteitsproduktie en afvalverbranding, kan ten opzichte van de huidige situatie geen energiebesparing worden bereikt.

Van besparing kan eerst dan sprake zijn als het gebruik van energie intensieve methoden ten behoeve van de waterproduktie noodzakelijk is.

6 KOSTEN VAN DE PRODUKTIE VAN PROCESWATER VOOR DE INDUSTRIE

6.1 Waterfabrieken met stoomlevering door speciale ketel

Uitgegaan wordt van een verdamperinstallatie bestaande uit vier verdampers zoals omschreven in hoofdstuk 3.

De stoom wordt geproduceerd door speciale ketels.

6.1.1 Investeringskosten

Voor een waterfabriek bestaande uit vier verdampers zoals omschreven in hoofdstuk 3, worden de investeringen als volgt:

a	4 verdampers à f 19.000.000,- (compleet inclusief funderingen etc.)	f 76.000.000,-
b	4 ketels à f 800.000,-	f 3.200.000,-
c	terrein: ca. 15.000 m ² à f 10,-	f 150.000,-
d	opslagtanks capaciteit ca. 40.000 m ²	f 5.000.000,- +
	t o t a a l	<u>f 84.350.000,-</u>

Bij een rentevoet van 10% en afschrijving in 20 jaar zijn de annuïteiten hiervan f 9.907.772,-.

6.1.2 Brandstofkosten

Bij een bedrijfstijd van 6300 uur van de vollastproductie is per jaar: $4 \times 12,5 \times 6300 \times 3600 = 1134 \times 10^6$ kg stoom nodig.

Bij een brandstofprijs van P gld/GJ zijn de kosten hiervan: $1147,5 \times 10^6 \times 0,00244 P$ gld = f(2.766.960 P), -/a (zie 4.1.1).

6.1.3 Elektriciteitskosten

Bij de bepaling van de elektriciteitskosten is uitgegaan van het rapport van de VDEN "Voorstel voor een tarief voor industriële en daarmee overeenkomende

grootverbruikers" (3). In dit rapport wordt voor levering vanaf het 10 kV-net een maximum- en minimumtarief aanbevolen.

Ervan uitgaande, dat de waterfabrieken in de onmiddellijke nabijheid van een grote elektriciteitsproduktie-eenheid gestationeerd zullen worden en de verbetering van het rendement van de elektriciteitsproduktie sinds het verschijnen van het rapport in aanmerking genomen, lijkt het gerechtvaardigd zowel met betrekking tot de niet brandstofgebonden kosten als met betrekking tot de brandstofvergoeding, de minimum aanbeveling te volgen.

Gecorrigeerd op prijspeil 1975 volgens de prijsvariatieloclausule resulteert dan het volgende tarief: $f \ 111,-/kW + f \ (0,01+0,0109 P),-/kWh$, waarin P de brandstofprijs is in gld/GJ. Hierop is een kwantiteitskorting op de kW-kosten van toepassing ter grootte van

$0,2 \sqrt{0,6B - 250\%}$ tot een maximum van 15%.

Voor vier verdamper met een gezamenlijk elektrisch vermogen van 4,8 MW en een bedrijfstijd van 6300 uur, worden de elektriciteitskosten per jaar:

$f \ (784.150 + 329.616 P),-$.

6.1.4 Overige kosten

De overige kosten voor de waterproduktie bedragen:

- bediening : $f \ 0,04/m^3$ destillaat
- chemicaliën : $f \ 0,05/m^3$
- onderhoud : $f \ 0,06/m^3$ destillaat.

6.1.5 De kostprijs van het gedestilleerde water

Bij een gemiddelde bedrijfstijd van 6300 uur van het maximum en een vollastproduktie van: $4 \times 450 \ m^3/$ uur is de gemiddelde jaarlijkse waterproduktie $11.340.000 \ m^3$.

De investeringskosten, brandstofkosten en elektriciteitskosten bedragen hierbij: $f \ (10.691.922 + 3.096.576 P),-/a \ d.i. \ per \ M3: f \ (0,94+0,2731 P),-$.

Tezamen met de overige kosten à f 0,15/m³ levert dit een kostprijs van het gedestilleerde water van: f (1,09+0,273 P),- (zie figuur 7).

6.2 Waterfabriek met gebruik van aftapstoom van een conventionele eenheid

Evenals in 6.1 wordt uitgegaan van een waterfabriek bestaande uit vier verdampers, zoals omschreven in hoofdstuk 3. De aftapstoom wordt betrokken van een conventionele eenheid van 600 MW (4.2). Ten gevolge van de levering van de aftapstoom treedt bij de conventionele eenheid een vermogensreduktie van ca. 22,25 MW op.

6.2.1 Investeringskosten

Voor de omschreven installatie worden de investeringskosten als volgt:

a 4 verdampers à f 19.000.000,-	f 76.000.000,-
b terrein ca. 15.000 m ² à f 10,-	150.000,-
c aandeel in de investering van de conventionele eenheid voor de aftapstoom: 4xf 3.893.750,- (zie 4.2.2)	15.575.000,-
d stoom- en condensaatleidingen	1.500.000,-
e opslagtanks (capaciteit ca. 40.000 m ³)	5.000.000,-
f reservestoomvoorziening	3.000.000,-
t o t a a l	<u>f 101.225.000,-</u>

Bij een rentevoet van 10% en afschrijving in 20 jaar, zijn de annuïteiten hiervan f 11.889.850,-.

6.2.2 Brandstofkosten

Bij een bedrijfstijd van 6300 uur van de vollastperiode is per jaar: $4 \times 12,5 \times 6300 \times 3600 = 1134 \times 10^6$ kg stoom nodig.

Bij een beschikbaarheidspercentage van de elektriciteitsproduktie-eenheid van 80% kan 80% hiervan in de vorm van aftapstoom geleverd worden, d.i. 907x10⁶ kg.

De overige $226,8 \times 10^6$ kg moet geleverd worden door de reservestoomvoorziening.

De brandstofkosten voor de stoom van de elektriciteitsproduktie-eenheid bedragen per jaar:

$$907 \times 10^6 \times 0,00117 \text{ P gld} = f (1.061.190 \text{ P}), -.$$

De brandstofkosten voor de reservestoom zijn afhankelijk van de wijze waarop in de reservestoom wordt voorzien.

Wordt deze stoom eveneens betrokken van de aftap van een conventionele eenheid, dan bedragen de kosten:

$$226,8 \times 10^6 \times 0,00117 \text{ P gld} = f (265.356 \text{ P}), -.$$

Wordt de stoom betrokken uit een speciale ketel, dan worden de kosten:

$$226,8 \times 10^6 \times 0,00244 \text{ P gld} = f (553.392 \text{ P}), -.$$

Wordt de stoom betrokken uit een aan een gasturbine nageschakelde afgassenketel, dan zullen de extra brandstofkosten die optreden als de gasturbine ten behoeve van de waterproduktie in bedrijf is, in rekening gebracht moeten worden. Deze zijn het gevolg van een verschil in rendement tussen de gasturbine en de eenheid die de met de gasturbine opgewekte elektrische energie met het hoogste rendement had kunnen opwekken.

Deze kosten zullen niet meer mogen bedragen dan de kosten bij gebruik van een speciale ketel.

6.2.3 Elektriciteitskosten

De elektriciteitskosten zijn gelijk aan die in het geval de stoomlevering door een speciale ketel plaatsvindt, zoals berekend in 6.1.3, n.l.:

$$f 784.150, - + f (329.616 \text{ P}), - \text{ per jaar.}$$

6.2.4 Overige kosten

Zie 6.1.4

6.2.5 De kostprijs van het gedestilleerde water

Bij een gemiddelde bedrijfstijd van 6300 uur van het maximum en een vollastproduktie van $4 \times 450 \text{ m}^3$ / uur, is de gemiddelde jaarproduktie:

$$11.340.000 \text{ m}^3.$$

In het geval dat ook in de reservestoom wordt voor-

zien d.m.v. aftapstoom van een conventionele eenheid bedragen de investeringskosten, brandstofkosten en elektriciteitskosten:

f (12.674.000 + 1.656.162 P),-/a, d.i.:

f (1,12 + 0,146 P),-/m³.

Tezamen met de overige kosten leidt dit tot een kostprijs van het gedestilleerd water van:

f (1,27 + 0,146 P),-/m³ (zie figuur 7).

In het geval dat in de reservestoom wordt voorzien door een speciale ketel, bedragen de investeringskosten, brandstofkosten en elektriciteitskosten:

f (12,674.000 + 1.944.198 P),-/a, d.i.:

f (1,12 + 0,172 P),-/m³.

Tezamen met de overige kosten leidt dit tot een kostprijs van het gedestilleerd water van:

f (1,27 + 0,172 P),-/m³ (zie figuur 7).

6.3 Waterfabriek met gebruik van aftapstoom van een kernenergie-eenheid

In dit geval wordt uitgegaan van een waterfabriek bestaande uit zes verdamperen zoals omschreven in hoofdstuk 3.

De aftapstoom wordt betrokken van een kernenergie-eenheid van 1000 MW (4.3). Ten gevolge van de levering van aftapstoom treedt bij de kernenergie-eenheid een vermogensreduktie op van ca. 33,75 MW.

6.3.1 Investeringskosten

Voor de omschreven installatie worden de investeringskosten als volgt:

a 6 verdamperen à f 19.000.000,-	f 114.000.000,-
b terrein ca. 22.000 m ² à f 10,-	220.000,-
c aandeel in de investeringskosten van de kernenergie-eenheid 6 x f 6.750.000,-	40.500.000,-
d stoom- en condensaatleidingen en reduceerinstallatie	4.000.000,-
e opslagtanks (cap. ca. 60.000 m ³)	7.500.000,-
f reservestoomvoorziening	4.000.000,-
t o t a a l	<u>f 170.220.000,-</u>

Bij een rentevoet van 10% en afschrijving in 20 jaar zijn de annuïteiten hiervan: f 19.993.977,-.

6.3.2 Splitsstof- en (brandstof)kosten

Bij een gemiddelde bedrijfstijd van 6525 uur van het maximum is per jaar $6 \times 12, 5 \times 6525 \times 3600 = 1762 \times 10^6$ kg stoom nodig.

Bij een beschikbaarheidspercentage van de kernenergie-eenheid van 70% kan 70% hiervan door de kernenergie-eenheid geleverd worden, d.i.:

1233×10^6 kg.

De overige 529×10^6 kg moet geleverd worden door de reservestoomvoorziening. De splitsstofkosten voor de aftapstoom bedragen bij een splitsstofprijs van Q gld/GJ:

$1233 \times 10^6 \times 0,001406 \text{ Q gld} = f (1.733.598 \text{ Q}),-$.

De kosten voor de reservestoom zijn afhankelijk van de wijze waarop in reservestoom wordt voorzien.

Wordt deze stoom eveneens betrokken van een kernenergie-eenheid, dan bedragen de splitsstofkosten hiervoor:

$529 \times 10^6 \times 0,001406 \text{ Q gld} = f (743.774 \text{ Q}),-$.

Wordt deze stoom betrokken van de aftap van een conventionele eenheid, dan bedragen de brandstofkosten:

$529 \times 10^6 \times 0,00117 \text{ P gld} = f (618.930 \text{ P}),-$.

Wordt de stoom betrokken uit een speciale ketel, dan worden de kosten:

$529 \times 10^6 \times 0,00244 \text{ P gld} = f (1.290.760 \text{ P}),-$.

6.3.3 Elektriciteitskosten

De elektriciteitskosten zijn berekend volgens het in 6.1.3 genoemde tarief.

Voor zes verdampers met een gezamenlijk elektrisch vermogen van 7,2 MW en een bedrijfstijd van 6525 uur, worden de elektriciteitskosten per jaar:

f (1.183.227 + 512.082 P),-.

6.3.4 Overige kosten

De overige kosten bedragen ca. $f 0,15/m^3$ destillaat (zie 6.1.4).

6.3.5 De kostprijs van het gedestilleerde water

Bij een gemiddelde bedrijfstijd van 6525 uur en een vollastproduktie van $6 \times 450 \text{ m}^3/\text{uur}$, is de gemiddelde jaarlijkse waterproduktie: $17.617.500 \text{ m}^3$.

In het geval dat alle stoom betrokken wordt van kernenergie-eenheden, bedragen de jaarlijkse investeringskosten, splijtstofkosten en elektriciteitskosten:

$f (21.177.204,- + 2.477.372 Q + 512.082 P), - \text{ d.i.:}$

$f (1,20 + 0,1406 Q + 0,0291 P), -/\text{m}^3$.

Tezamen met de overige kosten à $f 0,15/\text{m}^3$ wordt de kostprijs van het gedestilleerde water dan:

$f (1,35 + 0,1406 Q + 0,0291 P), -/\text{m}^3$ (zie figuur 7^{*}).

In het geval dat de reservestoom betrokken wordt van een conventionele eenheid, bedragen de investeringskosten, brandstofkosten, splijtstofkosten en elektriciteitskosten per jaar:

$f (21.177.204 + 1.733.598 Q + 1.131.012 P), - \text{ d.i.:}$

$f (1,20 + 0,0984 Q + 0,0642 P), -/\text{m}^3$ gedestilleerd water.

Tezamen met de overige kosten à $f 0,15/\text{m}^3$, wordt de kostprijs van het gedestilleerde water dan:

$f (1,35 + 0,0984 Q + 0,0642 P), -/\text{m}^3$ (zie figuur 7^{*}).

In het geval dat in de reservestoom wordt voorzien door een speciale ketel bedragen de investeringskosten, brandstofkosten en elektriciteitskosten per jaar:

$f (21.177.204 + 1.733.598 Q + 1.802.842 P), -/\text{m}^3$

d.i.: $f (1,20 + 0,0984 Q + 0,1023 P), -/\text{m}^3$.

Tezamen met de overige kosten à $f 0,15/\text{m}^3$ wordt de kostprijs van het gedestilleerde water dan:

$f (1,35 + 0,0984 Q + 0,1023 P), -/\text{m}^3$ (zie figuur 7^{*}).

* N.B.: Voorshands is bij deze figuur uitgegaan van een vaste verhouding tussen de splijtstofprijs en de brandstofprijs, namelijk
 $Q : P = 1 : 4$.

7 KOSTEN VAN DE PRODUKTIE VAN GEDESTILLEERD WATER VOOR DE BEREIDING VAN DRINKWATER

In dit hoofdstuk worden de kosten voor de produktie van gedestilleerd water voor de bereiding van drinkwater berekend, voor het geval dat het afnamepatroon van het drinkwatergebruik volledig moet worden gevolgd. In dat geval gelden de in 3.3 bepaalde bedrijfstijden van het maximum. De kosten van nakoeling van het destillaat zijn in rekening gebracht.

Om het destillaat voor gebruik als drinkwater geschikt te maken, zal het nog verdere bewerking moeten ondergaan.

De kosten hiervoor zijn in dit hoofdstuk buiten beschouwing gelaten. Dit geldt ook voor de kosten van breekpuntschloring, welke vóór de destillatie zou kunnen worden toegepast om een ammoniak-vrij destillaat te verkrijgen.

7.1 Waterfabriek met stoomlevering door een speciale ketel

7.1.1 Investeringskosten

Voor een waterfabriek, bestaande uit vier verdampers zoals omschreven in hoofdstuk 3, worden de investeringen als volgt:

a 4 verdampers à f 19.000.000,-	f 76.000.000,-
b 4 ketels à f 800.000,-	3.200.000,-
c terrein ca. 20.000 m ² à f 10,-	200.000,-
d voorziening voor nakoeling destillaat	3.000.000,-
e opslagtanks (ca. 95.000 m ²)	11.875.000,-
t o t a a l	<u>f 94.275.000,-</u>

Bij een rentevoet van 10% en afschrijving in 20 jaar, zijn de annuïteiten hiervan: f 11.073.505,-.

7.1.2 Brandstofkosten

Bij een bedrijfstijd van 5475 uur van de vollastproductie is per jaar: $4 \times 12,5 \times 5475 \times 3600 = 985,5 \times 10^6$ kg stoom nodig. Bij een brandstofprijs van P gld/GJ zijn de kosten hiervan:

$$985,5 \times 10^6 \times 0,0244 \text{ P gld} = \underline{f (2.404.620 \text{ P}), -/a.}$$

7.1.3 Elektriciteitskosten

Gerekend wordt met het tarief zoals genoemd in 6.1.3. Voor de nakoeling zal per verdamper ca. 0,1 MW extra elektrisch vermogen nodig zijn.

Het totaal elektrisch vermogen van de waterfabriek wordt dan 5,2 MW. Bij een gemiddelde bedrijfstijd van 5540 uur worden de elektriciteitskosten per jaar:

$$\underline{f (803.435 + 310.323 \text{ P}), -.}$$

7.1.4 Overige kosten

De overige kosten voor de waterproductie bedragen:

- bediening : f 0,04/m³
- chemicaliën : f 0,05/m³
- onderhoud : f 0,06/m³ (zie 7.1.3)

7.1.5 De kostprijs van het gedestilleerde water

Bij een gemiddelde bedrijfstijd van 5474 uur van het maximum en een vollastproductie van $4 \times 450 \text{ m}^3/\text{uur}$, is de gemiddelde jaarlijkse waterproductie:

$$\underline{9.855.000 \text{ m}^3.}$$

De investeringskosten, brandstofkosten en elektriciteitskosten bedragen hierbij:

$$f (11.876.940 + 2.714.943 \text{ P}), -/a, \text{ d.i. per m}^3:$$

$$f (1,21 + 0,276 \text{ P}), -.$$

Tezamen met de overige kosten à f 0,15/m³ levert dit een kostprijs van het gedestilleerde water van:

$$\underline{f (1,36 + 0,276 \text{ P}), -/m}^3 \text{ (zie figuur 8).}$$

7.2 Waterfabriek met gebruik van aftapstoom van een conventionele eenheid

Uitgegaan wordt van een installatie als onder 6.2, echter met toevoeging van extra voorzieningen voor opslag en nakoeling van destillaat.

7.2.1 Investeringskosten

Voor de omschreven installatie worden de investeringen als volgt:

a 4 verdamperen à f 19.000.000,-	f 76.000.000,-
b terrein ca. 20.000 m ² à f 10,-	200.000,-
c aandeel in de investering van de conventionele eenheid, voor de aftapstoom: 4xf 3.893.750,- (zie 4.2.2)	15.575.000,-
d stoom- en condensaatleidingen	1.500.000,-
e reservestoomvoorziening	3.000.000,-
f opslagtanks (ca, 95.000 m ³)	11.875.000,-
g voorziening voor nakoeling destillaat	3.000.000,-
t o t a a l	f 111.150.000,-

Bij een rentevoet van 10% en afschrijving in 20 jaar bedragen de annuïteiten hiervan:
f 13.055.637,-.

7.2.2 Brandstofkosten

Bij een bedrijfstijd van 5475 uur van het maximum is per jaar: $4 \times 12,5 \times 5475 \times 3600 \text{ kg} = 985,5 \times 10^6 \text{ kg}$ stoom nodig.

Bij een beschikbaarheidspercentage van de elektriciteitsproduktie-eenheid van 80% kan 80% hiervan in de vorm van aftapstoom geleverd worden, d.i.:

$788,4 \times 10^6 \text{ kg}$. De overige $197,1 \times 10^6 \text{ kg}$ moet geleverd worden door de reservestoomvoorziening.

De brandstofkosten voor de aftapstoom bedragen per jaar: $788,4 \times 10^6 \times 0,000117 \text{ P gld} = \underline{f (922,400 \text{ P}),-}$.

De brandstofkosten voor de reservestoom zijn afhankelijk van de wijze waarop in de reservestoom wordt voorzien.

Wordt deze stoom eveneens betrokken uit een conventionele eenheid, dan bedragen de kosten per jaar:

$197,1 \times 10^6 \times 0,00117 \text{ P gld} = \underline{f (230.607 \text{ P}),-}$.

Wordt deze stoom geleverd door speciale ketels, dan worden de kosten $197,1 \times 10^6 \times 0,00244 \text{ P gld} = \underline{f (480.924 \text{ P}),-}$.

7.2.3 Elektriciteitskosten

De elektriciteitskosten zijn gelijk aan die bij het geval dat de stoomproduktie geheel met speciale ketels plaatsvindt, zoals berekend in 8.1.3, n.l.:
 $f (803.435,- + 310.323 P),-$ per jaar.

7.2.4 Overige kosten

De overige kosten bedragen $f 0,15/m^3$ (zie punt 7.1.3).

7.2.5 De kostprijs van het gedestilleerde water

Bij een gemiddelde bedrijfstijd van 5475 uur van het maximum en een vollastproduktie van $4 \times 450 m^3/\text{uur}$, is de gemiddelde jaarlijkse produktie: $9.855.000 m^3$.

In het geval dat in de reservestoom eveneens voorzien wordt door aftapstoom van een conventionele eenheid, zijn de investeringskosten, brandstof- en elektriciteitskosten: $f (13.859.072 + 1.463.333 P), -/\text{jaar}$, d.i.: $f (1,41 + 0,1484 P), -/m^3$.

Tezamen met de overige kosten $\tilde{a} f 0,15/m^3$ levert dit een kostprijs van het gedestilleerde water van: $f (1,56 + 0,148 P), -/m^3$ (zie figuur 8).

Wordt in de reservestoom voorzien door speciale ketels, dan zijn de investeringskosten, brandstofkosten en elektriciteitskosten:

$f (13.859.072 + 1.713.647 P), -$ per jaar d.i.:

$f (1,41 + 0,174 P), -/m^3$.

Tezamen met de overige kosten $\tilde{a} 0,15/m^3$ levert dit een kostprijs van het gedestilleerde water van: $f (1,56 + 0,174 P), -/m^3$ (zie figuur 8).

7.3 Waterfabriek met gebruik van aftapstoom van een kernenergie-eenheid

Uitgegaan wordt van een installatie als in 7.2, echter met toevoeging van extra voorzieningen voor opslag en nakoeling van het destillaat.

7.3.1 Investeringskosten

Voor de omschreven installatie worden de investeringen als volgt:

a 6 verdamperen à f 19.000.000,-	f 114.000.000,-
b terrein ca. 26.000 m ² à f 10,-	260.000,-
c aandeel in de investeringskosten van de kernenergie-eenheid	40.500.000,-
d stoom- en condensaatleidingen en reduceerinstallatie	4.000.000,-
e reservestoomvoorziening	4.000.000,-
f opslagtanks (ca. 105.000 m ³)	13.125.000,-
g voorziening voor nakoeling destillaat	4.500.000,-
t o t a a l	<u>f 180.385.000,-</u>

Bij een rentevoet van 10% en afschrijving in 20 jaar zijn de annuïteiten hiervan f 21.187.953,-.

7.3.2 Splitsstof- (en brandstof)kosten

Bij een bedrijfstijd van het maximum van 5675 uur is per jaar: $6 \times 12,5 \times 5675 \times 3600 \text{ kg} = \underline{1.532,3 \times 10^6 \text{ kg}}$ stoom nodig.

Bij een beschikbaarheidspercentage van de kernenergie-eenheid van 70% kan 70% hiervan door de kernenergie-eenheid geleverd worden, d.i.:

$1.072,6 \times 10^6 \text{ kg}$.

Het overige d.i. $459,7 \times 10^6 \text{ kg}$ moet geleverd worden door de reservestoomvoorziening.

De splitsstofkosten voor de aftapstoom bedragen bij een splitsstofprijs van Q gld/GJ:

$1109,4 \times 10^6 \times 0,001406 \text{ Q gld} = \underline{f (1.508.075 \text{ Q}), -}$.

De kosten voor de reservestoom zijn afhankelijk van de wijze waarop in de reservestoom wordt voorzien. Wordt deze stoom eveneens betrokken van een kernenergie-eenheid, dan bedragen de splitsstofkosten hiervoor:

$459,7 \times 10^6 \times 0,001406 \text{ Q gld} = \underline{f (646.338 \text{ Q}), -}$.

Wordt deze stoom betrokken van een conventionele eenheid, dan bedragen hiervoor de brandstofkosten:

$459,7 \times 10^6 \times 0,00117 \text{ P gld} = \underline{f (537.849 \text{ P}), -}$.

Wordt deze stoom betrokken uit een speciale ketel, dan worden de kosten: $459,7 \times 10^6 \times 0,00244 \text{ P gld} = \underline{f (1.121.668 \text{ P}), -}$.

7.3.3 Elektriciteitskosten

De elektriciteitskosten zijn berekend volgens het in 7.1.3 gegeven tarief.

Voor zes verdamper, inclusief nakoelingsinstallatie, is het gezamenlijk elektrisch vermogen 7,8 MW. Bij een bedrijfstijd van 5675 uur bedragen de elektriciteitskosten: f (1.208.408 + 482.288 P), -/a.

7.3.4 Overige kosten

De overige kosten bedragen f 0,15/m³ (zie 7.1.4).

7.3.5 De kostprijs van het gedestilleerde water

Bij een gemiddelde bedrijfstijd van het maximum van 5675 uur en een vollastproductie van 6x450 m³/uur, is de gemiddelde jaarlijkse waterproductie:

15.322.500 m³.

In het geval dat alle stoom betrokken wordt van kern-energie-eenheden, bedragen de jaarlijkse investeringskosten, splijtstofkosten en elektriciteitskosten:

f (22.396.361 + 2.154.413 Q + 482.488 P), - d.i.:

f (1,46 + 0,141 Q + 0,032 P), -/m³.

Tezamen met de overige kosten à f 0,15/m³ levert dit een kostprijs van het gedestilleerde water van:

f (1,61 + 0,141 Q + 0,032 P), -/m³ (zie figuur 8) *).

In het geval dat de reservestoom betrokken wordt van een conventionele eenheid worden de investerings-, brandstof-, splijtstof- en elektriciteitskosten per jaar:

f (22.396.361 + 1.508.075 Q + 1.020.337 P), - d.i.:

f (1,46 + 0,098 Q + 0,066 P), -/m³.

Tezamen met de overige kosten à f 0,15/m³ levert dit een kostprijs van het gedestilleerde water van:

f (1,16 + 0,098 Q + 0,066 P), -/m³ (zie figuur 8) *).

In het geval dat de reservestoom betrokken wordt van een speciale ketel, worden de investerings-, brandstof-, splijtstof- en elektriciteitskosten per jaar:

f (22.396.361 + 1.508.075 Q + 1.604.156 P), - d.i.:

f (1,46 + 0,098 Q + 0,0105 P), -/m³.

* N.B. Voorshands is bij deze figuur uitgegaan van een vaste verhouding tussen splijtstofprijs en brandstofprijs, namelijk Q : P = 1 : 4.

Tezamen met de overige kosten à $0,15/m^3$ levert dit een kostprijs van het gedestilleerde water van:
 $f (1,61 + 0,098 Q + 0,105 P), -/m^3$ (zie figuur 8)

8 EEN AANTAL MOGELIJKHEDEN TOT VERLAGING VAN DE KOSTPRIJS

De in de voorgaande hoofdstukken gegeven kostprijsberekening laat mogelijkheden open welke tot een verlaging van de kostprijs zouden kunnen leiden. Een aantal hiervan wordt in dit hoofdstuk besproken.

8.1 Kostenreduktie door toepassing van nieuwe verdampertechnieken

De techniek van de waterontziltling is nog betrekkelijk jong. Op verschillende plaatsen in de wereld wordt intensief onderzoek gedaan aan de ontwikkeling van verdamper met lagere investeringskosten en een lager energieverbruik.

Ook in Nederland wordt hieraan onderzoek gedaan, met name aan de Technische Hogeschool te Delft. Door Klaren (4) is een nieuw type verdamper ontwikkeld, de zogenaamde F.B.E. (fluïdized bed evaporator). Een eerste verdamper van dit type is onlangs in bedrijf genomen ten behoeve van de watervoorziening van het ketelhuis van de T.H. te Delft. Volgens de meest recente evaluaties zou met het huidige ontwerp van deze verdamper een integrale kostenbesparing van 20 à 25% kunnen worden verwezenlijkt. Deze besparing is gebaseerd op een ontwerp met een overzetverhouding gelijk aan die van de M.S.F.-verdamper.

In principe biedt de F.B.E. de mogelijkheid een aanzienlijk hogere overzetverhouding te kiezen. Bij een geoptimaliseerde overzetverhouding zou de besparing nog aanzienlijk groter kunnen zijn.

8.2 Kostenreduktie door gebruikmaking van de draaiende reserve van de elektriciteitsproduktie-eenheid

Er is bij de kostprijsberekeningen in de voorgaande hoofdstukken van uitgegaan dat de kosten van het elektrisch vermogen dat niet gebruikt kan worden, indien aftapstoom geleverd wordt ten behoeve van de

waterproduktie, volledig worden doorberekend in de kosten van de waterproduktie.

Bij de elektriciteitsproduktie moet echter steeds, om een goede regeling van de frequentie en de vermogens bij de elektriciteitsproduktie te verkrijgen en produktiestoringen op te vangen, meer vermogen in bedrijf zijn dan overeenkomt met de belasting. Dit meerdere vermogen, de z.g. "draaiende reserve", moet variërend van winter tot zomer in totaal ca. 5-8% van de hoogste werkdagbelasting bedragen.

Volgens de momenteel geldende richtlijnen moet deze reserve naar evenredigheid over de in bedrijf zijnde eenheden worden verdeeld.

Voor een goede regeling bij ongestoord bedrijf is een regelmarge van ca. 3% nodig.

Op het overige deel van de draaiende reserve (2 à 5%, afhankelijk van de belasting) wordt slechts zeer incidenteel een beroep gedaan.

Indien nu een incidentele onderbreking van de levering van de aftapstoom ten voordele van de elektriciteitsproduktie toelaatbaar wordt geacht, kan dit deel van de draaiende reserve worden benut en kan overwogen worden de kosten van het betreffende elektrische vermogen niet of slechts deels aan de waterproduktie in rekening te brengen.

Dit zal in het algemeen het geval zijn als de reservestoom niet van een elektriciteitsproduktie-eenheid betrokken wordt. In andere gevallen zouden bezwaren kunnen worden ondervangen door extra opslagcapaciteit van gedestilleerd water.

De waterfabrieken waarvan bij de kostprijsberekening is uitgegaan leggen beslag op 3,7% (bij conventionele eenheid) resp. 3,4% (bij kernenergie-eenheid) van het produktievermogen.

Ervan uitgaande dat over het gehele jaar van 2% gebruik zou kunnen worden gemaakt uit de draaiende reserve, zou 54% resp. 59% van de in rekening gebrachte vermogensvergoeding kunnen vervallen.

Dit heeft een kostenreduktie tot gevolg van ca. 8 à 9 ct/m³ bij gebruik van aftapstoom van een conventionele eenheid en 15 tot 17 ct/m³ bij gebruik van aftapstoom van een kernenergie-eenheid.

Indien ten opzichte van de elektriciteitsproduktie-eenheden een slechts half zo grote capaciteit aan

waterfabrieken zou worden opgesteld zou de kostenreduktie 16 à 18 resp. 25 à 29 ct/m³ kunnen zijn, omdat dan geheel van het beschikbare deel van de draaiende reserve gebruik zou kunnen worden gemaakt. In dat geval zullen de overige kosten per m³ water wellicht iets hoger zijn.

Bij een kernenergie-eenheid heeft de levering van aftapstoom invloed op de cyclusduur en daarmee op de verhouding tussen bedrijfstijd en stilstandtijd. Dit geldt ook als gebruik gemaakt wordt van de draaiende reserve.

Indien 2% van het vermogen geleverd wordt voor aftapstoom, zal de bedrijfstijd van het maximum gemiddeld over de levensduur ca. 0,2% korter worden. Teneinde de kosten van de elektriciteitsproduktie niet te beïnvloeden zou dus als van 2% van de draaiende reserve gebruik gemaakt wordt, toch een vergoeding voor 0,2% van het vermogen aan de waterproduktie in rekening moeten worden gebracht. De kostenreduktie bij gebruik van aftapstoom van een kernenergiecentrale wordt dan ca. 10% lager dan bovengenoemd.

8.3 Kostenreduktie bij de waterproduktie ten behoeve van de drinkwatervoorziening door optimale inpassing in het totale systeem

Bij de berekeningen van de kosten van de waterproduktie ten behoeve van de drinkwatervoorziening is er van uitgegaan dat het afnamepatroon van het drinkwater volledig gevolgd wordt, zodat de kosten van de overige drinkwaterproduktie niet worden beïnvloed. Dit leidt tot een minder gunstige bedrijfstijd van de verdamper. Door een integratie van de waterfabriek in het totale drinkwatersysteem en optimalisatie van de gecombineerde bedrijfsvoering zal over het algemeen een kostenreduktie mogelijk zijn. Het is hierbij denkbaar dat de gemiddelde bedrijfstijd zelfs hoger zou zijn dan bij de proceswaterproduktie in de industrie, met name als in de aanloopperiode een beter gebruik van de verdamper kan worden gemaakt.

De kostprijs van het gedestilleerde water zou dan ook lager kunnen zijn dan bij de produktie voor

industriëel gebruik.

De extra kosten die dit voor de overige waterproductie tot gevolg heeft zijn in hun algemeenheid moeilijk te ramen. Veelal zal van reeds bestaand accumulatiemogelijkheden gebruik kunnen worden gemaakt en zullen de extra kosten met name betrekking hebben op extra transportcapaciteit. Bedacht moet hierbij worden dat de kwaliteit van het gedestilleerde water essentieel verschilt van het overige gezuiverde water, met name door een verwaarloosbaar laag zoutgehalte.

Wordt er van uitgegaan dat het water gemengd wordt, dan zou het overige geproduceerde water een hoger zoutgehalte mogen hebben.

Voor een nauwkeurige kostenbepaling van de productie in een geïntegreerd systeem is nadere studie nodig, waarbij de plaatselijke omstandigheden en de bestaande infrastructuur mede in beschouwing moeten worden genomen.

9 GEBRUIKSMOGELIJKHEDEN

9.1 Gebruiksmogelijkheden als industriewater

Gedestilleerd water komt voor industriëel gebruik alleen in aanmerking als water van hoge kwaliteit gewenst wordt.

De prijs van drinkwater voor industriëel gebruik is op prijspeil midden 1975 ca. f 0,75/m³. Gedestilleerd water is aanmerkelijk duurder (zie fig. 7).

De kwaliteit van gedestilleerd water uit een "flash"-verdampster is in het algemeen voldoende voor rechtstreeks gebruik. In een beperkt aantal gevallen zal bij de gebruiker nog een relatief goedkope polishing nodig zijn. De kosten hiervan bedragen f 0,20 tot max. f 1,-/m³.

Om water van vergelijkbare kwaliteit te bereiden uit drinkwater is demineralisatie nodig. Uitgaande van een drinkwaterprijs van f 0,75/m³ bedraagt de kostprijs van gedemineraliseerd water ten minste f 1,75. Dit kan echter aanzienlijk hoger zijn, met name bij een betrekkelijk gering verbruik. Veelal zal ook een overcapaciteit worden opgesteld om discontinu waterbehoefte en/of perioden waarin een demi-installatie niet in bedrijf is op te vangen. De investeringskosten en de bedienings- en onderhoudskosten zijn per m³ geproduceerd water dan hoger.

Als gebruik wordt gemaakt van aftapstoom van een elektrische centrale zou de productie van gedestilleerd water voor industriëel gebruik concurrerend kunnen zijn (zie fig. 7). Zeker is dat het geval als aftapstoom van een kernenergiecentrale wordt gebruikt en gebruik zou kunnen worden gemaakt van de draaiende reserve.

Indien bij de toepassing van nieuwe verdampertechnieken een kostenreductie van 20 à 25% zou worden verwezenlijkt, zou in alle gevallen dat aftapstoom van een elektrische centrale wordt gebruikt, de kostprijs van het gedestilleerde water onder die van gedemineraliseerd water kunnen liggen.

9.2 Gebruiksmogelijkheden voor de drinkwatervoorziening

Het gedestilleerde water uit een "flash"-verdamer is niet zonder meer geschikt voor gebruik als drinkwater. De geschiktheid voor deze toepassing is afhankelijk van de kwaliteit van het ruwe water waarvan moet worden uitgegaan, aangezien een aantal voor gebruik als drinkwater schadelijke stoffen met het produkt meedestilleren en mogelijk zelfs in hogere concentratie in het destillaat voorkomen. Ook indien van voldoende zuiver destillaat kan worden uitgegaan, is een verdere nabehandeling nodig.

Naast de nakoeling, welke in de in hoofdstuk 7 uitgewerkte kostprijsberekening is opgenomen, zal deze onder meer moeten bestaan uit een beluchting en actieve-koolfiltratie.

Teneinde ammoniak te verwijderen is een breekpuntschloring gewenst, welke echter ook voorafgaand aan de destillatie kan plaatsvinden en gecombineerd kan worden met de chloring die noodzakelijk is om mosselgroei in de condensors van de verdamer tegen te gaan.

Aangezien de prijs van drinkwater in Nederland momenteel gemiddeld ca. f 1,00/m³ bedraagt, aan huis geleverd, is de kostprijs van het destillaat te hoog voor algemene toepasbaarheid voor de drinkwaterproduktie (zie fig. 8).

Ook de mogelijkheden om de kostprijs te verlagen zullen hieraan vooralsnog niets kunnen veranderen. Slechts in bijzondere gevallen (zoals b.v. op Texel) zal een ontziltingsinstallatie voor uitsluitend drinkwaterproduktie rendabel zijn.

Een mogelijke toepassing ten behoeve van de drinkwatervoorziening is het bijmengen van drinkwater met gedestilleerd water.

Bij een optimale integratie van de waterfabrieken in het bestaande produktiesysteem zou de kostprijs van het gedestilleerde water enigszins gereduceerd kunnen worden.

In vergelijking met de conventionele methoden van drinkwaterproduktie zal destillatie echter relatief duur blijven. Een mogelijke toepassing is het bijmengen van gedestilleerd water ter verbetering van de drinkwaterkwaliteit, als het zoutgehalte van het op

conventionele manier geproduceerde water erg hoog is.
De nabehandeling van het gedestilleerde water kan
hierbij wellicht gedeeltelijk achterwege blijven.
Deze toepassingsmogelijkheid vereist nadere studie.

bar	kJ/kg
kg/s	°C
MW (MJ/s)	

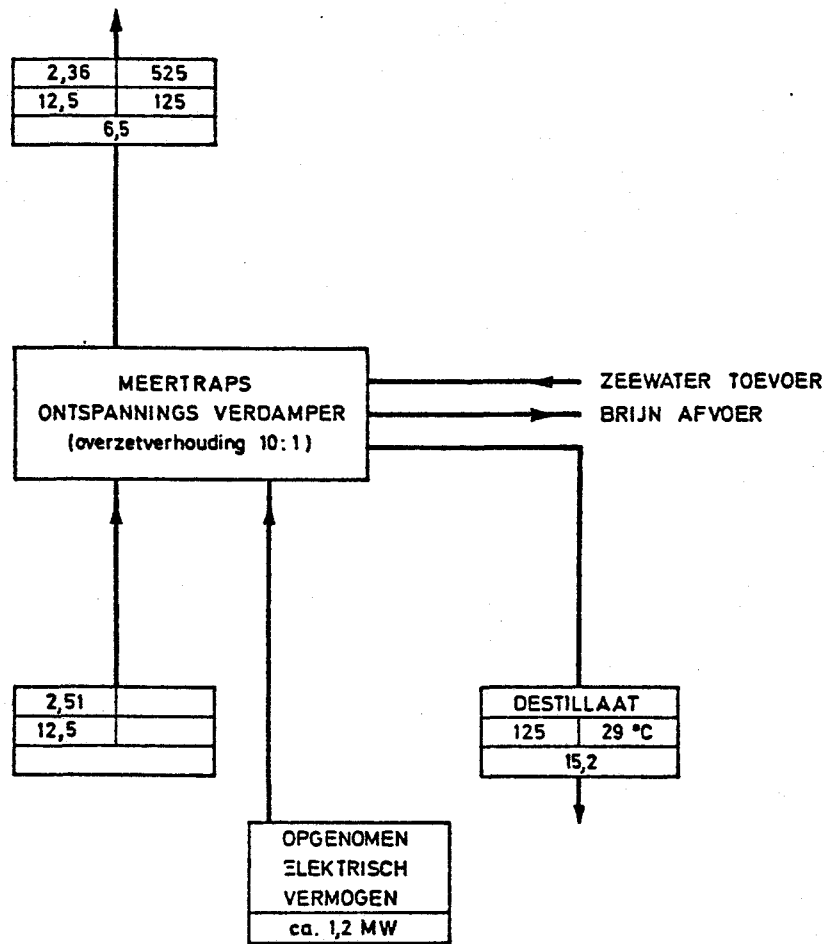


FIG. 1 SCHEMA VERDAMPER

KEMA ARNHEM	Get.: 2	Gec.:	Beh. bij:	Bestaat uit:	Formaat:	Nummer
	18-7-'75			A0. A1. A2. A3. 5A4.	A 4	D 4231 - 01

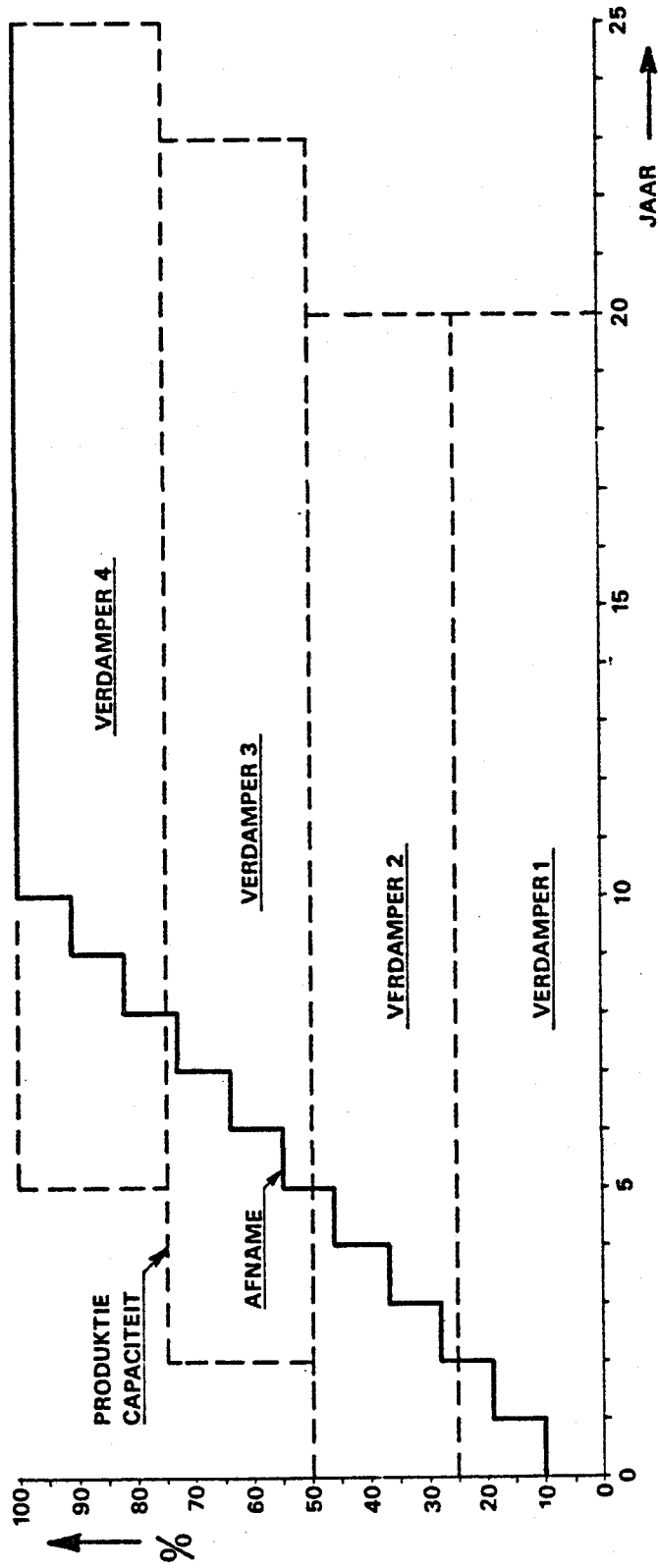


FIG.2 ONTWIKKELING VAN DE AFNAME EN OP TE STELLEN PRODUKTIECAPACITEIT BIJ EEN WATERFABRIEK
BESTAANDE UIT VIER VERDAMPERS

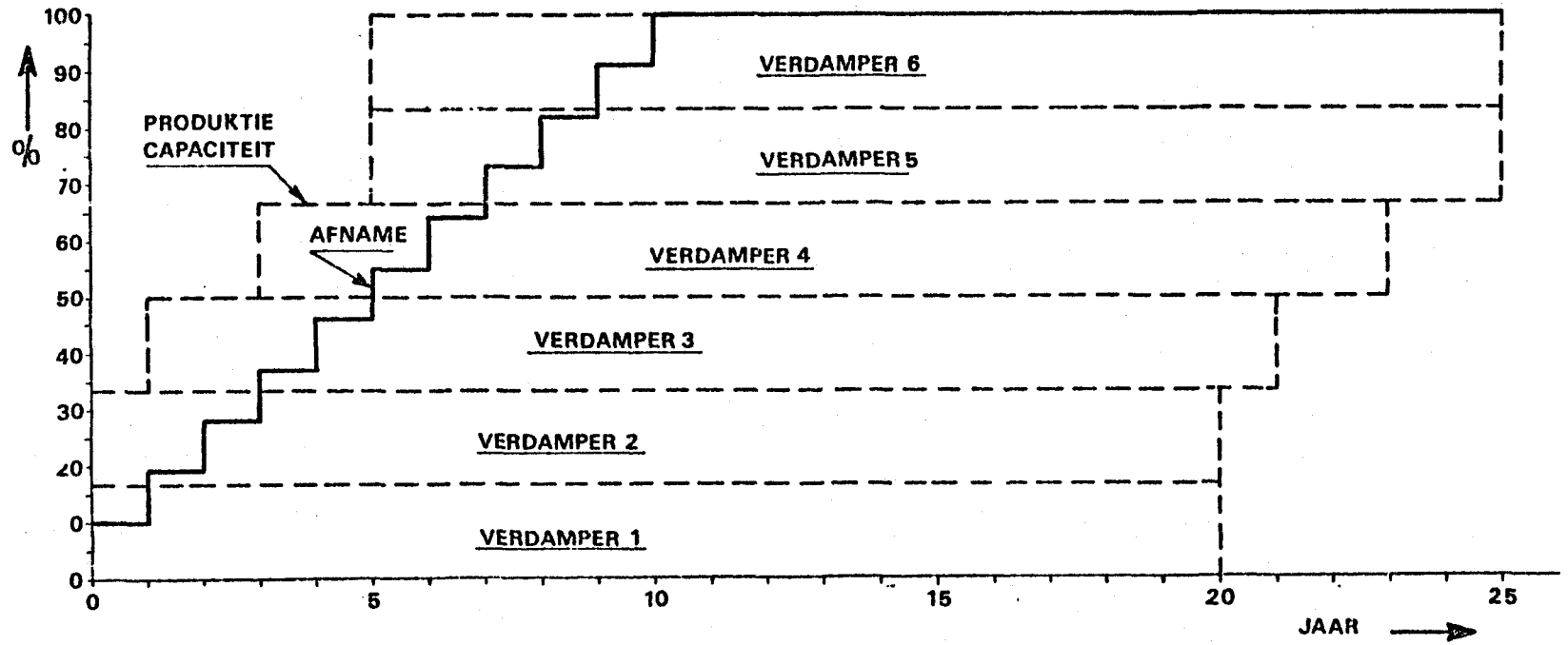


FIG. 3 ONTWIKKELING VAN DE AFNAME EN DE OP TE STELLEN PRODUKTIECAPACITEIT BIJ EEN WATERFABRIEK BESTAANDE UIT ZES VERDAMPERS

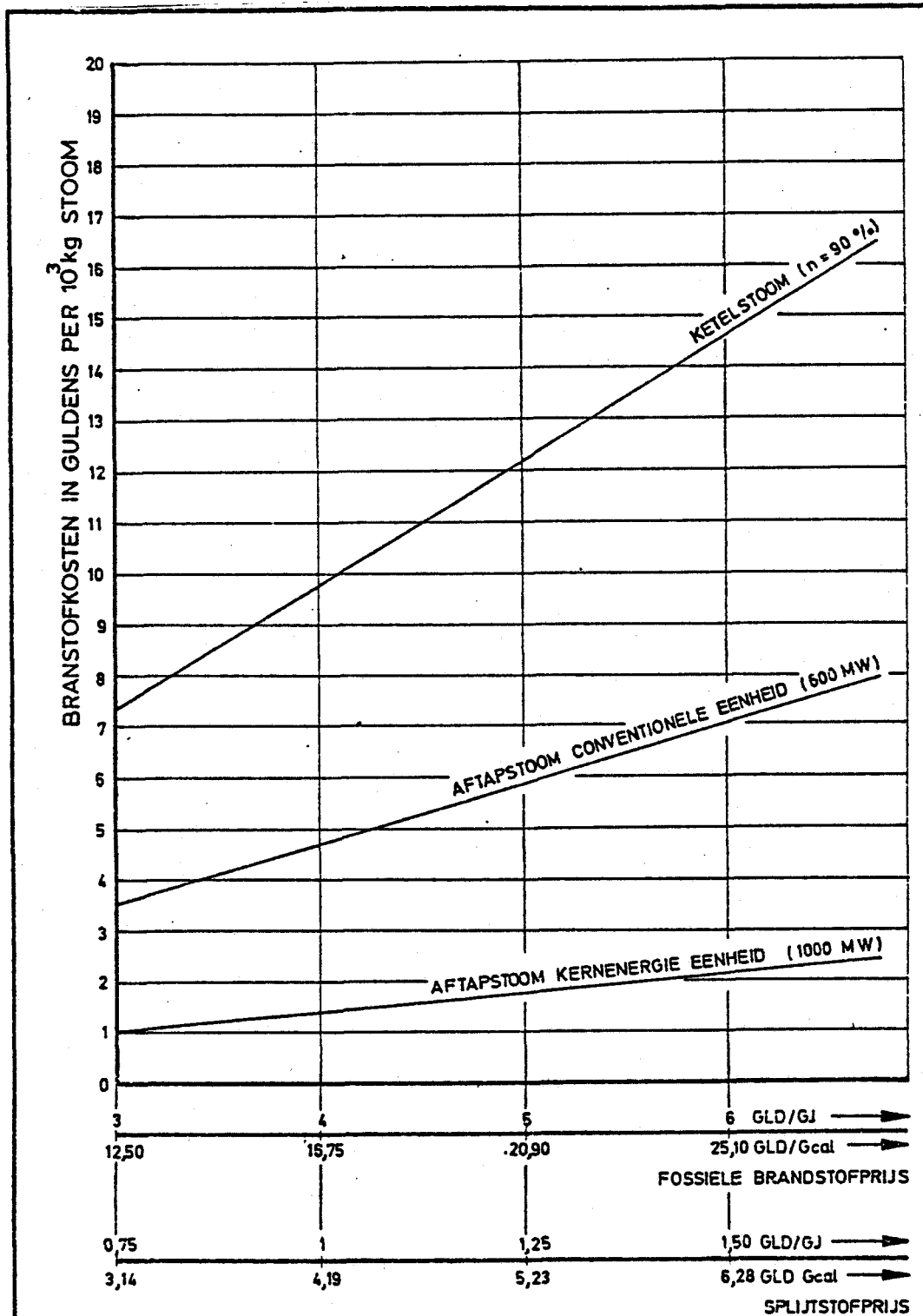


FIG. 4 BRANDSTOF - / SPLIJTSTOFKOSTEN VAN DE STOOM

KEMA ARNHEM	Get.: <u>5</u>	Geec.:	Beh. bij:	Bestaat uit:	Formaat:	Nummer:
	18-7-'75			A0: A1: A2: A3: 5A4:	A 4	D4231-02

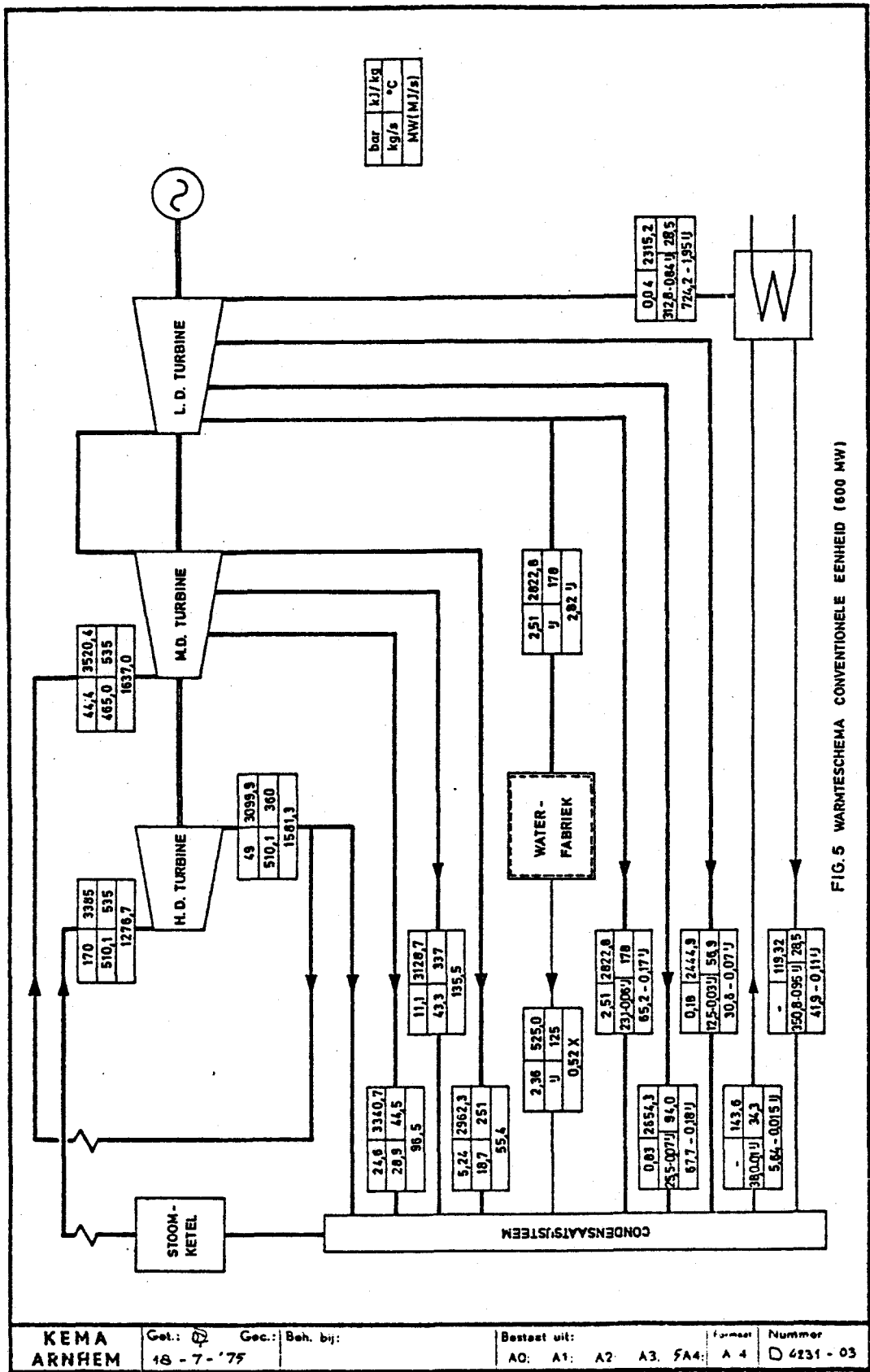


FIG.5 WARMTESCHEMA CONVENTIONELE EENHEID (600 MW)

KEMA ARNHEM Get.: 18-7-'75 Geoc.: Beh. bij: Bestand uit: A0: A1: A2: A3: FA4: A 4 Formaat: Nummer: D 4231-03

KEMA
ARNHEM

Cell: 18-7-75

Gecl. Beh. lij.

Bereikt uit:

A0. A1. A2. A3. 5A4.

A.4

nummer
D 4231-04

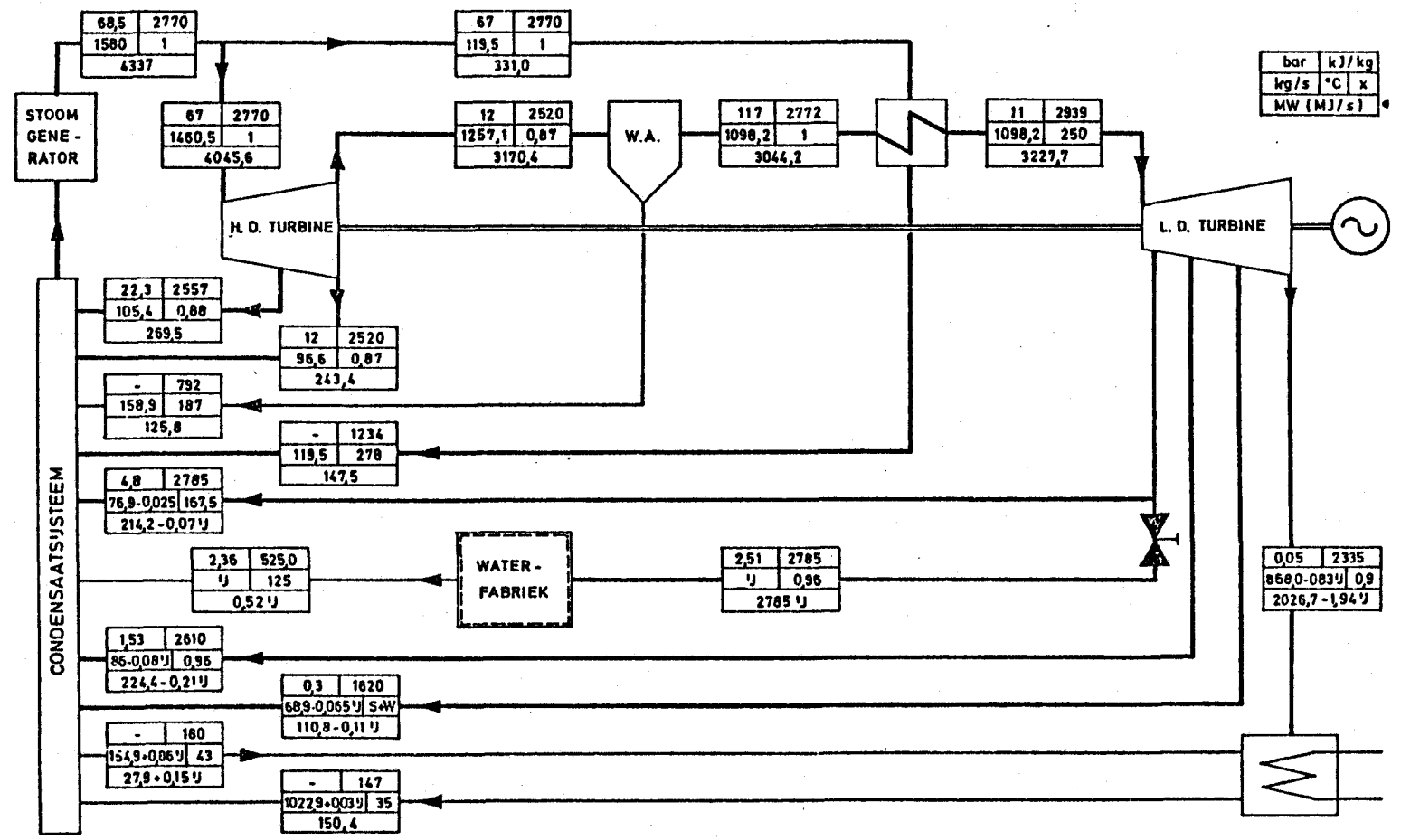


FIG. 6 WARMTESHEMA KERNENERGIE-EENHEID (1000 MW)

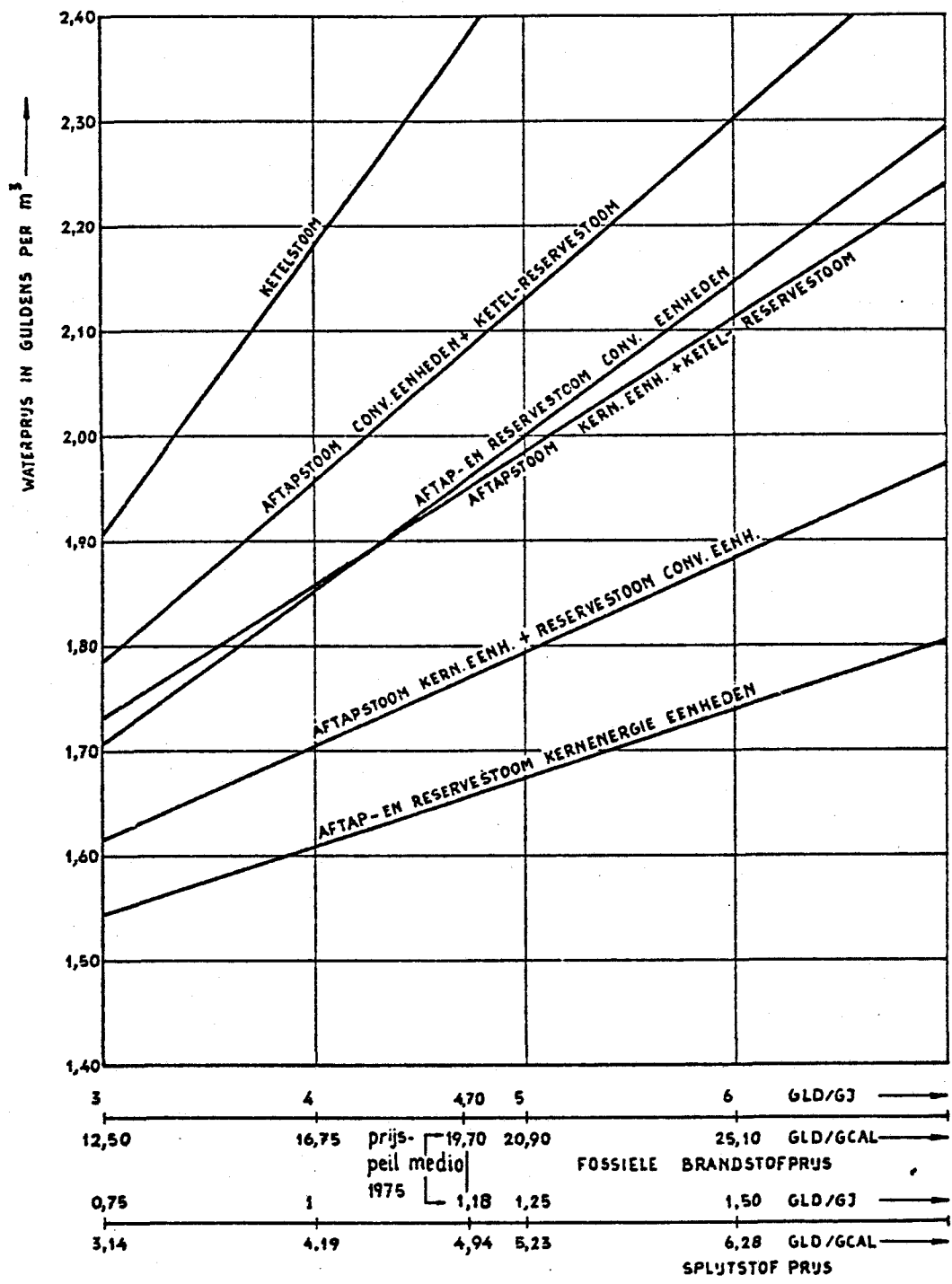


FIG. 7 KOSTPRIJS VAN GEDESTILLEERD WATER VOOR INDUSTRIEEL GEBRUIK.

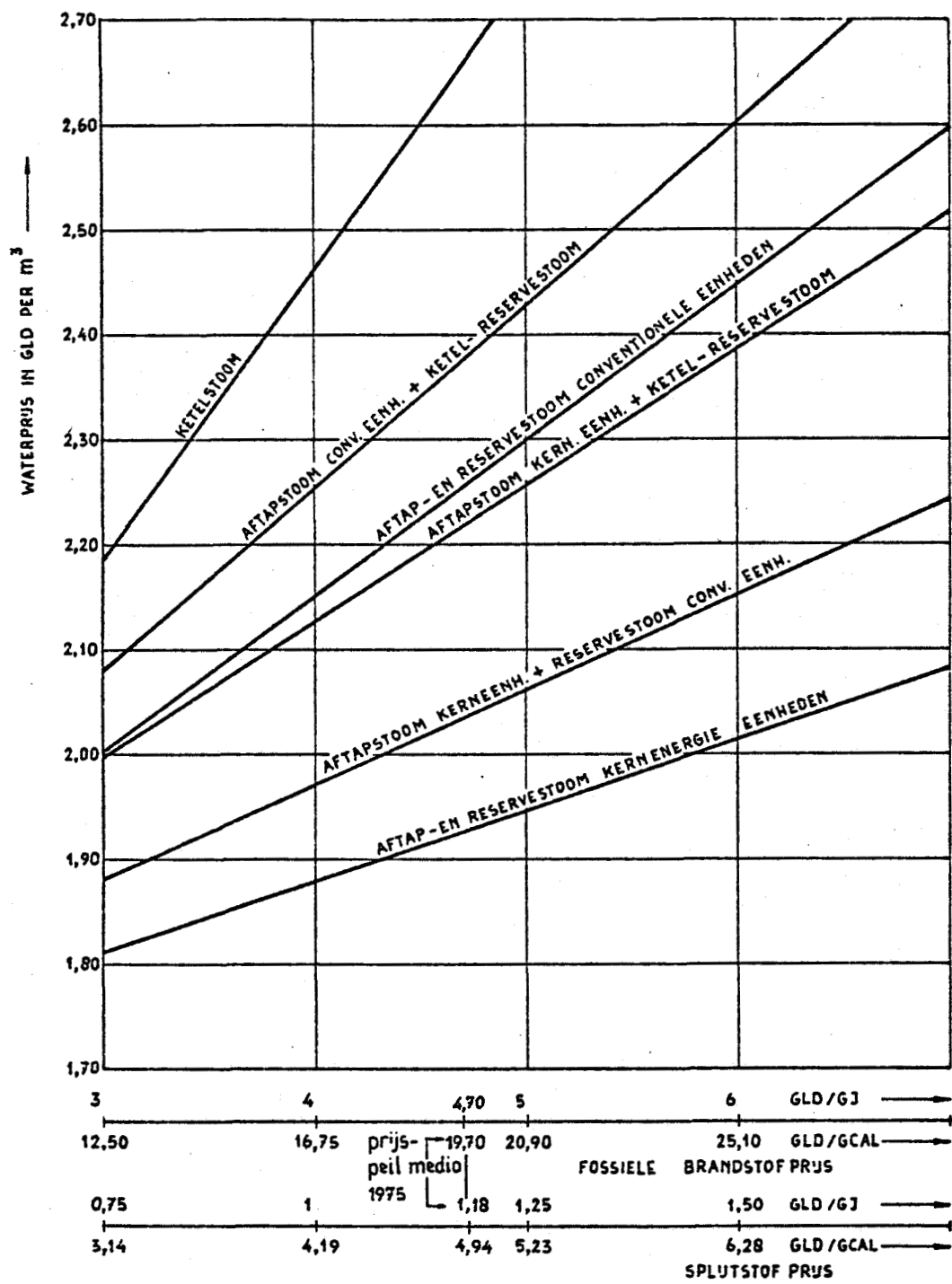


FIG. 8 KOSTPRIJS VAN GEDESTILLEERD WATER VOOR DE BEREIDING VAN DRINKWATER