

Water als koelmiddel voor elektriciteitsopwekking en de daaraan verbonden problemen *)

I. Inleiding

Hoezeer de waterleidingbedrijven in Nederland in de ware zin van het woord een grootverbruiker van water — en dan uiteraard van goed water — zijn, toch moet ik U vanmiddag uiteenzetten dat de elektriciteitsbedrijven, althans in de toekomst, een nog veel grotere watergebruiker zullen moeten gaan worden. Hoewel we zojuist van de vorige inleider, dr. Golterman, gehoord hebben dat Nederland een betrekkelijk kleine hoeveelheid zoet water bezit van slechts enkele kubieke kilometersinhoud, is het voor deze inleiding van belang dat — ondanks deze beperkte watervoorraad — we wel over een groot aantal vierkante kilometers zoetwateroppervlak beschikken. Dit is van veel belang want als water als koelwater moet worden gebruikt, zoals dit nodig is voor elektriciteitsopwekking, dan is weer afkoelen daarvan slechts mogelijk aan het wateroppervlak. Warmteoverdracht van oppervlaktewater aan de bodem speelt daarbij vergeleken bijna geen rol. Het is zinvol er hier meteen op te wijzen dat deze afkoeling aan de lucht een gecompliceerd verschijnsel is waarbij naast het temperatuurverschil tussen water en lucht ook de windsnelheid aan het wateroppervlak, de mate van verzadiging van de lucht met waterdamp en de in- en uitstraling een rol spelen.

II. Waarvoor is al dit koelwater dan wel nodig?

De elektriciteitsproductie in Nederland vindt praktisch alleen plaats in „thermische” centrales. Dit zal in de komende decennia ook wel het geval blijven. De „waterkracht” opwekking in de Rijn kan verwaarloosd worden. Bij thermische centrales zijn technisch nog drie verschillende hoofdgroepen te onderkennen, vermeld onder 1.1, 1.2 en 2.

1. Warmte-stoomcentrales

1.1 De warmte wordt verkregen door het verbranden van conventionele brandstoffen zoals kolen, olie of aardgas. Deze energie verwarmt in een stoomketel water tot stoom van hoge druk en temperatuur (ca. 540° C). De stoom drijft een stoomturbine aan die gekoppeld is met een elektrische generator. Aan de lage drukkant van de turbine wordt de stoom in een condensator tot water van lage temperatuur — dus ook met een lage dampdruk — gcondenseerd. Hierbij wordt een thermisch rendement van 35 - 40 % bereikt. Dat wil anderszins zeggen dat er 60 - 65 % van de door de verbranding verkregen energie afgevoerd moet worden aan de omgeving. In hoofdzaak vindt deze afvoer plaats door water dat gebruikt wordt om de condensator te koelen.

Dit koelwater ondergaat daarbij een temperatuurverhoging van ca. 6° C, waardoor in de zomer een temperatuur een maximaal ca. 30° C kan worden bereikt.

1.2 De warmte wordt verkregen door splijting van atoomkernen. In de huidige kernenergiecentrales, die in verschillende landen reeds op grote schaal gebouwd worden en waarvan er enkele ook al in bedrijf zijn, wordt in de kernreactor zelf water verwarmd (drukwaterreactor) of tot koken verhit (kokendwaterreactor), waarbij op grond van technische overwegingen geen hogere stoomtemperaturen dan ca. 300° C kunnen worden toegelaten. In het geval van een drukwaterreactor wordt de stoom verkregen via een warmte-wisselaar; bij een kokendwaterreactor wordt de in de kern door koken verkregen stoom direct naar de stoomturbine

geleid. In beide gevallen heeft men te maken met zogenaamde verzadigde stoom, in tegenstelling tot geval 1.1, waarbij oververhitte stoom wordt toegepast. Met de verzadigde stoom van betrekkelijk lage druk en temperatuur wordt een veel lager thermisch rendement bereikt van ca. 30 % voor deze kernenergiecentrales dan voor de huidige onder 1.1 genoemde conventionele centrales (zie tabel I). Dit heeft verder tot gevolg dat de hierboven genoemde kernenergiecentrales nog meer warmte moeten afvoeren via het koelwater van de condensator. Dientengevolge is ca. 1½ maal zoveel koelwater nodig als voor conventionele centrales.

2. Warmte — gas centrales

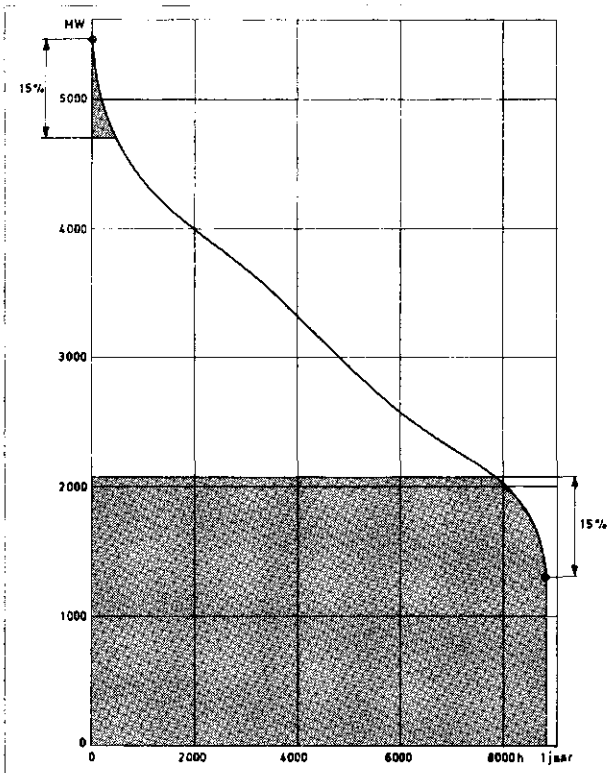
In deze installaties wordt gas of olie verbrand waarna de hete gassen direct door een gasturbine worden geblazen. Net als de hiervoor genoemde stoomturbine drijft ook de gasturbine een elektrische generator aan. Bij de gasturbine wordt geen condensator toegepast, de verbrandingsgassen zijn niet condenseerbaar. De uit de turbine komende gassen worden de lucht in geblazen met hoge uitlaattemperaturen en nog vrij hoge drukken vergeleken met die bij stoomturbines. Deze temperatuur bedraagt ruim 300° C. Bij zo'n opwekking wordt dus geen koelwater gebruikt. De thermische efficiency van gasturbine-centrales is dan ook ondanks de hoge inlaatgastemperaturen nog aanzienlijk geringer dan zelfs die van kernenergiecentrales (zie tabel I).

TABEL I - Thermische rendementen en koelwaterbehoeften van elektrische centrales.

type elektrische centrale	thermisch rendement	koelwater per MW
conventionele stoomturbine centrale	35 - 40 %	50 l/sec.
kernenergie stoomturbine centrale	30 %	75 l/sec.
conventionele gasturbine centrale	20 - 25 %	geen

Dat desondanks bij de elektriciteitsopwekking toch wel (kleinere) gasturbine-eenheden worden toegepast hangt samen met het patroon van ons elektriciteitsverbruik. Er zijn aan gasturbine-eenheden — naast het niet gebruiken van koelwater — nl. nog twee duidelijke voordelen verbonden. Een gasturbine-eenheid bezit noch een dure stoomketel of kernreactor noch een condensator. Zo'n installatie is daarom te bouwen met een betrekkelijk lage kapitaalsinvestering per kW opgesteld vermogen. Tevens blijkt het mogelijk te zijn, wanneer men plotseling elektrisch vermogen nodig heeft, een gasturbine-eenheid in enkele minuten van stilstand op vol vermogen te brengen. Dit laatste is met stoomcentrales geheel uitgesloten. Gezien echter het zeer slechte thermische rendement van gasturbines zijn de brandstofkosten per kWh opgewekt vermogen bijzonder hoog. Voor een conventionele centrale bedragen de brandstofkosten reeds meer dan de helft van de totale opwekkosten. Het is daaruit duidelijk hoe duur een kWh is opgewekt via een gasturbine. Toch kunnen voor piekvermogens gasturbine-centrales economisch aantrekkelijk zijn. Wanneer men slechts kortdurend vermogen (piekvermogen) nodig heeft zijn lage installatiekosten per kW van meer belang dan lage brandstofkosten per kWh, aangezien dan de (gelukkig lage) investeringskosten rusten op dit kleine aantal kWhrs. Een gasturbine kan voor dergelijke piekbelastingen dan ook in aanmerking komen. Voor een basisbelasting liggen de omstandigheden juist omgekeerd. Daar prevaleren de brandstofkosten die voor conventionele stoomturbine-eenheden veel lager zijn dan voor gasturbine-eenheden. In nog sterkere

*) Voordracht gehouden op 18-12-69 voor de wintervergadering van de VWN te Utrecht.



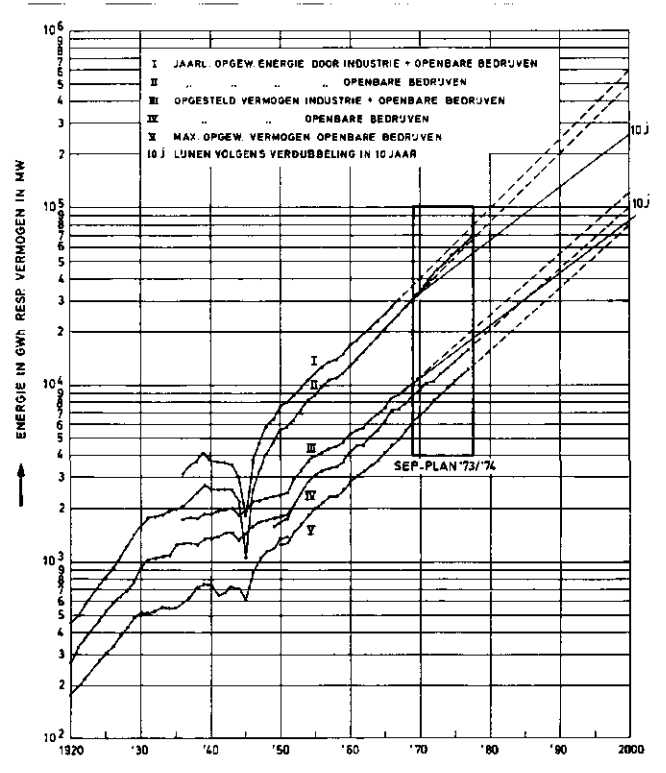
Afb. 1 - Belastingskromme van de openbare elektriciteitsvoorziening in Nederland in 1968.

mate geldt dit voor kernenergie-eenheden waar de splijtstofkosten per kWh weer aanzienlijk lager zijn dan voor de conventionele stoomturbine-eenheden, zodat kerncentrales bij voorkeur voor zeer hoge bedrijfstijden gunstig zijn. In afb. 1 is een voor Nederland karakteristieke belastingskromme gegeven (1968). Hieruit kan worden geconcludeerd dat de piekvermogens tussen bv. de maximale belasting en 85 % van de maximale belasting het beste door piekeenheden, waarvoor veelal aan gasturbines wordt gedacht, zouden kunnen worden opgewekt. Dan zou deze 15 % van het nodige vermogen in MW maar slechts 0,3 % van alle kWh's opwekken. De besparing van koelwater door gebruik van gasturbines is dus helaas niet van groot belang.

III Hoeveel elektriciteit is er in de komende decennia in Nederland nodig

Hoe voorzichtig men ook moet zijn met voorspellingen over perioden langer dan enkele jaren door middel van extrapolaties, toch is het noodzakelijk om hier iets over te zeggen. Immers wanneer het blijkt dat in Nederland alle koelmogelijkheden grotendeels zullen moeten worden gebruikt voor een toekomstige elektriciteitsvoorziening, zal men nu reeds moeten overwegen hoe deze koelmogelijkheden zijn te conserveren en tevens hoe voorlopig ook gebieden zijn te reserveren waar toekomstige centrales gevestigd zullen kunnen worden.

In afb. 2 is een mogelijke extrapolatie naar het jaar 2000 gegeven uitgaande van het opgesteld vermogen resp. de geproduceerde hoeveelheid elektriciteit in de jaren 1920 tot 1970. Aangenomen wordt dat zich ook in de komende dertig jaar nog geen verzadigingsverschijnselen bij het elektriciteitsverbruik zullen gaan voordoen. Aangezien zelfs in de Verenigde Staten, waar het elektriciteitsverbruik per hoofd van de bevolking drie tot viermaal zo hoog is als in Nederland, ook nu nog steeds een normaal accres wordt waargenomen, is een exponentiële extrapolatie niet onaannemelijk d.w.z. een extrapolatie door middel van rechte lijnen in een grafiek met een logaritmische schaal voor opgesteld resp. opgewekt vermogen. Naast de bekende gegevens over



Afb. 2 - Verloop van het elektriciteitsverbruik in Nederland in de jaren 1920-1970 en de extrapolatie daarvan naar het jaar 2000.

de jaren 1920-1970 is voor de eerstvolgende jaren na 1970 gebruik gemaakt van de ramingen van de openbare elektriciteitsbedrijven zoals die neergelegd zijn in het laatst vastgestelde elektriciteitsplan. De krommen I en II geven het opgewekte vermogen in GWh (gigawatt-uren) in ieder jaar weer resp. van de totale Nederlandse elektriciteitsproductie en van de productie door de openbare centrales. De krommen III en IV verstrekken dezelfde gegevens voor het opgestelde vermogen in MW. Tenslotte geeft kromme V het maximale vermogen in ieder jaar voor de openbare elektriciteitsvoorziening. Ter verzekering van een veilige elektriciteitsvoorziening is er, zoals uit de grafiek blijkt, steeds een extra reservevermogen aanwezig dat afneemt van ca. 50 % in de twintiger jaren toen de centrales nog niet gekoppeld waren tot ca. 20 % aan het einde van de beschouwde periode. Aangezien dikwijls gebruik wordt gemaakt van de vuistregel dat de elektriciteitsproductie iedere tien jaar verdubbelt zijn ook de tien-jaren-lijnen ingetekend. Daaruit is direct te zien dat de GWh productie sterker stijgt dan het daarvoor nodig geïnstalleerd MW-vermogen. In andere woorden de belastingsfactor stijgt. Onder belastingsfactor wordt dan verstaan het percentage van het aantal uren dat de maximale belasting van dat jaar op zou moeten treden om het totale aantal afgegeven GWh's te produceren tot het aantal uren dat een jaar telt (8760).

In tabel II zijn deze belastingsfactoren voor 1920, 1963, 1968 en het geëxtrapolerde jaar 2000 aangegeven.

Uiteraard moet men zich realiseren dat het verbruikspatroon van de elektriciteitsvoorziening sterk beïnvloed zal worden door technische ontwikkelingen — bv. het al of niet op grote schaal gaan gebruiken van auto's met accuvoeding —

TABEL II - Belastingsfactoren van de openbare elektriciteitsvoorziening in Nederland tussen 1920 en 2000

jaar	belastingsfactor
1920	30 %
1963	53,5 %
1968	58,5 %
2000	70 %

maar niet door een ongenueanceerde extrapolatie als aangegeven in afb. 1 resp. tabel II. De in tabel II aangegeven trend zit er echter onmiskenbaar in.

Voor de hieronder volgende prognoses over koelvoorzieningen is eenvoudigheidshalve uitgegaan van een totaalvermogen van 100.000 MW (afb. 2) in het jaar 2000, dat gelijktijdig in bedrijf zal moeten kunnen zijn. Het lijkt waarschijnlijk dat niet de maximale temperatuurverhoging van 6° C, maar de maximaal te bereiken temperatuur van het koelwater — waarvoor thans wordt aangehouden een temperatuur van ca. 30° C — de allereerste en belangrijkste begrenzing zal zijn voor koelwatercondities. Deze 30° C, die slechts in de naaste omgeving van de uitlaat van een centrale na een lange en hete zomer kan optreden, is gekozen omdat men hoopt dat daardoor het biologisch leven in het water nog niet op een onacceptabele wijze zal veranderen. Hierop zal aan het einde nog kort worden ingegaan.

IV Hoe wordt er gekoeld met koelwater?

In principe valt er te denken aan vijf groepen van koelmethode.

1. Stromendwater koeling

Dit water kan onttrokken worden uit rivieren, zoals de Rijn - Waal, de Maas etc. Uitgaande van een verwarming tussen inlaat en uitlaat van de centrale van 6° C is er dan nodig ca. 50 m³/sec. per 1000 MW elektrisch vermogen.

2. Oppervlakte koeling

Wanneer men de onder 1) genoemde hoeveelheid water opnieuw zou willen gebruiken, moet dit water eerst weer worden afgekoeld voordat het opnieuw gebruikt wordt. Dan is daarvoor nodig een oppervlakte van ca. 10 km² per 1000 MW werkend vermogen.

Men ziet hieruit dat een rivier niet altijd een ideaal koelmedium is. Men kan het één keer gebruiken en dan zal pas op een zeer grote afstand voldoende koelend oppervlak zijn verkregen om het water weer te kunnen gebruiken. Een rivier heeft veel water met een klein oppervlak, een ondiep meer heeft weinig water met een groot oppervlak.

3. Gemengde koeling

In vele gevallen zal men gebruik kunnen en moeten maken van een combinatie van 1) en 2).

4. Natte koeltorens

Gezien de zorgen die men zich maakt over de biologische effecten welke kunnen voortkomen uit het (te sterk) verwarmen van koelwater, wordt dikwijls de vraag gesteld of natte koeltorens hier niet een oplossing zouden bieden. Afgezien van het feit dat daardoor de produktiekosten van elektriciteit voor de zware elektrochemische industrie wel te hoog zouden kunnen worden (tenminste 5 % meer) en dat koeltorens, waarvan er meerdere op een centralecomplex nodig zijn, met afmetingen van ca. 100 m diameter en hoogte in een dichtbevolkt land niet erg gemakkelijk geplaatst kunnen worden, zou wellicht het grootste bezwaar van meteorologische aard kunnen zijn.

Over dit laatste punt moge hier nog een enkele opmerking worden gemaakt. Bij oppervlaktekoeling, zoals vermeld hiervoor onder 2) zal minder dan 1 % van het waterdebit verdampen. Dit zou neerkomen voor de 100.000 MW die is ondergesteld in het jaar 2000, op een totale verdamping van 50 m³/sec. Als men dit vergelijkt met de natuurlijke verdamping in Nederland van ca. 1000 m³/sec. dan is dat niet bijzonder veel. Wel moet men daarbij bedenken dat dat per oppervlakte-eenheid van het verdampende oppervlak nog altijd ongeveer het dubbele is van wat er gemiddeld in Nederland per oppervlakte-eenheid verdampt. Dit laatste effect wordt met zeer belangrijke orders versterkt bij het gebruik van koeltorens. In de eerste plaats moet men erop rekenen dat er per MW werkend vermogen in deze koeltorens ca. tweemaal zoveel water verdampt als bij conventionele koeling. Ten tweede wordt deze waterdamp met een grote hoe-

veelheid lucht, die dan verzadigd is met waterdamp, uitgeblazen over een oppervlak dat zeker 200 maal zo klein is als het vrij verdampende wateroppervlak bij conventionele koeling. Voor een gemiddeld standaardvoorbeeld van een koeltoren zou dit bv. voor 1000 MW werkend vermogen dan per sec. 17.000 m³ lucht met 1 ton waterdamp betekenen, die bij een gemiddelde inlaattemperatuur van de lucht van 11° C en 70 % vochtigheid, 16° C warmer en verzadigd met waterdamp wordt afgevoerd. Afkoeling van deze hete verzadigde lucht geeft weer condensatie van de waterdamp, waardoor boven een groot centralecomplex sterke wolkvorming plaatsvindt. In de winter, onder ijzel condities, zal dit nog extra bezwaren opleveren voor de omringende wegen. Hoewel het om al deze redenen niet wenselijk moet worden geacht om op grote schaal koeltorens in Nederland te gaan toepassen, moet het bepaald niet uitgesloten worden geacht dat voor een klein gedeelte van het opgestelde vermogen, zoals bv. piekvermogen, wel van koeltorens zal moeten worden gebruik gemaakt. Dit zou niet alleen acceptabel kunnen zijn omdat dan slechts een fractie van het vermogen zo wordt gekoeld, maar ook omdat dan slechts een fractie van de tijd de koeltorens nodig zijn.

5. Droge koeltorens

Tenslotte zou men kunnen denken aan een systeem waarbij de koeling van het condensorwater door een grote luchtcirculatie in een „droge” koeltoren plaatsvindt. Deze methode geeft tweemaal zo hoge extra koelkosten als reeds het geval is met natte koeltorens. Daarenboven zouden de afmetingen nog veel groter worden dan bij natte koeltorens.

V Welke koelmogelijkheden staan ons ter beschikking?

Op grond van de in IV.1 en IV.2 gegeven globale getallen kan een schatting worden gemaakt van de koelwatermogelijkheden die in de verschillende gebieden van Nederland nu nog in principe voorhanden zijn. Of deze in de toekomst ook kunnen worden gerealiseerd hangt grotendeels af van de waterstaatkundige werken die in de komende decennia ten uitvoer zullen worden gebracht, maar ten dele ook van de activiteiten van onze buurlanden. Wat de Waal - Rijn betreft is het nl. voor ons niet alleen van belang of we in de droge tijd nog wel zoveel water als thans zullen kunnen krijgen, maar vooral ook hoe de temperatuur van het Rijnwater bij Lobith zal zijn. Dezelfde vragen gelden trouwens ook voor de Maas.

In tabel III is een samenvatting van deze mogelijkheden gegeven.

Over ieder van deze gebieden kan nog een enkele korte opmerking worden gemaakt.

1. Bovenrivieren. Het hiergenoemde vermogen is alleen te verwezenlijken als het minimum debiet van de Rijn slechts zelden onder 1000 m³/sec. komt (wat thans inderdaad het geval is) en de Rijn niet warmer dan 24° C ons land binnenkomt.
2. Benedenrivieren. Dankzij de grote wateroppervlakken van de benedenrivieren is hier nog weer enig koelvermo-

TABEL III - Overzicht van potentiële koelmogelijkheden voor elektriciteitsproductie in Nederland

Waterstaatkundig gebied	koelwatercapaciteit
1. Bovenrivieren	20.000 MW
2. Benedenrivieren	10.000 MW
3. IJssel en Maas	10.000 MW
4. Deltagebied	20 à 25.000 MW
5. IJsselmeergebied	20 à 25.000 MW
6. Natuurlijke en kunstmatige meren	10.000 MW
7. Estuaria (Schelde en Eems)	15.000 MW
8. Noordzee (Europoort en IJmuiden)	10.000 MW
9. Natte koeltorens (korte bedrijfstijden en verspreid)	10.000 MW
10. Gasturbines	5.000 MW
11. Noordzee (waddeneilanden en kunstmatige industrie-eilanden)	p.m.

gen aanwezig ondanks het opwarmen van de bovenrivieren.

3. IJssel en Maas. Voor deze laatste rivier zal rekening moeten worden gehouden met de situatie aan de Belgisch-Nederlandse grens.

4. Delta-gebied. De grote wateroppervlakken in het Delta-gebied kunnen alleen dan voldoende nuttig worden gebruikt indien men er zorg voor draagt dat geen kortsluiting ontstaat tussen de uit- en de inlaat van de koelwatersystemen. Men zal er dus in het algemeen naar moeten streven een zekere mate van circulatie via twee of meer centrale-complexen tot stand te brengen.

5. IJsselmeergebied. Voor het IJsselmeer geldt hetzelfde als voor het Delta-gebied. Hier zou bv. gedacht kunnen worden aan circulaties via de randmeren. Uiteraard kan noch in het Delta-gebied noch in het IJsselmeergebied ieder wateroppervlak aan de koeling meewerken. Dode hoeken zullen er steeds zijn. Bij de schattingen is daarmee ruim rekening gehouden.

6. Natuurlijke en kunstmatige meren. Voor zover de huidige meren ook voor koelwatervoorziening gebruikt zullen kunnen worden zal men van geval tot geval na moeten gaan hoe kortsluitingen tussen uit- en inlaat voorkomen moeten worden. Gezien de huidige trend naar een zekere beperking van het landbouw- en veeteeltareaal in Nederland kan ook het maken van nieuwe ondiepe meren worden overwogen.

7. Estuaria. De twee grootste estuaria waarover we ook in de toekomst wel zullen kunnen blijven beschikken zijn Schelde en Eems. Hierbij zullen de eb- en vloedstromen zich zodanig bij het in- en uitstromen over grote oppervlakten moeten verdelen dat tussen eb en vloed een voldoende afkoeling kan plaatsvinden. Het lijkt daarbij bezwaarlijk voor één centralecomplex meer koelwater in te nemen en vermogen af te voeren dan overeenkomt met een opgesteld vermogen van ca. 5000 MW. Bij de Schelde zal dat aan beide oevers mogelijk zijn, bij de Eems alleen aan de westelijke Nederlandse oever. Daarom wordt hier een totaalvermogen van 15.000 MW geschat.

8. Noordzee. In het algemeen lijkt de Nederlandse zee kust niet bijzonder geëigend voor het installeren van grote centralecomplexen. Grote koelwaterkanalen door de zee-wering heen leveren bepaald ernstige en dure problemen op. Maar ook het innemen en uitlaten van water aan de kust met de zich verplaatsende zandbanken en de kans om soms het verwarmde eewater als vloedwater weer in te nemen geeft de noodzaak tot het bouwen van grote en dure civiele werken. Waar dergelijke werken reeds bestaan zoals in Europoort-gebied of bij IJmuiden is het uiteraard wel mogelijk grotere centrales te bouwen.

9. Koeltorens. Hiervoor is al uiteengezet hoe additioneel voor beperkte piekvermogens verdeeld over een aantal centraleplaatsen eventueel ook natte koeltorens kunnen worden gebruikt.

10. Over gasturbine-eenheden is onder II reeds het een en ander uiteengezet. Daaruit volgt dat slechts een zeer klein gedeelte van het vermogen daarmee zal worden opgewekt.

De volgende algemene conclusie kan uit deze gegevens worden getrokken. Uitgaande van tabel III blijkt dat voor een land als Nederland, dat uit een oogpunt van koelwatermogelijkheden veel gunstiger is gesitueerd dan vele andere landen — bv. Duitsland — tot het einde van deze eeuw zeker voldoende mogelijkheden aanwezig kunnen zijn wanneer men nu reeds daarmee rekening houdt. Ook als de schattingen van de elektriciteitsproductie te optimistisch of te pessimistisch zijn zal dit geen groot verschil maken want dat betekent dan dat de schattingen van het elektriciteitsverbruik voor het jaar 2000 alleen maar vijf jaar eerder of vijf jaar later verwezenlijkt worden. Het verzorgen van technische voorzieningen voor een langere tijd heeft echter ook geen grote waarde, omdat men in deze periode de tijd heeft

om andere produktiemethoden tot ontwikkeling te brengen die veel minder koelwater behoeven. Dit laatste is nl. principieel niet uitgesloten.

VI Welke biologische problemen kunnen zich bij koelwatercircuits voordoen?

Spreker is geen bioloog en zou dus dit moeilijke gebied van de milieuhygiëne slechts summier willen aanroeren. Daarvoor bestaat des te meer reden omdat hij de indruk heeft gekregen dat er biologisch weliswaar vele vragen worden gesteld, maar praktisch nog geen enkel volledig antwoord kan worden gegeven.

Het hoofdprobleem dat veroorzaakt wordt door de elektriciteitsbedrijven zal wel zijn welke invloed een plaatselijke temperatuurverhoging van ca. 6° C zou kunnen hebben op het biologische leven in het water. Expres wordt hier het woord biologisch evenwicht vermeden want ook een biologisch evenwicht kan grote fluctuaties vertonen en is dus niet een goed gedefinieerde toestand. Waar men in is geïnteresseerd, is wel de vraag of er een acceptabel leven in het water overblijft.

Enkele algemene opmerkingen hierover kunnen wel worden gemaakt. De eerste opmerking mag wel zijn dat waterbederf meestal een complex probleem zal zijn waar niet alléén de temperatuurverhoging óf alléén bv. de „bemesting”, waar dr. Golterman over sprak, van invloed zal zijn, maar waar het steeds een combinatie van vele factoren zal zijn. De combinatie van deze factoren te zamen zal tenslotte nog acceptabel moeten blijken.

In de winter zal een temperatuurverhoging in het algemeen een gunstig effect hebben bv. om daardoor te bevorderen een biologische afbraak van schadelijke stoffen als phenolen. Het zou kunnen zijn dat men zodoende in de winter via de IJssel water van minder slechte kwaliteit naar het IJsselmeer kan voeren, indien bij de uitmonding van de IJssel een centrale zou kunnen zorgen voor een verwarmd Ketelmeer. In de zomer daarentegen zou een temperatuurverhoging een zo sterke stimulering aan de biologische groei kunnen geven dat daaruit wel bezwaren voortkomen. Vooral als dan bij de verhoogde biologische activiteit het water daardoor te zuurstofarm wordt. De veel gehoorde veronderstelling dat het water ook zuurstofarm zou worden door het opwarmen en verpompen van koelwater door de condensor blijkt volgens uitgevoerde metingen niet het geval te zijn. Nergens in Nederland is oppervlaktewater dat door centrales circuleert gevonden dat zover met zuurstof was verzadigd dat de opwarming van enkele graden in de condensor tot een oververzadiging zou kunnen leiden. Anderzijds is een beluchting juist aan de uitlaat van een koelsysteem eenvoudig en weinig kostbaar te verwezenlijken.

Overigens dient men wel te bedenken dat hoewel bij een volledig gebruik van de koelwatermogelijkheden in Nederland aangenomen is dat door de centrales het uitlaatwater maximaal 6° C in temperatuur zal stijgen de gemiddelde temperatuurstijging uiteraard veel geringer is. In het hier gegeven voorbeeld van het IJsselmeer zal de gemiddelde temperatuur bij installatie van 25.000 MW in een aantal centrales die koelen op het IJsselmeer met niet meer dan 1° C stijgen, een waarde die noch biologisch noch klimatologisch ernstige gevolgen kan hebben.

Wel zijn de elektriciteitsbedrijven in Nederland — en sinds kort gelukkig in vele landen ter wereld — zich bewust geworden van de omvang en moeilijkheden van deze problemen en wij verheugen ons er daarom over dat een discussie van een groep biologen van diverse nationale biologische laboratoria met elektriciteitsbedrijven sinds ruim 1½ jaar op gang is gekomen en dat er ook begonnen is met gericht biologisch onderzoek op dit gebied.

De in deze voordracht naar voren gebrachte gegevens en ideeën zijn grotendeels bijeengebracht door en ontleend aan dr. K. J. Keller, die de dagelijkse leiding heeft van het gezamenlijke koelwateronderzoek dat in de KEMA-laboratoria wordt uitgevoerd t.b.v. de elektriciteitsbedrijven.