

EENIGE BESCHOUWINGEN OVER HET WATER ALS BRON VAN ENERGIE

REDE

uitgesproken bij de aanvaarding van het
ambt van Hoogleeraar in de Waterbouw-
kunde aan de Technische Hoogeschool
te Delft, op Woensdag 15 October 1924

DOOR

IR. G. H. VAN MOURIK BROEKMAN.

*Mijne Heeren Curatoren, Professoren, Lectoren en
Privaat-Docenten, Dames en Heeren Assistenten
en Studenten der Technische Hoogeschool,
en voorts Gij allen, die mij door Uwe tegenwoordig-
een bewijs van belangstelling geeft,*

Zeer gewaardeerde toehoorderessen en toehoorders,

Als men mij, geroepen om aan de Technische Hoogeschool onderwijs te geven in de Waterbouwkunde, de vraag stelt: „Wat verstaat gij onder Waterbouwkunde”, dan zou ik willen antwoorden: „De kunde, noodig om werken te bouwen, teneinde òf het water op bepaalde wijzen nuttig te gebruiken, òf schadelijke werking van het water te voorkomen”.

Werken ten behoeve van de scheepvaart, waarbij men van het draagvermogen van het water partij trekt, bevoeiingswerken, waterkracht-installaties, werken voor toevoer en distributie van water voor stedelijk gebruik, dienen alle om het water aan ons dienstbaar te maken. Daarentegen behooren verdedigingswerken van rivier-oevers en kusten, afwateringswerken van polders, en ook de werken, noodig om het water af te leiden als het eenmaal zijn diensten heeft gedaan, tot de tweede soort van waterbouwkundige werken.

Niet altijd is de grens tusschen de twee categoriën scherp te trekken: water, dat door afleiding onschadelijk wordt gemaakt, kan tevens nuttig gebruikt worden om b.v. schadelijke stoffen af te voeren. Ik denk hierbij o.a. aan de werking van een rioleeringsstelsel.

Tot de werken in de eerste categorie behooren dus ook die, welke dienen om de kinetische en vooral de potentieele energie van het water te gebruiken.

Speciaal voor het gebruik van het water als bron van energie zou ik Uwe aandacht willen vragen, waarbij ik mij uit den aard der zaak uitsluitend op ingenieursstandpunt zal stellen. Biologische of fysisch-chemische beschouwingen zult U trouwens niet van mij verwachten.

De keuze van mijn onderwerp moge gerechtvaardigd zijn door de omstandigheid, dat het een deel van mijn taak zal zijn de eerste colleges over de z.g. waterkrachten aan deze Hoogeschool te geven. Tegenover hen, die het belang van dit onderwerp niet mochten inzien, omdat de waterkracht-exploitatie in Nederland zelf van ondergeschikt belang is, zij mij de opmerking vergund, dat het onderwijs aan de Technische Hoogeschool zich niet uitsluitend behoort te richten naar de in Nederland te maken werken. Ter gelegenheid van zijn inaugureele rede, uitgesproken den 4^{den} April 1919, heeft Prof. Ir. Haringhuizen dringend gewezen op de noodzakelijkheid om bij het onderwijs aan de T.H. nog meer rekening te houden met hen, die in Ned.-Indië — en ik zou daaraan willen toevoegen: ook in het buitenland — hun werkring zullen vinden, en erop aangedrongen o.a. den bouw van waterkrachten in de te behandelen leerstof op te nemen. Genoemde hoogleeraar vestigde er de aandacht op, dat in 1918 het aantal ingenieurs, geplaatst bij de diensten van Waterstaat, Waterkracht en Electriciteit, en de Gewestelijke Werken in Ned.-Indië 181 bedroeg tegen 110 ingenieurs, werkzaam bij den Rijks- en Provinciaal Waterstaat en de waterschappen hier te lande. Cijfers, die ongetwijfeld spreken.

Door de veranderde wereldtoestanden is sindsdien de noodzakelijkheid tot het zoeken van een werkring buiten 's lands grenzen voor Nederlandsche ingenieurs steeds klemmender geworden. Ook deze overweging en niet minder de omstandigheid, dat de waterkracht-exploitatie in haar volle ontwikkelingsperiode verkeert en waterkrachtwerken in vele landen worden voorbereid en uitgevoerd, hebben de keuze van mijn onderwerp — hetwelk ik overigens niet anders dan in hoofdtrekken zal kunnen behandelen — bepaald.

Men kan in hoofdzaak twee soorten van waterkrachten onderscheiden. Bij de eerste gebruikt men de energie van de waterlopen, hetzij direct, hetzij indirect, nadat het water opgezameld is geweest in kunstmatige reservoirs of in natuurlijke meren. Tot de tweede soort behooren de getijde-installaties, die haar energie putten uit de periodieke niveau-verschillen van de zee.

Ik zal mij voorloopig tot de eerstgenoemde werken bepalen.

Deze vormen een schakel in den natuurlijke kringloop van het water, welke onderhouden wordt door zonne-energie. Het water uit de

zeeën en van de aardoppervlakte wordt door zonnewarmte verdampt en in de atmosfeer opgenomen. Na condensatie valt een gedeelte op aarde op niveau's, hooger dan die, waarop de verdamping plaats had. Dit water bezit dus een hoeveelheid potentieele energie, die — niet ontgonnen — verbruikt wordt om de weerstanden in het bed, waarin het water van de aardoppervlakte afstroomt, te overwinnen. Dwingt men echter het water in dit traject rustiger of met kleinere snelheid af te vloeien, dan kan de energie, overeenkomende met de overblijvende drukhoogte, door watermotoren — turbines — in bruikbaren vorm omgezet worden. De bedoelde waterbeweging wordt verkregen door het water te voeren door kunstmatige leidingen, hetzij met vrijen waterspiegel, hetzij onder druk en ook door middel van stuwwerken.

Het gebruik van waterkrachten dateert van ouds. Toen de primitieve werktuigen, die vroeger gebruikt werden, plaats maakten voor turbines, legde men zich aanvankelijk in hoofdzaak toe op het benutten van de geconcentreerde vervallen van sterk hellende bergrivieren. De eerste pogingen van Aristide Bergès, bewoner van de Isère, om hooge vervallen van b.v. 500 Meter te gebruiken, dateeren reeds van 1868. Bergès mag beschouwd worden als een van de voornaamste promotors van de hooge vervallen; hij ontleende de energie aan het gletschergebied, het eigenlijke gebied van de witte kolen. Dichterlijk werd zijn werkwijze door Hanotaux uitgedrukt in de bewoordingen: „Aristide Bergès enferme son tuyau au flanc des rochers et monte jusqu'au glacier, qu'il enferme dans sa chambre d'eau; il met la main sur la cascade et la conduit, apaisée, dans son atelier.”

Thans bezit de installatie van Fully in Zwitserland nog het hoogterecord met een geconcentreerd verval van 1650 Meter met turbine-eenheden van ongeveer 3000 P.K.

Met de toenemende waterkracht-exploitatie ontstond de behoefte ook gebruik te maken van kleinere vervallen met groote afvoeren. Steeds meer werd een economisch gebruik van de stroomen buiten het eigenlijke hooggebergte, de ontginning van de z.g. groene kolen, op groote schaal mogelijk. De hooge installatiekosten voor de exploitatie van de waterkrachten van betrekkelijk flauw hellende groote stroomen — een gevolg van de groote machine-

kosten en veel meer nog van de dikwijls zeer omvangrijke waterbouwkundige werken — vinden veelal een compensatie in den meer regelmatigen waterafvoer en in de omstandigheid, dat deze waterkrachten dikwijls gelegen zijn in het centrum van het verbruiksgebied. Bovendien wordt meer en meer aangegrepen de gelegenheid om verschillende belangen met elkaar te doen samengaan, ook — indien mogelijk — bij het gebruik van hooge vervallen. Zoo is er geen enkel principieel bezwaar tegen, een leiding, die dient voor watertransport, onder bepaalde omstandigheden ook te gebruiken voor het winnen van energie.

Verplaatsen wij ons in gedachten een oogenblik naar Chili, het land, waar ik vele jaren werkzaam ben geweest. In Centraal-Chili bevindt zich de groote vallei van de Maipo, waarin ook Santiago, Chili's hoofdstad, ligt. Haar groote vruchtbaarheid in een streek, waar het slechts gedurende enkele wintermaanden regent, is te danken aan een uitgebreid bevoeiingsnet, met welks aanleg reeds meer dan een eeuw geleden de Spanjaarden een aanvang maakten. Door afleiding van het water uit een van de irrigatie-kanalen naar een lager gelegen kanaal, welk werk voor een vijftien-tal jaren werd uitgevoerd, kon een verval van ongeveer 70 Meter verkregen worden. Zoo was het mogelijk een hydro-electrische centrale te bouwen, die gedurende langen tijd Santiago in hoofdzaak van elektrische energie kon voorzien.

Bijzonder talrijk ook zijn de voorbeelden van dikwijls belangrijke installaties, waarin het water, bestemd voor drinkwatervoorziening, op zijn weg tusschen watervang en distributie-reservoir energie ontnomen wordt. Voor de uitbreiding van de watervoorziening voor dezelfde stad Santiago was onder vele ook een oplossing mogelijk, waarbij een energie-productie, overeenkomend met ongeveer 50.000 permanente P.K., verzekerd was. Ter verduidelijking voeg ik hieraan toe, dat het water uit het hooggebergte, ongeveer 2500 Meter boven zee-niveau, geleid moest worden naar een distributie-reservoir op een hoogte van nagenoeg 800 Meter boven zee-peil; door het doorboren van hooge berggruggen konden er geconcentreerde vervallen gevormd worden, waarvan het grootste een 950 Meter bedroeg. Een betrekkelijk groote watertoevoer, ongeveer 3 M³. per seconde, was noodig, wilde men bij de snelle bevolkingstoename, die de steden in de nieuwe wereld

veelal kenmerkt, voorzien in een verbruik van 400 à 500 Liter per dag per inwoner, een verbruik, dat volgens Hollandsche begrippen zeer hoog is.

Nog voor een andere combinatie van belangen, die in de laatste jaren veel ter sprake is gekomen, n.l. van scheepvaart en waterkracht, vraag ik Uwe aandacht. Op verschillende congressen is de kwestie aan de orde gesteld en wat belangrijker is, de combinatie is door verschillende uitvoeringen van werken een feit geworden.

Niemand verwondert zich erover, dat men de vervallen, welke in een rivier ontstaan door den aanleg van stuwen om voldoende waterdiepte voor de scheepvaart te verkrijgen, direct gebruikt voor waterkracht-exploitatie; ook niet, wanneer men het verbruikswater van een scheepvaartkanaal van het eene pand naar het andere voert door een turbine-installatie. Minder voor de hand ligt het echter door een scheepvaartkanaal een extra stroom te voeren.

Hier staan tegenstrijdige belangen tegenover elkaar; de scheepvaart wordt het meest gediend, als het water een zoo klein mogelijke snelheid bezit, terwijl het, met het oog op waterkracht-exploitatie, van belang is een groote snelheid toe te laten om zodoende een aanzienlijken waterafvoer te verkrijgen. Vroeger beschouwde men als toelaatbare snelheidsgrens in een scheepvaartkanaal veelal 20 tot 30 cM.; thans stelt men veeleer de snelheidsgrens niet à priori vast, te minder, daar aan het bezwaar van een te groote snelheidsverhooging tegemoet gekomen kan worden door een vergrooting van het kanaalprofiel, waardoor de scheepsweerstand beperkt wordt. Voor- en nadeelen van de grootere stroomsnelheid zullen tegen elkaar gewogen moeten worden. Uit den aard der zaak zal overeenstemming betreffende de dikwijls tegenstrijdige belangen het gemakkelijkst verkregen worden, indien vaststaat, dat bij gezamenlijke uitvoering het werk productief zal zijn, terwijl de gewenschte rentabiliteit niet verkregen wordt bij uitvoering van elk der werken afzonderlijk.

In het algemeen mag bovendien opgemerkt worden, dat men in de ingenieurswereld meer en meer tot de overtuiging is gekomen, dat het niet de hoogste verdienste is een technisch mooi ontwerp te leveren, maar dat het in de allereerste plaats noodig is elk vraagstuk uit economisch-technisch, veelal commercieel oog-

punt te beschouwen. Ook onze President-Curator, Prof. Dr. Ir. J. Kraus — ik mag dit hier wel memoreeren — heeft in zijn verschillende hooge functies dit beginsel krachtig voorgestaan.

Ik zou thans Uw aandacht willen vragen voor enkele omstandigheden, die den hoofdropzet van de werken beheerschen. Men vergunne mij echter vooraf te doen gaan een enkel woord over de exploitatie van waterkrachten in het algemeen, in vergelijking met het gebruik van brandstoffen.

De gecompriëerde vorm, waarin de brandstof in de natuur voorkomt, maakt het mogelijk deze economisch over groote afstanden te transporteeren en ver van de ontginningsplaatsen in bruikbare energie om te zetten. De waterkrachten daarentegen moeten ter plaatse ontgonnen worden; ze hebben dus — al zijn de afstanden, waarover men electricische energie economisch kan transporteeren, toegenomen tot dikwijls honderden kilometers — een verbruikszone met beperkte middellijn, bepaald door de plaats van de waterkracht.

Terwijl bij het gebruik van brandstof de benodigde hoeveelheid gemakkelijk kan worden aangepast aan een veranderlijk energieverbruik, is bij een waterkracht de natuurlijk-aanwezige energie niet naar willekeur op te voeren. Ze is veranderlijk volgens een regime, dat geen verband houdt met dat van de energiebehoefsten. Een afdoende aanpassing van de productie aan het verbruik door middel van water-accumulatiereervoirs is wegens de daarvoor benodigde capaciteit niet altijd mogelijk. Bij een verval van 100 M. b.v. heeft men voor 1 P.K. uur reeds een bergruimte van 3,6 M³. (voor 3600 K.G. water) nodig, terwijl bij gebruik van zwarte kolen met b.v. 1 K.G. kan worden volstaan. De zaal, waarin wè ons bevinden — U moet zich voorstellen, dat deze gelegen is op een hoogte van 100 Meter boven de turbines, en wat erger is, dat deze geheel met water gevuld is — zou bij lediging denzelfden arbeid opleveren als de toch wel zèer kleine hoeveelheid van één ton steenkolen.

De uitvinding van een doelmatigen economisch-werkenden accumulator voor electricische energie zou dan ook voor de waterkracht-exploitatie van niet te berekenen gevolgen zijn en de tegenwoordige waterkracht-techniek ten eenen male doen veranderen.

Zoolang hieraan echter niet voldaan is, zal getracht moeten

worden bij elk waterkracht-werk of bij samenwerkende installaties althans een zoo economisch mogelijke aanpassing van de energie-productie aan het verbruik te bereiken. Deze eisch beheerscht de tegenwoordige water-krachttechniek. Het volgende zal dit verduidelijken.

Het natuurlijke regime van de installaties wordt beheerscht door den atmosferischen neerslag. Deze is voor een bepaalde plaats zeer veranderlijk met den tijd, zooals dit ook het geval is met de atmosferische luchtstroomen, waardoor dan ook de wind, ofschoon wel gebruikt voor de zeilvaart en voor betrekkelijk kleine windmolens, tot nu toe niet benut werd voor centrale energie-productie op groote schaal. Een gelukkige omstandigheid is het, dat bij de exploitatie van waterkrachten de atmosferische neerslag eerst gebruikt behoeft te worden, nadat hij geregulariseerd is ten gevolge van de van verschillende plaatsen komende afvloeïingen. De mate van regulariseering is afhankelijk van de terreinformatie, van de aanwezigheid van als vergaarbekken dienende meren, en wordt bevorderd door de omstandigheid, dat een gedeelte van het water als grondwater langzaam, onderaardsche reserves vormend, door den bodem afvloeit. Doch ook vóórdat de neerslag als water afstroomt, wordt deze tijdelijk tegengehouden in het sneeuw- en gletschergebied, dat evenals de bodem als een machtige natuurlijke water-accumulator werkt.

Niettegenstaande de natuurlijke regularisatie vertoonen de stroom-afvoeren in den regel nog belangrijke schommelingen. Indien een niet kunstmatig geregulariseerde waterkracht een veranderlijk verbruik zou moeten dekken, zou de minimum afvoer de dagelijksche maximum verbruikspunt moeten beheerschen. Gedurende het geheele jaar en zelfs nog gedurende den dag van minimum afvoer zouden groote water-hoeveelheden onbenut òm de turbine-installatie door het stroombed afgeleid moeten worden. Wat dit beteekenen kan, moge blijken uit de mededeeling, dat b.v. van vele rivieren in Centraal-Chili, die voor waterkracht-exploitatie bijzonder geschikt zijn, bij een dergelijken opzet nog geen tiende deel van de beschikbare water-hoeveelheden productief gemaakt zou kunnen worden, door centrales met b.v. een belastingsfactor van 0.3.

Het feit op zichzelf, dat de natuurlijk-beschikbare energie, in strijd met het algemeen belang, zeer onvolledig gebruikt wordt,

laat de particuliere onderneming, indien althans de staat bij het verleenen van de concessies geen beperkende voorschriften maakt, dikwijls volkomen koud. Gelukkig echter brengt het belang van den concessionaris veelal mede een hooger afvoer te benutten, omdat de installatiekosten per Water P.K. tot zekere grens meestal bijzonder sterk afnemen met de grootte van de machineinrichting, maar vooral met die van de waterbouwkundige werken. Voor een zoo economisch mogelijk bedrijf streeft men dan naar een regularisering van het verbruik. Electro-chemische en electro-metallurgische industrieën zijn in het bijzonder geschikt voor jaar-accommodatie. Maar bovenal wordt de oplossing gezocht:

- 1^o. in het gebruik van hydraulische accumulatie-inrichtingen, en
- 2^o. in het doen samenwerken van verschillende soort waterkrachten en thermische centrales.

Gelijk bekend, wordt bij hydraulische accumulatie het water verzameld gedurende de tijden, dat de toevoer grooter is dan het waterverbruik. Overtreft dan later het verbruik de toevoer, dan doet het zijn dienst.

Reeds dadelijk is op te merken, dat de accumulatiewerking in hoofdzaak tweeërlei kan zijn.

Ze kan bij een lange bedrijfsperiode van een jaar b.v. of somtijds nog langer, ten doel hebben om hoogwater-afvoeren op te zamelen voor de maanden van watergebrek; de toe te passen accumulatie is dan in vele gevallen als 't ware een complement van de onvolledig plaats hebbende natuurlijke accumulatie.

Ook kan accumulatie dienen, bij een kortere bedrijfsperiode, om een aanpassing te krijgen aan een veranderlijk turbine-verbruik als gevolg van de belastingveranderingen gedurende het etmaal of om steile oogenblikkelijke verbruikstoppen, zooals die o.a. voorkomen bij elektrische tractie, te dekken.

Ik wijs er even op, dat accumulatie niet alleen bij waterkrachten, maar ook in tal van andere gevallen toegepast wordt. Vergaarbekkens tot het tijdelijk bergen van hoogwaters om overstroming van rivieroeveren te voorkomen, om voor de maanden van watergebrek water op te zamelen ten behoeve van drinkwatervoorziening, irrigatiekanalen, scheepvaartkanalen, enz. hebben een soortgelijke functie als de vergaarbekkens met lange bedrijfs-

periode voor waterkrachten. Reservoirs daarentegen, waarin voor irrigatie-doeleinden 's nachts water wordt opgezameld om overdag over meer water te kunnen beschikken, zijn te vergelijken met de accumulatie-reservoirs met een bedrijfsperiode van een dag of korter bij de waterkracht-exploitatie.

Wij behoeven waarlijk ons land niet te verlaten om een begrip te krijgen van accumulatie-werking bij waterbouwkundige werken. Onze polderlanden met hun netten van kanalen en slooten werken evenzeer accumuleerend als de boezemwateren, waarop zij loozen; ook de duingronden met hun zoetwater-reserves, gebruikt voor watervoorziening, oefenen een accumuleerende werking uit, evenals onze watertorens, en niet minder het rioleeringsstelsel, dat tijdelijk de regenbuien bergt, teneinde deze geleidelijk te kunnen doen afmalen.

Bij de waterkrachten — om hierop terug te komen — is de bergruimte van de accumulatie-inrichting voor elken stroom uit den aard der zaak afhankelijk van de bedrijfsperiode. Voor de dag- en nog in meerdere mate voor de uur-reservoirs is deze gemakkelijker te verkrijgen, naarmate het verval groter is. Daarentegen zijn jaar-reservoirs of seizoen-reservoirs voor de regularisatie van groote rivieren zelden uitvoerbaar, tenzij deze groote natuurlijke meren doorstromen, wier accumulatie-capaciteit gemakkelijk te vergrooten is. Het meer van Genève b.v. bergt met 1 M. niveau-verhooging een meerdere hoeveelheid water van ongeveer 600 miljoen M³. Doch ook bij waterkrachten, met hoog verval en met kleine hoeveelheden water werkend, is een toepassing van dergelijke jaar-reservoirs dikwijls niet verzekerd.

Het is U bekend (de Heeren Studenten, die verleden jaar de Spuler See bezochten, hebben het ter plaatse kunnen constateeren), dat dergelijke reservoirs verkregen worden door dal-afsluiting, waarbij somtijds bestaande meren vergroot worden. Deze komt echter alleen in aanmerking, indien men een dal kan vinden, dat bijzonder gunstige geologische en topografische eigenschappen bezit. Het spreekt vanzelf, dat in de eerste plaats de dalvorming zoodanig moet zijn — liefst een breede vallei met flauw hellende zijdalen en nauwe keel ter plaatse van de afsluiting — dat een groot volume verkregen wordt, zonder dat een te kostbaar afsluit-lichaam vereischt zou worden. De meer of mindere geschiktheid van een dal

voor dat doel zou ik willen uitdrukken door een coëfficiënt, welke ik topografisch rendement zou willen noemen en waaronder ik zou willen verstaan het te bereiken bergings-volume, gedeeld door het statisch moment van het af te sluiten dal-profiel ten opzichte van de kruin van het afsluit-lichaam, welk moment in vele gevallen een globale maat is voor de kosten van dit lichaam. De bergingskosten per M^3 . water, omgekeerd evenredig met het topografisch rendement, mogen te meer bedragen, naarmate het reservoir hoger ligt, omdat dan elke geaccumuleerde M^3 . water een grootere waarde heeft.

Doet zich het geval voor, dat de reservoirs tevens gebruikt kunnen worden voor andere doeleinden: irrigatie, drinkwater-voorziening, het tegengaan van overstromingen, enz., dan wordt de rentabiliteit van de werken dikwijls aanmerkelijk verhoogd.

Zoo de tijd dit toeliet, zou ik gaarne uitweiden over de groote bekoring, die voor den ingenieur gelegen is in de bestudeering van dergelijke problemen, vooral wanneer deze zich voordoen in landen, waar een exploratie van dikwijls nog onbekende bergstreken aan een meer gedetailleerde studie vooraf moet gaan. Zoo ooit, moet hier het vernuft, waarover de ingenieur krachtens zijn titel behoort te beschikken, in werking komen. Natuurlijk instinct, en gezond verstand zullen zijn kennis moeten aanvullen, omdat hij voortdurend geplaatst wordt voor onvoorziene en onbekende omstandigheden en mogelijkheden.

Het zij mij vergund nog een bijzondere soort van hydraulische accumulatiwerking te vermelden. In de voorgaande gevallen wordt het water in zijn loop geaccumuleerd, vóódat het de turbines bereikt; men accumuleert dus als 't ware de natuurlijke energie van het water zoo als men b.v. kolen opzamelt in een ruimte annex aan het ketelruim.

De thans te vermelden hydraulische accumulatie-installatie echter is een accumulator van reeds geproduceerde energie. Als het energieverbruik gering is, b.v. 's nachts, wordt water opgepompt in een hooggelegen reservoir, om dit gedurende de uren van groot verbruik door turbines productief te maken.

Deze werkingswijze heeft toepassing gevonden bij lagedrukwerken, waarbij een natuurlijke accumulatie, ook voor kleinere perioden, onuitvoerbaar was en waar de topografische toestand

het mogelijk maakte betrekkelijk economisch een reservoir op groote hoogte te vormen. Ook de toepassing van dergelijke accumulatoren bij getijde-installaties is in uitzicht.

Geeft men zich rekenschap van de werkingwijze van deze soort hydraulische accumulator, dan vraagt men zich af, of het ook niet mogelijk zou zijn een soortgelijke oplossing toe te passen, indien de topografie zich niet direct leent voor de gebruikelijke. Denkt men zich twee reservoirs, een op terreinshoogte en het andere aan het onderende van een diepe schacht, dan zal men een dergelijke werking kunnen verkrijgen. Gedurende eenige uren van den dag zou de waterstrooming naar beneden, 's nachts naar boven gericht zijn.

Een eventueel gebruik van verlaten mijnen zou een economische oplossing wel iets vergemakkelijken; maar ook in dit geval, evenals in het voorgaande, zal het rendement gering zijn, meestentijds niet meer dan een 50 $\%$. Deze oplossing komt dus eventueel alleen in aanmerking voor zeer goedkoop geproduceerde energie, waarvoor men anders geen gebruik zou hebben. Vrijwel waardelooze energie kan aldus tot de halve hoeveelheid omgezet worden in waardevolle energie.

Ik heb me reeds te lang opgehouden bij de wateraccumulatie; het feit, dat ze zoo'n belangrijk element in de moderne waterkracht-techniek vormt, moge tot verontschuldiging dienen.

Zooals ik tevoren reeds opmerkte, wordt de regulariseering van de energie-productie, behalve door accumulatie, ook verkregen door de samenwerking van ongelijksoortige waterkrachten, al of niet met thermische centrales. Hierbij staat het streven naar centralisatie op den voorgrond, zoodat als 't ware één groot bedrijf ontstaat, dat door middel van uitgebreide distributienetten in een veelzijdig verbruik kan voorzien. De ondernemingen leenen elkaars transportlijnen, wisselen elkaars energie uit en helpen elkaar in noodgevallen.

Ik zal op deze combinatie van verschillende krachtwerken hier niet verder ingaan, maar wil slechts vaststellen, dat het economisch resultaat van de waterkrachtbedrijven in eerste instantie afhangt van de wijze, waarop men door een juisten opzet en combinatie van de werken de beschikbare natuurlijke veranderlijke energie weet aan te passen aan het veranderlijk verbruik.

Thans, na de witte en groene kolen, eenige beschouwingen over de blauwe kolen, over het gebruik dus van de eb- en vloedbeweging, door getijde-centrales.

Lage landen en kuststreken, ver verwijderd van punten waar energie goedkoop uit de rivieren verkregen kan worden, zoeken zich schadeloos te stellen, althans gedeeltelijk, door energie te winnen uit de eb- en vloedbeweging, daartoe aangemoedigd door de hooger geworden steenkolen-prijzen. Het zijn in de eerste plaats Frankrijk en Engeland, die over hoge getijden beschikken, waar in de laatste jaren ernstige studies in die richting zijn gemaakt. Te West Mersey in het Graafschap Essex heeft men nog onlangs besloten tot den bouw van een z.g. getijde-centrale. In ons land is een begin van uitvoering gegeven aan een kleine installatie, bij de sluis te Hansweert, bij welke hydropulsoren als tusschen-motoren zouden moeten dienst doen.

Dat het ontginnen van deze soort van energie-bron als een mogelijkheid wordt beschouwd, is voor een groot deel te danken aan de technische verbetering van het type turbines, geschikt voor het in exploitatie brengen van de waterkrachten van groote flauw hellende stroomen: turbines met extra hoog specifiek omwentelingsgetal, die veel water verbruiken en werken met een dikwijls zeer veranderlijk klein verval. Nieuwe types van turbines, waarbij ook rekening behoort gehouden te worden met de inwerking van het zeewater, worden bestudeerd.

Het verval wordt verkregen door één of meer bekkens, die op bepaalde tijden met de zee in verbinding gebracht kunnen worden. Het gebruik van drijvers — een meermalen geopperd denkbeeld — geeft geen economische productie. Bij een eb- en vloed verschil van b.v. 5 Meter zou met een drijver van een oppervlakte als die van een moderne mailboot gemiddeld slechts ruim 10 P.K. verkregen kunnen worden.

Denken we ons een reservoir, dat bij hoogwater geheel gevuld is. Zoodra de laagste buiten-waterstand bereikt is, laat men het water in korten tijd door turbines afvloeien. Daarna, als het buitenwater wederom tot zijn hoogsten stand gekomen is, wordt het weer gevuld, door het water de turbines te doen passeeren.

Theoretisch komt men op deze wijze tot een maximum rendement van de in beslag genomen wateroppervlakte. Voor uit-

voering leent zich de oplossing echter niet, omdat het ondoenlijk is de turbine-installatie zoodanig in te richten, dat de geheele hoeveelheid energie in korten tijd zou worden geproduceerd. Indien dezelfde installatie kan dienen zoowel bij vulling als bij lediging van het reservoir, zouden de turbines telkens vier maal per etmaal gedurende een fractie van een uur werken en dit met een veranderlijk verval gaande van de volle getijhoogte tot nul meter. De turbine-belasting zou dus slecht zijn, terwijl de periodisch geproduceerde energie een zeer geringe commercieele waarde zou hebben.

Uit dit eenvoudige voorbeeld ziet men in welke richting de oplossing gezocht moet worden.

Het is gewenscht het aflaten van het water over langere perioden te verdeelen. Indien men met de energie-productie reeds begint, zoodra het buitenwater zoo ver gevallen is, dat een voldoende minimum turbine-verval ontstaan is, werken de turbines met een constanter verval. Omgekeerd moet men met de vulling van het reservoir reeds aanvangen, zoodra het buitenwater voldoende gestegen is. De perioden van energie-opwekking worden dan grooter, zij het dan ook ten koste van de totale energie-productie. Ook zelfs in de gunstige omstandigheid, dat een zelfde reservoir kan dienen voor beide stroom-richtingen, wordt de productie nog telkens onderbroken.

Een continu-bedrijf, waarmee echter een kleiner rendement van de wateroppervlakte samengaat, is te verkrijgen door middel van twee reservoirs, een z.g. vloed-reservoir, dat bij elken vloed bijgevuld, en een eb-reservoir, dat bij eb geledigd wordt. Het vloed- en eb-reservoir werken onafhankelijk van elkaar; de bedrijfsperioden kunnen echter zoo worden gekozen, dat ze samen een gemeenschappelijk bedrijf vormen. Ook kan men de beide reservoirs direct met elkaar doen samenwerken, door een turbine-installatie tusschen beide in te plaatsen.

Vergelijkt men de werkingswijze van eb- en vloedinstallaties met die, waarbij waterloopen gebruikt worden, dan zien we, dat ze in beginsel geheel verschillend zijn. Bij de laatste zijn de afvoeren als vaststaande te beschouwen, terwijl de te gebruiken vervalhoogte, afhankelijk van de topografie van het dal, binnen zekere grenzen grooter of kleiner genomen kan worden. Bij getijde-installaties daarentegen zijn de water-hoeveelheden, die men kan gebruiken, in de eerste plaats afhankelijk van de grootte van de reservoirs,

van de openingen, waarmee ze met de zee of zee-arm in verbinding zijn en van de getijde-hoogten, terwijl de beschikbare turbine-vertallen, in den regel veranderlijk naar het type van de installatie, bepaald worden door de getijdeverschillen.

De beschikbare hoeveelheden energie bij een waterkracht van de eerste soort zijn — wanneer tenminste de gebruikte vertallen niet zeer klein zijn — ongeveer evenredig met de afvoeren.

Bij de tweede soort daarentegen is de hoeveelheid energie, welke men, zonder hulp van extra accumulatie-inrichtingen voor grootere perioden, tusschen elke twee opeenvolgende hoog- of laag-waters kan produceeren, globaal genomen evenredig met het kwadraat van de getijverschillen.

Bij een rivier-installatie duren de perioden van energie-overvloed en energie-gebrek in 't algemeen verscheidene maanden; ze komen met meer of mindere regelmatigheid jaarlijks terug. Daarentegen liggen bij een getijde-installatie de perioden van overvloed en gebrek ongeveer een week uit elkaar, overeenkomende met het tijdsverloop tusschen springvloed en doortij.

Een belangrijk verschil tusschen beide soorten is nog, dat bij de rivier-waterkracht de exploitatie gedurende twee opeenvolgende dagen vrijwel dezelfde is, terwijl bij een getijde-installatie deze van dag tot dag verandert, in verband met de omstandigheid, dat de tijd tusschen twee op elkaar volgende hoog- of laagwaters 12 uur 25 min. is. Het intreden van denzelfden toestand schuift daardoor dagelijks 50 min. op, terwijl de menselijke werkzaamheden in het algemeen aan vaste tijden gebonden zijn.

Gezien het verschil in karakter tusschen de beide soorten van krachtwerken is het duidelijk, dat het een geheel afzonderlijk vraagstuk vormt de productie van een getijde-installatie aan het energie-verbruik aan te passen. Bijzondere hydraulische accumulatie-inrichtingen, samenwerking met hoogdruk-werken, enz. — middelen, die echter slechts onder bepaalde gunstige omstandigheden in aanmerking komen — kunnen die aanpassing bevorderen. Ook een ondersteuning door thermische centrales kan toegepast worden, indien althans de getijde-centrale in verband met de slechte belasting van de thermische, de energie zéér economisch kan produceeren.

Ook samenwerking van verschillende getijde-installaties op

punten van een kust met uiteenlopende havengetallen zal den toestand kunnen verbeteren.

Het algemeene toekomstbeeld zal dan ook zijn, dat ook de getijde-waterkrachten voor de voeding van uitgestrekte netten voor verbruik van verschillenden aard, zullen moeten samenwerken met andere soorten van krachtwerken. Voorloopig echter zal, tengevolge van de vermelde moeilijkheden en de hooge installatiekosten een economische productie van energie slechts mogelijk zijn, indien de plaatselijke omstandigheden bijzonder gunstig zijn.

Beschouwen we het vraagstuk, zooals zich dat voor ons land voordoet — zij het dan ook zeer vluchtig — dan constateert men een toeneming van de getij-verschillen van Den Helder af naar het Noorden en meer nog naar het Zuiden. Terwijl in genoemde plaats het gemiddelde spring- en doodtij respectievelijk slechts 1.45 en 0.85 M. bedragen, zijn deze bij Veere in de Ooster-Schelde resp. 3.55 en 2.25 en bij Vlissingen in de Wester-Schelde 4.60 en 2.80 M. Voorts valt een vermeerdering van de verschillen in de zeearmen te constateeren; te Hansweert b.v. bereiken het gemiddelde spring- en doodtij resp. 5.20 en 3.15 tegenover de genoemde 4.6 en 2.8 in Vlissingen.

Voor getijde-exploitatie zouden dus in de eerste plaats de Wester- en Oosterschelde in aanmerking komen.

Het is een gelukkige omstandigheid, dat, waar de hoogte van de getijden bij ons veelal kleiner is dan in andere landen, de verhouding van dood- tot springtij hier te lande niet al te ongunstig is. In Hansweert b.v. is die verhouding 3:5, terwijl aan de Fransche kust b.v. te Saint Malo het minimum dood-tij kleiner is dan 4 M., het spring-tij daarentegen grooter dan 12 M.

U zult niet van mij verwachten, dat ik een definitieve oplossing geef voor een exploitatie van blauwe kolen in ons land; verschillende mogelijkheden, waarbij ook grootere of kleinere afsluitingen van de Ooster-Schelde in aanmerking komen, zouden met elkaar vergeleken moeten worden. Toch is het misschien interessant te weten, wat met een bepaalde oppervlakte te bereiken is.

Zonder mij uit te spreken over de practische mogelijkheid van de uitvoering, stel ik U voor, U een oogenblik in te denken, dat het Verdrongen Land van Saaftinge in Zeeuwsch-Vlaanderen

door een waterkeering gescheiden wordt van de Wester-Schelde. Het aldus verkregen bassin van ongeveer 5 bij 6 K.M. dus 30 K.M.², denke men zich gedeeld door een dam, ongeveer loodrecht op den eersten geplaatst. De eene helft van het bassin dient als vloed-reservoir; de andere, die voldoende diep uitgebaggerd moet zijn, als eb-reservoir. In den scheidingsdam, grenzend aan den hoofdam, ligt de turbine-installatie. Voor en achter deze installatie denkt U zich kleinere bassins, waarvan het eene in verbinding gebracht kan worden en met het vloed-reservoir, en met het buitenwater; het andere met het eb-reservoir, en evenzeer met het buitenwater.

Bij dezen aanleg kunnen de turbines het water ontnemen aan het vloed-reservoir, maar ook direct aan het buitenwater gedurende de perioden, dat dit nog voldoende hoog staat. Het verwerkte water vloeit af naar het eb-reservoir of gedurende zekere perioden direct naar het buitenwater. Dit stelsel, als 't ware een combinatie vormend van de twee vroeger vermelde, veroorlooft met betrekkelijk gunstige belasting een hooger rendement van de in beslag genomen water-oppervlakte.

Ik hoop later wel de gelegenheid te hebben mijn toekomstig gehoor meer volledige gegevens te verstrekken omtrent de door mij gedachte inrichting en daarbij tevens de grafieken te behandelen, die mij als basis dienden bij de productie-berekening. Voor dit oogenblik kan ik volstaan met de volgende conclusies:

Met een voldoende aantal machine-eenheden kan, bij vervallen afwisselend tusschen 1.5 en 3.5 Meter, gedurende elke bedrijfsperiode een vrij regelmatige productie verkregen worden. Per $2 \times \frac{1}{2}$ K.M.² bassin-oppervlakte zou het minimum vermogen, dat gedurende 650 van de 705 getijden per jaar overschreden zou worden, gemiddeld 600 Poncelets bedragen, terwijl het gemiddelde maximum vermogen ruim 1100 Poncelets zou zijn. Gedurende het halve aantal jaarlijks voorkomende getijden zou het getal van 900 Poncelets bereikt worden. Voorts zou bij de totale reservoir-oppervlakte van 30 K.M.² ongeveer 150 miljoen K.W.U. per jaar geproduceerd worden. Een nog grootere productie zou met deze oppervlakte bereikt kunnen worden, maar dan zou het directe bedrijf niet continu kunnen zijn. Dat een 150 miljoen K.W.U. een niet te onderschatten hoeveelheid is, moge U blijken uit het feit, dat in 1923 de totaal opgewekte energie door de Centrales „Schiehaven” en „Maashaven”

voor het verbruik van Rotterdam, Hoek van Holland en de buitengemeenten inbegrepen, rond 82 millioen K.W.U. bedroeg.

Helaas komt men bij berekening tot het inzicht, dat de bouw van dergelijke werken nog niet urgent is; tengevolge van het ongunstige regime van de energie, mag haar commerciële waarde niet hoog aangeslagen worden. Bovendien is de zelf-kostenprijs van de K.W.U., tengevolge van de omvangrijke werken en de hoge onderhoudskosten, o.a. voor het op diepte houden van de reservoirs, nog te hoog.

We leven echter snel; de waterkracht-techniek van de getijdencentrales is nog maar in haar aanvangsstadium; nog niet te voorziene oplossingen zullen mogelijk blijken. Ook voor ons land zal het tijdstip komen, en wellicht zal dit niet zoo heel ver verwijderd zijn, dat men tot de exploitatie van blauwe kolen zal moeten overgaan.

Mijne Heeren Curatoren.

Dat gij gemeend hebt de belangen van het onderwijs aan de Technische Hoogeschool te behartigen, door mij als hoogleeraar voor te dragen, getuigt van het vertrouwen, dat gij stelt in mijn kunde en in mijn werkkraft. Of ik, wat kunde betreft, aan Uwe verwachtingen zal kunnen voldoen, heb ik zelf in zekeren zin af te wachten.

Mijn volle werkkraft echter — het is mij een behoefte U deze verzekering te geven — stel ik van nu af onverdeeld ter beschikking van de Technische Hoogeschool.

Het is de tweede maal in mijn leven, dat ik van de zijde van Uwen Voorzitter, Prof. Dr. Kraus, een zoo doorslaand bewijs van vertrouwen mocht ontvangen. De eerste maal was het — het is vele jaren geleden — toen deze mij waardig keurde tot zijn opvolger als hoogleeraar aan de Universiteit te Santiago in Chili, Met trots aanvaard ik dat vertrouwen. Ook met groote dankbaarheid, omdat het in mij versterkt het zelfvertrouwen, een eigenschap, die ik in de omstandigheden, waarin ik thans geplaatst word, ongetwijfeld van noode zal hebben.

Mijne Heeren Professoren.

Een innige samenwerking is een eerste vereischte voor het bereiken van ons gemeenschappelijk levensdoel. De hand, mij bij mijn intrede door velen Uwer vriendschappelijk gereikt, in het bijzonder door U — hooggeachte collega's van de Afdeeling Wegen Waterbouwkunde — neem ik met blijdschap aan. Een groote voldoening zal het mij zijn, zoo ik tot die zoozeer gewenschte samenwerking mijnerzijds iets zal kunnen bijdragen.

Hooggeachte Nelemans.

Als vreemde — ik zou bijna geneigd zijn te zeggen: als vreemde eend in de Hollandsche wateren — kom ik tot U. Ongetwijfeld zal ik in de toekomst herhaaldelijk een beroep moeten doen op Uw steun en voorlichting. Moge deze mij gegeven worden. Ik zal ze naar waarde weten te schatten!

Hooggeachte Haringhuizen.

Ook met U zal ik in mijn werkring in nauwe aanraking komen. Is het gewaagd de verwachting uit te spreken, dat de omstandigheid, dat een soortgelijk verleden achter ons ligt — ook gij waart gedurende lange jaren buiten Nederland's grenzen werkzaam — ertoe mede zal werken, dit contact van de aangenaamste soort te doen zijn? Afgaande op de gevoelens van sympathie, die ik thans reeds tegenover U heb, meen ik hierop te mogen vertrouwen.

Hooggeachte Behrens.

Uw uitgebreide kennis van de waterbouwkundige toestanden in Nederland gaven bijzondere waarde aan vele der door U gedoeerde onderwerpen. De taak, U op te volgen, is eervol, maar ongetwijfeld moeilijk. Overtuigd als ik ben van de groote beteekenis, die de Nederlandsche Waterbouwkunde voor onze a. s. Ingenieurs heeft, zal het mijn ernstig streven zijn, dit belangrijke deel van mijn onderwijs tot zijn recht te doen komen, zooveel dit slechts in mijn vermogen ligt. Tengevolge van mijn langdurig verblijf in het buitenland, waardoor ik het contact met de Nederlandsche Ingenieurswereld te zeer heb moeten missen, zal ik bij

de behandeling van de Nederlandsche Waterbouwkunde in den beginne eenige toegevendheid moeten inroepen, en mijn toekomstig gehoor moeten verzoeken, voorloopig niet te zeer te treden in een vergelijking van mij met mijn voorganger. Ik zal mij gelukkig rekenen, indien ik ertoe mag medewerken, dat het zaad, hetwelk gij, geachte voorganger, zoo rijkelijk hebt gestrooid, tot wasdom komt.

Dames en Heeren Studenten.

Gij zijt er dus op voorbereid, dat ik in de toekomst Uwe toegevendheid wel eens zal moeten inroepen. En toch sta ik hier voor U met den oprechten wensch, dat ik niet alleen te vragen zal hebben, maar dat ik ook veel zal kunnen geven. Op dit oogenblik gaan mijn gedachten terug naar het verre Zuid-Amerika, waar ik toenmaals aan het jonge geslacht van een zich snel ontwikkelend volk een deel van de Ingenieurswetenschappen mocht doceeren en waar ik tevens als Ingenieur de grootheid en schoonheid van den Ingenieurswerkkring mocht leeren kennen. Is het de herinnering aan het zonnige, opwekkende klimaat van dat schoone land, aan de majesteit van de trotsche Cordilleras, in wier terrein mijne werkzaamheden voor een deel gelegen waren, die voor mij het beeld doet oprijzen van een gelukkig verleden? Of is dit — meer nog — te danken aan de gelukkige omstandigheid, dat ik bij mijn onderwijs kon verwerken de dagelijkse ervaring, opgedaan in de practijk van het Ingenieursleven?

Die gelukkige omstandigheid doet zich thans niet meer voor. Dat ik bovendien bij mijn onderwijs aan deze Hoogeschool zal moeten steunen in hoofdzaak op ervaring, opgedaan in het buitenland, ver buiten de landsgrenzen en onder geheel andere omstandigheden dan die welke zich hier te lande voordoen, vervult mij met eenige zorg. Ik wil U zelfs bekennen, dat de jeugdherinneringen, die mij bestormden, toen ik kort na mijn benoeming tot hoogleeraar aan de Technische Hoogeschool langs de mij vroeger zoo geliefde Delftsche grachten wandelde, door die zorg werden overschaduw. Op die wandeling ontmoette ik den U allen bekenden Prof. S. G. Everts, voorzitter van het Kon. Instituut van Ingenieurs, die mijne bedenkingen beantwoordde met de vraag: Bestaat er eigenlijk wel een zuiver Nederlandsche Waterbouwkunde? Die vraag, uit den

mond van een zoo bevoegd beoordeelaar, brengt, naar ik meen, de zaak tot de juiste verhoudingen terug. Inderdaad is de Ingenieurswetenschap universeel, al zijn de vraagstukken, die zich voordoen en de omstandigheden, waaraan men zich moet aanpassen, in de verschillende landen verschillend. Mijne heeren studenten: de strijd om het bestaan is moeilijk geworden; velen Uwer zullen in het buitenland een arbeidsveld moeten zoeken. Ik spreek de hoop uit, dat het gemis aan ervaring van zuiver Nederlandsche toestanden, als waarover mijn voorganger in zoo ruime mate kon beschikken, gedeeltelijk zal worden vergoed door mijne in vreemde landen opgedane ondervinding en dat het mij gegeven moge zijn U vóór alles die algemeene begrippen en inzichten bij te brengen, die voor de vorming van den Ingenieur — waar hij ook zijn werkkring moge vinden — noodig zijn.

Indien ik daarbij voor een bescheiden deel ertoe zal kunnen medewerken, dat niet alleen Uw kennis rijpt, maar dat in U ook ontwaakt liefde voor de Ingenieurswetenschap, en voor den werkkring, waaraan gij Uw leven gaat wijden, zal mijn hoogste wensch in vervulling gaan.

Ik heb gezegd.