

Energiewinning uit de Oceaan

Deel I Vooronderzoek

A. MOL
J. D. SCHRAM

DEEL I

VOORONDERZOEK ENERGIEWINNING UIT DE OCEAAN

Afstudeerverslag van:

J.D. Schram

A. Mol

mei 1975

INHOUD

| | blz |
|--|-----|
| Hoofdstuk I : Inleiding | |
| a) omschrijving opdracht | 1 |
| b) behoefte-onderzoek en prognoses | 1 |
| c) gevolgde werkwijze | 2 |
| Hoofdstuk II : Energievormen in de oceaan | 3 |
| Hoofdstuk III : Energiehoeveelheden in de oceaan | 5 |
| Hoofdstuk IV : Oplossingen | 9 |
| a) waterstroming | 9 |
| b) korte golven | 20 |
| c) temperatuur en zoutgehalteverschillen | 27 |
| Hoofdstuk V : Conclusies | 29 |
| Literatuurlijst | 30 |

I INLEIDING

a) Omschrijving opdracht.

Een onderzoek wordt ingesteld naar vorm en hoeveelheden van energie in de oceaan en naar mogelijkheden deze energie om te zetten in een voor de consument bruikbare vorm.

b) Behoeftte-onderzoek en prognoses.(-1-)

Het is duidelijk, dat er op het ogenblik een grote vraag naar energie is en dat deze vraag in de toekomst nog zal stijgen. De mate van stijging zal wel afhangen van het conjunctuur-verloop.

De soorten energie, waar de consument behoefte aan heeft, zijn :

- 1) energie, die eenvoudig te transporteren en aan te sluiten is. (bv, elektrische energie.)
- 2) energie, die eenvoudig is op te slaan. (bv. de fossiele brandstoffen.)

Van de eerste categorie is vrij eenvoudig wat cijfermateriaal te geven: jaarlijkse productie in Nederland 37.000 Gwh/jaar, d.w.z. een vermogen van ongeveer 4,5 Gw. Verwacht wordt een toename van ongeveer 0,4 Gw/jaar. Deze soort energie wordt in Nederland nog volledig verkregen door het omzetten van fossiele energie in elektrische energie.

In het kader van een algemeen onderzoek naar alternatieve energiebronnen, vooral op gang gekomen na de energiecrisis, zal deze studie de mogelijkheden onderzoeken om energie uit de oceaan te verkrijgen. De energie, die we aan de oceaan onttrekken, zal in een voor de consument bruikbare vorm moeten worden aangeboden, d.w.z. in een van de volgende categorieën:

- In een constante energiestroom: omzetten in electriciteit en aansluiten op het electriciteitsnet. De omzetting van de energie naar electriciteit en het transport daarvan heeft

een betrekkelijk hoog rendement.

-In een fluctuerende energiestroom: de energie zal dan eerst opgeslagen moeten worden.

bv. na electrolyse in de vorm van waterstof en zuurstof. (zeer groot rendementsverlies.)

bv. na omzetting in electriciteit, deze electriciteit opslaan. (accu's). Een hoog rendement is ook hier technisch (nog) niet te verwezenlijken.

c) Gevolgde werkwijze.

In deze voorstudie zal een analyse worden gemaakt van de soorten energie en schattingsgewijs de hoeveelheden hiervan.

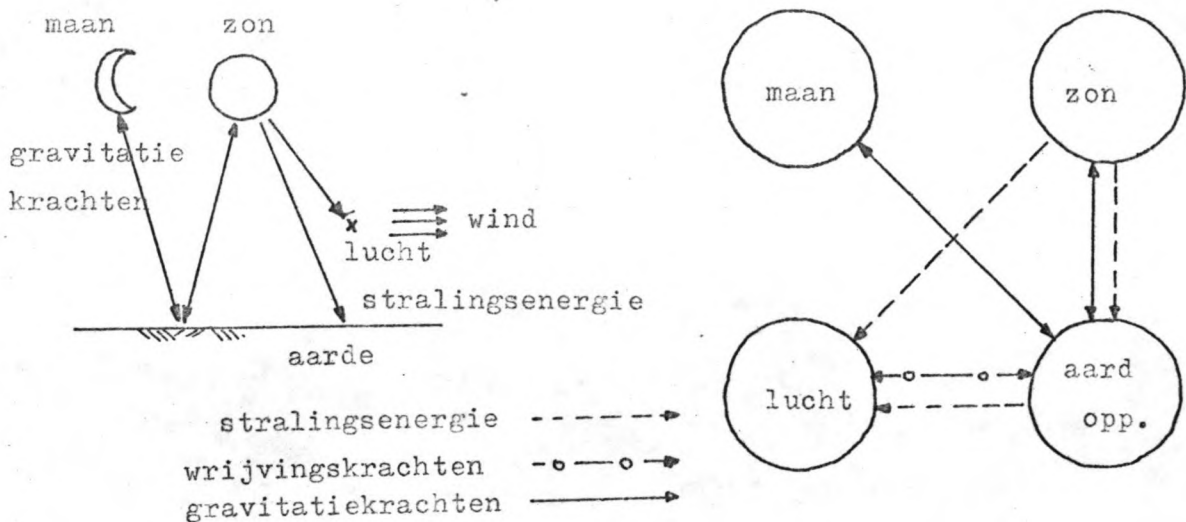
Vervolgens zal een opsomming gegeven worden van een aantal "oplossingen" om energie uit de oceaan te halen. Deze "oplossingen" zijn verkregen door brainstorming en uit literatuur onderzoek.

De "oplossingen" zullen in de voorstudie niet verder worden uitgewerkt dan noodzakelijk is om een indruk van hun werking te krijgen en om ze met elkaar te kunnen vergelijken.

II ENERGIEVORMEN IN DE OCEAAN

Op het aardoppervlak werken volgens onderstaande schema's de volgende invloeden in :

- 1) stralingsenergie, die zich hoofdzakelijk uit in het toevoegen van warmte aan het aardoppervlak.
- 2) gravitatiekrachten t.g.v. zon en maan.
- 3) wrijvingskrachten ten gevolge van het snelheidsverschil tussen lucht en aardoppervlak.



Daar, waar het aardoppervlak uit water bestaat, zullen bovengenoemde invloeden de volgende gevolgen hebben :

- ad 1 - ontstaan van waterstromingen.
 - ontstaan van verdamping en neerslag, hetgeen resulteert in zoutgehalteverschillen.
 - tevens ontstaan er temperatuursverschillen over de diepte.
- ad 2 - ontstaan van de getijdebeweging, d.w.z. een periodiek terugkerende waterbeweging waarbij periodiek staat voor 1 à 2 maal per dag.
- ad 3 - ontstaan van waterstromen.
 - ontstaan van korte golven. (deze korte golven hebben een sterk stochastisch karakter.)

Resumerend zien we de volgende processen zich in de oceaan afspelen :

- a) Waterstroming - constant
 - periodiek
 - stochastisch
- b) Korte golven.
- c) Dichtheids verschillen t.g.v. verschil in
temperatuur en saliniteit.

III ENERGIEHOEVEELHEDEN IN DE OCEAAN

Alle bovengenoemde processen a, b en c worden in stand gehouden door een fluctuerende energie stroom afkomstig van de zon en de maan.

We zullen nu van elk proces de energiehoeveelheden bekijken en de mogelijkheden om die energie er uit te halen :

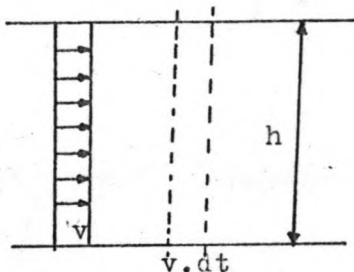
a) Waterstroming.

In een oceaan is de stroming een sommatie van drie gevallen (zie hfdst. II) :

- een constante component.
- een stoch^astisch verdeelde component.
- een periodieke component.

In het algemeen zijn de snelheden t.g.v. deze componenten in de oceaan vrij klein; namelijk in de orde van grootte van 0-1 m/sec.

De voortbewogen massa is echter zeer groot, zodat de totale hoeveelheid energie in de stroming toch vrij groot kan zijn, zoals onderstaande berekening zal aantonen.



In een tijdje dt passeert een hoeveelheid massa dM met snelheid v .

Per strekkende meter :

$$dM = h \cdot v \cdot dt \cdot \rho$$

$$dE = \frac{1}{2} \cdot dM \cdot v^2$$

waarin E de kinetische energie van de watermassa is.

Hieruit volgt :

$dE = \frac{1}{2} \cdot v^2 \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot v \cdot dt$. Nu is de definitie van vermogen de hoeveelheid energie per tijdseenheid, dus :

$$V = dE/dt = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot v^3 \text{ W/m}^2$$

Bijvoorbeeld de Noordzee.

De watersnelheden in de Noordzee liggen in de orde van ongeveer 1 knoop d.w.z. 0,56 m/sec. De diepte van de Noord- wordt gesteld op 20 m. Dit geeft als vermogen :

$$V = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot v^3 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 20 \cdot 0,56^3 = 17 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$$

g?

*

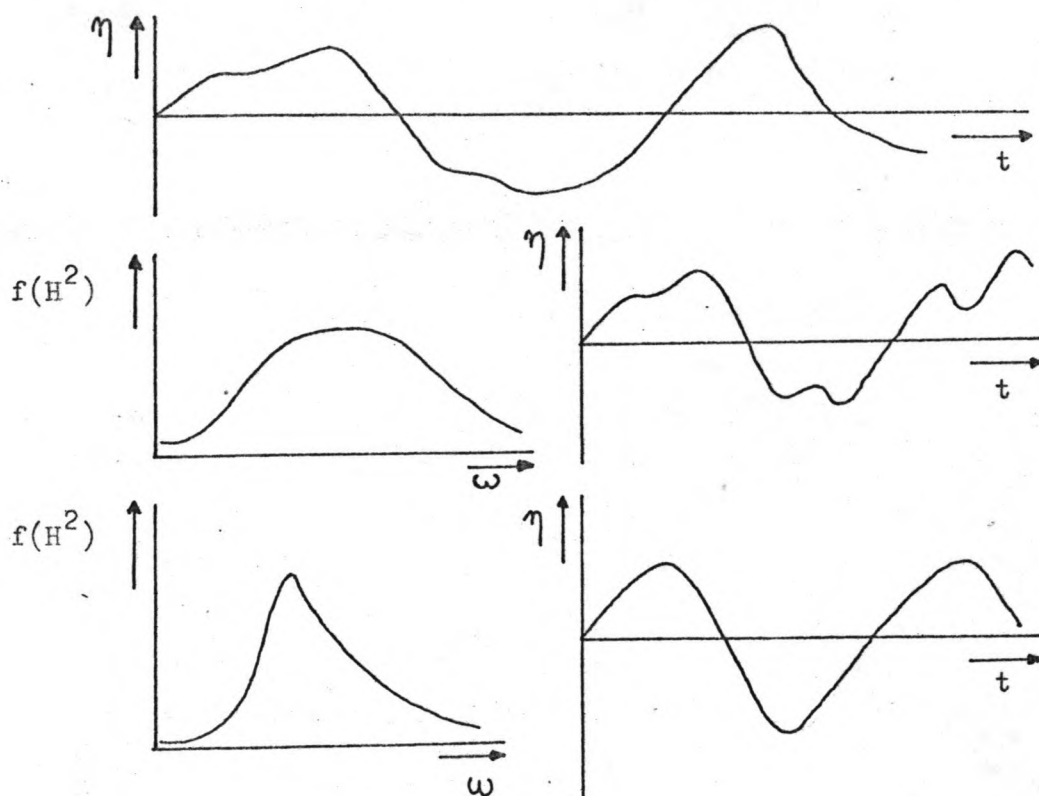
Het nadeel van deze energie vorm is, dat de massa's water, die afgeremd moeten worden om de energie eruit te halen enorm zijn. Het gevolg is dan ook, dat de constructies, die daarvoor nodig zijn, erg groot zullen worden en economisch dan waarschijnlijk niet rendabel.

Een uitzondering kan gemaakt worden voor de periodieke stroming, die op bepaalde plaatsen zorg draagt voor een relatief grote stroom en voor een vrij groot plaatshoogte verschil. Gebleken is, dat dit soort constructies (getijde centrales) redelijk rendabel te maken is.

Logischerwijs is de constante- en stochastische stroming uit te schakelen als middel om energie uit de oceaan te halen, uitgezonderd die plaatsen, waar een relatief sterke stroming optreedt, bv. in zeestraten etc.

b) Korte golven.

Korte golven hebben over het algemeen een stochestisch karakter.



De uitslag van bv. een golfhoogtemeter noemt men een realisatie. De eigenschappen van zo'n realisatie (en dus van het golfveld) kunnen worden vastgelegd in een energie-spectrum.

Indien het spectrum breed is, heeft de realisatie een sterk stochastisch karakter.

Een smal spectrum geeft een veel regelmatigere realisatie, waarbij de amplitude slechts licht varieert.

In een windveld, waar de golven opgewekt worden vindt men meestal een breed spectrum. Verder van het windveld zal het spectrum smaller worden. (t.g.v. het verschil in voortplantingssnelheid zullen de componenten, waaruit het golfveld bestaat, uit elkaar worden getrokken.)

De energie van een golf bestaat uit :

- a) Potentiele energie t.g.v. de plaats van een waterdeeltje ten opzichte van het middenvlak.
- b) Kinetische energie t.g.v. de orbitaal-beweging van de deeltjes.

De totale energie in een golf wordt gegeven door de volgende formule : $E = 1/8 \cdot \rho \cdot g \cdot H^2 \text{ Nm/m}^2$.

Terwijl als de voortplantingssnelheid van de energie wordt gegeven door $c_{gr} = \frac{1}{2} \cdot c \cdot (1 + 2kd/\sinh 2kd)$, het vermogen volgt uit : $V = 1/8 \cdot \rho \cdot g \cdot H^2 \cdot c_{gr} \text{ W/m}^2$.

Bijvoorbeeld de Noordzee.

Als we als gegevens de volgende vrij frequent voorkomende waarden nemen: $H = 1\text{m}$, $T = 6 \text{ sec}$, $d = 23 \text{ m}$, dan volgt hieruit $c = 9,2 \text{ m/sec}$, $c_{gr} = 4,6 \text{ m/sec}$, dus :

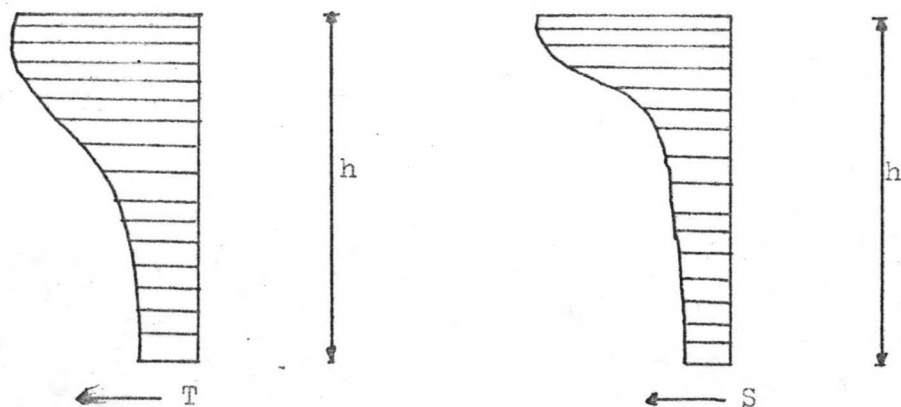
$$V = 1/8 \cdot \rho \cdot g \cdot H^2 \cdot c_{gr} = 1/8 \cdot 10^4 \cdot 1 \cdot 4,6 = 6 \text{ kW/m}^2 \text{ .}$$

Hieruit volgt, dat ook energie uit korte golven voor Nederland (i.v.m. lage golfhoogten op de zuidelijke Noordzee) geen wezenlijke bijdrage zal kunnen leveren tot de energievoorziening van Nederland.

Welke energie uit korte golven interessant voor kleine installaties op afgelegen plaatsen.

c) Temperatuur en zoutgehalte verschillen.

In tropische wateren ontstaan grote dichtheids verschillen ten gevolge van temperatuurverschil en saliniteit.



Deze dichtheidsverschillen zijn vrijwel onafhankelijk van de tijd ten gevolge van de grote voorraad aan warmte-capaciteit van de oceaan, zodat fluctuaties in de zonnestraling weinig invloed hebben.

IV OPLOSSINGEN. (-1-) (-2-)

In dit hoofdstuk zullen verscheidene mogelijke oplossingen om energie uit de oceaan te halen gegeven worden.

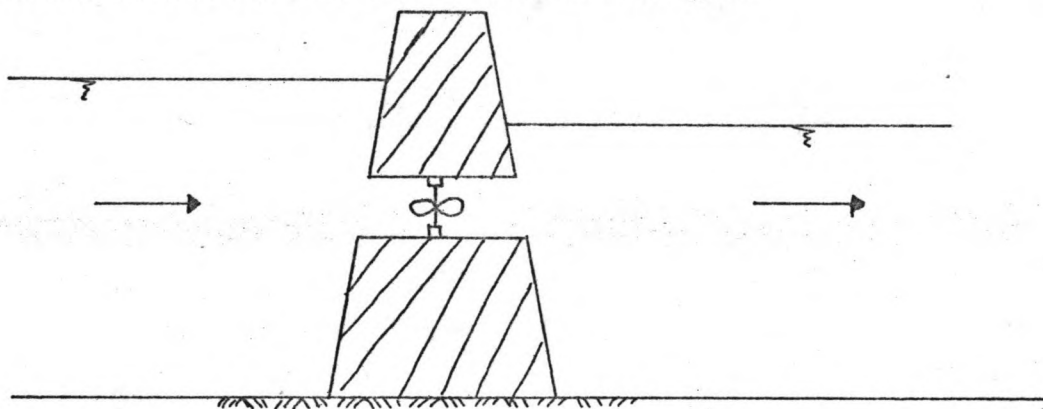
De meeste oplossingen zijn verkregen met behulp van "brainstorming", terwijl de rest van de oplossingen gevonden zijn in de literatuur en hierbij gevoegd zijn om een zo compleet mogelijke lijst te verkrijgen.

De oplossingen zullen gerubriceerd worden naar vorm van energie die zij gebruiken. (zie hoofdstuk III).

a) WATERSTROMING

a-1 Afdammen van een zeestroming

Omzetten van snelheidshoogte in plaatshoogte (opstuwen); het zo verkregen verval kunnen we m.b.v. turbines voor klein verval omzetten in bruikbare energie.

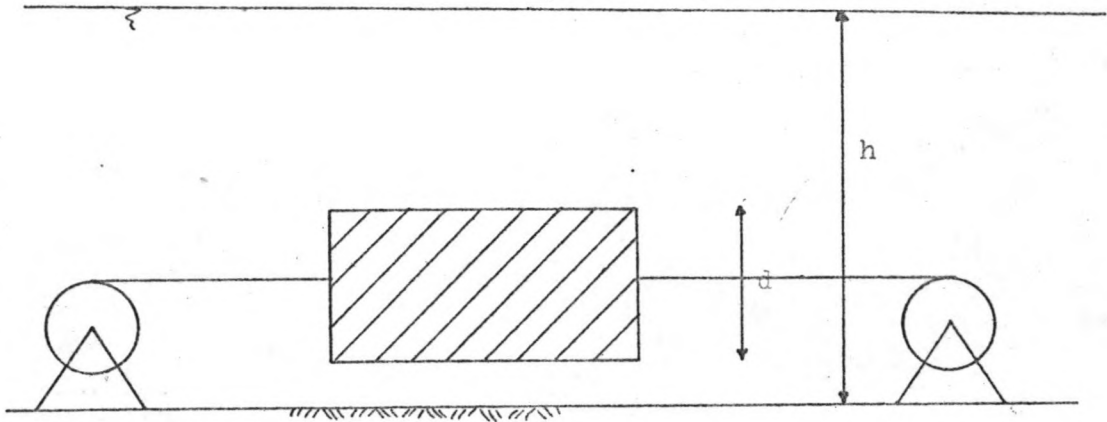


De hoeveelheid te winnen energie: zie hoofdstuk III.

Zoals reeds eerder betoogd is zullen de constructies zo groot zijn, dat ze

- technisch nauwelijks te verwezelijken zijn
- economisch niet rendabel zijn.

a - 2



In een periodieke stroming (b.v. getijstroming) plaatsen we een voorwerp dat met de stroom mee wil drijven. Hierdoor zullen de lieren gaan draaien en kan zodoende energie worden opgewekt.

Indien de waterdiepte (h) in dezelfde orde van grootte is als de hoogte van het voorwerp (d) zal het voorwerp de stroming in sterke mate beïnvloeden.

De hoeveelheid energie die op deze manier gewonnen kan worden zal sterk afhankelijk zijn van de aard van de stroming. Bovendien zal de constructie dan wel erg groot zijn geworden.

Indien $d \ll h$ zal de stroming nauwelijks beïnvloed worden. De hoeveelheid energie die dan gewonnen wordt is dan ook erg klein.

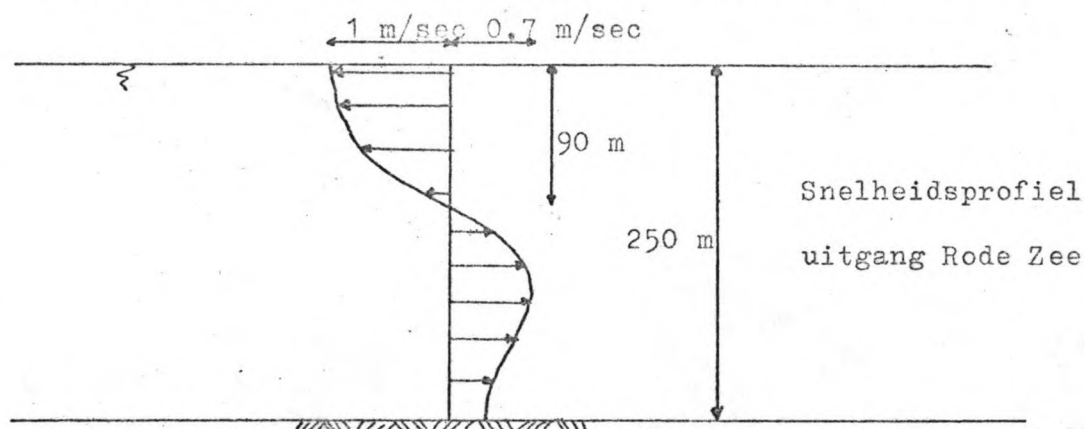
Samengevat kan van deze oplossing gezegd worden dat het rendement hiervan twijfelachtig is.

Ook zal de oplossing technisch moeilijk uitvoerbaar zijn.

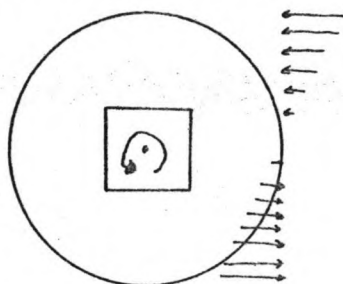
a - 3

In de straat van Gibraltar en aan de uitgang van de Rode Zee stroomt het water aan de oppervlakte naar binnen (de binnenzee in) en langs de bodem is een stroom met een grotere dichtheid naar buiten.

Deze stromingen ontstaan ten gevolge van grote verdamping in de binnenzee waardoor de waterstand lager komt te staan en er water instroomt. (oppervlakte stroming). Ten gevolge van het dichtheidsverschil van het water in de oceaan en de binnenzee ontstaat de stroming langs de bodem naar buiten.



We kunnen nu gebruik maken van het snelheidsverschil tussen de twee lagen om er energie uit te halen.

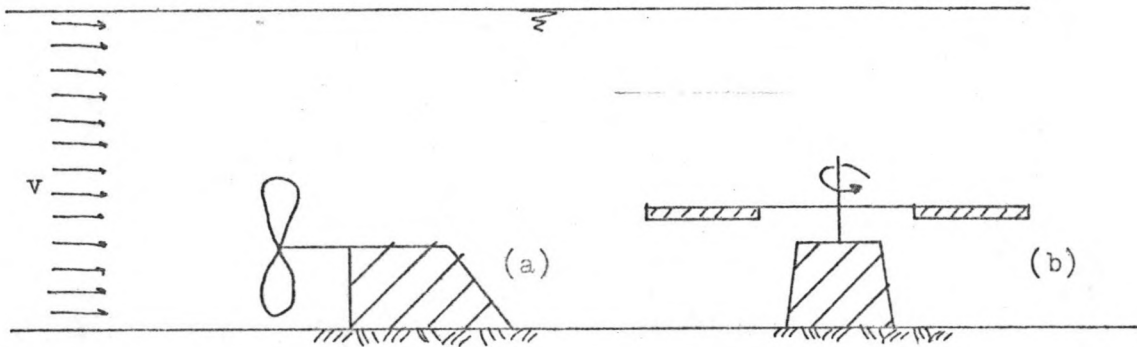


Bijvoorbeeld een ruwe trommel, die gaat draaien. De trommel moet voorzien zijn van een drijfmechanisme om te zorgen dat de as van draaiing op het grensvlak van de twee lagen blijft. Het is niet eenvoudig uit te rekenen hoe snel de trommel zal gaan draaien omdat de trommel het stromingsveld zal beïnvloeden en omdat bovendien menging van de twee lagen zal optreden. Het rendement van deze methode zal laag zijn en de technische uitvoerbaarheid moeilijk.

a - 4

Propellers opgesteld in de waterstroom.

De draaiingsas kan zowel evenwijdig (a) als loodrecht op (b) de stromingsrichting zijn.



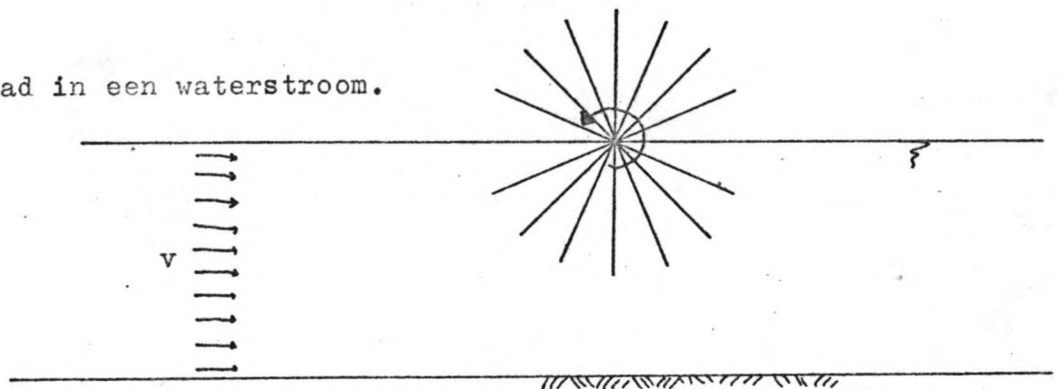
De snelheid van het water is laag, maar de dichtheid is hoog. Toch zullen we zeer grote constructies moeten bouwen om in redelijke mate energie te winnen.

Bovendien zullen grote constructies de waterbeweging beïnvloeden.

Het rendement van deze constructies zal waarschijnlijk ook niet erg groot kunnen zijn.

a - 5

Een waterrad in een waterstroom.

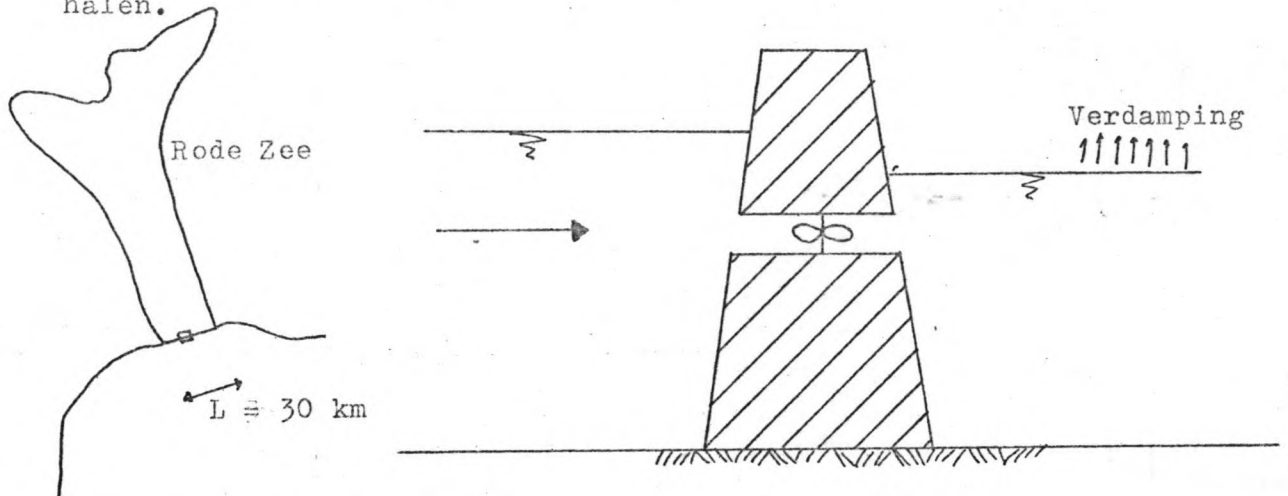


Een enigszins ouderwetse constructie die uitstekend toepasbaar is in rivieren, maar niet op zee (lage watersnelheid, golfaanval).

a - 6

Tengevolge van de zeer grote verdamping in b.v. de Rode of de Middellandse Zee, moet door de ingang van deze zee water stromen om de waterstand op peil te houden.

Het is mogelijk door een dam in deze zeestraat te leggen d.m.v. een waterkrachtcentrale energie uit deze stroming te halen.



Berekening van het debiet:

Oppervlakte van de rode zee is globaal $0,5 \cdot 10^6 \text{ km}^2$, dus $0,5 \cdot 10^{12} \text{ m}^2$. Voor de verdampingscoëfficiënt stellen we een waarde van 1,5 à 2,25 m/jaar. De totale verdamping per jaar is dan: $10^{12} \text{ m}^3/\text{jaar}$.

Stel het hoogteverschil tussen binnen- en buitenzee H, dan is de energie gelijk aan m.g.H.

Dus aan $10^3 \cdot 10^{12} \cdot 10 \cdot H = 10^{16} H \text{ Joule/jaar}$.

Het vermogen is dan: (vermogen is energie per tijdseenheid)

$$V = \frac{10^{16} \cdot H}{9 \cdot 10^3 \cdot 3,6 \cdot 10^3} = 0,03 \cdot 10^{10} \cdot H \text{ Watt} = 300 \cdot H \text{ MWatt.}$$

Bij H is 15 m levert dit evenveel op als het totale elektrische vermogen in Nederland.

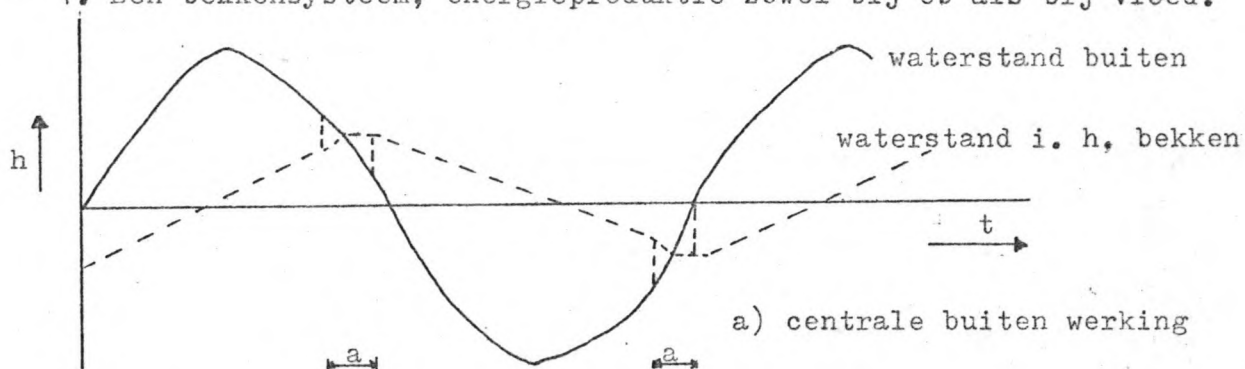
Technisch gezien vrijwel onmogelijk realiseerbaar, maar misschien zijn er wel andere tropische binnenzeeën waar de afsluiting minder gecompliceerd is.

a - 7 De getijdecentrale.

Een getijdecentrale is gebaseerd op de periodiek veranderende waterhoogte ten gevolge van het getij.

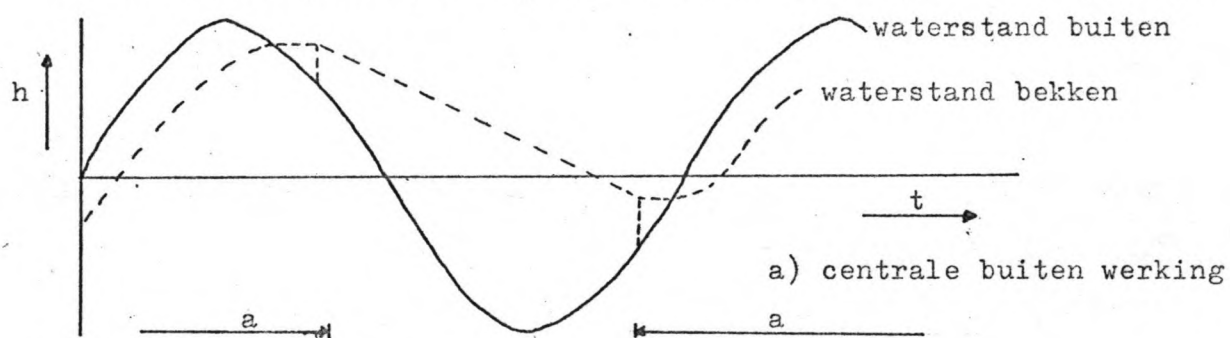
Hieronder volgen enkele systemen.

1. Eén bekkensysteem, energieproductie zowel bij eb als bij vloed.

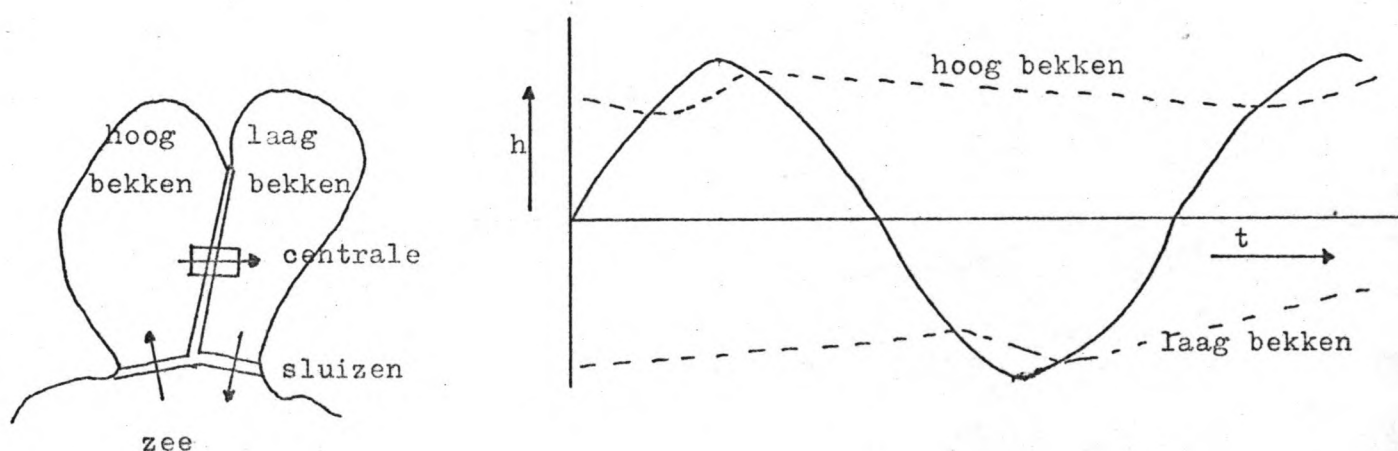


Een getijdecentrale gebaseerd op bovengenoemd systeem is reeds in werking n.l. bij La Rance in Frankrijk, in de monding van de Rance. Het getijdeverschil bedraagt hier 13,5 m. Het geïnstalleerd vermogen van deze centrale bedraagt 240 MWatt.

2. Eén bekkensysteem, energieproductie alleen bij eb of bij vloed.



3. Tweebekkensysteem, energieproductie zowel bij eb als bij vloed.



Een voorbeeld van dit laatste systeem is het in ontwerp zijnde "Passamaquoddy project" op de grens van Canada en de U.S.A. aan de atlantische kust. Er heerst daar een maximaal getijdeverschil van 17 m. Het verwachte vermogen van deze centrale zal maar liefst 1 GW bedragen.

Door de Provinciale Zeeuwsche Elektriciteitsmaatschappij is een onderzoek ingesteld naar de mogelijkheden om een getijdencentrale te bouwen in de Oosterschelde.

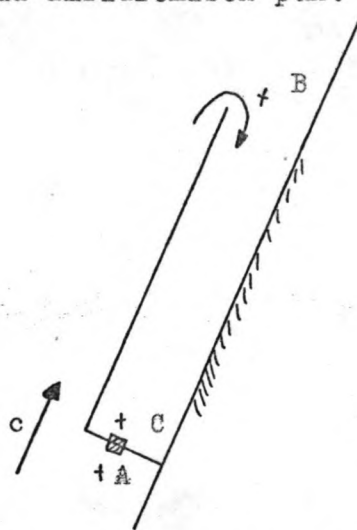
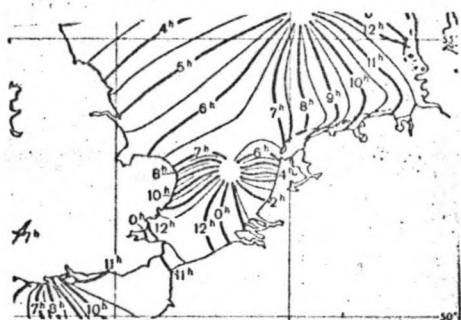
Uitgaande van het éénbekkensysteem zal het vermogen van deze centrale niet meer kunnen zijn dan 50 MW.

a - 8

Het is ook mogelijk een getijde centrale te bouwen zonder een afgesloten bekken daarachter.

Hierbij wordt dan gebruik gemaakt van het lange-golf effect van de getijde beweging en het feit, dat in een binnenzee het hoog en laag water om een zogenaamd amphidromisch punt draaien.

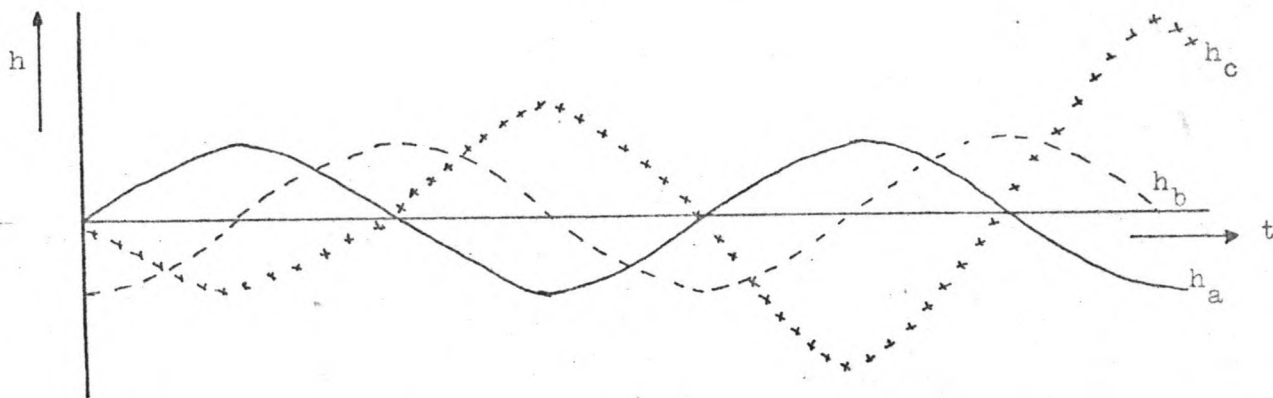
Bijvoorbeeld de Noordzee.



We zien dat het getij langs de kust loopt met een bepaalde voortplantingssnelheid c .

Indien we nu langs de kust een waterdichte strekdam leggen evenwijdig aan de kust, zal het getij in A en C in fase verschillen.

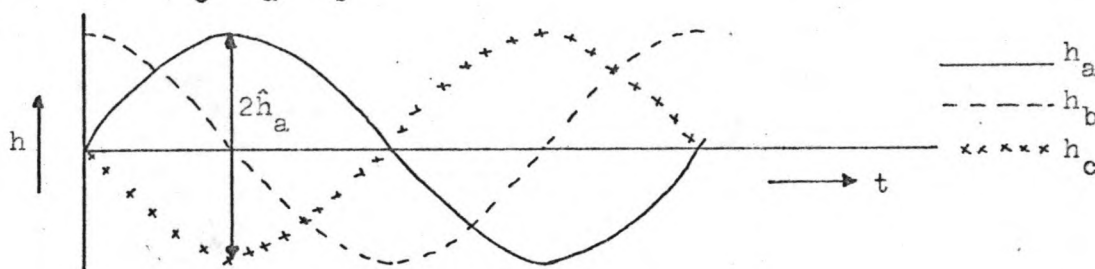
Als we de dam een lengte geven van $\frac{1}{4}$ golflengte, zal het getij in A en C juist in tegenfase zijn. Bovendien zal dit tot gevolg hebben dat t.g.v. resonantie een veel groter tij-verschil zal optreden.



Hierboven is afgezien van - wrijving in het kanaal.
 - werking van de centrale(spuien).

Ten gevolge van deze factoren zal de resonantie (h_c) beperkt blijven. In het vervolg zullen we aan nemen, dat het voordeel van de resonantie opweegt tegen de nadelen van wrijving in het kanaal en het spuien van water.

Dus : $\hat{h}_c = \hat{h}_a = \hat{h}_b$.

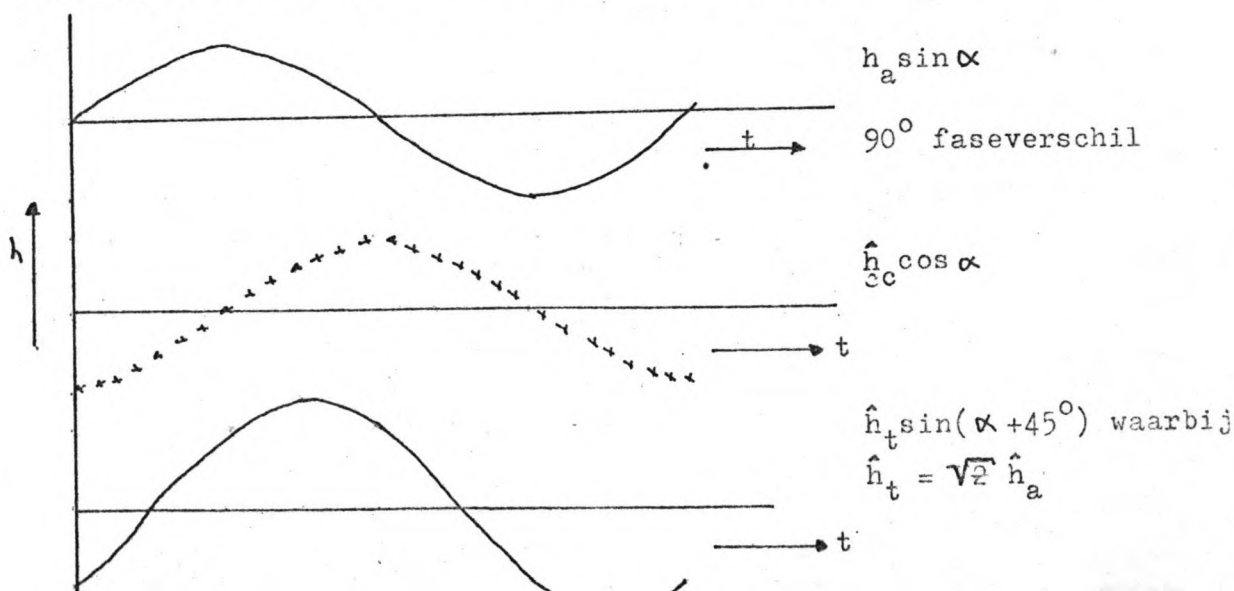


Bij een fase verschuiving van 180° zal de lengte van de dam (L) ongeveer bedragen :

$L = \frac{1}{4} \cdot c \cdot T$; $h = 25 \text{ m.}$; $c = \sqrt{gh} = 16 \text{ m/sec.} = 58 \text{ km./uur.}$

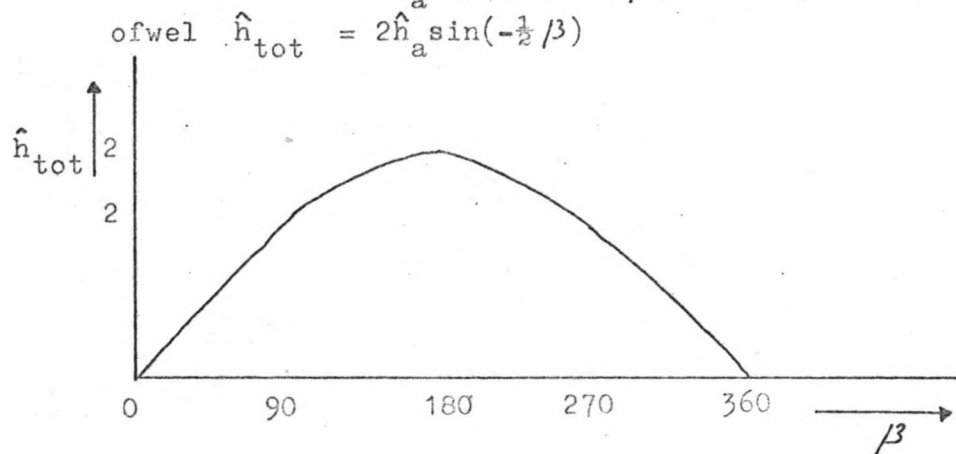
$L = \frac{1}{4} \cdot 58 \cdot 12 = 175 \text{ km.}$

Het waterstandsverschil tussen A en C is nu maximaal $2\hat{h}_a$. Ook een kleiner faseverschil geeft een gunstig beeld, maar het waterstandsverschil zal wel kleiner worden.

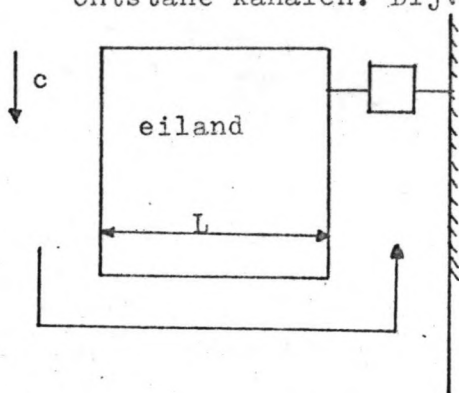


Algemeen: we tellen twee sinusvormen bij elkaar op nl:

$$\begin{aligned} h_{\text{tot}}(t) &= h_a(t) + h_c(t) \\ &= \hat{h}_a \sin \omega t - \hat{h}_c \sin(\omega t + \beta) \\ &= 2\hat{h}_a \cos(\omega t + \frac{1}{2}\beta) \cdot \sin(-\frac{1}{2}\beta) \end{aligned}$$

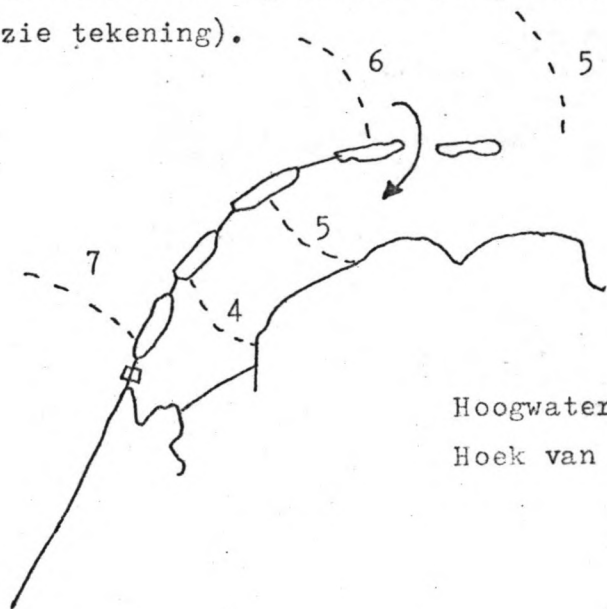


Het zal in de praktijk onmogelijk zijn waterdichte strekdammen te bouwen met een lengte van 100 - 200 km. We kunnen echter wel gebruik maken van reeds bestaande, op natuurlijke wijze ontstane kanalen. Bijvoorbeeld:



waarbij indien de diepte ± 15 m is, L in de orde van grootte is van 50 - 100 km.

Als voorbeeld kunnen we nog noemen een gedeeltelijk afgedamde waddenzone (zie tekening).



Hoogwaterlijnen, uren voor
Hoek van Holland

Het getijdeverschil is hier echter niet zo groot.

$h = 0,70$ m d.w.z. een max vervalhoogte van 1,50m.

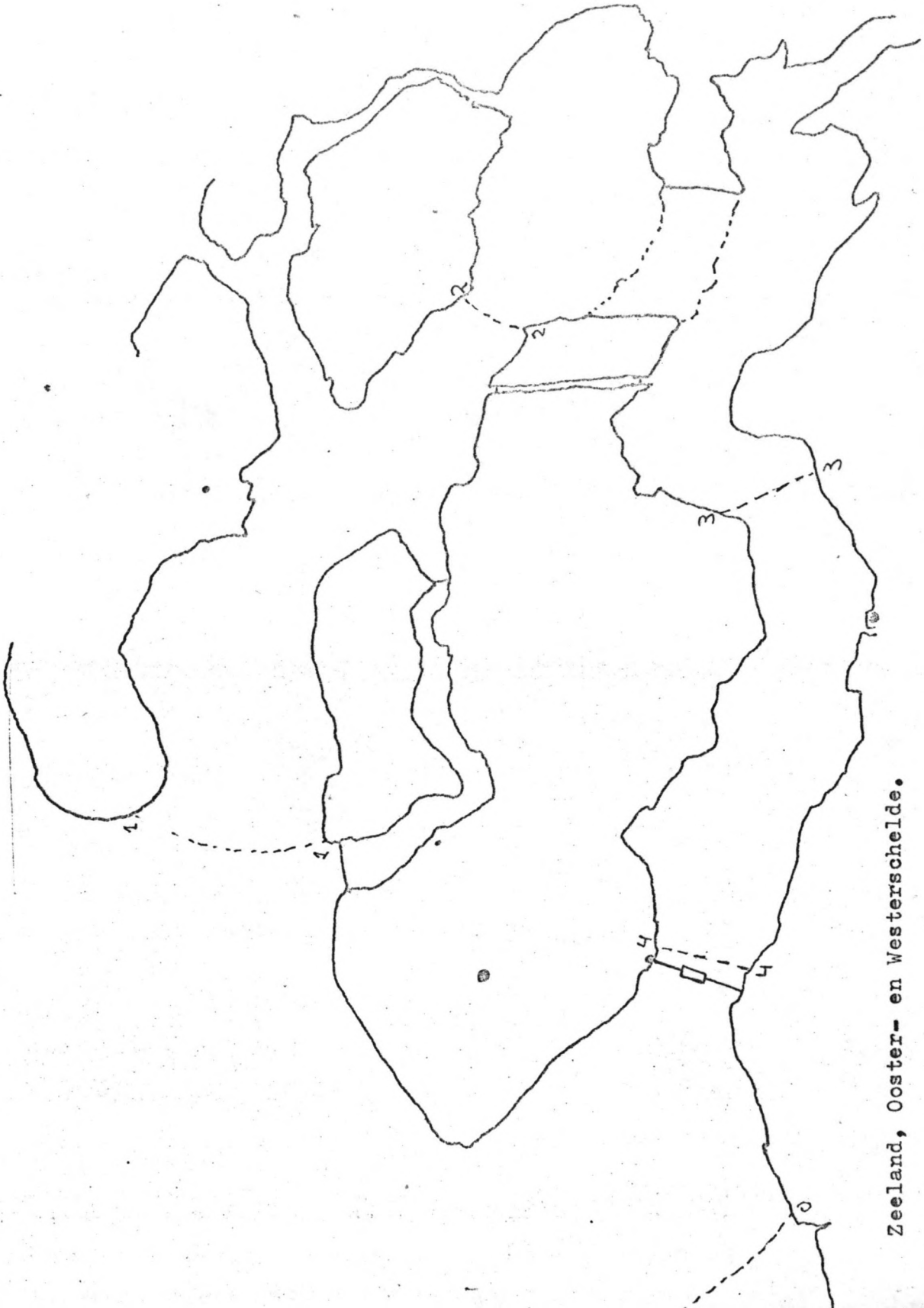
Gunstiger is wellicht een dam in de Westerschelde en een groot aanvoerkanaal door Zuid-Beverland. (zie kaart pag 19)

Ook een dam in de Oosterschelde is mogelijk; het faseverschil is dan kleiner en het getijverschil in de Westerschelde is hoger.

Een getijdeberekening zal moeten uitmaken of dit systeem meer energie oplevert dan de klassieke getijdecentrale.

De onzekere factoren zijn nog:

- demping getij in estuaria t.g.v. wrijving etc.
- t.g.v. het uitstromende water door de centrale verandert de waterhoogte.
- opslinging waterhoogte aan binnenzijde van de centrale ten gevolge van resonantie.



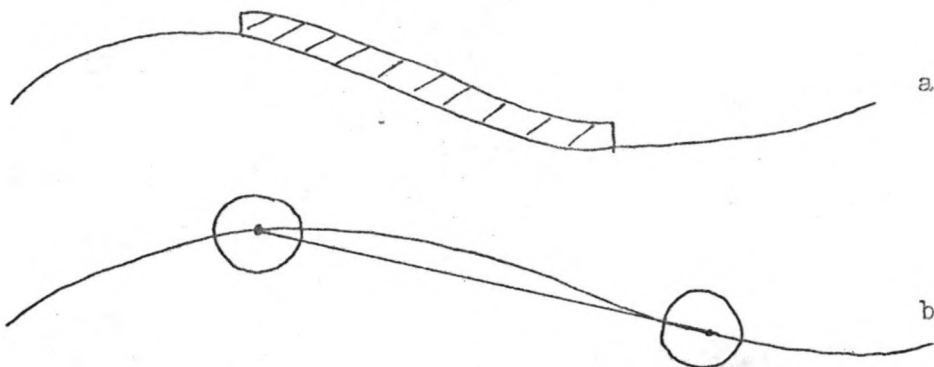
Zeeland, Ooster- en Westerschelde.

b KORTE GOLVEN

b - 1

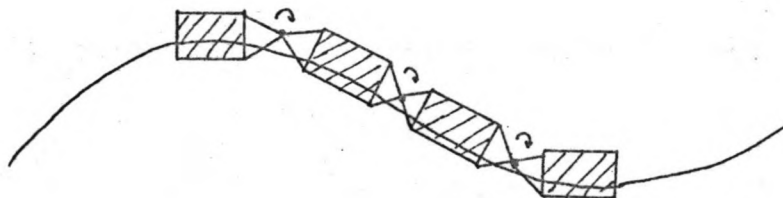
Bij werken aan de kust worden soms als tijdelijke golfbrekers drijvende constructies gebruikt (- 4 -).

Deze kunnen zowel flexibele continue constructies (a) als aan elkaar gekoppelde drijvers zijn (b).



Deze constructies blijken in de praktijk de golven vrij goed te dempen.

We kunnen van dit principe gebruik maken met behulp van de volgende constructie:



In de verbindingpunten wordt energie opgewekt m.b.v. draaiing. Het energieverlies van deze oplossing zal echter vrij groot zijn door:

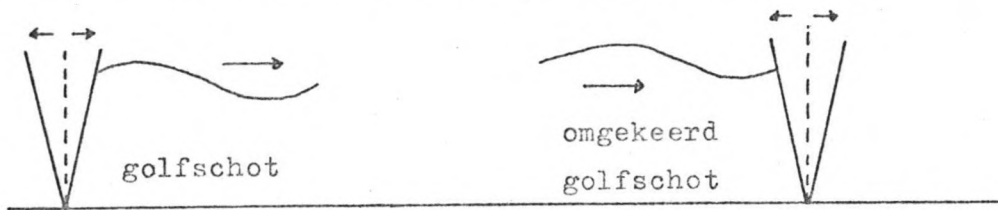
- niet in frequentie zijn van de bootjes ten aanzien van de frequentie van de golf.
- wrijving van de bootjes ten opzichte van het water.
- turbulentie tussen de bootjes.
- teruggekaatste golf.
- de onder de bootjes doorgaande golf.

Het rendement van deze oplossing zal dus zeer laag zijn.

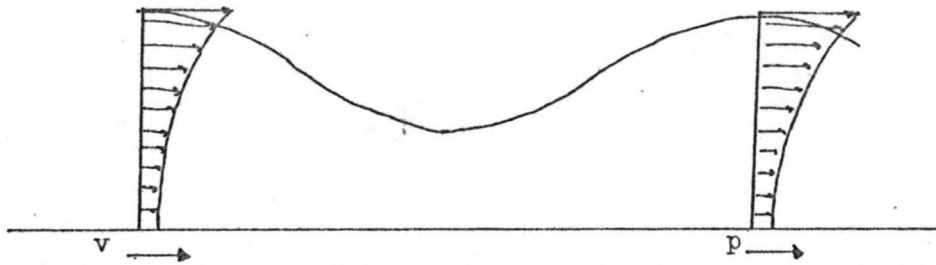
b - 2 Het golfschot.

In laboratoria worden golven in goten opgewekt door o.a. een zgn golfschot, d.w.z. een schot dat periodiek in het water wordt heen en weer bewogen.

We kunnen dit systeem omkeren en een schot zodanig construeren dat dit schot periodiek met de golf gaat meebewegen.

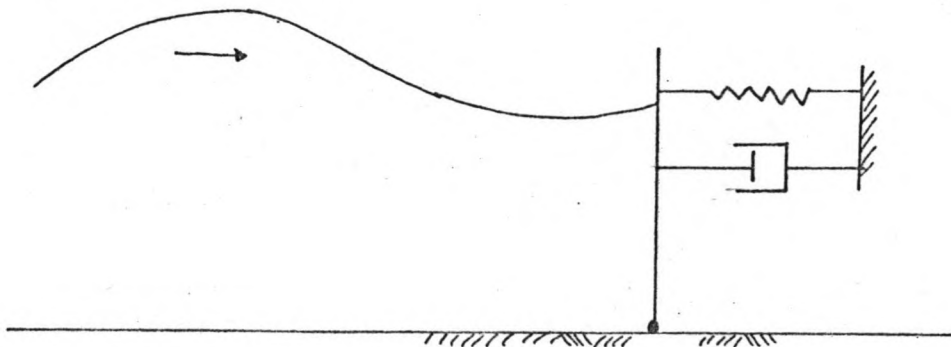


Het schot zal ideaal werken wanneer het over de diepte beschouwd op elke plaats en op elk tijdstip dezelfde snelheid heeft als de corresponderende waterdeeltjes. In dat geval zal er geen terugkaatsing ontstaan, d.w.z. geen extra energieverlies.



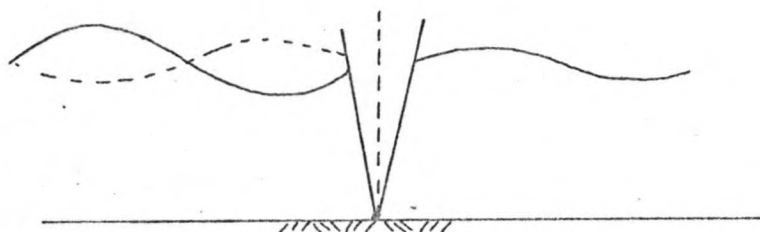
Tengevolge de waterdrukken zal op het schot een periodieke kracht gaan werken.

Indien we nu het golfschot beschouwen met slechts aan een zijde water en het schot zodanig construeren dat het zich gedraagt als een dynamisch systeem (b.v. een gedempt massa - veer systeem) dan kan d.m.v. de demper energie worden opgewekt.



De opgewekte energie zal maximaal zijn wanneer de frequentie van de golven overeenkomt met de eigenfrequentie van het schot. In bovenstaand theoretisch geval zal een rendement mogelijk zijn wat zeer hoog is.

In werkelijkheid zal er water achter het schot staan en zal in dit water een golf worden opgewekt. Tevens zal er een golf worden teruggekaatst.



Het systeem ligt tussen de volgende twee gevallen:

- het schot gaat precies meebewegen met de aankomende lopende golf: er wordt dan een zelfde golf opgewekt achter het schot, d.w.z. energiewinst = 0 .
- het schot staat stil. De aankomende golf wordt volledig teruggekaatst, energiewinst ook hier gelijk aan nul.

We zullen nu de demper, veer en massa van het schot zodanig moeten ontwerpen dat het maximale vermogen wordt verkregen. Bovenstaande parameters zullen afhankelijk zijn van de golfgegevens (periode, golfhoogte, golflengte).

Zeegolven bestaan in werkelijkheid uit een sommatie van een aantal componenten met verschillende T en H.

Hierdoor zal ook een aanmerkelijk verlies optreden.

Het schot zal dus het hoogste rendement geven in een gebied waar een regelmatige deining staat. (smal spectrum).

In een golfveld waarin de golven ter plaatse zijn opgewekt (zoals veel voorkomt op de Noordzee) zal het schot een laag rendement geven. (breed spectrum).

b - 3 de vlotter

Een drijver die gebruikt maakt van de verticale beweging van de waterspiegel.

De op en neergaande beweging kan via een mechanisme in energie worden omgezet.

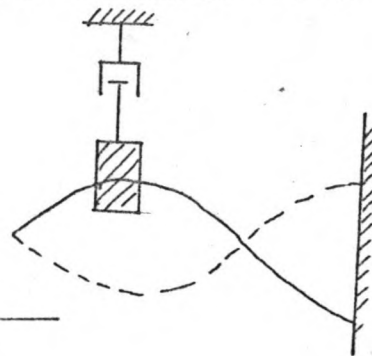
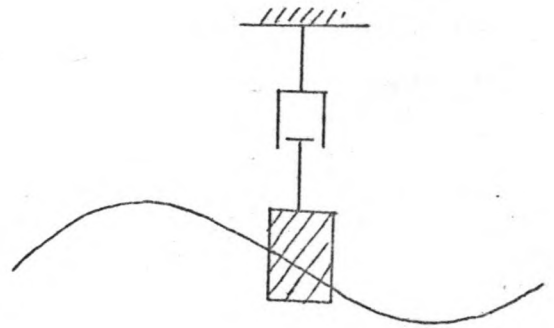
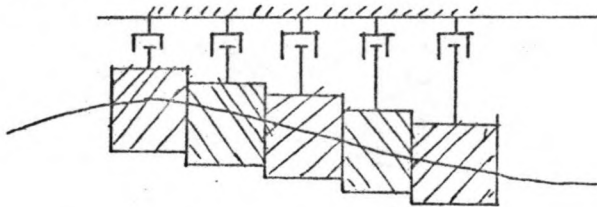
Het rendement van een vlotter is echter gering.

Dit rendement is te vergroten door een combinatie toe te passen van:

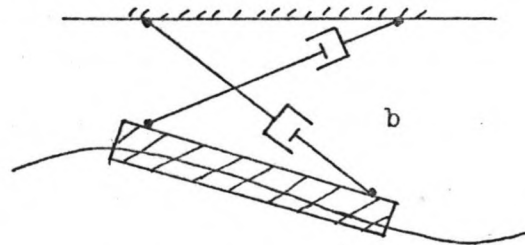
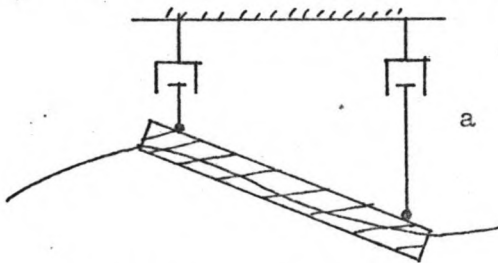
1. Een muur achter de vlotter.

Er ontstaat dan een staande golf en de verticale uitwijking wordt hierdoor veel groter.

2. Meerdere vlotters achter elkaar:



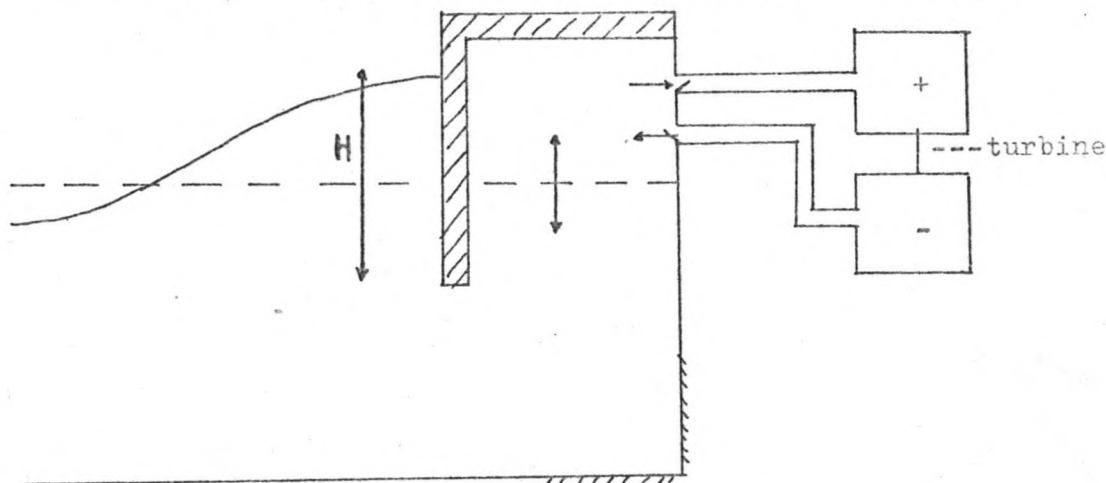
We kunnen ook een ander type vlotter toepassen met twee vrijheidsgraden nl een vertikaal translerende en een roterende beweging (a) of met drie vrijheidsgraden nl een verticaal en horizontaal translerende en roterende beweging (b).



Het rendement van dit soort constructies is laag door:

- frequentie golf is niet gelijk aan frequentie van de vlotter.
- doorlaten van de golf.
- terugkaatsing.

b - 4 Oplossing m.b.v. luchtdruk, de zgn "orgelpijp".



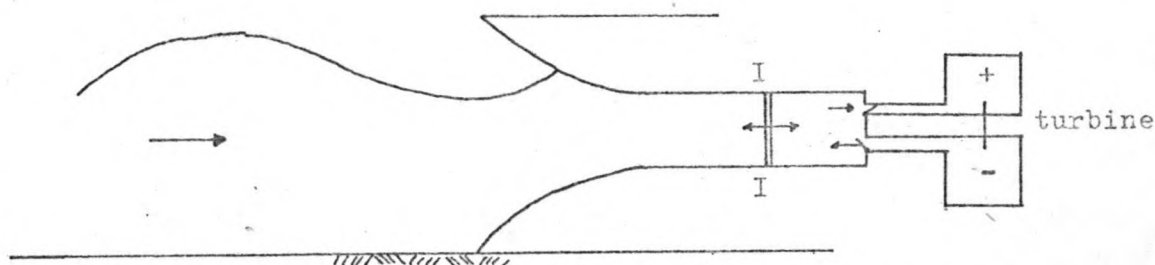
De waterspiegel in de drukkamer gaat op en neer t.g.v. de golfbeweging buiten. Er wordt beurtelings een over- en onderdruk opgebouwd die d.m.v. een kleppensysteem respectievelijk naar een overdrukvat en een onderdrukvat wordt overgebracht. Tussen deze twee vaten is een turbine opgesteld die het drukverschil kan omzetten in energie.

- nadelen:
- vrij grote terugkaatsing van de golven.
 - de in het water stekende wand veroorzaakt turbulentie en daarmee energieverlies.
 - de luchtdrukverschillen zullen gering zijn nl in de orde van $\rho g H$ d.w.z. met een golfhoogte van 1 m is het luchtdrukverschil 0,1 atm.
- Hierdoor zal de turbine een laag rendement hebben.

voordelen:

- weinig gevoelig voor windgolven wat betreft het rendement.
- i.p.v. lucht een medium te gebruiken dat een hoger turbinerendement geeft.

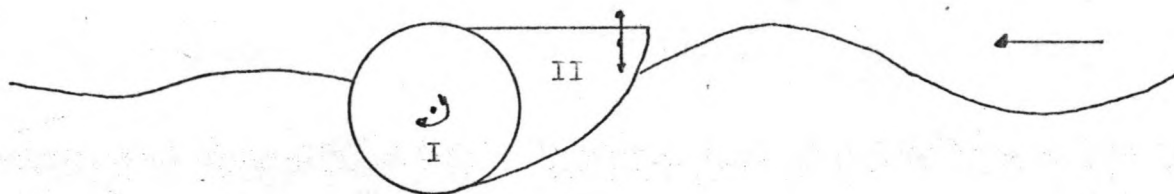
b - 5 Een andere oplossing m.b.v. luchtdruk.



Ten gevolge van de wisselende waterdruk bij schot I - I zal er een over- en onderdruk ontstaan in de cilinder. M.b.v. een kleppensysteem wordt deze over- en onderdruk overgebracht naar een over- en onderdrukvat met daartussen een turbine. De voor- en nadelen zullen dezelfde zijn als oplossing b - 4

b - 6 Roterende cilinder.

Deze cilinder heeft aan een zijde extra drijfvermogen.



Tengevolge van gedeelte II zal de constructie in de golfbeweging gaan roteren.

De deeltjes van de wand van I mogen alleen roteren en geen snelheid loodrecht op het vlak hebben omdat anders aan de achterzijde een golf wordt opgewekt, hetgeen energieverlies betekent.

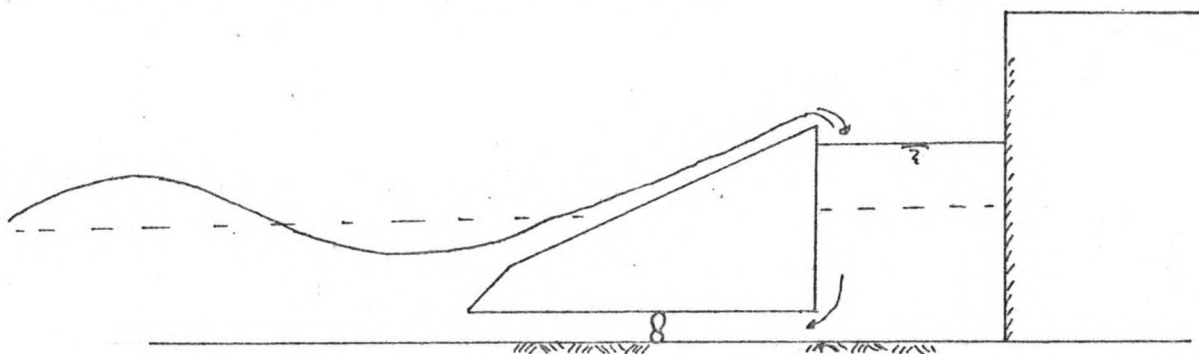
Er is ook energieverlies door terugkaatsing en drukvoortplanting onder de constructie door.

De energie wordt opgewekt door een verschil in rotatiesnelheid t.o.v. een vast punt.

Het rendement van de constructie kan vrij hoog zijn.

Er is echter een vrij grote constructie nodig.

b - 7 Golfoverslag. (- 7 -)

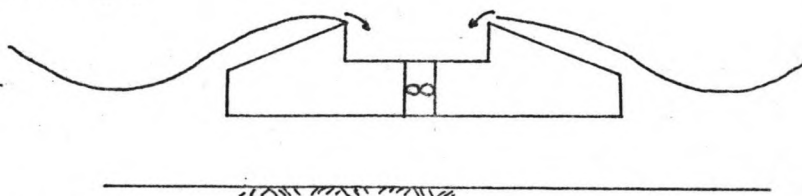
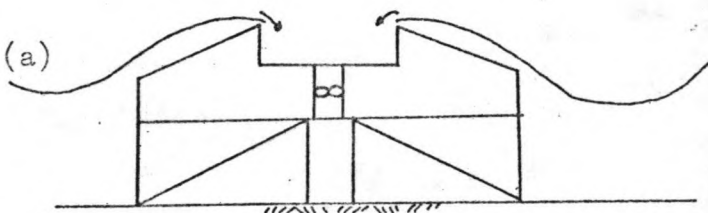


We kunnen de golf laten oplopen op een helling en het water laten overslaan in een achter de helling gelegen reservoir. In dit reservoir kunnen we dan een waterniveau opbouwen, dat hoger ligt dan het gemiddelde niveau op zee. Door middel van een turbine kunnen we de energie eruithalen. Indien er geen of een klein getij is kan de installatie op een

vaste constructie worden gezet. (a)

Indien er een groter getij is moet de constructie drijvend worden uitgevoerd met een grote

massa omdat anders veel energie verloren gaat door de bewegingen van de constructie. (b)



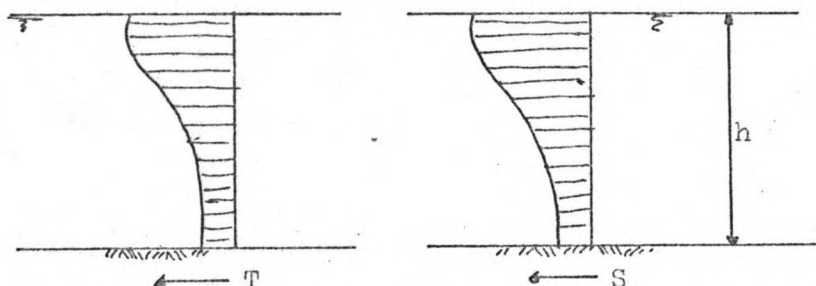
- nadelen:
- veel energieverlies door breken van de golven.
 - indien drijvend: door het bewegen van de constructie waarschijnlijk minder golfoverslag.
 - indien vast: rendement gevoelig voor het getij.

- voordelen:
- eenvoudige constructie.
 - onafhankelijk van de golfrichting door aan alle zijden een talud aan te brengen.
 - geen verschil tussen onregelmatige en meer regelmatige golven.
 - de turbine kan t.g.v. de opslagmogelijkheid een constante energiestroom op korte termijn leveren.

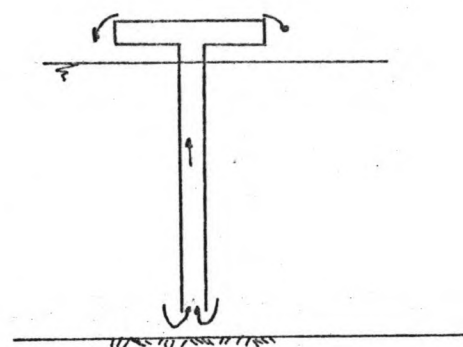
c Oplossingen t.g.v. temperatuur- en zoutverschillen
in de diepte van de oceaan.

c - 1

Het is mogelijk om een zgn zoutfontein te krijgen indien we gebruik maken van het dichtheids- en temperatuursverschil in een diepe tropische zee.



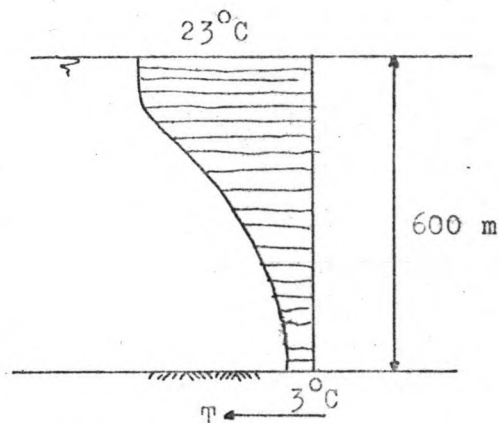
Aan de oppervlakte een grotere saliniteit t.g.v. een sterke verdamping en een hogere temperatuur t.g.v. zonnestraling. Wanneer we nu een lange, de warmte goed geleidende buis in het water steken, dan zal de temperatuur van het water in de buis dezelfde zijn als de temperatuur van het water buiten de buis. Het zoutgehalte in de buis zal overal S_0 bedragen. Dus is de waterdruk onder in de buis t.g.v. water in de buis kleiner dan de waterdruk buiten de buis waardoor een waterstroming zal ontstaan.



Ten gevolge van de wrijving in de buis en het vrij kleine drukverschil zal de extra stijghoogte echter zeer beperkt blijven.

c - 2 Warmtewisselaar (- 5 -)

In een tropische zee is een groot verschil in temperatuur over de diepte. Het oppervlak is warm t.g.v. de zonstraling terwijl het water dieper dan 500 m afkomstig is uit de poolstreken. Het is mogelijk om met behulp van een warmtewisselaar energie te halen uit dit temperatuurverschil. Dit temperatuurverschil is weliswaar niet erg groot (20°C) maar de voorraden zijn zo enorm dat de hoeveelheid energie toch zeer groot is.



nadelen: - energieverlies door:

1. vervoer koude water door zeer lange pijp (± 600 m)
2. het water wordt in de pijp opgewarmd.
3. de warmtewisselaar heeft een zeer laag rendement zodat grote hoeveelheden water verwerkt moeten worden.
4. menging van verwerkt koud water met warm oppervlaktewater.

- constructiemoeilijkheden i.v.m. pijpconstructie.
- transport van de energie naar het vasteland.

voordelen - energiestroom is onafhankelijk van de variaties van toegevoerde zonneenergie i.v.m. de grote opnamecapaciteit van de oceaan.

V CONCLUSIES

Het blijkt uit het voorgaande dat om grote hoeveelheden energie uit de oceaan te halen er slechts een paar oplossingen voor in aanmerking komen.

Deze oplossingen zijn naar onze mening:

- de oplossingen die gebruik maken van de periodieke stromingen en wel de oplossingen a - 7 en a - 8 nl de getijdecentrales met wel of niet afgesloten bekkens.

Er zijn slechts weinig plaatsen op aarde waar:

t.a.v a - 7 : een groot waterhoogteverschil t.g.v. het getij aanwezig is.

t.a.v.a - 8 : - een groot waterhoogteverschil t.g.v. het getij is

- waar een kanaal te vinden is met voldoende lengte om een faseverschil te krijgen.

In het algemeen is de getijdecentrale (a - 7) reeds operationeel.

- De oplossing die gebruik maakt van het temperatuurverschil van het water, dus de warmtewisselaar (c - 2). De warmtewisselaar als energiebron is echter nog weinig ontwikkeld.

Deze oplossing is dus nog niet operationeel, maar biedt zeer goede toekomstmogelijkheden.

De rest van de oplossingen blijkt niet geschikt te zijn om grote hoeveelheden energie uit de oceaan te halen.

Indien we echter kleine installaties willen toepassen bieden de oplossingen d.m.v. korte golven goede mogelijkheden, daar voor een constructie die energie uit korte golven haalt geen erg grote constructies en dus grote investeringen noodzakelijk zijn.

LITERATUURLIJST

- (-1-) Collegedictaat Waterkracht f-20
ir. L. van Geuns, nov 1969, T.H. Delft.
- (-2-) W.C.J. de Haas : Octrooi-overzicht watermotoren
1974, Octrooiafdeling T.N.O.
- (-3-) R. Gibrat : L'Énergie des Marées
Presses Universitaire de France, Paris 1966
- (-4-) A.T. Ippen : Estuary and coastline hydrodynamics
- (-5-) National Science Foundation :
Power From Ocean Temperature Differences ?
Marine Journal, august 1974
- (-6-) A. Kroms : Das Projekt des Paasamaquoddy-Gezeiten-
kraftwerks
Schweizerische Bauzeitung, 7 mai 1964
- (-7-) Golfoploop en golfoverslag
Technische adviescommissie voor de waterkeringen
Den Haag, jan 1972

