

1967

MOND VAN DE OOSTERSCHELDE

E. VAN SPAENDONCK



Oosterschelde

MOND VAN DE OOSTERSCHELDE

Een onderzoek naar de invloed van de golven op de mond van de Oosterschelde.

Deelontwerp voor Prof. Ir W.C. Bischoff van Heemskerck door E. van Spaendonck.

INHOUD:

- I. Opdracht.
- II. Inleiding.
- III. Refractie-theorie.
- IV. Toepassing van de refractietheorie.
- V. Zandtransport langs de kust ten gevolge van golven.
- VI. Berekening van het zandtransport, erosie en aanzanding.
- VII. Bespreking van de resultaten.
- VIII. Nawoord.
- IX. Symbolen en indices.
- X. Litteratuur.
- XI. Lijst van Bijlagen.

I. OPDRACHT.

Bijlage 1-2-3

Tengevolge van de afsluiting van de Oosterschelde zal het eb en vloedvolume, dat de Oosterschelde in en uitstroomt, gemiddeld verminderen van $1100 \times 10^6 \text{ m}^3$ tot $159 \times 10^6 \text{ m}^3$, dat wil zeggen tot ongeveer 15%.

Hierdoor zal het bankengebied in de mond veranderen, waarbij de golven een grote rol zullen spelen, vooral in de brandingszone, doordat de getijstroom loodrecht op de kust praktisch weggevallen zal zijn. Zie bijlage 1.

De aanpassingen van de mond, zoals Rijkswaterstaat zich deze voorstelt als mogelijkheden, zijn:

- a. Variant I (Bijlage 2): een regelmatige vanaf de afsluitingsdijk aflopende bodemfiguratie,
- b. Variant II (Bijlage 3): een vanaf Walcheren uitgebouwd spit en een geul langs Schouwen, waardoor het getijvolume van de achter het spit overgebleven kom stroomt.

De opdracht is als volgt:

- a. De invloed van de golven op de mond in de huidige toestand te bestuderen.
- b. De invloed van de golven op de mond in de twee varianten te bestuderen en aan de hand daarvan de meest waarschijnlijke te trachten aan te wijzen; dit o.a. in verband met de plaatsbepaling van een uitwateringssluys in de afsluitdijk.

II. INLEIDING.

Om iets te weten te komen over de invloed van de golven op de mond van de Oosterschelde is gebruik gemaakt van een refractieberekening met daaraan verbonden een zandtransportberekening. De refractieberekening beschrijft hoe golfstralen (stralen, die loodrecht op de golfkam staan), komend van diep water tengevolge van verdiepingen of ondieptes, waardoor de snelheid van de golfkam plaatselijk vermeerderd of vermindert, kunnen draaien, en hierdoor met een gewijzigde onderlinge afstand en een andere richting op de kust aankomen.

Voor de zandtransportberekening wordt verondersteld, dat het golfenergietransport tussen de aanliggende stralen constant is en in de brekerszône rechtevenredig met het zandtransport; in de brekerszône wordt de golfenergie vernietigd, waardoor de golf het sediment in turbulentie kan brengen en het afhankelijk van de hoek van inval in een bepaalde richting kan transporteren. Met behulp van de refractieberekening kan bepaald worden, waar de golfenergie zich wel of niet concentreert, afhankelijk van respectievelijk de con- of divergentie van de stralen en onder welke hoek de golfstralen in de brekerszône aankomen.

Verder zijn nog de golfhoogtes op diepwater van invloed, immers de golfenergie is evenredig met het kwadraat van deze hoogtes. Voor de erosie of aanzanding is het van belang te weten wat het verschil in transport in de brekerszônes langs de kust is, immers indien, meegaande in de richting van de ontbondene van de golfstraal evenwijdig met de kust, op het ene punt meer transport is dan op het volgende, zal in het laatstgenoemde punt aanzanding plaats vinden, en omgekeerd is er in het eerste punt minder transport dan in het volgende, dan zal erosie plaats vinden.

III. REFRACTIE-THEORIE

Litteratuur 1-2-3-4-5-10:

A. Zoals reeds betoogd is, is de refractie het verschijnsel, waarbij golfstralen tengevolge van verdiepingen en ondieptes, waardoor de snelheid van de golfkam plaatselijk vermeerderd of vermindert, kunnen draaien.

Deze draaiing blijkt, zoals hieronder bewezen zal worden, bij rechte evenwijdige dieptelijnen te voldoen aan de wet van

Snellius: $\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{C_1}{C_2}$, waarin α_1 de hoek van inval, α_2 de

hoek van breking, C_1 de snelheid van de aankomende golfstraal en C_2 de snelheid van de uitgaande is.

Daar de voortplantingssnelheid van de golf bij benadering als volgt geformuleerd wordt:

$C = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \operatorname{tgh} \frac{2\pi D}{L}}$, blijkt deze dus inderdaad van de

diepte D afhankelijk te zijn en bij verkleining van de diepte ook af te nemen. Is de diepte erg groot ($D > \frac{1}{2}L$), dan treedt geen refractie op, daar $\operatorname{tgh} \frac{2\pi D}{L}$ naar 1 nadert en de snelheid C dan onafhankelijk van de diepte is; dit heet "diep water"; de grootheden, die hierop betrekking hebben, worden aangeduid met de index \circ .

Het energie transport tussen de golfstralen per m^1 , dwars op de golfstralen, afgezien van de refractie, is $N = EV$, waarin E de golfenergie per m^2 golvend oppervlak en V de groepsnelheid der golven is; dit wordt aangenomen constant te zijn.

Nu is $E = 1/8 \rho g H^2$ (H = golfhoogte) en $V = nC$

(n is de coëfficiënt voor de groepsnelheid = $\frac{1}{2}(1 + \frac{4\pi D/L}{\sinh 4\pi D/L}$

en C is de golfsnelheid).

Dat wil zeggen:

$$N = EnC = E_{\circ} n_{\circ} C_{\circ}$$

Wanneer de golfstralen divergeren, dan zal er per lengte-eenheid dwars op de stralen een geringer energietransport plaats vinden dan wanneer ze convergeren; wanneer de refractie erin verwerkt wordt, krijgt men uitdrukking:

$$b EnC = b_{\circ} E_{\circ} n_{\circ} C_{\circ},$$

waarin b de loodrechte afstand van de golfstralen is.

De energiehoeveelheid op een bepaald punt is dus

$E = \frac{b_{\circ}}{b} \frac{n_{\circ} C_{\circ}}{nC} E_{\circ}$, waarin b_{\circ} en b uit het refractiepatroon op

te meten zijn, $n_0 C_0$ vast staat bij een bepaalde gekozen golfperiode T , nC uit de diepte en E_0 uit de waargenomen golfhoogtes H_0 op diepwater te bepalen is.

Om dus te weten waar de golfenergie, komend van diep water, op de kust aankomt, moet men een refractieberekening uitvoeren.

B. De Geometrie van de golfstraal:

Hieronder wordt bewezen, dat bij rechte evenwijdige dieptelijnen de golfsnelheden voldoen aan wet van Snellius, die als volgt geformuleerd wordt:

a. indien $\alpha < 80^\circ$

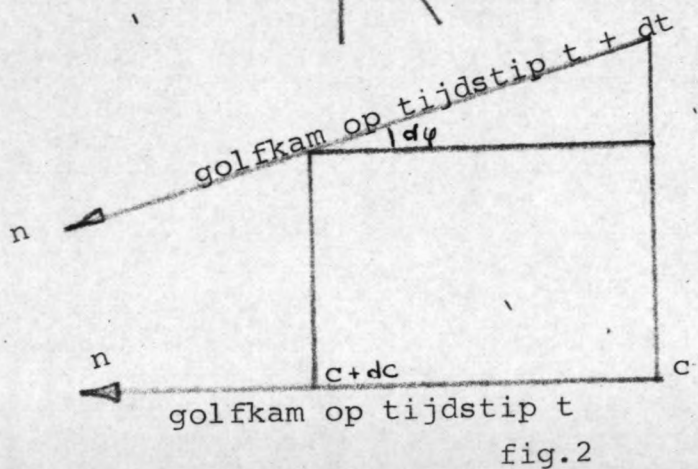
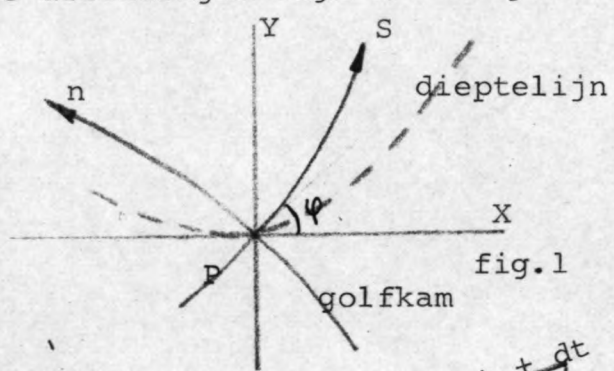
$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{C_1}{C_2}$$

b. indien $\alpha > 80^\circ$

$$\Delta \alpha' = - \left(1 - \frac{C_1}{C_2} \right) \frac{R}{I}$$

waarin I de afstand der dieptelijnen is en R de afstand, waarover de verdraaiing $\Delta \alpha'$ bepaald moet worden.

De afleidingen zijn als volgt:



De differentiaal vergelijkingen van de golfstraal die loodrecht op de golfkam staat, zijn:

$$\frac{dx}{ds} = \cos \psi \quad (1)$$

$$\frac{dy}{ds} = \sin \psi \quad (2)$$

$$\frac{d\psi}{ds} = - \frac{1}{C} \frac{dC}{dn} \quad (3)$$

waarin:

x = richting van de raaklijn aan de dieptelijn in P

Y = richting van de norma op de dieptelijn in P

s = lengte van golfstraal

n = lengte van golfkam

ψ = hoek tussen de golfka

De vergelijkingen (1) en (2) zijn uit figuur 1 en vergelijking (3) is met behulp van figuur 2 af te leiden.

$$d\varphi = \frac{\{c - (c+dc)\} dt}{dn}$$

$$\frac{d\varphi}{ds} = - \frac{dt}{ds} \cdot \frac{dc}{dn} = - \frac{1}{c} \frac{dc}{dn}$$

Uit figuur 1 kan bovendien afgeleid worden:

$$\frac{dx}{dn} = - \sin\varphi \quad (4) \quad \text{en} \quad \frac{dy}{dn} = \cos\varphi \quad (5)$$

In het algemeen geldt voor de differentiatie van een functie $F(x, y)$

$$dF = \frac{\delta F}{\delta x} dx + \frac{\delta F}{\delta y} dy$$

dus

$$\frac{dF}{dn} = \frac{\delta F}{\delta x} \frac{dx}{dn} + \frac{\delta F}{\delta y} \frac{dy}{dn} \quad (6)$$

De vergelijkingen (4), (5) en (6) geven:

$$\frac{dF}{dn} = - \frac{\delta F}{\delta x} \sin\varphi + \frac{\delta F}{\delta y} \cos\varphi$$

en daar $c = F(x, y)$:

$$\frac{dc}{dn} = - \frac{\delta c}{\delta x} \sin\varphi + \frac{\delta c}{\delta y} \cos\varphi$$

Voor uitdrukking (3) kan men dus schrijven:

$$\frac{d\varphi}{ds} = - \frac{1}{c} \left(- \sin\varphi \frac{\delta c}{\delta x} + \cos\varphi \frac{\delta c}{\delta y} \right)$$

Wanneer men nu twee dieptelijnen zo dicht bij elkaar neemt, dat men ze als evenwijdig kan beschouwen en daarbij de x-as evenwijdig aan deze lijnen aanneemt, wordt de uitdrukking voor $\frac{d\varphi}{ds}$; daar dan $\frac{\delta c}{\delta x} = 0$ (in de richting van de x-as geen snelheidsverandering):

$$\frac{d\varphi}{ds} = - \frac{\cos\varphi}{c} \frac{dc}{dy} \quad (7)$$

Uit deze betrekking kunnen de vergelijkingen voor de bovengenoemde formuleringen a. en b. afgeleid worden.

a. Vergelijking (7) is verder om te werken.

Uit (2) volgt $dy = ds \sin\varphi$

$$\text{dus} \quad \frac{d\varphi}{ds} = - \frac{\cos\varphi}{c} \frac{dc}{ds \sin\varphi}$$

$$\text{dus} \quad \frac{dc}{c} = \frac{\sin\varphi d\varphi}{\cos\varphi}$$

$$- \frac{d\cos\varphi}{\cos\varphi} = - \frac{dc}{c} \quad \text{of wel} \quad \frac{\cos\varphi}{c} = \text{constant}$$

Indien men $\varphi = 90 - \alpha$ stelt, waarbij α dus de hoek tussen de golfstraal en de normaal op de dieptelijn (invalshoek) is, krijgt men formulering a.: $\frac{\sin \alpha}{c} = \text{constant}$.

b. Uit (7) kan ook formulering b. gevonden worden:

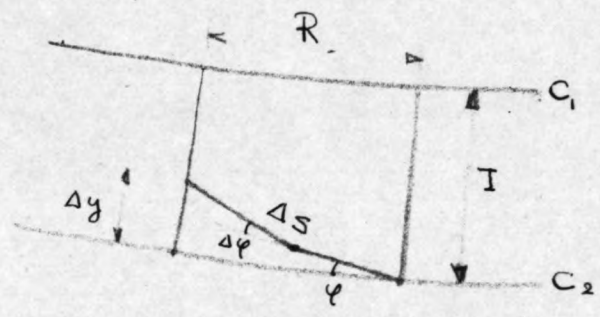
$$\frac{d\varphi}{ds} = - \frac{\cos \varphi}{c} \frac{dc}{dy} \quad (7)$$

Overgaande in de differentierekening krijgen we:

$$\frac{\Delta \varphi}{\Delta s} = - \frac{\cos \varphi}{c} \frac{\Delta c}{\Delta y}$$

$$\Delta \varphi = - \frac{\cos \varphi}{c} \frac{\Delta c}{\Delta y} \Delta s$$

Wanneer we het verschil tussen de voortplantingssnelheden op de twee dieptelijnen voorstellen door $\delta c = c_2 - c_1$, en aannemen, dat de snelheid tussen de dieptelijnen lineair varieert, geldt:



$$\Delta c = \frac{\Delta y}{I} \delta c$$

Hieruit volgt:

$$\Delta \varphi = - \frac{\cos \varphi}{c} \frac{\Delta y \cdot \delta c}{\Delta y \cdot I} \Delta s \quad (8)$$

Verder geldt (indien φ en $\Delta \varphi$ klein zijn):

$$\Delta s \cos \varphi = R$$

zodat vergelijking (8) wordt:

$$\Delta \varphi = - \frac{R}{I} \frac{\delta c}{c}$$

en dus

$$\Delta \varphi = - \frac{R}{I} \frac{c_2 - c_1}{c}$$

Indien c bij benadering gelijkgesteld wordt aan c_2 , wordt de vergelijking:

$$\Delta \varphi = - \frac{R}{I} \left(1 - \frac{c_1}{c_2} \right)$$

In genoemde formulering is $\Delta a^1 = \Delta \varphi$

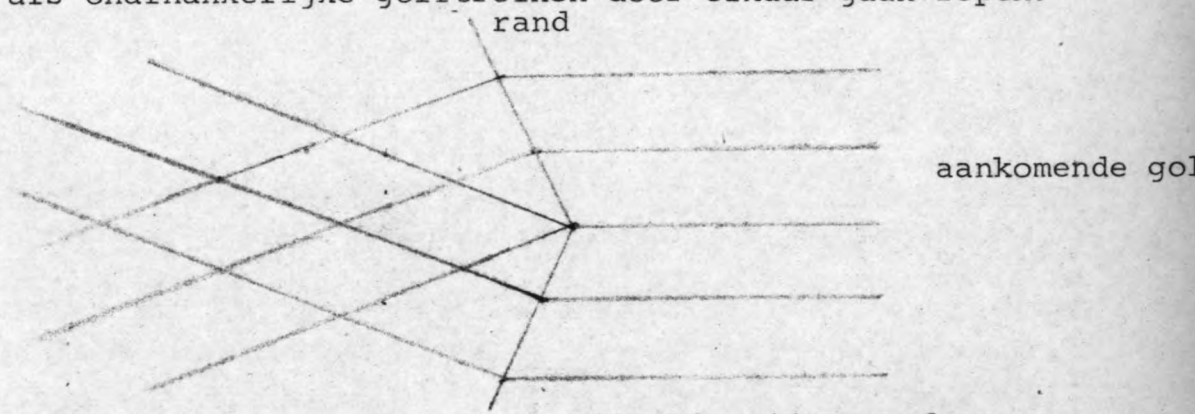
Dit alles geldt, als de bodemhelling niet erg steil is (in litteratuur 4 wordt als limiet ongeveer 1 : 10 gesteld), daar de golf overal die snelheid moet hebben, die bij de diepte op dat punt behoort. Verder moet de golfhoogte H klein zijn ten opzichte van de golflengte L .

De bovenvermelde afleiding is grotendeels overgenomen uit litteratuur 4.

C. Discussie over het snijden van golfstralen.

Uitgaande van de theorie, dat tussen twee aanliggende golfstralen een bepaalde hoeveelheid energiestroom plaats vindt, zal deze energiestroom, per strekkende meter loodrecht op de stralen, geringer worden, wanneer deze stralen zich van elkaar verwijderen en vanzelfsprekend groter worden bij het versmalen van de golfstraalafstand.

Bij het snijden der golfstralen zal dus theoretisch deze energiestroom per strekkende meter oneindig groot worden en daar deze energiestroom evenredig is met het kwadraat van de golfhoogte H , zal dus deze golfhoogte oneindig groot moeten worden. Het bovenstaande geldt alleen dan, wanneer de kruisende golfstralen ook echt aan elkaar grenzen; het is mogelijk golfstraalpatronen te tekenen, waarbij de golfstralen elkaar kruisen doch de golven niet theoretisch oneindig hoog worden; de golven lopen dan als onafhankelijke golftreinen door elkaar. Hieronder is een voorbeeld getekend van zo'n patroon, waarbij de golf komt te lopen over een hoekvormige rand van een verhoging, waardoor de snelheid aldaar vermindert en de golven als onafhankelijke golftreinen door elkaar gaan lopen.

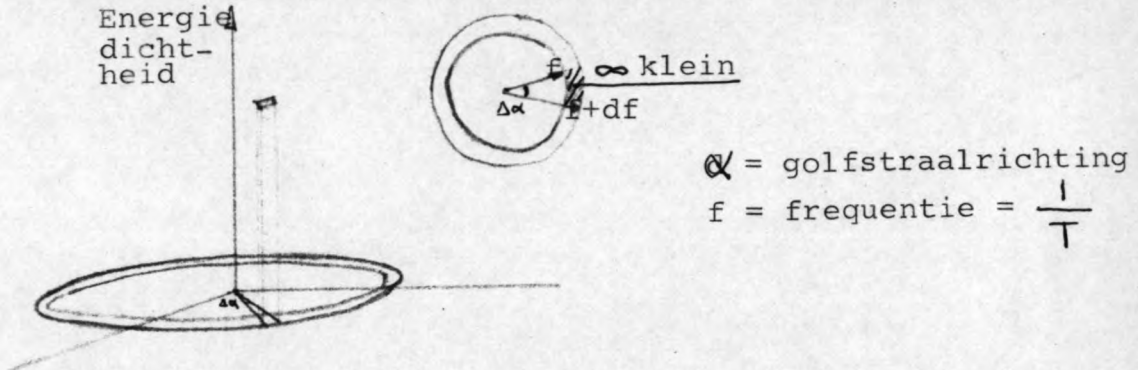


In deze figuur kan de rand veelhoekig zijn, waardoor er meer onafhankelijke golftreinen ontstaan. Ook kunnen we de rand in een helling veranderen, waardoor er een geleidelijke overgang ontstaat in de golfstraalrichting, doch er blijft een onafhankelijk golftreinpatroon.

Ook zijn combinaties mogelijk, waarbij zowel onafhankelijke golftreinen als brandpunten ontstaan, bijvoorbeeld indien we de hoek vervangen door een cirkelsegment.

De bovengenoemde oneindige hoogte van de golf, ter plaatse van een snijpunt van aan elkaar grenzende golfstralen, komt niet voor; soms worden de golven hoger en breken; gewoonlijk geeft

de plaats, waar op grond van de refractietheorie een oneindige hoogte voorspeld is, een chaotische toestand te zien. Dat de golf daar niet oneindig hoog wordt, vindt zijn oorzaak in de diffractie; hierdoor verdwijnt de golfenergie niet, doch hij wordt over een groter gebied gespreid; dit heeft men nog niet theoretisch in de refractie kunnen verwerken. Verder in het feit, dat het gevonden brandpunt voor een oneindig klein gedeelte uit het energie spectrum geldt, dus slechts voor



een oneindig kleine energiehoeveelheid.

Het probleem met betrekking tot de praktische toepassing van het golfrefractie diagram, dat nog niet is opgelost, is de bepaling van de golfhoogte, ver voorbij het brandpunt; twee oplossingen, die mogelijk zijn, zijn:

- a. de afstand tussen de aan elkaar grenzende golfstralen blijft bepalend voor de golfhoogte voorbij het brandpunt, met dezelfde energiestroom als voor het brandpunt.
- b. ter plaatse van het brandpunt ontstaat een verstrooiing van de golfenergie, waardoor voorbij het brandpunt de golven verzwakt zijn tot zeer kleine amplitudes.

De oplossing is waarschijnlijk een compromis tussen deze twee mogelijkheden, doch nog onderwerp van onderzoek.

Verder moet in aanmerking genomen worden, dat de verhouding H/L van de golf niet groter dan $1/7$ kan worden, zodat, wanneer golven op diep water hoog genoeg zijn, zij ten gevolge van de convergentie der stralen, vlak voor het brandpunt hoger zullen worden en zullen breken.

Ook is vastgesteld, dat golven, die laag genoeg zijn op diep water, volledig en met een phaseverschuiving door een brandpunt heen kunnen komen, zonder te breken.

Omdat over deze materie nog niet veel bekend is, is op aanrader van R.W.S. in dit ontwerp de golfhoogte na een brandpunt tot

IV. TOEPASSING VAN DE REFRACTIEBEREKENING.

Litteratuur 1-5-6-7-8-9.

Bijlage 2-3-4-5-6-8.

A. Vereenvoudigingen en verwaarlozingen.

Bij de toepassing van de refractieberekening zijn de volgende vereenvoudigingen en verwaarlozingen ingevoerd:

- a. De invloed van de getijstromingen op de refractie is verwaarloosd.
 - b. De invloed van de getijverhogingen en verhogingen op de refractie is verwaarloosd; er is uitgegaan van de waterstand op NAP.
 - c. De invloed van de wateropzetten ten gevolge van wind op de refractie is verwaarloosd.
 - d. Uitgegaan is van een periode $T = 8$ sec. bij de refractieberekening.
 - e. De invloed van de tussentijdse aanwakking van de golven door de wind op het energietransport is verwaarloosd.
- Verder kunnen de volgende waarnemingsfouten aanwezig zijn.
- f. De lodingskaarten, waarop het refractiepatroon voor de huidige toestand gerekend is, geven de metingen weer op één bepaald tijdstip. Hierin kunnen verhogingen of verdiepingen van de bodem voorkomen, die slechts zeer tijdelijk zijn en daardoor de refractieberekening, die voor langere tijd gemaakt wordt, verkeerd beïnvloeden.
 - g. De waarnemingen van golfhoogtes, -richtingen en -periodes zijn uitgevoerd vanaf het lichtschip Goeree door visuele schattingen, hetgeen niet erg nauwkeurig is, alhoewel er wel een zekere correlatie bestaat met de objectieve waarnemingen door Rijkswaterstaat, gelijktijdig gedurende 1½ jaar verricht vanaf het boorplatform "Triton", dat op circa 16 m. diepte staat, met behulp van zelfregistrerende apparatuur.

Om een idee te hebben, wat de grootte van deze verwaarlozingen en vereenvoudigingen is, worden de punten a-b-c-d hieronder besproken:

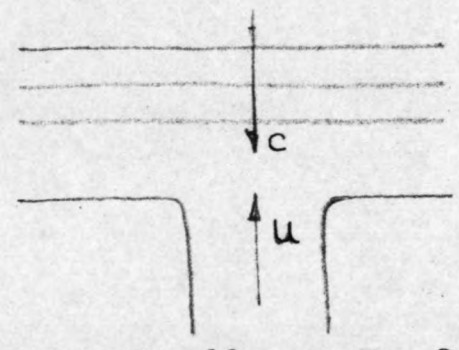
- a. Invloed van de getijstromingen op de refractie:
Uit litteratuur 6 zijn overgenomen de bijlagen 4 en 5. Deze kaartjes geven de stroomsnelheden aan in m/sec. op respectievelijk 6 uur, 4 uur en 2 uur vóór H.W. te Hoek van Holland, op H.W. en op 2 uur en 4 uur na H.W. aldaar.

Om een idee te hebben, wat de invloed van de getijstromen op de steilheid der golven (i.v.m. breken) is, is dit onder de volgende aannamen onderzocht:

- 1. periode $T = 8$ sec; onder aanname van deze periode zijn de refractiepatronen ook getekend;
- 2. diepte $D = 10$ m.
- 3. tegenstroom $U = - 1$ m/sec en $-\frac{1}{2}$ m/sec.

Een stroom in dezelfde richting als de golf vergroot de golflengte en verlaagt de golfhoogte, waardoor de steilheid $\frac{H}{L}$ kleiner wordt; de golf breekt door deze stroom dus niet; er is geen energieverlies.

Een tegenstroom daarentegen vergroot de golfhoogte en verkleint de golflengte, waardoor de golf dus bij voldoende oorspronkelijke steilheid kans heeft te breken; dan is er energieverlies.



Met de gegevens: $D = 10$ m en $T = 8$ sec. en de formules

$$T = \sqrt{\frac{2\pi}{g} L \operatorname{cotgh} \frac{2\pi D}{L}} \text{ en } n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{4\pi D/L}{\sinh 4\pi D/L} \right) \text{ is gevonden, dat van de aankomende golf, waarvan de grootheden met de index 1 aangeduid worden,}$$

$L_1 = 71$ m, $c_1 = \frac{L_1}{T} = 8,9$ m/sec en $n_1 = 0,81$ is.

Geval 1 : tegenstroom : $U = - 1$ m/sec.

Met de formules:

$$T = \frac{L}{u+c}$$

$$c = \sqrt{\frac{g}{2\pi} L \operatorname{tgh} \frac{2\pi D}{L}}$$

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{4\pi D/L}{\sinh 4\pi D/L} \right)$$

en de gegevens:

$D = 10$ m

$T = 8$ sec

wordt gevonden, dat voor $U = - 1$ m/sec:

$L = 61$ m, $c = 8,6$ m/sec en $n = 0,77$.

Geval 2: tegenstroom $U = -\frac{1}{2}$ m/sec.

Met behulp van dezelfde formules en dezelfde gegevens als boven vermeld, wordt gevonden, dat, indien $U = -\frac{1}{2}$ m/sec, $L = 66$ m, $c = 8,75$ m/sec en $n = 0,79$ is.

De energiestroom der golven per m^1 is bij $U = 0$: $n_1 c_1 E_1$
 bij U : $ncE + UE$.

Verondersteld wordt, dat er geen aan of afvoer van energie is, dan is:

$$n_1 c_1 E_1 = ncE + UE$$

$$\frac{E}{E_1} = \frac{n_1 c_1}{nc + U}$$

De golfenergie per m^2 golvend oppervlak: $E = 1/8 \rho g H^2$ geschreven kan dus worden

$$\frac{H}{H_1} = \sqrt{\frac{n_1 c_1}{nc + U}}$$

hetgeen de verhouding aangeeft tussen de golfhoogte H onder invloed van de tegenstroom U en die van de aankomende golf H_1 . De theoretische grenswaarde voor de steilheid van golven in verband met breking is volgens Miche (1944):

$\frac{H}{L} = 1/7 \operatorname{tgh} \frac{2\pi D}{L}$, hetgeen wat aan de hoge kant is; beter kan uitgegaan worden van $H/L = 1/10 \operatorname{tgh} \frac{2\pi D}{L}$ als grenswaarde.

Geval 1 : $U = -1$ m/sec.

Voor de gevonden waarden voor n_1, c_1, n en c wordt:

$$\frac{H}{H_1} = 1,14 \quad \text{ook is}$$

$$\frac{L}{L_1} = \frac{61}{71} = 0,86$$

waaruit volgt, dat

$$H/L = 1,32 H_1/L_1,$$

De theoretische grenswaarde is

$$H/L = 1/10 \operatorname{tgh} \frac{2\pi \cdot 10}{61} = 0,07$$

dus $H/L = 1,32 H_1/L_1 < 0,07$

of wel $H_{\max} = \frac{0,07 \times 71}{1,32} = 3,76$ m, hetgeen de maximale golfhoogte is die op $D = 10$ m mogelijk is bij een tegenstroom $U = -1$ m/sec.

Geval 2: $U = -\frac{1}{2}$ m/sec.

Met behulp van dezelfde formules en voor de reeds gevonden

waarden voor n_1, c_1, n en c blijkt: $\frac{H}{H_1} = 1,06$ te zijn;

ook is $\frac{L}{L_1} = \frac{66}{71} = 0,93$.

waaruit volgt, dat $H/L = 1,14 H_1/L_1$.

De theoretische grenswaarde is in dit geval:

$$H/L = 1/10 \operatorname{tgh} \frac{2\pi \times 10}{66} = 0,07$$

$$\text{dus } H/L = 1,14 \quad H_1/L_1 < 0,07$$

$$\text{ofwel } H_{\max} = \frac{0,07 \times 71}{1,14} = 4,36 \text{ m, hetgeen de maximale golf-}$$

hoogte is, die op $D = 10$ m mogelijk is bij een tegenstroom van $U = -\frac{1}{2}$ m/sec.

Uit de gevonden waarden voor H_{\max} blijkt, dat de invloed van de getij stroom betrekkelijk gering is.

b. Grootte van de getijverhogingen en verlagingen.

Om een indruk te geven, wat in de mond van de Oosterschelde het gemiddelde H.W. en L.W. is, is uit literatuur 8 overgenomen:

jaargemiddelden '51 - '60	H.W.	L.W.
Westkapelle (Walcheren)	171 cm	-163 cm
Vrouwenpolder (Walcheren)	143 cm	-143 cm
Vlietepolder (N. Beverland)	143 cm	-141 cm
Burghsluis (Schouwen)	138 cm	-138 cm

De waarden zijn gegeven ten opzichte van N.A.P.

In literatuur 9 staat de verwachting vermeld, dat na afsluiting van de Oosterschelde aan de zeezijde van de dam nabij Schouwen het H.W. meer zal stijgen dan nabij N. Beverland en gemiddeld 20 cm hoger zal liggen dan nu; het L.W. 15 cm lager. Op de koppen van de eilanden Schouwen en Walcheren zijn echter deze veranderingen belangrijk minder.

Hieruit kunnen we concluderen, dat na afsluiting van de Oosterschelde in de mond $H.W. \approx 1,60 \text{ m}^+$ en $L.W. \approx 1,55 \text{ m}^-$ zal zijn.

c. Grootte van de wateropzetten ten gevolge van de wind:

Met behulp van een diagram uit literatuur 1 is onderzocht welke windkracht overeenkomt met de aangenomen periode $T = 8$ s. Het genoemde diagram is een grafiek ter bepaling van de dominerende golfhoogte H en golfperiode T in zeegang uit de windsnelheid en de duur of de windbaan, welk diagram in dit geval in de tegengestelde richting gebruikt is.

Hierbij is de maximale duur van de wind op 10 uur aangenomen, terwijl de windbaan opgemeten is.

In onderstaande tabel is dit verwerkt:

Wind richting	Uitgaande van de maximale windbaan			uitgaande van de maximale windduur		
	max. windbaan [km]	windkracht [m/sec.]	windkracht [Beaufort]	max. windduur [uren]	windkracht [m/sec.]	windkracht [Beaufort]
W	170	17,5	8	10	17,5	8
NW	700	12,5	6	10	17,5	8
N	>800	-	-	10	17,5	8
NO	600	12,5	6	10	17,5	8

De maximale windduur, 10 uur, blijkt voor alle windrichtingen maatgevend en dus grensduur te zijn.

De gevonden windkracht is 8° Beaufort.

Met behulp van dit gegeven kunnen in Bijlage 6 de volgende opzetten te Hoek van Holland gevonden worden, die respectievelijk 100%, 70% en 50% als relatieve onderschrijdingsfrequentie hebben.

Windrichting	100%	70%	50%
W	+140 cm	+81 cm	+64 cm
NW	+155 cm	+90 cm	+80 cm
N	+120 cm	+72 cm	+39 cm
NO	+ 15 cm	-24 cm	-38 cm

Dit alles om een idee te hebben van de wateropzetten ten gevolge van de wind.

d. Keuze van de golfperiode.

In vergelijking met de onnauwkeurigheid van de kaarten voor de bodemfiguratie, die slechts zeer tijdelijk gelden door de voortdurende veranderingen, en met de verwaarlozingen, gemaakt ten aanzien van getijstromingen, wateropzetten en getijverhogingen en -verlagingen is de onnauwkeurigheid, om ten gevolge van tijdgebrek bij slechts één periode het refractiepatroon te tekenen, aanvaardbaar.

In dit ontwerp is op aanbeveling van Rijkswaterstaat een periode van 8 sec. gekozen, als een representatief gemiddelde voor het betrokken kustvak, te meer daar vooral bij hoge golven de periodes weinig variërend zijn.

B. Correcties op de golfstraalrichtingen en-afstanden.

De refractiepatronen zijn getekend op:

a.kaarten van lodingen in 1965 door Rijkswaterstaat: nummers 7-8-9-20-21,

b.schematisaties: Variant I en II,ontworpen door Rijkswaterstaat (Bijlage 2 en 3).

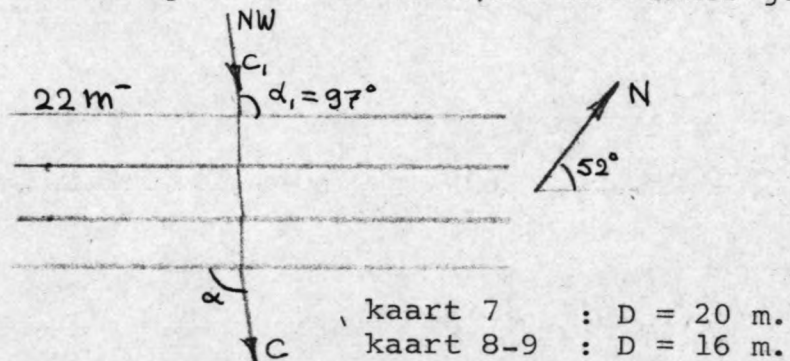
a.De lodingskaarten beslaan het gebied vanaf de mond van de Oosterschelde tot aan het Middendiep.De gegevens,in dit ontwerp gebruikt,evenwel zijn gemeten op Lichtschip Goeree op een diepte van ongeveer 22 m.Er zal dus een correctie toegepast moeten worden om het tussenliggende ontbrekende gebied (Schouwenbank - Schouwendiep - Middelbank - Middeldiep) in rekening te brengen.

Nu blijkt,dat over dit gebied de hoogtelijnen praktisch evenwijdig lopen met een richting: 52° ten Oosten van de Noorderrichting.

Verder blijkt kaart 7 te beginnen op een diepte van 20 m en de kaarten 8 en 9 op 16 m diepte.

Op de lodingskaarten is slechts het refractiepatroon getekend voor golven uit NW-richting.

De situatie is,volgens de aannamen,als hieronder geschetst:



Voor de golven uit NW.-richting komend ter hoogte van Lichtschip Goeree is het volgende aangenomen in de refractieberekening:

$T = 8 \text{ sec}$

$D_1 = 22 \text{ m}$

$\alpha_1 = 97^\circ$

Volgens de formule:

$T = \sqrt{\frac{2 \pi}{g} L_1 \coth \frac{2 \pi D_1}{L_1}}$ blijkt dan $L_1 = 91 \text{ m}$ te zijn

en $c_1 = \frac{L_1}{T} = \frac{91}{8} = 11,4 \text{ m/sec.}$

Voor de lodingskaart 7 geldt : D = 20 m.

Dan blijkt volgens bovenstaande formules: L = 89 m. te zijn en $c = \frac{89}{8} = 11,1$ m/sec.

Nu geldt voor de golfstralen de formule:

$$\frac{\cos \alpha_1}{\cos \alpha} = \frac{c_1}{c}, \text{ ofwel } \cos \alpha = \frac{c}{c_1} \cos \alpha_1,$$

dus voor de kaarten 7 geldt:

$$\cos \alpha = \frac{11,1}{11,4} \cos 97^\circ = -0,1187$$

$$\alpha = 96^\circ 45';$$

de verdraaiing blijkt dus -15' te zijn.

Voor de lodingskaarten 8-9 geldt: D = 16 m.

Op dezelfde wijze berekend als hierboven blijkt:

L = 83 m en c = 10,4 m/sec. te zijn.

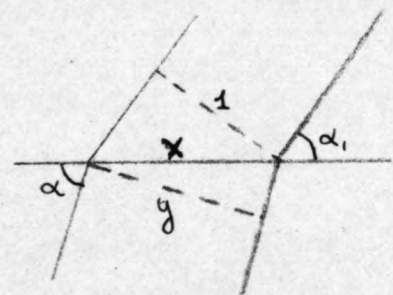
Dus voor de kaarten 8-9 geldt:

$$\cos \alpha = \frac{10,4}{11,4} \cos 97^\circ = -0,1112$$

$$\alpha = 96^\circ 30';$$

de verdraaiing $\Delta \alpha$ is dus : - 30'.

De gecorrigeerde afstand wordt als volgt berekend:



$$\sin \alpha_1 = \frac{1}{x}$$

$$\sin \alpha = \frac{y}{x} = y \sin \alpha_1,$$

$$y = \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_1},$$

Voor alle kaarten blijkt de gecorrigeerde afstand l te zijn,

b. Op de schematisaties zijn de hoogtelijnen aangegeven tot een diepte van 20 m.

Verder zijn voor de golfrichtingen W-NW-N-NO de refractiepatronen getekend.

De berekeningen zijn op dezelfde wijze uitgevoerd als in geval A; de resultaten zijn hieronder in tabelvorm vermeld:

Voor D₁ = 22 m is c₁ = 11,4 m/sec. en

voor D = 20 m is c = 11,1 m/sec.

Golfstraal richting	α_1	$\cos \alpha_1$	$\frac{\cos \alpha}{c/c_1} \cos \alpha_1$	α	$\Delta \alpha$	gecorrigeerde afstand der golfstralen $\sin \alpha / \sin \alpha_1$
W	142°	-0,7880	-0,7670	140°	-2°	1,05
NW	97°	-0,1219	-0,1187	96°45'	-0°15'	1,00
N	66°	0,4067	0,396	66°45'	+0°45'	1,01
NO	21°	0,9336	0,908	24°45'	+3°45'	1,17

C. Opmerkingen over Rapport nummer 6 "Het bepalen van golfrefractie-diagrammen" van Rijkswaterstaat door D.Nijhof.

Bij het tekenen van de refractiepatronen op de kaarten van de dieptelodingen in de mond van de Oosterschelde in 1965 door de Deltadienst-Rijkswaterstaat, zijn de aan het bovenvermelde rapport toegevoegde tabellen gebruikt, die de hoekveranderingen aangeven bij dieptesprongen van 1 en $\frac{1}{2}$ m in de richtingen diep naar ondiep en ondiep naar diep voor golven met perioden van 6,8 en 12 sec.

Dit bleek voor dit doel een buitengewoon handige en snelle methode te zijn met geringere kans op vergissingen.

Het tekenen van de refractiepatronen op de schematisaties: Variant I en II op dieptes van meer dan 10 m - N.A.P. had door het regelmatig patroon van dieptelijnen, die vrij parallel lopen, op die diepte, sneller kunnen gebeuren, indien in het bovengenoemde rapport ook tabellen voor dieptesprongen van 2 m aanwezig geweest waren.

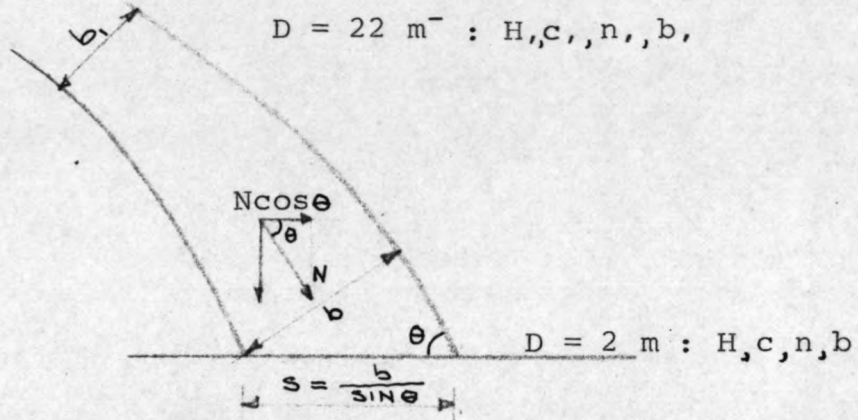
Voor het tekenen op dieptes kleiner dan 10 m geldt hetzelfde als voor de lodingskaarten gezegd is.

V. ZANDTRANSPORT LANGS DE KUST TEN GEVOLGE VAN DE GOLVEN.

Litteratuur 5-11.

Bijlage 7-19-20.

A. Afleiding van de zandtransportcapaciteit zonder evenredigheidsconstantes: $K(\cdot)$.



De berekening wordt uitgevoerd ter plaatse van de $D = 2 \text{ m}$ -lijn (brandingszōne).

Zoals reeds hiervoor vermeld wordt aangenomen, dat het golf-energietransport N tussen twee golfstralen een constante waarde heeft, tenzij ergens branding plaatsvindt of de stralen elkaar snijden.

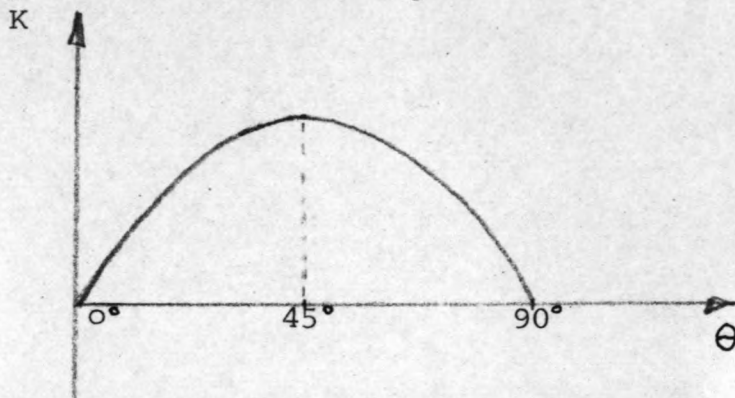
Het energietransport tussen twee stralen is per m^2 loodrecht op de stralen: N ;

per m^2 op de $D = 2 \text{ m}^-$ lijn: $N / \frac{1}{\sin \theta} = N \sin \theta$

Het energietransport evenwijdig aan de kust op de $D = 2 \text{ m}^-$ - lijn is: $N \sin \theta \cos \theta = \frac{1}{2} N \sin 2 \theta$.

Verder wordt aangenomen, dat de zandtransportcapaciteit K in de brekerszōne evenredig is met het energietransport, dus $K(\cdot) N \sin 2 \theta$

In grafische voorstelling:



Bij verwaarlozing van de refractie is: $N = E, V, = EV$, waarin de index i , de grootheden voor golven bij Lichtschip Goeree ($D, = 22 \text{ m}$) aangeeft.

Wordt de refractie erin verwerkt, dan is:

$$bEnc = b, E, n, c,$$

$$Enc = \frac{b}{b'} \cdot n, c, \cdot E,$$

$$\text{Daar } E, (:)H,^2 \text{ is } N = Enc (:) \frac{b'}{b} n, c, H,^2$$

$$\text{Daar } K (:) N \sin^2 \Theta, \text{ is } K (:) \frac{b'}{b} n, c, H,^2 \sin^2 \Theta$$

In de gevonden formule voor $K (:)$ zijn n , en c , constantes en komen in de evenredigheidsconstante, dus

$$K (:) \frac{b'}{b} H,^2 \sin^2 \Theta$$

De frequentie van voorkomen moet er nog in verwerkt worden; dit gebeurt aldus:

$$K (:) \frac{b'}{b} \sin^2 \Theta \frac{\sum f H,^2}{\sum f}$$

Hierin is f het aantal uren, dat een golfhoogte interval om H , bij lichtschip Goeree voorkomt in een meting van $\sum f$ waarnemingsuren.

Dit golfhoogteinterval is in dit ontwerp $\frac{1}{2} \text{ m}$ (zie bijlage 7). Voor de golven, komende uit een bepaalde richting, is de gemiddelde golfenergie (gemiddeld golfvermogen op constante coëfficiënt na) $\bar{H},^2 = \frac{\sum f H,^2}{\sum f}$ een constante, mits de golfstralen elkaar niet kruisen.

b en $\sin^2 \Theta$ zijn de variabelen, die per veld en straal variëren. Na sommatie der transportcapaciteiten voor de verschillende golfrichtingen, wordt $\frac{\delta K}{\delta S}$ uitgezet, dat wil zeggen de verandering van de transportcapaciteit langs de kustlijn ($D = 2 \text{ m}^-$), hetgeen de eventuele erosie en aanzanding aangeeft.

B. Berekening van de evenredigheidsconstante van de zandtransportcapaciteit: K .

In litteratuur 11 kan de volgende formule gevonden worden: Longshore littoral transport [cu yds/day] = 140 x longshore energy = 140 E_a ,

waarin

$$E_a = \frac{1}{2} n_o E_o \sin^2 \Theta \frac{b_o}{b} \cdot p [10^6 \text{ ft lbs/day, ft' beach}]$$

als

n_0 = coëfficiënt voor de groepsnelheid = $\frac{1}{2}$, op diepwater.

$E_0 = 1/8 \rho g H_0^2 L_0 = 1/16 \rho g H_{s_0}^2 L_0$, daar $H_s^2 = 2\bar{H}^2$

Θ = hoek, die de straal met de dieptelijn maakt.

$\frac{b_0}{b}$ = refractie coëfficiënt.

p = aantal golven met hoogte H_0 , dat een bepaald punt per dag passeert.

Verklaring der gebruikte eenheden:

1 ft = 0,3048 m

1 lb = 453 gram = $0,453 \times 10^{-3}$ ton

1 yd = 3 ft = 0,9144 m.

Dan is de transportcapaciteit langs de kust:

$$K = 140 \times \frac{0,9144^3}{10^6 \times 0,453 \times 10^{-3}} \times E_a = 0,236 E_a \text{ [m}^3/\text{dag]}$$

waarin E_a in [tm/dag m' kust] uitgedrukt is.

De index n_0 wordt door de index n vervangen, daar de waarnemingen niet op "diep water", doch op ongeveer 22 m - N.A.P. (Lichtschip Goeree) gedaan zijn.

Als f = aantal uren, dat gedurende Σf uren golven van het hoogteinterval om H_1 , op Lichtschip Goeree waargenomen zijn (tabellen op bladzijde 25 t/m 27)

en $T = 8$ sec. als representatieve golfperiode aangenomen is, dan is:

$$p = \frac{f \times 24 \times 60 \times 60}{8 \times \Sigma f} = 10800 \frac{f}{\Sigma f} = \text{aantal golven van het hoogteinterval om } H_1, \text{ dat per dag het Lichtschip Goeree passeert en op de kust verondersteld wordt aan te komen.}$$

Verder is:

$$\rho g = 1,025 \text{ t/m}^3$$

$L_1 = 91$ m zie bladzijde 16

$$n_1 = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{4\pi D_1/L_1}{\sinh 4\pi D_1/L_1} \right) = 0,646, \text{ bij } D_1 = 22 \text{ m.}$$

De transportcapaciteit van alle golven van het hoogteinterval om H_1 , die per dag het Lichtschip Goeree passeren, is:

$$K = 0,236 \times \frac{1}{2} n_1 \times 1/16 \rho g H_1^2 L_1 \times \sin 2\Theta \frac{b_1}{b} \cdot \frac{f}{\Sigma f} \cdot 10800$$

voor alle hoogteintervallen: wordt dit:

$$K = 0,236 \times \frac{1}{2} \times 0,646 \times 1/16 \times 1,025 \times 91 \times 10800 \times \frac{b_1}{b} \sin 2\Theta \frac{\Sigma f H_1^2}{\Sigma f} = 4800 K(:) \text{ [m}^3/\text{dag]}$$

De evenredigheidsconstante blijkt dus 4800 te zijn.

C. Middeling van de sommatie-waarden der transportcapaciteiten:
K(:).

In deze refractieberekening zijn een aantal verwaarlozingen en vereenvoudigingen toegepast en zitten tekenonnauwkeurigheden. Indien nu een voldoende aantal refractiepatronen bij verschillende periodes en golfrichtingen getekend zou zijn om de verwaarlozingen en vereenvoudigingen te verminderen en ieder patroon door verschillende personen herhaald zou worden om in elk patroon de subjectieve tekenfouten te elimineren, dan zou de gevonden sommatie grafiek (bijlage 19-20) er minder rafelig uitzien en niet dergelijke extremen vertonen, door het vergroten aantal "waarnemingen".

In dit ontwerp is dat kunstmatig gedaan door een middeling toe te passen in de sommatie-grafiek; dit is gedaan door de in grafiek uitgezette gesommeerde transportcapaciteiten over de aan beide zijden van een punt aanliggende 500 m te middelen dit nu is om de 500 m gedaan.

Hierdoor is een verhoging van de statistische betrouwbaarheid verkregen; evenwel aan resolutie wordt verloren, dat wil zeggen dat het minder goed mogelijk is kleine fluctuaties in de transportcapaciteitgrootte te onderkennen.

VI. BEREKENING VAN HET ZANDTRANSPORT, EROSIE EN AANZANDING.

Bijlage 2-3-7 tot en met 20.

A. Berekening met behulp van het refractiepatroon van NW-golven met periode van 8 sec. in de mond van de Oosterschelde in de huidige toestand.

De enige velden, die eventueel in aanmerking zouden komen voor een zandtransportberekening, zijn gelegen tussen de stralen 1 tot en met 5. Echter de helft van deze stralen komen ten gevolge van refractie loodrecht op de kust van Schouwen aan en leveren dientengevolge geen bijdragen tot het zandtransport; de overigen geven te weinig informatie, alleen al gezien het feit, dat slechts voor NW-golven een refractiepatroon getekend is, om hier iets zinvols over zandtransport aan de kust van Schouwen in de huidige toestand tengevolge van golven te zeggen.

Van de overige velden blijken de meeste stralen te divergeren; ten gevolge van grote refractie door de diepe geulen of de hoog gelegen zandbanken draaien zij volkomen weg, soms zelfs terug.

Slechts een klein aantal golfstralen blijkt de plaats van de toekomstige dam te bereiken op enigszins regelmatige wijze. Hieruit blijkt, dat de golfenergie zich concentreert op de banken voor de dam, waar ook twee duidelijke brandpunten te onderscheiden zijn.

Ook de kust van Walcheren, zover als onder beschouwing is genomen, wordt praktisch niet door aanliggende golfstralen bereikt; ook dit gedeelte komt dus niet voor een berekening in aanmerking.

De stralen verdraaien zich zodanig op het banken- en geulengebied, dat niet van een maatgevende richting voor dit zandtransport sprake kan zijn.

B. Berekeningen met behulp van refractiepatronen voor de schematisaties:

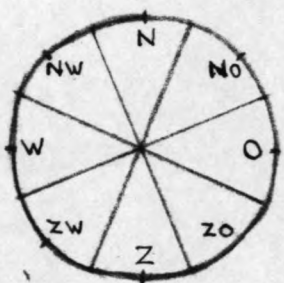
Variant I en II.

Uitgegaan wordt van formule:

$K(:) \frac{b_i}{b} \sin 2\theta \frac{\sum fH_i^2}{\sum f}$, die in hoofdstuk V afgeleid is.

De gemiddelde golfenergie $\bar{H}^2 = \frac{\sum fH_i^2}{\sum f}$ is berekend voor de richtingen W-NW-N-NO, respectievelijk op bladzijde 25 tot en met

27, waarbij van bijlage 7 gebruik gemaakt is. De golfrichtingen O-ZO-Z-ZW zijn landafwaarts en spelen dus bij deze berekeningen geen rol. De richtingssectoren in de berekening beslaan een hoek van 45°, als hieronder geschetst, in tegenstelling tot de



gegevens in bijlage 7, waar ze 22° 30' omvatten, zodat de helften van de tussenliggende sectoren uit bijlage 7 bij de aanliggende richtingssectoren getrokken zijn.

Wanneer de golfstralen elkaar kruisen wordt op de golfhoogte een reductie van 10% toegepast, waardoor:

$$\frac{\bar{H}_1^2}{\Sigma f} = \frac{0,81 \Sigma f H_1^2}{\Sigma f} \quad \text{wordt.}$$

Door het betrekkelijk regelmatig beeld van het dieptelijnenpatroon op de schematisaties, had de regel, dat de maximale golfhoogte niet groter zijn kan dan 75% van de diepte, geen invloed op de berekening van de gemiddelde golfenergie \bar{H}_1^2 .

De refractiepatronen op de dieptelijnenpatronen van de varianten I en II (Bijlage 9-14) zijn getekend in de Bijlages 10 tot en met 13 en 15 tot en met 18.

In deze refractiepatronen zijn ter plaatse van de D = 2 m⁻ lijn b en Θ opgemeten, waarvoor op bladzijde 28 tot en met 31 $\frac{b'}{b}$ en $\sin 2\Theta$ berekend zijn; b, is de golfstraalafstand ter plaatse van het Lichtschip Goeree, en meestal is b, = 1 km. (slechts voor NO-golven is ook: b, = 0,5 km.).

Vervolgens is door de vermenigvuldiging volgens: $\frac{b'}{b} \sin 2\Theta \cdot \bar{H}_1^2$, eveneens op bladzijde 28 tot en met 31, K(:) verkregen, waarvan de waarden uitgezet zijn in de bijlages 19-20 volgens de verschillende golfrichtingen. Verder zijn ze in bijlage 19 en 20 gesommeerd en gemiddeld (zie hoofdstuk V).

Uit de waarden van de middelingsgrafieken is de $\frac{\delta K}{\delta s}$ berekend en uitgezet eveneens in bijlages 19 en 20, hetgeen de mogelijke erosie of aanzanding aangeeft,

Berekening gemiddelde golfenergie voor golfrichting: W

golfhoogte H_i [m]	WZW $\frac{1}{2}f$ [uren]	W f [uren]	WNW $\frac{1}{2}f$ [uren]	gecomb.W Σf [uren]	H_i^2	$H_i^2 f$
0 - $\frac{1}{4}$	65	192	29	286	0,0156	4
$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$	460	1245	229	1934	0,25	484
$\frac{3}{4}$ - $1\frac{1}{4}$	680	1317	267	2264	1	2264
$1\frac{1}{4}$ - $1\frac{3}{4}$	573	1032	237	1842	2,25	4145
$1\frac{3}{4}$ - $2\frac{1}{4}$	345	759	192	1296	4	5184
$2\frac{1}{4}$ - $2\frac{3}{4}$	199	306	104	609	6,25	3810
$2\frac{3}{4}$ - $3\frac{1}{4}$	44	159	60	263	9	2367
$3\frac{1}{4}$ - $3\frac{3}{4}$	3	51	34	88	12,25	1079
$3\frac{3}{4}$ - $4\frac{1}{4}$	1	18	15	34	16	544
$4\frac{1}{4}$ - $4\frac{3}{4}$		6	11	17	20,25	344
$4\frac{3}{4}$ - $5\frac{1}{4}$			0	0	25	0
$5\frac{1}{4}$ - $5\frac{3}{4}$			1	1	30,25	30
$5\frac{3}{4}$ - $6\frac{1}{4}$			2	2	36	72
$6\frac{1}{4}$ - $6\frac{3}{4}$			4	4	42,25	169
$6\frac{3}{4}$ - $7\frac{1}{4}$			3	3	49	147
$7\frac{1}{4}$			3	3	56,25	169
Som				8646		20812

$$\text{De gemiddelde golfenergie } \overline{H_i^2} = \frac{\Sigma H_i^2 f}{\Sigma f} = \frac{20812}{8646} = 2,41 \text{ m}^2$$

Voor golfrichting: NW:

golfhoogte H_i [m]	WNW $\frac{1}{2}f$ [uren]	NW f [uren]	NNW $\frac{1}{2}f$ [uren]	gecomb. NW Σf [uren]	H_i^2	$H_i^2 f$
0 - $\frac{1}{4}$	29	153	29	211	0,0156	3
$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$	229	636	208	1073	0,25	268
$\frac{3}{4}$ - $1\frac{1}{4}$	267	750	279	1296	1	1296
$1\frac{1}{4}$ - $1\frac{3}{4}$	237	591	213	1041	2,25	2342
$1\frac{3}{4}$ - $2\frac{1}{4}$	192	477	126	795	4	3180
$2\frac{1}{4}$ - $2\frac{3}{4}$	104	252	42	398	6,25	2490
$2\frac{3}{4}$ - $3\frac{1}{4}$	60	111	26	197	9	1773
$3\frac{1}{4}$ - $3\frac{3}{4}$	34	21	7	62	12,25	760
$3\frac{3}{4}$ - $4\frac{1}{4}$	15	15	5	35	16	560
$4\frac{1}{4}$ - $4\frac{3}{4}$	11	15	3	29	20,25	587
$4\frac{3}{4}$ - $5\frac{1}{4}$	0		3	3	25	75

5¼ - 5¾	1	0	1	30,25	30
5¾ - 6¼	2	1	3	36	108
6¼ - 6¾	4		4	42,25	169
6¾ - 7¼	3		3	49	147
7¼	3		3	56,25	169
Som			5154		13957

De gemiddelde golfenergie $\overline{H_1^2} = \frac{\sum H_1^2 f}{\sum f} = \frac{13957}{5154} = 2,71 \text{ m}^2$

Voor golfrichting: N

golfhoogte H _i [M]	NNW ½f [uren]	N f [uren]	NNO ½f [uren]	gecomb.N Σf [uren]	H _i ²	H _i ² f
0 - ¼	29	306	41	376	0,0156	6
¼ - ¾	208	1737	321	2266	0,25	566
¾ - 1¼	279	1269	310	1858	1	1858
1¼ - 1¾	213	783	224	1220	2,25	2745
1¾ - 2¼	126	387	75	588	4	2352
2¼ - 2¾	42	102	28	172	6,25	1075
2¾ - 3¼	26	51	8	85	9	765
3¼ - 3¾	7	12		19	12,25	233
3¾ - 4¼	5	3		8	16	128
4¼ - 4¾	3	3		6	20,25	122
4¾ - 5¼	3			3	25	75
5¼ - 5¾	0			0	30,25	0
5¾ - 6¼	1			1	36	36
6¼ - 6¾				0	42,25	0
6¾ - 7¼				0	49	0
7¼				0	56,25	0
Som				6602		9961

De gemiddelde golfenergie: $\overline{H_1^2} = \frac{\sum H_1^2 f}{\sum f} = \frac{9961}{6602} = 1,51 \text{ m}^2$

Voor golfrichting: NO :

golfhoogte H _i [m]	NNO $\frac{1}{2}f$ [uren]	NO f [uren]	ONO $\frac{1}{2}f$ [uren]	gecomb. NO Σf [uren]	H _i ²	H _i ² f
0 - $\frac{1}{4}$	41	111	47	199	0,0156	3
$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$	321	882	198	1401	0,25	350
$\frac{3}{4}$ - $1\frac{1}{4}$	310	843	226	1379	1	1379
$1\frac{1}{4}$ - $1\frac{3}{4}$	224	426	101	751	2,25	1690
$1\frac{3}{4}$ - $2\frac{1}{4}$	75	171	70	316	4	1264
$2\frac{1}{4}$ - $2\frac{3}{4}$	28	24	26	78	6,25	488
$2\frac{3}{4}$ - $3\frac{1}{4}$	8	9	12	29	9	261
Som				4153		5435

De gemiddelde golfenergie: $\frac{1}{2} \cdot \frac{\Sigma H_i^2 f}{\Sigma f} = \frac{5435}{4153} = 1,31 \text{ m}^2$

Berekening van $\frac{b_1}{b}$, $\sin 2\theta$ en $K(:)$

Voor golfrichting: W φ variant I :

Veld	b [km]	$\frac{b_1}{b}$	θ	$\sin 2\theta$	$\overline{H_1^2}$	$K(:)$
1 - 2	0,90	1,11	79°	0,37	2,41	0,99
2 - 3	1,23	0,81	87°	0,10	2,41	0,20
3 - 4	1,42	0,70	88°	0,07	2,41	0,12
4 - 5	0,57	1,75	-81°	-0,31	2,41	-1,31
5 - 6	0,40	2,50	-79°	-0,37	2,41	-2,23
6 - 7	∞	0,	-	-	-	0
7 - 8	∞	0	-	-	-	0
8 - 9	2,13	0,47	-85°	-0,17	2,41	-0,19
9 -10	1,55	0,65	79°	0,37	1,95	0,47
10-11	3,78	0,26	89°	0,03	2,41	0,02
11-12	2,09	0,48	62°	0,83	2,41	0,96
12-13	1,00	1	65°	0,77	1,95	1,52
13-14	0,20	5	61°	0,85	2,41	10,25
14-15	2,07	0,48	59°	0,88	1,95	0,82
15-16	6	0,17	49°	0,99	2,41	0,41
16-17	5,63	0,18	58°	0,90	1,95	0,32
17-18	10,44	0,10	52°	0,97	2,41	0,23

Voor golfrichting NW op variant I:

Veld	b [km]	$\frac{b_1}{b}$	θ	$\sin 2\theta$	$\overline{H_1^2}$	$K(:)$
1 - 2	1,45	0,69	-76°	-0,47	2,71	-0,88
2 - 3	0,14	7,14	-67°	-0,72	2,71	-13,94
3 - 4	0,43	2,33	-67°	-0,72	2,71	-4,54
4 - 5	1,20	0,83	-67°	-0,72	2,71	-1,64
5 - 6	2,50	0,40	-60°	-0,87	2,71	-0,94
6 - 7	0,27	3,70	-51°	-0,98	2,71	-9,83
7 - 8	1,32	0,76	-66°	-0,74	2,71	-1,53
8 - 9	1,33	0,75	-80°	-0,34	2,71	-0,69
9 -10	0,18	5,56	-89°	-0,03	2,71	-0,45
10-11	0,38	2,63	87°	0,10	2,71	0,71
11-12	1,10	0,91	82°	0,28	2,71	0,69
12-13	0,74	1,35	73°	0,56	2,71	2,05
13-14	2,26	0,44	71°	0,62	2,71	0,74
14-15	2,13	0,47	79°	0,37	2,71	0,47
15-16	0,67	1,49	75°	0,50	2,71	2,02
16-17	1,04	0,96	66°	0,74	2,71	1,93
17-18	0,23	4,35	71°	0,62	2,71	7,32

Voor golfrichting N op variant I :

Veld	b km	$\frac{b_1}{b}$	θ	$\sin 2\theta$	$\overline{H_1^2}$	K(:)
1 - 2	1,40	0,71	-75°	-0,50	1,51	-0,54
2 - 3	1,85	0,54	-62°	-0,83	1,51	-0,68
3 - 4	6,55	0,15	-46°	-1,00	1,51	-0,23
4 - 5	2,46	0,41	-69°	-0,67	1,22	-0,34
5 - 6	0,40	2,50	-60°	-0,87	1,22	-2,66
6 - 7	2,88	0,35	-67°	-0,72	1,51	-0,38
7 - 8	1,46	0,69	-84°	-0,21	1,51	-0,22
8 - 9	0,73	1,37	86°	0,14	1,22	0,23
9 -10	3,00	0,33	83°	0,24	1,51	0,12
10-11	2,88	0,35	90°	0	1,51	0
11-12	1,60	0,63	85°	0,17	1,51	0,16
12-13	0,72	1,39	-83°	-0,24	1,51	-0,50
13-14	0,53	1,89	-82°	-0,28	1,51	-0,80

Voor golfrichting NO op Variant I:

Veld	b km	$\frac{b_1}{b}$	θ	$\sin 2\theta$	$\overline{H_1^2}$	K(:)
1 - 1A	5,22	0,10	-63°	-0,81	1,31	-0,11
1A- 2	6,95	0,07	-72°	-0,59	1,31	-0,05
2 - 3	4,60	0,22	-84°	-0,21	1,31	-0,06

Voor golfrichting W op Variant II:

Veld	b [km]	$\frac{b_1}{b}$	θ	$\sin 2\theta$	\bar{H}_1^2	K(:)
1 - 2	0,60	1,67	77°	0,44	2,41	1,77
2 - 3	1,60	0,63	79°	0,37	2,41	0,56
3 - 4	1,32	0,76	85°	0,17	2,41	0,31
4 - 5	0,50	2	-83°	-0,24	2,41	-1,16
5 - 6	0,32	3,13	-81°	-0,31	2,41	-2,34
6 - 7	∞	0	-	-	-	0
7 - 8	∞	0	-	-	-	0
8 - 9	2,55	0,39	48°	0,99	2,41	0,93
9 - 10	0,53	1,89	82°	0,28	1,95	1,03
10- 11	2,36	0,42	76°	0,47	2,41	0,48
11- 12	1,77	0,56	86°	0,14	2,41	0,19
12- 13	0,15	6,67	83°	0,24	2,41	3,86
13- 14	0,73	1,37	80°	0,34	1,95	0,91
14- 15	0,47	2,13	73°	0,56	1,95	2,33
15- 16	3,42	0,29	70°	0,64	2,41	0,45
16- 17	3,90	0,26	70°	0,64	1,95	0,32
17-18	8,34	0,12	68°	0,69	2,41	0,20

Voor Golfrichting NW op variant II:

Veld	b [km]	$\frac{b_1}{b}$	θ	$\sin 2\theta$	\bar{H}_1^2	K(:)
1 - 2	1,28	0,78	-75°	-0,50	2,71	-1,06
2 - 3	0,10	10,00	-69°	-0,67	2,71	-18,17
3 - 4	0,74	1,35	-73°	-0,56	2,71	-2,05
4 - 5	1,28	0,78	-71°	-0,62	2,71	-1,31
5 - 6	1,36	0,74	-67°	-0,72	2,71	-1,44
6 - 7	1,45	0,69	90°	0	2,71	0
7 - 8	1,00	1,00	78°	0,41	2,71	1,11
8 - 9	0,84	1,19	80°	0,34	2,71	1,10
9- 10	0,40	2,50	-89°	-0,03	2,71	-0,20
10-11	1,68	0,60	89°	0,03	2,71	0,05
11-12	0,43	2,33	-83°	-0,24	2,71	-1,52
12-13	0,31	3,23	-84°	-0,21	2,71	-1,84
13-14	1,70	0,59	-87°	-0,10	2,71	-0,16
14,15	1,75	0,57	-85°	-0,17	2,71	-0,26
15-16	0,94	1,06	90°	0	2,71	0
16-17	0,70	1,43	86°	0,14	2,71	0,54
17-18	0,17	5,88	85°	0,17	2,71	2,71
18-19	1,57	0,64	81°	0,31	2,71	0,54

Voor golfrichting N op Variant II:

Veld	b [km]	$\frac{b_1}{b}$	Θ	$\sin 2\Theta$	\bar{H}_1^2	K(:)
1 - 2	1,55	0,65	-72°	-0,59	1,51	-0,58
2 - 3	1,26	0,79	-62°	-0,83	1,51	-0,99
3 - 4	1,80	0,56	-56°	-0,93	1,51	-0,79
4 - 5	0,65	1,54	-79°	-0,37	1,51	-0,86
5 - 6	1,31	0,76	-83°	-0,24	1,51	-0,28
6 - 7	1,28	0,78	-84°	-0,21	1,51	-0,25
7 - 8	1,36	0,74	-72°	-0,59	1,51	-0,66
8 - 9	0,27	3,70	-68°	-0,69	1,22	-3,12
9 -10	2,52	0,40	-71°	-0,62	1,51	-0,37
10-11	2,54	0,39	-69°	-0,67	1,51	-0,39
11-12	1,62	0,62	-75°	-0,50	1,51	-0,47
12-13	0,57	1,75	-80°	-0,34	1,51	-0,90
13-14	0,75	1,33	-83°	-0,24	1,51	-0,48

Voor golfrichting NO op variant II :

Veld	b km	$\frac{b_1}{b}$	Θ	$\sin 2\Theta$	\bar{H}_1^2	K(:)
1 -1A	6,16	0,16	-66°	-0,74	1,31	-0,16
1A-2	2,75	0,36	-58°	-0,90	1,31	-0,42
2 -3	5,14	0,19	-61°	-0,85	1,31	-0,21

VII. BESPREKING VAN DE RESULTATEN

Bijlage 1-8-19-20.

A. Conclusies ten aanzien van het refractiepatroon, getekend voor golven met periode van 8 sec. uit NW-richting bij de huidige situatie.

1. Opvallend zijn de twee typische brandpunten op de Banjaard en Hompels, waarvoor echter nog te weinig bekend is om hierover conclusies te trekken.

2. Het bankengebied Banjaard blijkt de golven aan te trekken, waarbij het diepe Westgat ervoor zorgt, dat de aflopende golven door refractie weer terugdraaien. Dit bankgebied dat zijn bestaan op het ogenblik aan de getijstromen in en uit de Oosterschelde dankt, zal na afsluiting zeer door de golven aangevallen worden. Schouwen, dat achter dit bankengebied verschanst ligt, zal, wanneer de Banjaard afgebroken zou worden, op een sterkere golfaanval moeten rekenen.

3. Ook op de bankengebieden Hompels en het westelijk deel van Noordland concentreren de golven zich en zullen na afsluiting aan dezelfde aanval onderhevig zijn als de Banjaard. Hier zorgt de diepe Roompot voor een sterke refractie van de golven terug naar het bankengebied, waardoor aanvankelijk het noordelijk deel van Walcheren enigszins beschermd lijkt.

4. Het oostelijk deel van Noordland evenals het gehele gebied voor de afsluitdam lijkt aanvankelijk zeer weinig aan golfaanval onderhevig, beschermd zijnde door de bovengenoemde bankengebieden.

5. Uit bovenstaande blijkt een egalisatie door de golven van de onregelmatige, door de getijstromen in stand gehouden, naar buiten gelegen bankgebieden: Banjaard, West-Noordland en Hompels. De golven verstrooien zich hier en de diepte is zo gering, dat vele golven breken, zodat veel golfenergie vernietigd wordt.

Daarom dan ook zullen in het gebied vlak voor de dam slechts golven met sterk verkleinde amplitude aankomen. Er is echter een bedenking: n.l. voor de Veerse gat-dam zou volgens een berekening ook reeds veel golfenergie vernietigd zijn, voordat de golven bij de dam aankwamen; na sluiting evenwel bleken nog golven met grote amplitude bij de dam aan te komen, die onderweg weer door de wind aangewakkerd waren. Deze factor is in deze beschouwing niet betrokken.

- 6. De golfstralen verstrooien zich op het bankengebied voor de dam zodanig, dat daar moeilijk een maatgevende richting voor het zandtransport aan te geven is.
- 7. Bij Schouwen en Walcheren draaien de golfstralen zodanig bij dat zij praktisch loodrecht op de kust aankomen, dus een geringe longshore current geven, waardoor het zandtransport daar nu nog gering blijft.

B. Conclusies ten aanzien van de transportaanzanding-erosie-grafieken voor de Varianten I en II.

- 1. Belangrijkste bijdrage tot de transportcapaciteit wordt geleverd door de W en NW-golven.
- 2. In Variant I zijn de transportcapaciteiten groter dan in Variant II; slechts ter plaatse van Schouwen is de transportcapaciteit van Variant II te vergelijken met die van Variant I.
- 3. Ter plaatsé van Schouwen is voor beide Varianten een sterke N-Z transportcapaciteit te bespeuren.
- 4. Ter plaatse van Walcheren en aanliggende mond-gedeelte blijkt in Variant I grote Z-N transportcapaciteit te bestaan, terwijl in Variant II de transportcapaciteit lichtelijk om de nulstand fluctueert.
Dat in Variant II de mond reeds opgevuld is en in Variant I nog niet, is hiervan de reden.
- 5. De erosie-aanzanding-grafiek geeft voor Variant I grotere waarden dan voor Variant II.
- 6. In Variant I is de grote aanzanding in het midden van de afgesloten mond opmerkelijk, verder ook de erosie ter plaatse van de kop van Schouwen en aan de rand van Walcheren; hierin is een egaliserende invloed op te merken.
- 7. In Variant II is opvallend de aanzanding ter plaatse van de geul en de erosie ter plaatse van de kop van Schouwen en de zuidelijke rand van de geul; ook hierin is de genoemde egaliserende werking te bespeuren.
- 8. Ten aanzien van het probleem welke de meest waarschijnlijke oplossing van beide Varianten is, valt op te merken, dat Variant II een stadium is, dat minder invloed van de golven ondervindt dan Variant I en dus stabiel is in dit opzicht. Verder ook dat de vorming van de spitvorm in Variant II minder zand vereist dan de volledige, dus langzamere vulling van

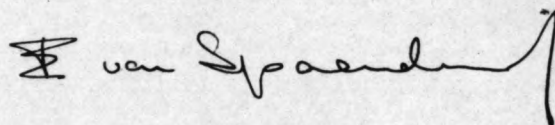
de mond, waarin Variant I een stadium is.

Doch een conclusie ten aanzien van de vraag, welke de meest waarschijnlijke aanpassing van de mond zal zijn, is niet direkt hieruit te trekken.

VIII. NAWOORD.

Naast dit rapport, dat de invloed van de golven op de mond van de Oosterschelde na afsluiting tot onderwerp heeft, is een rapport door G. Boelen geschreven, dat de invloed van de getijstromen op de mond van Oosterschelde na afsluiting behandelt. De conclusie met betrekking tot de combinatie van deze twee invloeden wordt in een gezamenlijk rapport behandeld.

Tenslotte wil ondertekende Ir J.A. Battjes en Ir J.N. Svasek voor de ondervonden steun en raadgevingen danken.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'E. van Spaendonck'. The signature is written in a cursive style with a long, sweeping tail that curves upwards and to the right.

E. van Spaendonck.

IX. SYMBOLEN EN INDICES

A. Symbolen:

D = waterdiepte.

E = golfenergie per m^2 golvend oppervlak = $1/8 \rho g H^2$.

H = golfhoogte.

\bar{H}^2 = gemiddelde golfenergie = gemiddeld golfvermogen op constante coëfficiënt na.

H_s = $H_{1/3}$ = de gemiddelde golfhoogte van dat derde deel van het totaal aantal golfkammen, dat de hoogste exemplaren omvat.

K = specifieke zandtransportcapaciteit langs de kust of langs een dieptelijn.

L = lengte van een sinusvormige golf.

N = energiestroom door een baan tussen twee golfstralen.

T = golfperiode = $\sqrt{\frac{2\pi}{g} L \coth \frac{2\pi D}{L}}$.

U = stroomsnelheid van een golvenontmoetende stroom.

V = groepsnelheid der golven = nc.

b = afstand der golfstralen, gemeten loodrecht op de stralen.

c = voortplantingssnelheid van een sinusvormige golf = $\sqrt{\frac{gL}{2\pi} \operatorname{tgh} \frac{2\pi D}{L}}$

f = aantal uren, dat een bepaald golfhoogteinterval voorkomt in een meting van Σf waarnemingsuren.

g = versnelling van de zwaartekracht = $9,81 \text{ m/sec.}^2$.

n = coëfficiënt voor de groepsnelheid = $\frac{1}{2} \left(1 + \frac{4\pi D/L}{\sinh 4\pi D/L} \right)$
die voor diep water $\frac{1}{2}$ en zeer ondiep 1 blijkt te zijn.

Θ = hoek, die de golfstraal met de dieptelijn maakt.

ρg = soortelijk gewicht van zeewater = 1025 kg/m^3 .

B. Indices:

o = grootheden van golven op diep water.

i = grootheden van de aankomende golf.

X. LITTERATUUR.

1. P. Groen en R. Dorrestein: "Zeegolven", 1958.
2. R. S. Arthur, W. H. Munk and J. D. Isaacs: "The direct construction of wave rays", Transactions American Geophysical Union, Vol. 33 number 6 Dec. 1952.
3. Prof. Ir W. C. Bischoff van Heemskerck: Collegedictaat b 76: "Korte Golven", 1965.
4. D. Nijhof: "Het bepalen van golfrefractiediagrammen", Nota no. 6 Deltadienst-Rijkswaterstaat, 1961.
5. Ir J. N. Svásek: "Kustveranderingen, veroorzaakt door zeegolven", 1967.
6. Anonymus: "Stroomatlas voor de Nederlandse Kust", 1951.
7. J. W. Johnson: "Engineering aspects of diffraction and refraction", Transactions of the American Society of Civil Engineers, vol. 118, 1953.
8. Anonymus: "Tienjarig overzicht der waterhoogten en afvoeren 1951 - 1960".
9. Rijkswaterstaat, J. J. Dronkers: "Rapport van de Deltacommissie" deel 5, IV - 2, 1961.
10. Dr Willard J. Pierson Jr.: "The interpretation of crossed orthogonals in wave refraction phenomena" 1951.
11. C. E. R. C. Technical Report no. 4 1966. Shore protection, planning and design.

XI. BIJLAGEN.

1. Situatie van de bodemfiguratie in 1964, kaartje van Rijkswaterstaat.
2. Variant I; aanpassing van de mond van de Oosterschelde na afsluiting: uit nota K-252, Rijkswaterstaat.
3. Variant II; aanpassing van de mond van de Oosterschelde na afsluiting: uit nota K-252, Rijkswaterstaat.
- 4 en 5. Stroomsnelheden voor en door de mond van de Oosterschelde in huidige toestand in [m/sec] respectievelijk 6,4,2 voor H.W., op H.W. en 2 en 4 uur na H.W. te Hoek van Holland: uit litteratuur 6.
6. Relatieve onderschrijdingsfrequenties van de opzet bij Hoek van Holland als functie van de wind bij Lichtschip Goeree: uit nota K 268, Rijkswaterstaat.
7. Overschrijdingsfrequenties in uren golfhoogten op het Lichtschip Goeree voor diverse richtingen in het tijdvak 1949-1953: metingen van Rijkswaterstaat.
8. Kaart van de mond van de Oosterschelde (1:50.000), waarop het refractiepatroon staat voor NW-golven met periode $T = 8 \text{ sec.}$
9. Dieptelijnen patroon van Variant I (Bijlage 2).
- 10 t/m 13. Refractiepatronen op Variant I voor respectievelijk W - NW - N - NO golven met periode $T = 8 \text{ sec.}$
14. Dieptelijnen patroon van Variant II (Bijlage 3).
- 15 t/m 18. Refractiepatronen op Variant II voor respectievelijk W - NW - N - NO golven met periode $T = 8 \text{ sec.}$
19. Grafieken van de transportcapaciteiten in Variant I voor de golfrichtingen W - NW - N - NO, voor hun sommatie, voor de sommatie na middeling en grafiek van de erosie en aanzanding.
20. Grafieken van de transportcapaciteiten in Variant II voor de golfrichtingen W - NW - N - NO, voor hun sommatie, voor de sommatie na middeling en grafiek van de erosie en aanzanding.

