

P 565-C

01:205471-2

Rel. 5456819

23 JAN. 1981

rijkswaterstaat-deltadienst  
bibliotheek en documentatie  
boiwerk - noord 85  
4611 DS bergen op zoom

Beschouwing n.a.v.  
"Interimnota nr. 2"  
1e Aanvulling

opgenomen in bibliotheek  
onder nr. R 492

- Fasering en Sluitingsmethode  
Compartmenteringsdammen -

1. Samenvatting
2. Getijgegevens en bewerkingen
3. Zandsluiting
4. Steensluiting
5. Slotopmerkingen



## 1. Samenvatting.

### 1.1. Referentie aan voorgaande conclusies.

In deze aanvulling wordt nader ingegaan op de suggesties zoals die zijn vermeld in paragraaf 4 van de - beschouwing naar aanleiding van de interimnota nr. 2 - van juli 1979.

Deze suggesties hadden betrekking op :

- a. De haalbaarheid van zandsluiting en de vereiste getij-manipulatie.
- b. De invloed van het toepassen van hulpmiddelen.
- c. Het uitwerken van een steensluiting uit te voeren met enige getij-manipulatie.
- d. Tolerantiebepaling in de sluitfasering voor beide sluitgaten.
- e. Afweging van het toepassen van een combinatie van verschillende sluitmethoden voor de twee sluitgaten.

### 1.2. Door Rijkswaterstaat ter beschikking gestelde gegevens.

Inmiddels zijn naar aanleiding van de voornoemde beschouwing door de Rijkswaterstaat aan de combinatie Philipsdam aanvullende gegevens ter beschikking gesteld. Het betreft :

- a. Interim - nota  
Fasering sluiting compartimenteringsdammen.
- b. Interim - nota  
Sluitingsmiddelen Philips- en Oesterdam.
- c. Interim - verslag modelonderzoek  
M 1437 - 14 van het Waterloopkundig Laboratorium  
betreffende :  
Onderzoek zandsluiting Krammer en Tholense Gat bij een schijngetij.

Met betrekking tot de in 1.1. genoemde suggesties is daarmee een belangrijk basisgegeven voor de bewerkingen gevonden in het verslag van modelonderzoek (c.) terwijl over de voorgestelde tolerantiebepaling en afweging van de combinatie van verschillende sluitmethoden in de nota (b.) een beschouwing werd aangetroffen (blz. 8 en 9 van die nota).

### 1.3. In deze aanvulling uitgevoerde bewerkingen.

In deze aanvulling zijn op basis van de gegevens uit het W.L. - onderzoek de volgende bewerkingen uitgevoerd.

#### 1. Zandsluiting.

Voor het sluitgat Krammer is de realiseerbaarheid afgewogen. Vereiste productie en voortgangssnelheid als gevolg van het zandtransport in het sluitgat zijn berekend. Ter bepaling van de maatgevende situatie moesten aanvullende getijvoorwaarden worden berekend, aangezien deze situatie niet in het W.L. - onderzoek was opgenomen.

Voor het sluitgat Tholense Gat is deze bewerking nog niet uitgevoerd. Deze situatie is evenwel analoog bij iets kleinere sluitgatafmetingen.

#### 2. Steensluiting.

Eveneens voor het sluitgat Krammer is een werkschema opgesteld waarbij getracht is vast te stellen welke materialen (steengewichten) dienen te worden gebruikt en hoe materieel daarbij kan worden ingezet als functie van de in te stellen getij-manipulatie. Ook daarbij zijn aanvullende getijgegevens berekend op basis van de in het W.L. onderzochte situaties. Belangrijkste verschil daarbij is, dat het W.L. onderzoek een horizontale verkleining, daarentegen de steensluiting een verticale verkleining van het sluitgat betreft.

De steensluiting is voor het Tholense Gat nog niet uitgewerkt. De situatie is ook hierbij min of meer analoog.

Met deze bewerkingen is de aanzet tot een mogelijke vergelijking tussen :

- Zandsluiting bij sterk en langdurig gemanipuleerd getij.
- Steensluiting bij gering en kortdurend gemanipuleerd getij.
- Blokkensluiting bij vol getij.

voor het sluitgat Krammer gemaakt.

Een dergelijke vergelijking zal na voortzetting van de berekeningen ook mogelijk zijn voor het Tholense Gat. Nader kan nog worden uitgewerkt wat de invloed op voortgangstempo en gebruik van materialen is indien een steensluiting simultaan met een zandsluiting, dus eveneens bij sterk en langdurig gereduceerd getij, wordt uitgevoerd.

## 2. Getijgegevens en bewerkingen.

### 2.1. Ontleningen aan het W.L. rapport.

Het W.L. onderzoek is gericht op de totale problematiek van de getijmanipulatie ten behoeve van de zandsluitingen. Dit betreft onder meer :

- de invloed van het effectief doorstroomprofiel van de stormvloedkering op stroomsnelheden en getijverschillen in het gehele Oosterschelde bekken.
- de stroomsnelheden in de sluitgaten bij diverse combinaties van sluitfasen van de beide sluitgaten.

Voor de bewerkingen in deze beschouwing zijn hiervan slechts enkele situaties van belang. Dit zijn :

toestand	Sluitfase		Manipulatie	
	m2 Krammer	m2 Tho. Gat.	SVK spleet	SVK open
T 244	3.500	1.540	3.400	19.300
T 253	5.000	2.780	3.400	11.120
T 255	2.030	500	1.380	7.750
T 250	1.020	0	2.100	5.300

Voor T 250 is getij A (T= 3To) gebruikt. Bij alle overige toestanden is getij B gebruikt.

## 2.2. Vereiste aanvullende getijgegevens

Voor de zandsluiting is de laatste dag de maatgevende situatie. Productiecapaciteit dient op die situatie afgestemd te zijn. De getijgegevens rond die laatste dag periode zijn evenwel in het W.L. onderzoek wat summier, aangezien van een doorstroomprofiel van 2030 m<sup>2</sup> onder N.A.P. (Krammer) wordt overgegaan op 1020 m<sup>2</sup> en verder niet kleiner. Daarom is op basis van T 250 (1020 m<sup>2</sup>) rekenendergewijs een situatie toegevoegd voor 500 m<sup>2</sup>, T 250-1 genoemd.

De op basis hiervan bepaalde productiecapaciteit heeft als gevolg dat bij de nader vast te stellen getijmanipulatie in eerdere bouwfasen een bepaalde voortgangssnelheid kan worden bereikt. Daarmee is de totale sluitingsduur als functie van de progressie van de getijmanipulatie te berekenen. Deze berekening is niet gemaakt, doch kan met de overige in het W.L. onderzochte situaties worden uitgevoerd.

Bij de steensluiting komen in enkele bouwfasen maatgevende situaties voor. Daarbij is stabiliteit van de materialen de maatgevende factor zodat de maximaal optredende stroom-snelheid in de getijcyclus moet worden bepaald.

Omdat bij steensluiting de vorm van het sluitgat afwijkt van die bij een zandsluiting, zijn ondanks gelijk doorstroomprofiel in m<sup>2</sup> (beneden N.A.P.) omrekeningen noodzakelijk.

Deze zijn uitgevoerd voor twee bouwfasen n.l. T 253 en T 255 met getij B. Vervolgens zijn bij gelijkblijvende randvoorwaarden (waterstandsverloop aan de zeezijde van het sluitgat) de stroomsnelheden berekend voor kleinere doorstroomprofielen als volgt :

T 253 - 1	bij	3500 m <sup>2</sup>	(Krammer)
T 253 - 2	bij	2500 m <sup>2</sup>	"
T 253 - 3	bij	1250 m <sup>2</sup>	"
T 255 - 3	bij	1250 m <sup>2</sup>	"
T 255 - 4	bij	625 m <sup>2</sup>	"

De toestand T 244 is daarbij gebruikt om het rekenprogramma op te ijken.

### 2.3. Berekeningen, schematisaties, resultaten.

De berekeningen zijn uitgevoerd als een vereenvoudigde kombergingsberekening, waarmee de voortplanting van het getij achter de sluitdam is verwaarloosd. Bovendien is de kombergingskarakteristiek geschematiseerd tot een constante over de waterstandsvariatie waarvan de grootte is vastgesteld door ijking van het rekenprogramma op de meting T 244.

Als best passend kombergingsoppervlak werd 6000 ha gevonden. Daarmee zijn droogvallende gebieden bij L.W., getijvoortplanting en interferentie van getijinvloeden via het Schelde-Rijn kanaal met het Tholense Gat in dit cijfer verdisconteerd. Verificatie in het model is in een later stadium wel gewenst.

Als sluitgatprofiel is aangehouden een bakprofiel van 5 m diep (N.A.P.) en 700 m lang (3500 m<sup>2</sup>).

Vervolgens zijn de toestanden als volgt geschematiseerd :

T 253 - 0	(W.L. onderzoek)	500 m <sup>2</sup> zandsluitingsprofiel
T 253 - 1	3500 m <sup>2</sup> / drempel - 3,50	lengte 1000 m
T 253 - 2	2500 m <sup>2</sup> / drempel - 2,50	lengte 1000 m
T 253 - 3	1250 m <sup>2</sup> / drempel - 2,50	lengte 500 m

(Bij T 253-3 deed zich nog juist geen volkomen overlaat situatie voor).

Gebruikt is getij B. tussen  $t = 20$  en  $t = 33$  met als uitgangspunt dat op  $t = 20$  de binnen- en buitenwaterstand gelijk is t.g.v. de zes voorgaande uren van gelijkblijvende buitenwaterstand.

De berekening is representatief voor de periode  $t = 20$  tot  $t = 33$  bij getij B, terwijl de periode van  $t = 20$  tot  $t = 27$  representatief is



voor getij A, tijdens eb zowel als bij vloed. (In getij A is de doorgaande stijging in getij B tussen  $t = 26$  en  $t = 32$  analoog onderbroken aan de daling in getij B tussen  $t = 14$  en  $t = 20$ ).

De vergelijking

tussen T 253 en T 247 in de periode van  $t = 20$  tot  $t = 32$  (fig. 51 en fig. 14 W.L. rapport) toont dat het buitenwaterstandsverloop identiek is, zodat de "open" SVK stand en niet de "spleet grootte" voor steensluiting maatgevend is. Daarom is verdere vernauwing van het sluitgat berekend bij T 255.

T 255 - 0	W.L. onderzoek	2030 m <sup>2</sup>	zandsluitingsprofiel
T 255 - 3	1250 m <sup>2</sup>	drempel - 2,50	lengte 500 m
T 255 - 4	625 m <sup>2</sup>	drempel - 2,10	lengte 250 m

Tenslotte is voor de zandsluiting het getij A doorgerekend voor een profiel van 500 m<sup>2</sup> als volgt geschematiseerd

2 zijdig spuittalud onder	1:20
in het midden een diepte van	5 m - N.A.P.
een sluitgatlengte op N.A.P. van	200 m

De berekening is gestart op  $t = 7$  bij gelijke binnen- en buitenwaterstand en gestopt bij  $t = 45$  bij praktisch gelijke waterstand. (getijcyclus van getij A bedraagt 37 uren zodat  $t = 45 \hat{=} t = 8$ ).

De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in de figuren 1 t/m 3.

### 3. Zandsluiting.

#### 3.1. Zandverliezen en productiecapaciteit.

De in te zetten zuigercapaciteit moet zodanig zijn dat vernauwing tot een laatste gat van zodanige afmeting mogelijk is, dat het daarna in korte tijd geheel geblokkeerd en opgebouwd kan worden (zie "beschouwing" blz. 5).

Zandverliezen en voortgangssnelheid bij dit laatste gat bepalen naast de vereiste capaciteit tevens de afmeting van dit gat.

Daarom is vergeleken welke verliezen optreden bij een laatste gat van ca. 1000 m<sup>2</sup> beneden N.A.P. (toestand T 250, gemeten ; W.L. rapport) en bij ca. 500 m<sup>2</sup> beneden N.A.P. (T 250-1, berekend ; fig. 3). Uit berekening blijkt dat de zandtransportcapaciteit uitgedrukt in m<sup>3</sup>/m' gat lengte gemiddeld over het getij per uur in de volgende orde van grootte te verwachten is :

	getij B (T = 2T <sub>0</sub> ) 1000 m <sup>2</sup>	getij A (T = 3T <sub>0</sub> ) 1000 m <sup>2</sup>	getij A 500 m <sup>2</sup>
Zand d <sub>50</sub> = 150 $\mu$	20	16	80
200 $\mu$	10	8	50
300 $\mu$	4	3	18

Uit de laatste twee kolommen blijkt dat de transportcapaciteit 5 à 6 x zo groot wordt als het gat van 1000 naar 500 m<sup>2</sup> verkleind. Ook blijkt dat het zandtransport praktisch halveert indien 200  $\mu$  in plaats van 150  $\mu$  zand beschikbaar is. De zandsluiting is derhalve zeer gevoelig voor de kwaliteit van het zand.

Rekening houdend met verschillen in verliescoëfficiënten voor vaste bodem en spuitlud blijkt dat in een sluitgat van 1000 m<sup>2</sup> beneden N.A.P. gemiddeld over het getij een zandafvoer "S" plaats heeft met de volgende grootte :

	getij B (T= 2T <sub>0</sub> )	getij A (T= 3T <sub>0</sub> )
d <sub>50</sub> = 150 μ	4300	3500
200 μ	2700	2200
300 μ	1700	1400

S in m<sup>3</sup>/uur bij sluitgat 1000 m<sup>2</sup>.

(De vaste bodem is verondersteld uit zand van 150 μ te bestaan)

Indien met enkele zuigers een gezamenlijke capaciteit van P m<sup>3</sup>/per netto-draaiuur wordt verwerkt met een effectiviteit van 70 % dan is de voortgangsproductie

$$(0,7 P - S) \text{ m}^3/\text{uur}$$

Het te spuiten damprofiel bevat ca. 1500 m<sup>3</sup>/m' zodat de voortgang

$$(0,7 P - S) \text{ m}'/\text{uur} \text{ bedraagt.}$$

$$1500$$

### 3.2. Realiseerbaarheid en getijmanipulatie.

Uit de voorgaande beschouwing blijkt dat, indien gerekend wordt met  $150\mu$  zand, bij een netto-productiecapaciteit van bijv. 10000 m<sup>3</sup> per uur (3 grote zuigers) de voortgang daalt tot :

bij getij B

$$\frac{0,7 \times 10000 - 4300}{1500} = 1,8 \text{ m' / uur}$$

bij getij A

$$\frac{0,7 \times 10000 - 3500}{1500} = 2,3 \text{ m' / uur}$$

Bij getij A is per ingestelde getijcyclus van 37 uren de voortgang ca. 85 m'.

Het sluitgatprofiel wordt hiermee teruggebracht van 1200 m<sup>2</sup> tot 800 m<sup>2</sup> beneden N.A.P. (de berekende verliezen gelden voor een profiel van 1000 m<sup>2</sup>)

Door de voortgang neemt de procentuele vernauwing sterk toe waardoor S ook enorm toeneemt. Voor een gat van 500 m<sup>2</sup> was een transportcapaciteit per m<sup>1</sup> van 5 à 6 maal die bij 1000 m<sup>2</sup> gevonden (zie blz. 8), zodat bij benadering hiervoor een voortgang wordt gevonden :

$$\frac{0,7 \times 10000 - 2,5 \text{ à } 3 \times 3500}{1500} = \text{negatief}$$

Bij deze spuitcapaciteit met  $150\mu$  zand moet dus in een eerdere fase tot sluiting worden overgegaan.

Naar analogie blijkt voor  $200\mu$  zand de voortgang bij 1000 m<sup>2</sup> gat 2,8 m<sup>1</sup>/uur (getij B) respectievelijk 3,2 m<sup>1</sup>/uur (getij A) te zijn. Bij 500 m<sup>2</sup> gat en getij A is dat tot 0,5 à 1 m<sup>1</sup>/uur gedaald. Een spuitcapaciteit van 10.000 m<sup>3</sup>/uur is dus met  $200\mu$  zand wel voldoende voor een vernauwing tot 500 m<sup>2</sup>.

Om sluiting tot stand te brengen moet een primaire kade worden gespoten die tijdens de L.W.- kentering scheiding tussen binnen- en buitenwater tot stand brengt. Deze kade heeft een minimaal dwarsprofiel van ca. 450 m<sup>2</sup> en moet in het tijdsverloop tussen H.W. en L.W. over de resterende sluitgat lengte worden aangebracht. (zie fig. 4)

De tijdsduur die hiervoor beschikbaar is bedraagt zowel voor getij A als getij B ca. 20 uren. (zie fig. 3)

De vereiste productie is bij een sluitgat lengte L.

$$P = \frac{450 \times L}{20} + S + \text{reserve}$$

Aangezien de stroming nu afgeknepen wordt blijft de stroomsnelheid het gehele tij een hoge waarde behouden, waardoor S groter is dan berekend voor een bepaald gelijkblijvend sluitgatprofiel. Als eerste benadering kan hiervoor een factor twee gerekend worden.

Voor het 1000 m<sup>2</sup> sluitgat is L ca. 220 m. Indien met 150  $\mu$  zand gesloten moet worden en S 2 x zo groot, dus 2 x 3500 m<sup>3</sup>/uur, wordt genomen dan is de vereiste

$$P = \frac{450 \times 220}{20} + 7000 + \text{reserve} = 13500 \text{ m}^3/\text{uur}$$

Het sluitgat van 1000 m<sup>2</sup> is voor een P van 10.000 m<sup>3</sup>/uur dus nog te groot.

Vernauwing tot 600 à 700 m<sup>2</sup> (L = ca. 180 m) is daarbij noodzakelijk. Uit het voorgaande is gebleken dat dit met 10.000 m<sup>3</sup>/uur nauwelijks te realiseren is.

Naar analogie is voor 200  $\mu$  zand de vereiste P bij een 1000 m<sup>2</sup> gat :

$$P = \frac{450 \times 220}{20} + 2 \times 2200 + \text{reserve} = 10500 \text{ m}^3/\text{uur}$$

Ook dan is het gat dus te groot. Vernauwing tot een kleiner gat is nu met 10000 m<sup>3</sup>/uur echter wel realiseerbaar. (zie vorige blz.)

Tenslotte moet de op L.W. - kentering aangebrachte kade met het opkomend tij mee worden verhoogd en verzwaaard zodat ze niet kan overlopen noch instabiel wordt bij het toenemend verval. Ook hiervoor moet ca. 500 m<sup>3</sup>/m' kade worden gespoten in de periode van L.W. - kentering tot het H.W.-tijdstip. (zie fig. 4) Deze periode is bij getij A ca. 12 uren, bij getij B ca. 6. De sluitgat lengte waar deze verzwaring vereist is, is ca. 80 % van de lengte van de primaire kade (de andere 20 % kan door bulldozeractie in de voorgaande fase worden verzwaaard). De vereiste zandproductie (die nu zonder verliezen kan worden gerekend) bedraagt dus :

$$\frac{0,8 \times L \times 500 + \text{reserve}}{6 \text{ of } 12} \text{ m}^3/\text{uur}$$

Voor het 1000 m<sup>2</sup> sluitgat is dat :

$$8000 \text{ m}^3/\text{uur} \text{ bij getij A}$$

(bij getij B is dit de maatgevende phase want dan is 16000 m<sup>3</sup>/uur vereist).

Aangezien in deze fase van de sluiting geen zandverliezen meer optreden geldt deze productie voor alle zandsoorten.

Samenvattend kan worden gesteld dat de Krammer met zand van 200  $\mu$  bij een spuitcapaciteit van rond 10000 m<sup>3</sup>/uur afsluitbaar moet worden geacht, doch dat met 150  $\mu$  zand deze capaciteit beslist onvoldoende is. Een grotere capaciteit is met 4 of 5 grote zuigers wel te realiseren.

### 3.3. Verdere overwegingen.

Uit de voorgaande berekeningen blijkt dat voor de bepaling van de materieelbehoefte voor de zandsluiting een juist inzicht in de kwaliteit van het beschikbare zand van essentieel belang is.

In de "interimnota nr. 2" wordt hierover gesteld :

"Bij de Philipsdam varieert de korreldiameter tussen 150 en 250  $\mu$  ;  
bij de Oesterdam tussen 150 en 200  $\mu$  ". (interimnota nr. 2 blz. 42).

De berekeningen voor 150  $\mu$  geven derhalve een ongunstig beeld van de situatie.

Daarnaast kunnen de volgende overwegingen van belang zijn.

- 1e. Het getij is misschien bij ongewijzigde amplitudeinstelling nog te optimaliseren (zie hoofdstuk 5).
- 2e. Indien de zandwinplaats aanwijsbare locaties van grovere samenstelling bevat zou deze voor de sluitfase gereserveerd kunnen worden.
- 3e. Het aanvoeren van grover materiaal van elders, te gebruiken in de sluitfase, zou afgewogen kunnen worden tegen de hogere productiecapaciteit die bij gebruik van het lokaal aanwezige fijne zand vereist is.

#### 4. Steensluiting.

##### 4.1. Werkwijze, materieel en materialen.

Voor het bepalen van de mogelijkheden voor een steensluiting, is uitgegaan van het volgende werkprincipe :

1. De drempelopbouw (zie fig. 5) geschiedt zoveel mogelijk verticaal laagsgewijs tot een niveau is bereikt dat met varend materieel niet meer boven de drempel kan worden gewerkt.
2. Hierna wordt een steenkade op de drempel gezet die in horizontale richting wordt uitgebouwd. Hierdoor ontstaat bij een bepaalde mate van vernauwing over de resterende drempel een volkomen overlaat.
3. De drempel dient voorafgaand aan de uitbouw van de steenkade van deze overlaat met zwaardere steen te zijn afgedekt.  
Afdichten van dit laatste gat geschiedt eveneens in horizontale zin, werkend met varend materieel, vanuit beschermde ligging in de stroom-  
schaduw van de koppen van de steenkade. (zie fig. 7).

Bij deze werkwijze wordt dus alleen gebruik gemaakt van varend materieel zoals steenstorters en splijtbakken voor het opstorten van de drempel, en van hydraulische machines opgesteld op pontons voor het uitbouwen van de steenkade op die drempel. Aanvoer van materialen naar de hydraulische machines zal met transportpontons kunnen worden uitgevoerd. Overigens zijn sleepboten en ankerpontons alsmede een laadstation voor de steenstorters vereist.



De toe te passen materialen zijn afhankelijk van de stroomsnelheden, die beïnvloed kunnen worden door de getijmanipulatie. In verband met economische overwegingen zou gebruik moeten worden gemaakt van steenklassen zoals die ook in de drempel van de stormvloedkering Oosterschelde worden gebruikt.

Op basis van deze overwegingen ontstaat een samenspel van bouwphase, steenklasse en getijmanipulatie.

Een en ander is in het volgende uitgevoerd voor het sluitgat Krammer op basis van T 253 en T 255 uit het W.L. rapport met de aanvullende berekeningen (fig. 1 en 2).

#### 4.2. Werkbaarheidscondities en productiecapaciteit.

Het werken met varend materieel in het sluitgat vereist aanpassing aan de stroomsnelheden die zullen optreden. Bij lage snelheden kan dwars op stroom gestort worden, terwijl bij hogere snelheden de kop op de stroom gehouden moet worden, hetgeen een minder flexibel productiebedrijf tot gevolg heeft. (zie fig. 6)

De stroomsnelheid waarbij dit noodzakelijk wordt hangt af van het scheepsprofiel en de verhangen over het sluitgat.

Voor enkele steenstorters is de totale kracht op het schip als volgt bepaald.

$$\text{Aanstroomkracht} = \frac{1}{2} \rho v^2 \cdot C.A$$

$$\text{blijkt } 80 \text{ à } 110 v^2 \text{ kN.}$$

$$\text{Huidweerstand} = C_f \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 \cdot S$$

$$\text{blijkt } 3 \text{ à } 4 v^2 \text{ kN.}$$

$$\text{Verhangkracht} = G \sin \alpha \text{ waarbij}$$

$$\alpha \text{ afh. van } v.$$

$$\text{blijkt ca } v^2 \text{ kN.}$$

Totaal derhalve

$$85 \text{ à } 115 v^2 \text{ kN. waarin } v = \text{stroomsnelheid}$$

Om in het ankersysteem zoals in fig. 6 weergegeven binnen aanvaardbare ankerkrachten te blijven, zal het storten dwars op stroom daarom, afhankelijk van het schip, bij stroomsnelheden groter dan 1,50 à 1,80 m/s moeten worden gestaakt.

Naar analogie is bepaald dat met de kop op stroom kan worden gewerkt tot stroomsnelheden tussen 2,5 à 3 m/s.

Voor de werkbaarheid betekent dit dat in eerste instantie het gehele getij kan worden gewerkt dwars op stroom. Naarmate de drempelbouw vordert en door de laagsgewijze opbouwmethode de grootste hoeveelheden zijn verwerkt zal gedurende enkele uren per getij alleen met de kop op stroom moeten worden gewerkt of het getij moet in geringe mate worden gereduceerd. Bij het afwerken van de drempel neemt de stroomsnelheid verder toe en de duur van de hoge snelheden is langer, de kenteringsduur korter. Als dat tezeer maatgevend wordt voor de productie is verdere reductie van het getij gewenst. Vervolgens wordt begonnen met de uitbouw van de steenkade op de drempel. Hierbij kan eventueel het getij weer worden vergroot, totdat de vernauwing stroomsnelheden tot gevolg heeft die voor de drempel te groot worden. Volkomen overlaat mag pas boven de beschermde drempel optreden. Het getij moet daarop worden afgestemd. Tenslotte kan de laatste opening, mede gezien de geringe hoeveelheden, in korte tijd worden dichtgezet.

#### 4.3. Realiseerbaarheid en getijmanipulatie.

Uit het voorgaande blijkt dat de realiseerbaarheid met dit materieel en de meest optimale materialen samenhangt met de getijmanipulatie en de voorspelbaarheid van de te verwachten maximale stroomsnelheden bij enkele kritische bouwfasen. Met name het moment van de overgang naar volkomen overlaat en de daarbij te verwachten snelheden zijn zeer belangrijk.

Tenslotte dienen de stabiliteit van de gebruikte materialen bij die snelheden voldoende verzekerd te zijn.

Een enorm voordeel is echter dat een geringe extra getijmanipulatie sterk corrigerend werkt en dan steeds zeer kortdurend hoeft te zijn.

De stabiliteit van de stortsteen is als volgt te berekenen :

a. - op de damkruin

$$d_{cr} = \frac{1}{520} \times \frac{\bar{U}_{cr}^3}{\sqrt{h}}$$

(bij aangenomen hoge turbulentiegraad)

b. - op het benedenstroomstalud

$$d_{cr} = 1,6 \times q^{0,67} \times I^{0,78}$$

waarin I de taludhelling

q de afvoer per m<sup>1</sup> is.

c. - de sluitkade

Voor de sluitkade is de plaats waar de stroom om de kop trekt het meest kritisch, zodat de steendiameter op die condities moet worden afgestemd.

Hier geldt :

$$V_{cr} = \frac{\sqrt{gh}}{2 U_s} \cdot \frac{1}{0,0335 - \log \frac{D}{h}}$$

Waarin  $U_s$  de contractiecoëfficiënt is.

Hieruit volgt voor een  $V = 4,0$  m/s een  $D = 0,45$  m

$V = 2,5$  m/s       $D = 0,15$  m

Hiertussen mag bij benadering lineair worden geïnterpoleerd.

Als voorbeeld van een dergelijk sluitingsprogramma voor de Krammer zou gekozen kunnen worden voor het volgende :

- Profiel als fig. 5  
Hoeveelheden beneden N.A.P. - 7,00 hebben nauwelijks invloed op de getijvorming en zijn buiten beschouwing gelaten.
- Werk met steenstorters van - 7,00 tot - 3,00  
hoeveelheden :  $100 \text{ m}^2 \times 750 \text{ m}^1 = 75.000 \text{ m}^3$   
zeg 130.000 ton.
- Werk met hydraulische machines op de steenkade boven - 3,00  
hoeveelheden :  $60 \text{ m}^2 \times 1.000 \text{ m}^1 = 60.000 \text{ m}^3$   
zeg 100.000 ton.
- Een steenstorter van 700 t. laadvermogen heeft bij een cyclustijd van 4,5 uur een productie van 2800 t./dag bij gebruik over de gehele getijcyclus. Door het "kop op stroom" storten in de latere fase moet gerekend worden met een gemiddelde over de 130.000 ton van 2.600 t per schip per dag.  
Dit betekent een inzet van 4 steenstorters gedurende 2 weken.
- Een hydraulische machine kan bij een gemiddelde van 5 ton stortcapaciteit en een cyclustijd van 60 sec. ca. 5500 ton per dag verzetten. Met vier machines is een inzet voor de steenkade van 5 dagen vereist.
- Om te kunnen werken met stortsteen 300-1000 kg. volgens het profiel uit fig. 5 is dan een getijinstelling vereist met stroomsnelheden kleiner dan 4.00 m/s in het sluitgat. (zie blz. 17.)

De getijdeinstelling zou dan als volgt kunnen zijn :

Bij vol getij drempelopbouw tot N.A.P. - 7.00 m

Dan getij B instellen ( T = 2 To )

Week*	toestand	H.W.	L.W.	m2 profiel	drempelniveau c.q. sluitgat- lengte.	V max. m/s	Werkwijze
1	(drempel opbouwen naar - 6,50 m)						
	T 257	+ 1,75	- 1,20	6500	- 6,5	1,50	(1)
	(over op T 253)						
	T 253	+ 1,25	- 0,95	5000	- 5,0	1,60	(1)
	T 253	+ 1,25	- 0,95	3500	- 3,5	2,30	(2)
	T 253	+ 1,25	- 0,95	3000	- 3,0	2,80	(3)
2	(drempel gereed, steenkade bouwen vernauwen gat tot lengte : 800 m)						
	T 253	+ 1,25	- 0,95	2500	800 m	3,20	(4)
	(over op T 255)						
3	T 255	+ 0,90	- 0,75	2000	650 m	2,60	(4)
	T 255	+ 0,90	- 0,75	1200	400 m	3,50	(4)
	T 255	+ 0,90	- 0,75	600	300 m	3,80	(4)
	(over op getij A en in deze 36 uren dichtbouwen).						

Werkwijze (1) = met 4 steenstorters 100 % dwars op stroom

(2) = 20 % kop op stroom 80 % dwars

(3) = 35 % kop op stroom 65 % dwars

(4) = met 2 hydr. machines van weerszijden uitbouwen.

\* Weken gerekend na het bereiken van de drempelhoogte op N.A.P. - 7.00 m

Bij deze instelling doet zich het geval van volkomen overlaat pas bij het dichtzetten op de laatste dag voor.

#### 4.4. Verdere overwegingen.

De vergelijking van deze sluitmethode met een sluiting bij vol getij met zeer zware stortsteen op blokken levert de volgende argumenten :

- de te gebruiken materialen zijn goedkoper en zijn beter beschikbaar.
- het varend bedrijf is zeer flexibel, in staat tot hoge producties en is onafhankelijk van de beschikbaarheid en verbouwingstijd van brugelementen.
- de overslag (i.h.a. een maatgevende factor) van de stortsteen is eenvoudiger.
- het dichten van de stortsteendam is door de geringe doorlatendheid eenvoudiger.
- de hoeveelheden aan stortmateriaal nemen toe door de iets flauwere taludhelling ( 1 : 1,5 i.p.v. 1 : 0,9 )

Belangrijkste verschillen met de zandsluiting zijn :

- minder getijreductie
- de duur van de getijreductie is korter ( 3 weken i.p.v. 8 weken )
- minder risico voor ijsgevoeligheid (t.a.v. bedrijf zowel als van de periodeduur)
- eenvoudiger om beide sluitgaten op elkaar af te stemmen. (geldt voor twee steensluitingen ten opzichte van twee zandsluitingen).
- aangezien na de steensluiting het gehele zandprofiel van de dam toch moet worden aangebracht zal een steensluiting duurder zijn dan een zandsluiting.

Opmerking : In het bovenstaande is de afweging van de combinatie 1 zand + 1 steensluiting ten opzichte van 2 steen- of zandsluitingen nog niet gemaakt.

## 5. Slotopmerkingen.

In het voorgaande zijn de detailleringen afgeleid uit getijgegevens welke uit modelonderzoek en berekening zijn bepaald. De indruk bestaat dat t.b.v. de sluitingen de getijmanipulatie nog verder geoptimaliseerd kan worden.

Uit de meetgegevens van het modelonderzoek blijkt duidelijk dat reflecties de geïntroduceerde boven-harmonische componenten in sterke mate beïnvloeden waardoor de beoogde geleidelijke waterstandsverandering verstoord is (zie fig. 73 van het W.L. rapport op  $t = 28$  tot  $t = 30$  uur). Daarmee is het stroomsnelheidsverloop i.p.v. gemiddeld over lange tijd veranderd in een kortdurende snelheidspiek en daarna een periode van lage snelheden.

Voor een steensluiting is met name de hoogst voorkomende snelheid maatgevend i.v.b. met de stabiliteit van de dam. Dit is echter een afwijkend uitgangspunt van het W.L. onderzoek dat de zandsluiting ten doel had.

Voor de zandsluiting is een dergelijke situatie evenmin aantrekkelijk. Het uitgangsprincipe van het W.L. onderzoek dat tijdens zandsputten de stroomsnelheid max. ca 1 m/s mag zijn en tijdens hogere snelheden wordt gestopt. (blz. 2 W.L. rapport) is met name in de sluitfase niet hanteerbaar.

Beter is te zoeken naar een optimum volgens de volgende overweging :

Zandtransportcapaciteit kan worden beschouwd als een machtsfunctie van de stroomsnelheid

$$S = a v^n$$

Bij een snelheidsverloop als functie van de tijd  $v(t)$  is het totaal transport in de periode van  $t = 0$  tot  $t = T$ . dus

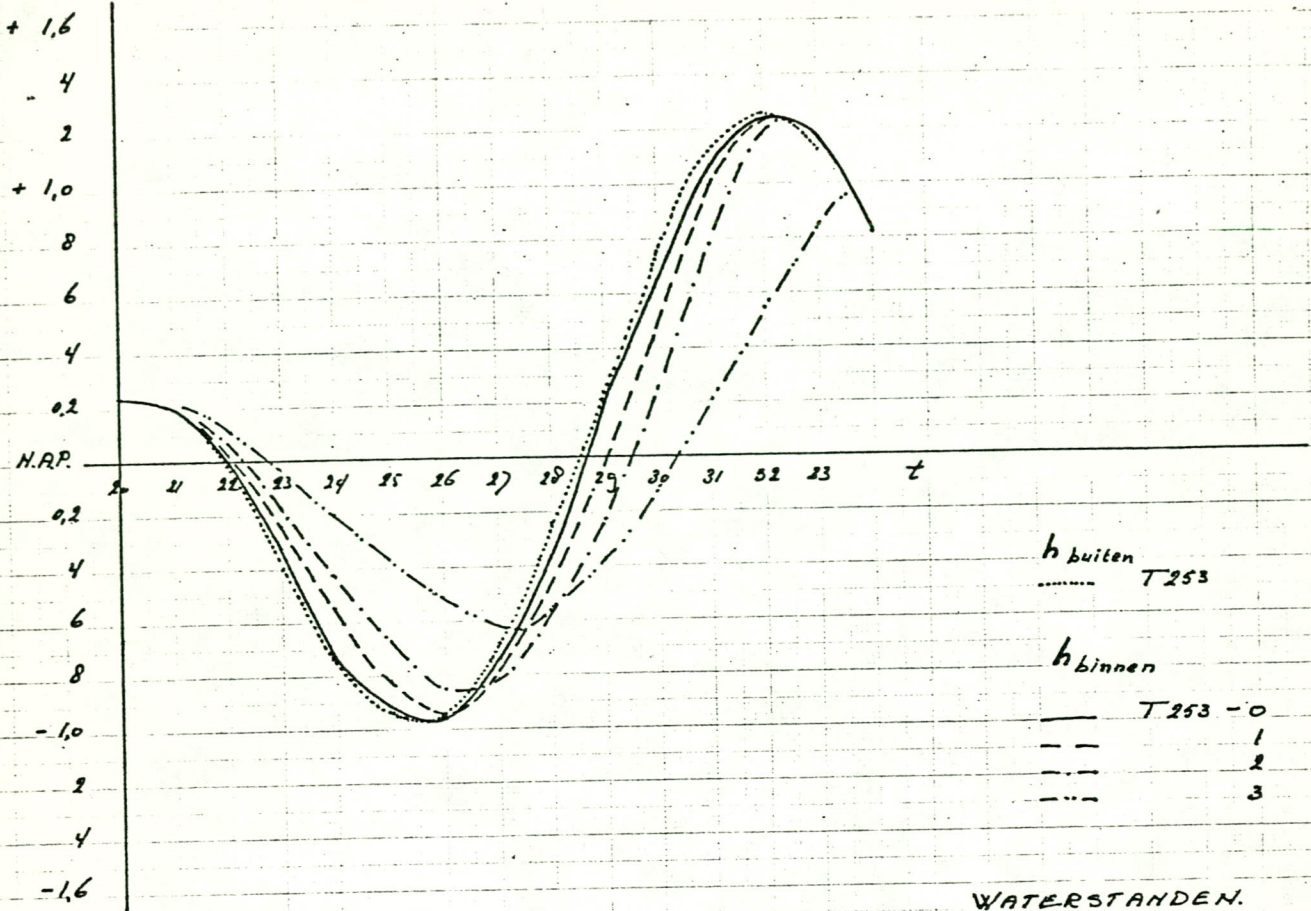
$$\int_{t=0}^{t=T} a \cdot |v|^n dt$$

Voor de zandsluiting is het stroom-snelheidsverloop optimaal als deze integraal een minimum waarde heeft bij handhaving van de gewenste getij-amplitude.

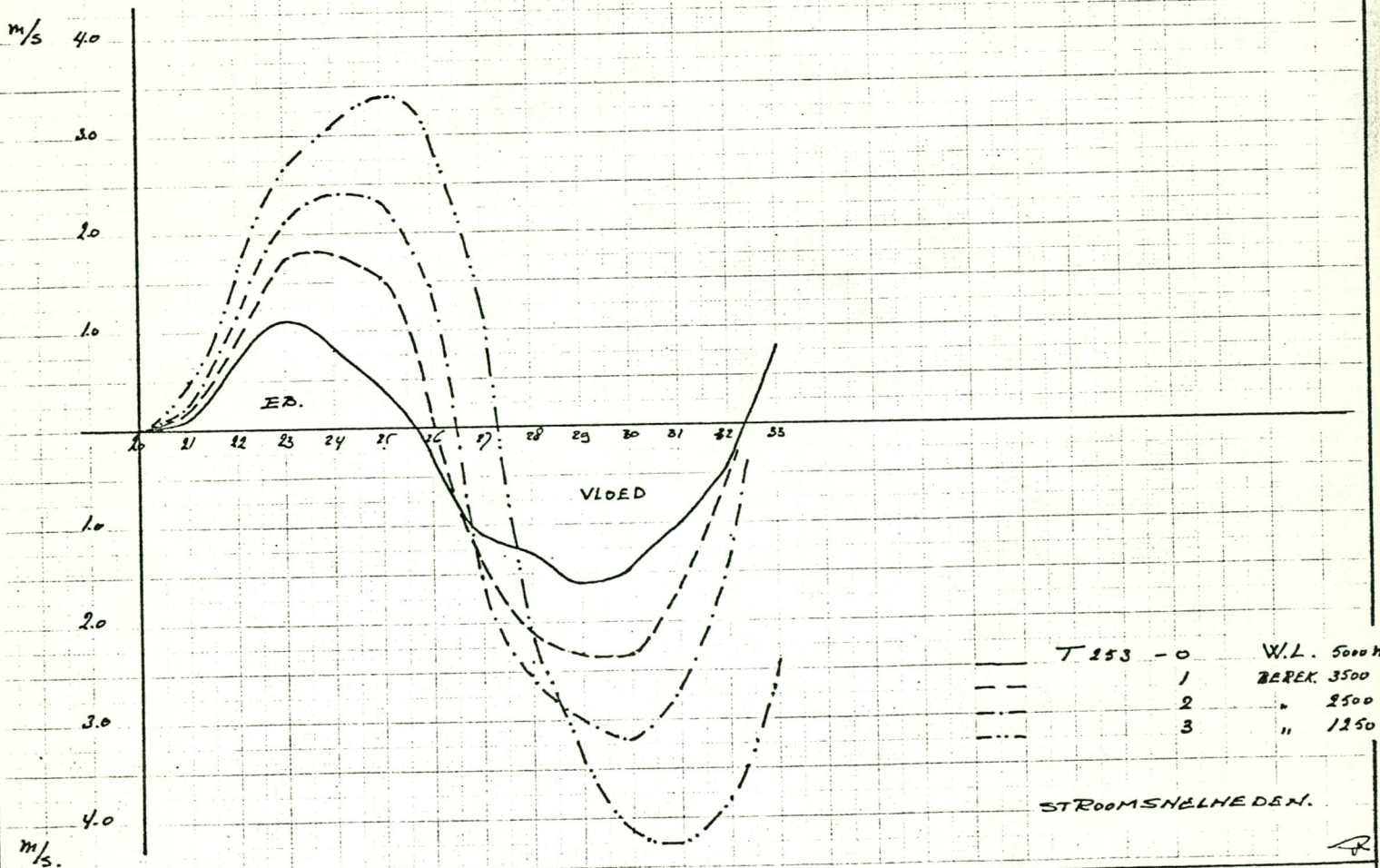
Tenslotte dient te worden onderstreept dat de berekende getijgegevens op sterke kombergingsschematisatie zijn gebaseerd zodat het aanbeveling verdient een en ander in het model te verifiëren. Bovendien blijkt uitbreiding van het onderzoek gewenst met betrekking tot de kleinere sluitgatopeningen.

Papendrecht, september 1979.



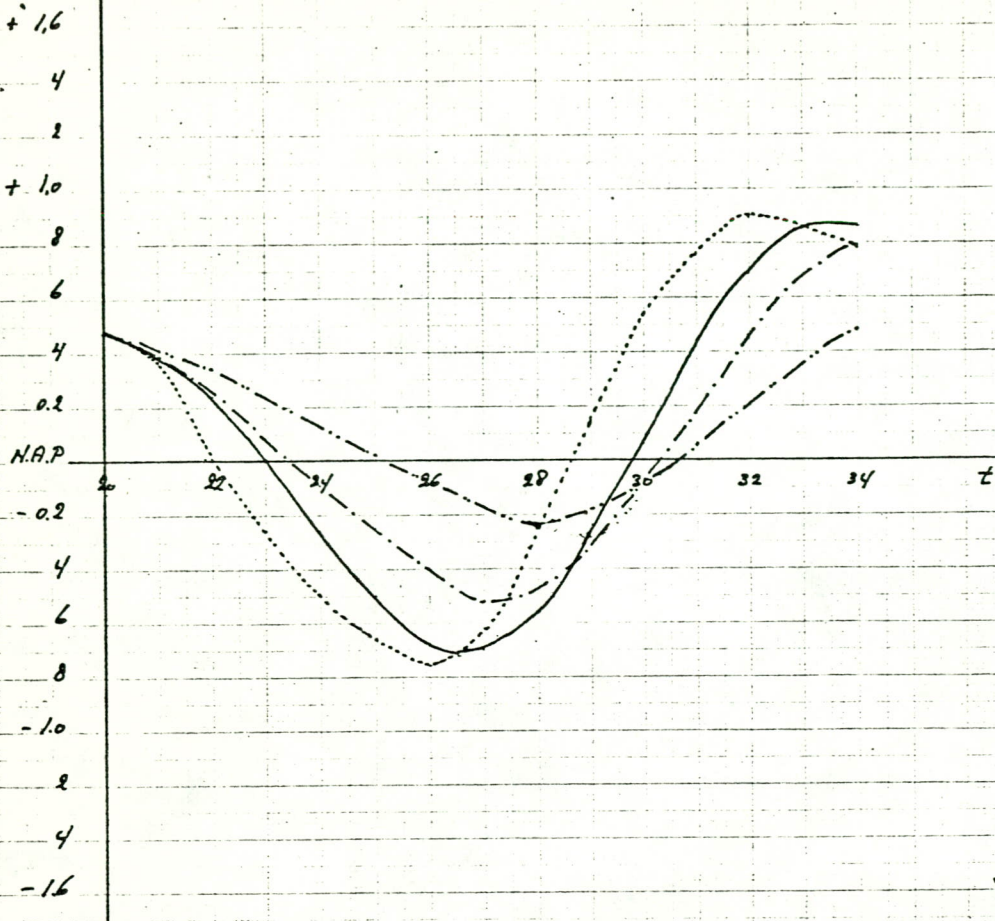


WATERSTANDEN.



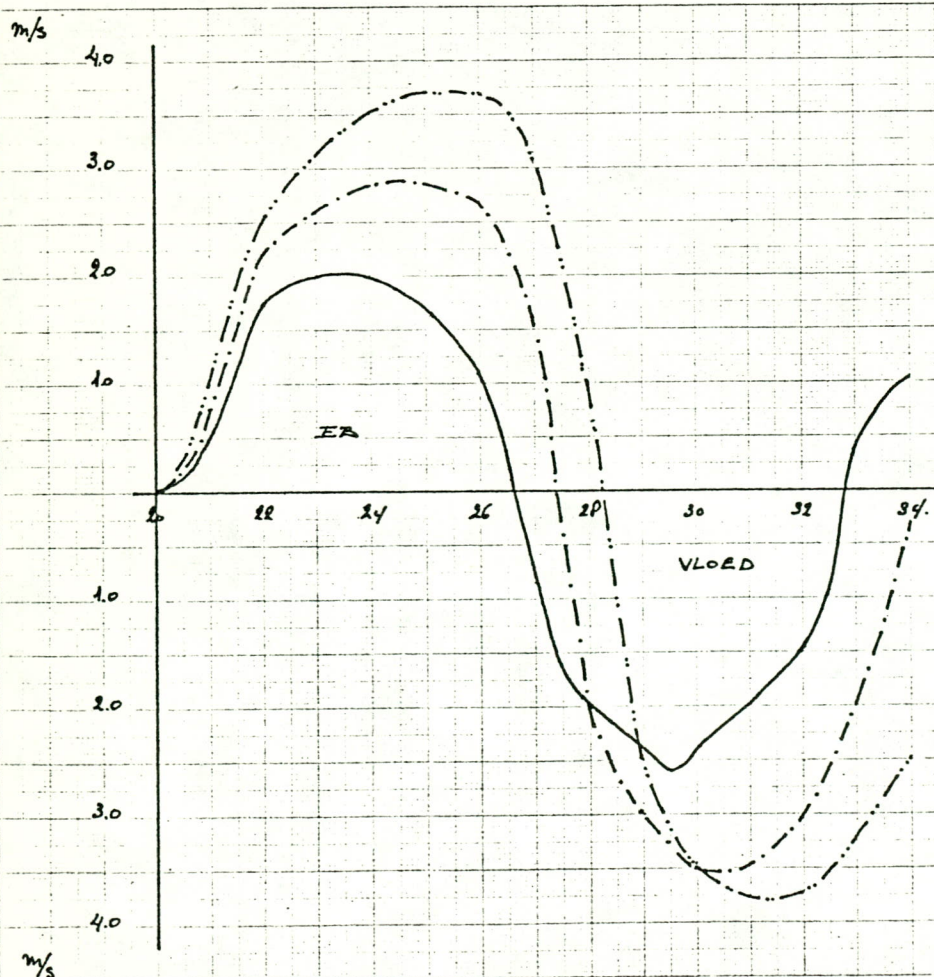
WATERSTANDS - EN SNELHEIDSVERLOOP BY T253

FIG. 1



$h_{\text{buiten}}$  T 255  
 $h_{\text{binnen}}$  T 255-0 WL 2030 m<sup>2</sup>  
 3 BER. 1250  
 4 BER. 625

WATERSTANDEN.

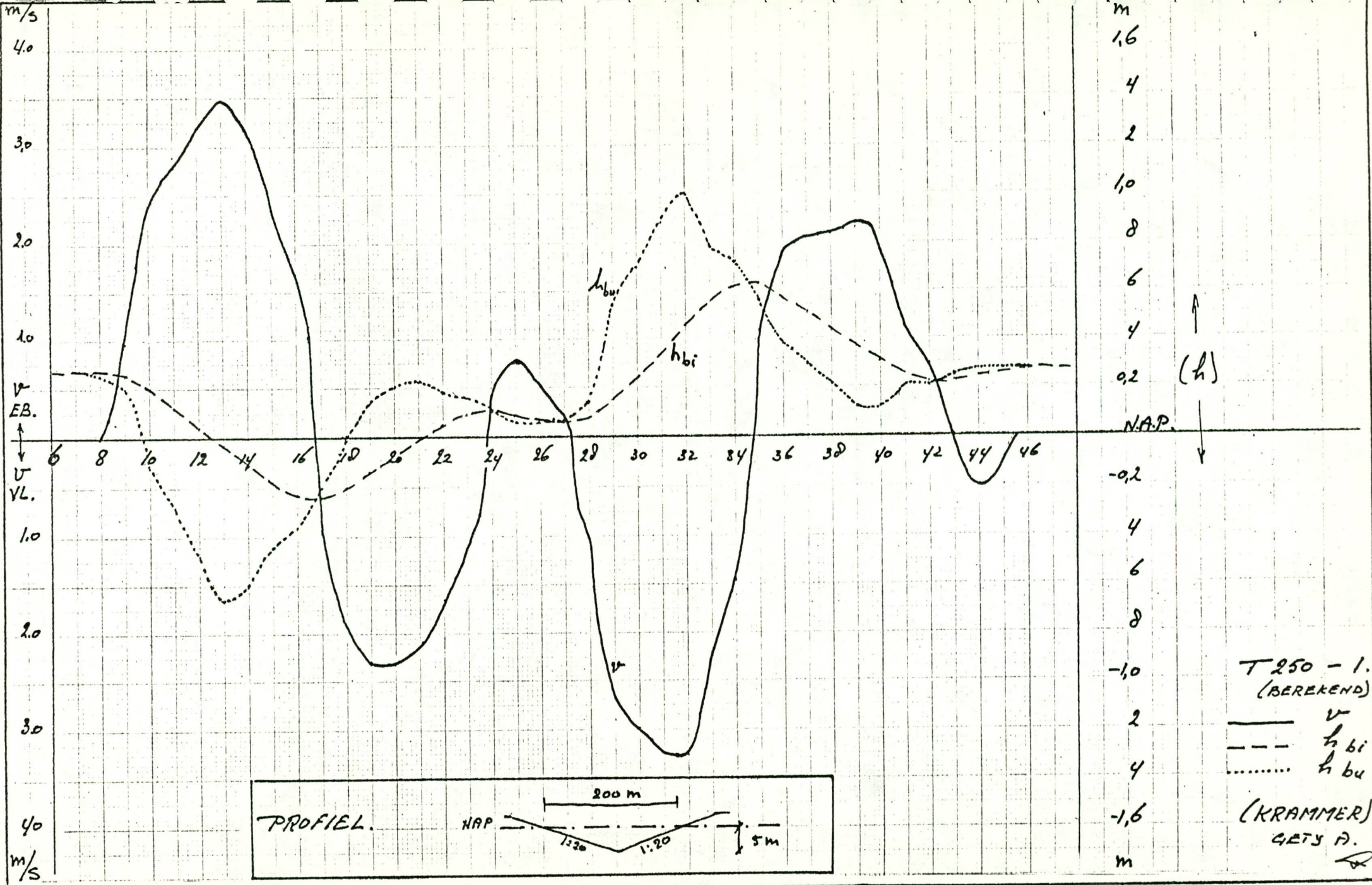


T 255-0 WL 2030 m<sup>2</sup>  
 3 BER. 1250 m<sup>2</sup>  
 4 BER. 625 m<sup>2</sup>

STROMSNELHEDEN

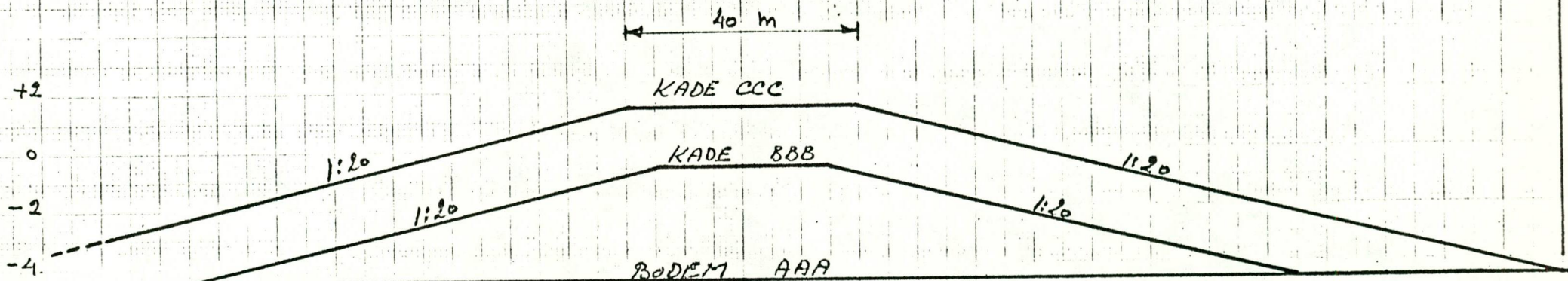
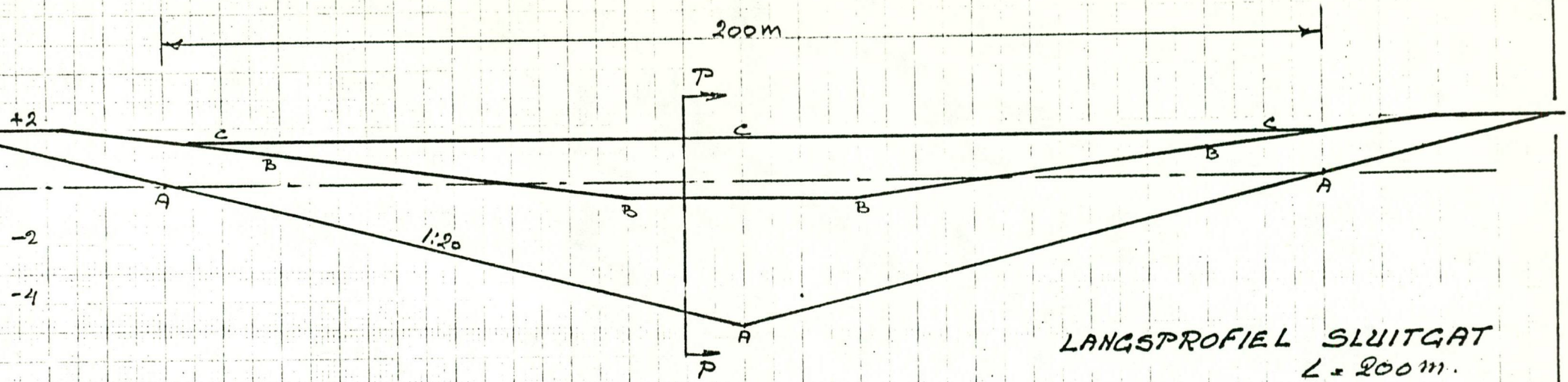
WATERSTANDS - EN SNELHEIDSVERLOOP BY T 255

FIG. 2



WATERSTANDS - EN SNELHEIDSVERLOOP BY T 250

FIG. 3

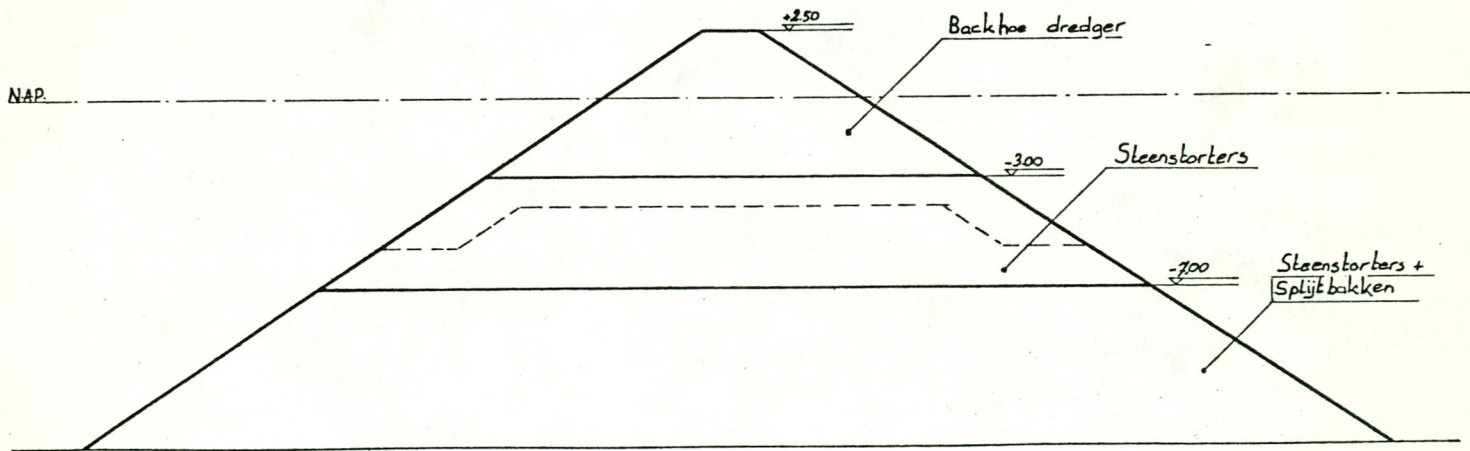
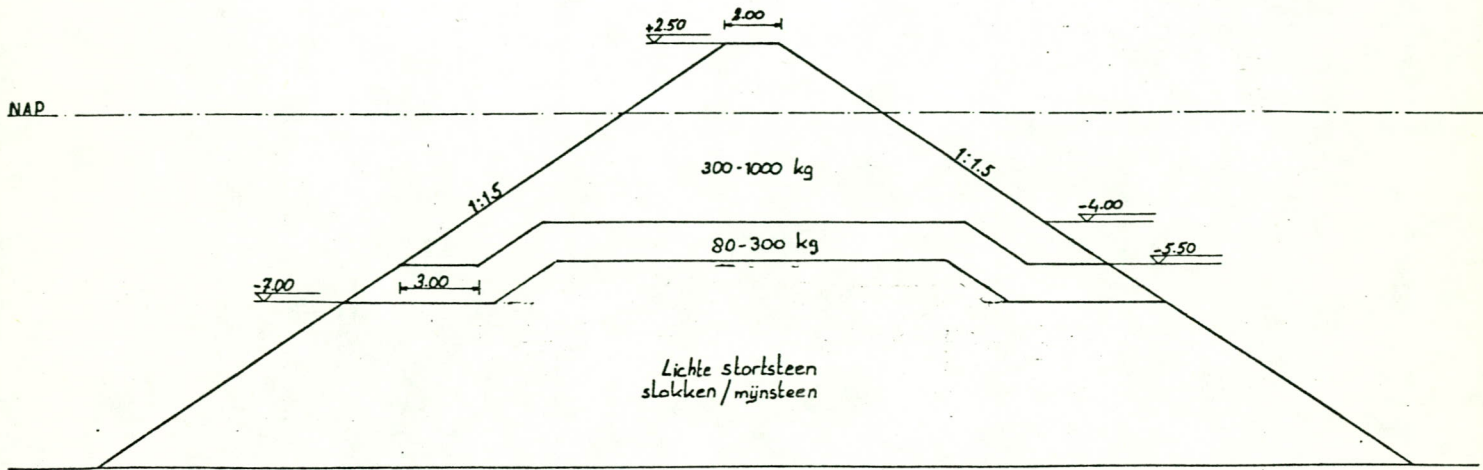


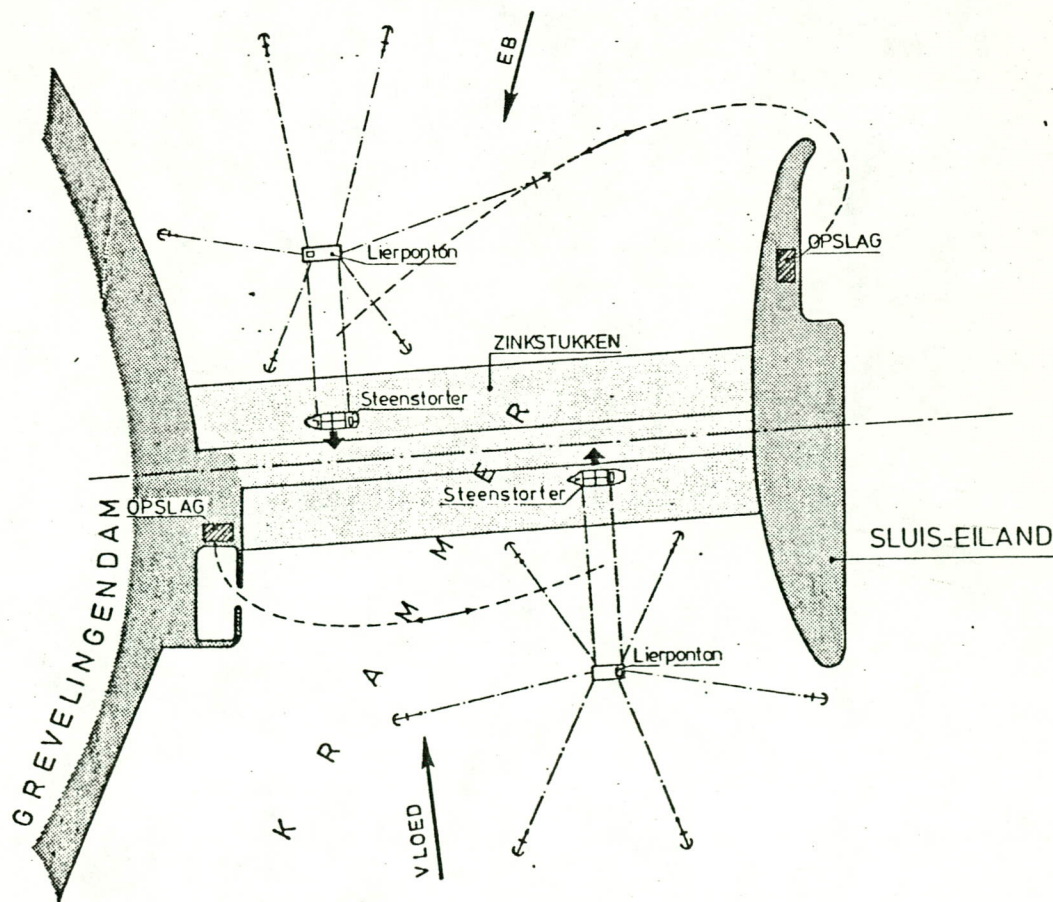
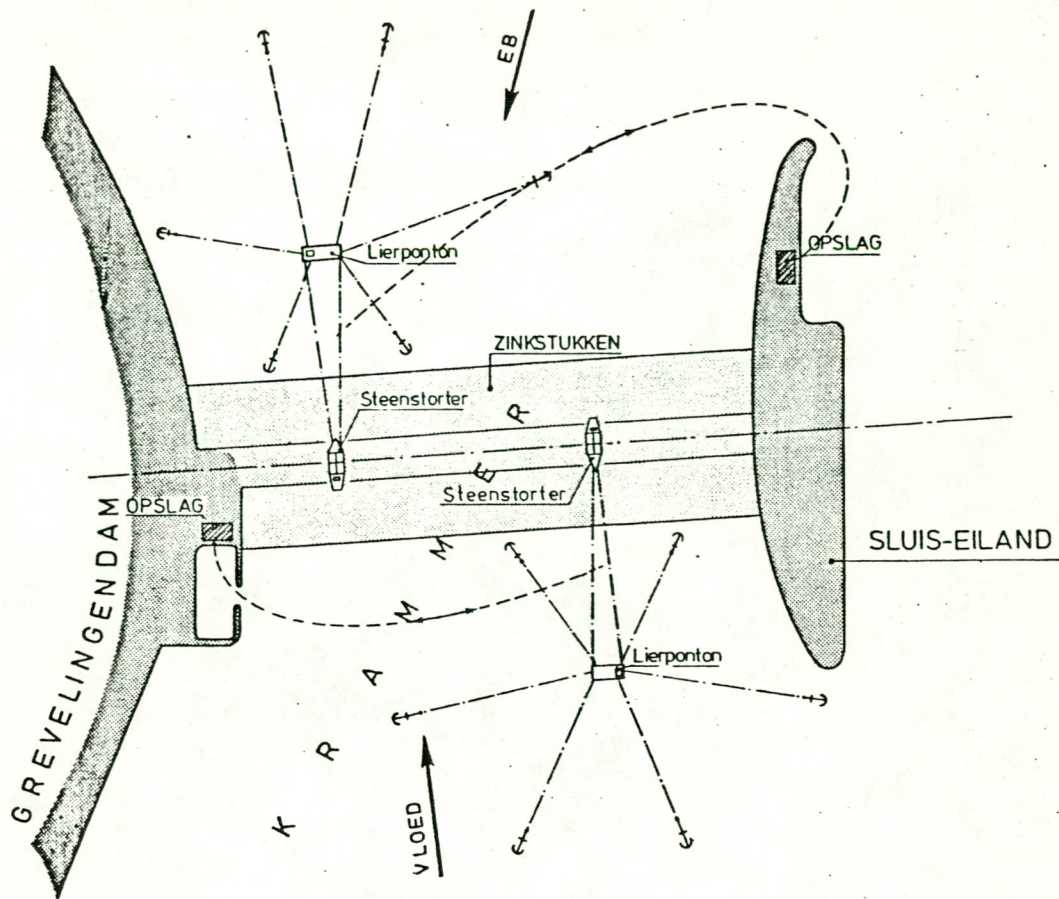
HOOR. 1:1000  
SCHAL: VERT. 1:200

PRIMAIRE KADE BBB  
H.W. - KADE CCC

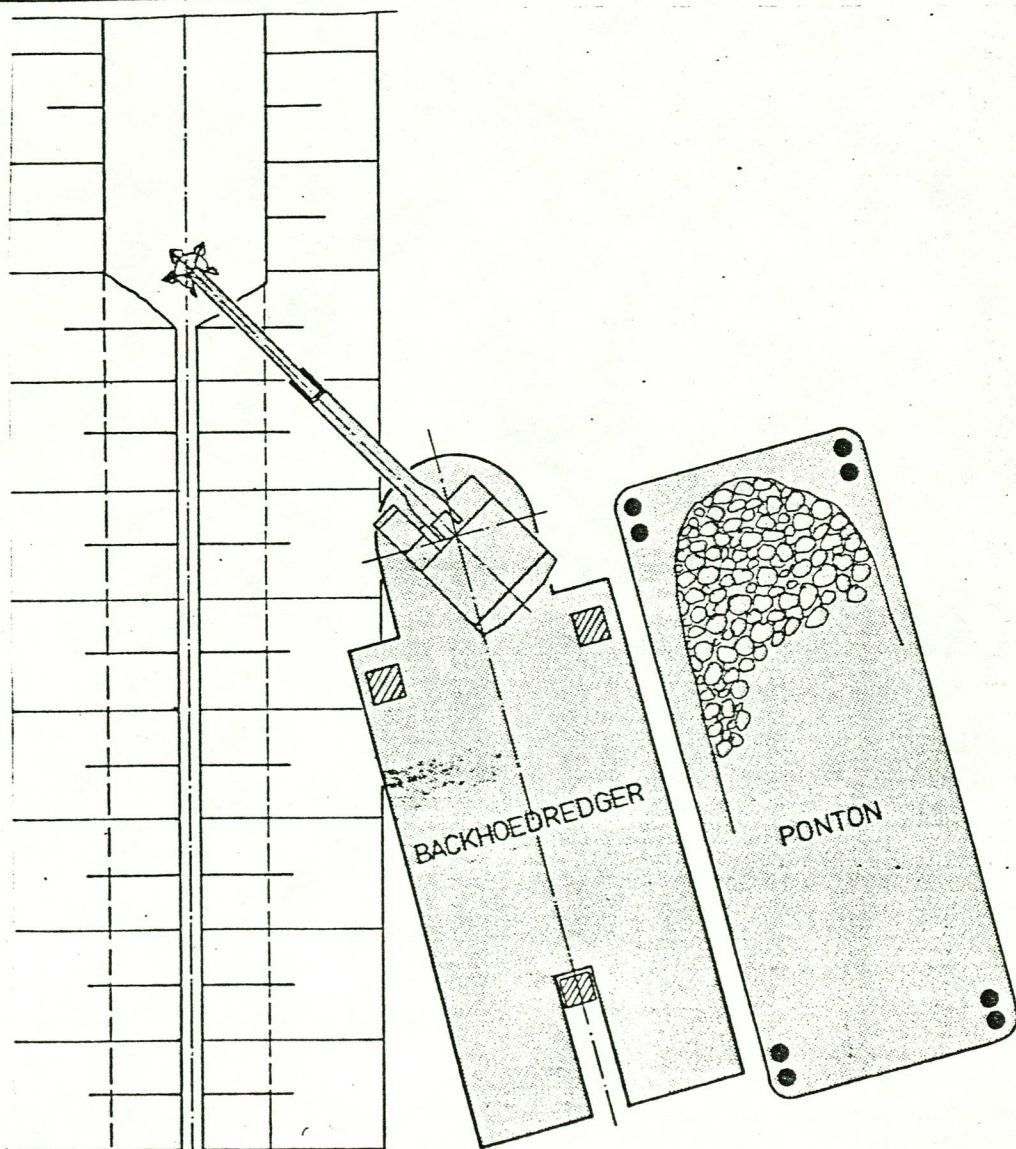
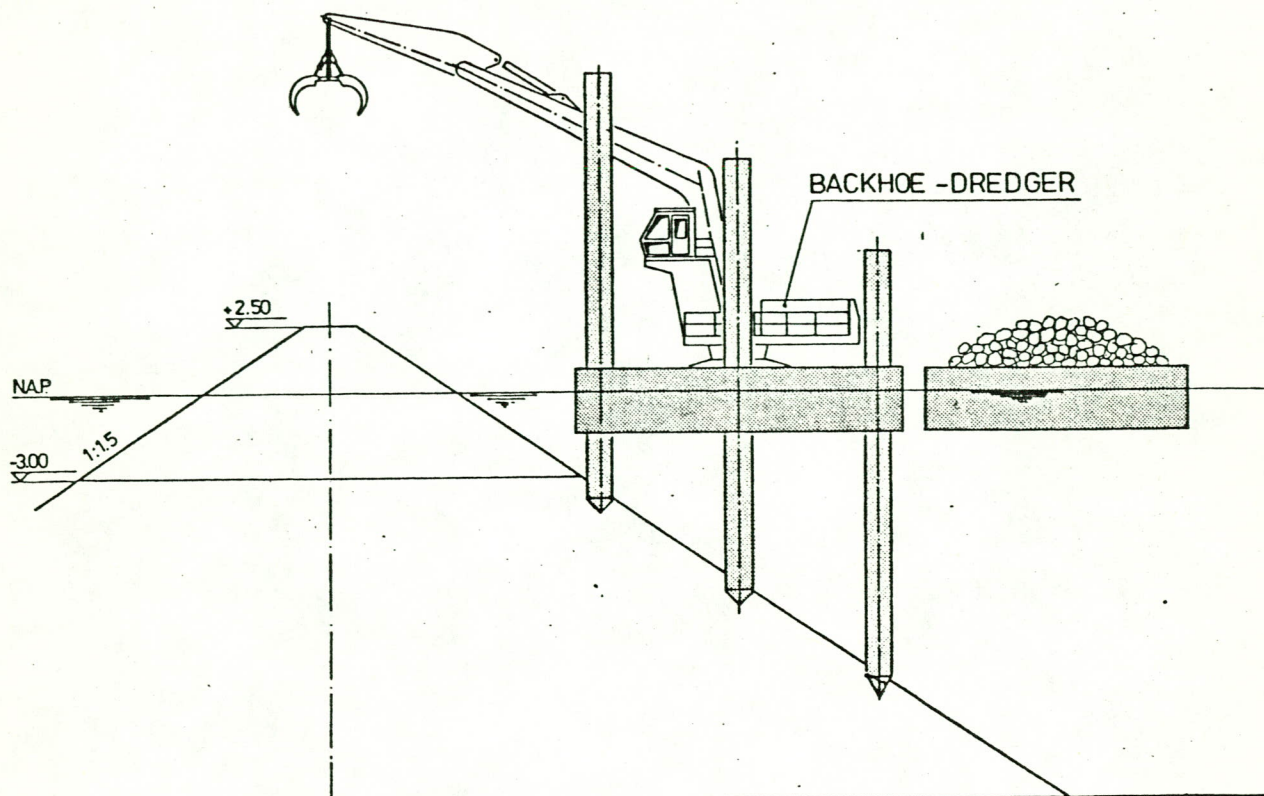
$450 \text{ m}^3/\text{m}'$   
 $\text{BBB} + 500 \text{ m}^3/\text{m}'$

4





STORTPOSITIES MET STEENSTORTERS



BOUWWIJZE STEENKADE OP DE DREMPEL

FIG. 7