

AFSLUITING BROUWERSHAVENSE GAT

ZUIDELIJK SLUITGAT

DEEL IV

VERSLAG MODELONDERZOEK

TEKST EN TABELLEN

BIBLIOTHEEK
Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Postbus 5044, 2600 GA DELFT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
DELFT

M 675

Bijvoegsel bij rapport: Afsluiting Brouwershavense Gat,
Zuidelijk sluitgat.

W.L. M 675-IV.

In dit rapport worden de te verwachten ontgrondingen als gevolg van de ebstroom beschreven.

De verschillende opbouwfasen van de sluitkade zijn gekozen aan de hand van het onderzoek met de vloedstroom (M 675-III), waarbij er naar is gestreefd de ontgrondingen direct onder de Schouwse oever tot een minimum te beperken. Uit het onderzoek is gebleken dat deze opbouwen ook voor de ebstroom goede resultaten opleveren.

Alhoewel door de wijze van opbouw van de sluitkade de plaats van de ontgrondingen vastligt, is de grootte ervan nog afhankelijk van verschillende factoren.

Als voornaamste kan worden genoemd de snelheid waarmee de dam wordt opgeworpen. Bij een gegeven maximum uurcapaciteit van de kabelbaan is het aantal werkuren per week maatgevend.

Daarnaast worden de stroomsnelheden in het zuidelijk sluitgat, en daarmee de ontgrondingen, beïnvloed door de voortgang van de werkzaamheden in het noordelijk sluitgat.

Bij de gunstigste combinatie van beide factoren voor het zuidelijk sluitgat (kabelbaan 140 uur/week en het noordelijk sluitgat sterk achterlopend op het zuidelijke; sluitingsschema a₂) bedraagt de maximum ontgroning ± 9 m.

In een ongunstiger geval (kabelbaan gemiddeld 50 uur/week, en aangepast aan noord waar 3 caissons per week worden geplaatst) wordt een verdieping van maximaal 14 m verwacht.

Grondmechanische overwegingen zullen bij de keuze tussen de verschillende mogelijkheden de doorslag moeten geven, waarbij moet worden bedacht dat een gunstige combinatie voor het zuidelijke sluitgat de situatie in het noordelijke ongunstig kan beïnvloeden.

Met de conclusies en aanbevelingen op blz.33 en 34 kan dezerzijds worden ingestemd.

's-Gravenhage, 28 juli 1970.

~~F. Spaargaren~~

(Ir. F. Spaargaren)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Afsluiting Brouwershavense Gat
Zuidelijk sluitgat

Deel IV

Verslag modelonderzoek

BIBLIOTHEEK
Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Postbus 5044, 2600 GA DELFT

3 SEP. 1991

M 675
maart 1970

INHOUD

	blz.
<u>1. Inleiding en samenvatting</u>	
1.1. Doel en opzet van het onderzoek.....	1
1.2. Samenvatting van de resultaten.....	2
<u>2. Inrichting van het model en van de metingen</u>	
2.1. Het model.....	7
2.2. De metingen.....	8
<u>3. Randvoorwaarden en ijking van het model</u>	
3.1. Beschikbare randvoorwaarden.....	10
3.2. Resultaten van de ijkingen.....	11
<u>4. Overzicht van de uitgevoerde metingen.....</u>	13
<u>5. Resultaten en interpretatie van het ontgrondingsonderzoek</u>	
5.1. Doel en werkwijze.....	15
5.2. Gemeten ontgrondingsprofielen.....	20
5.3. Tijdontgrondingslijnen.....	22
5.4. Berekening van α	23
5.5. Stroomkondities in het prototype.....	24
5.6. Berekening van t_1 -prototype voor drie extreme sluitingsprogram- ma's.....	27
5.7. De invloed van materiaal-aanvoer op de ontgroning in het prototype.....	29
5.8. Berekening van de maximale ontgrondingsdiepten.....	31
<u>6. Konklusies en aanbevelingen.....</u>	33
<u>Aanhangsel</u>	
Afleiding van de tijd-ontgrondingsrelaties voor niet-permanente stroom.	35

TABELLEN

- I Berekening van α ; gegevens en resultaten
- IIa, b, c, Berekening van t_1 -prototype; gegevens en resultaten
- IIIa, b, c, Resultaten van de ontgrondingsberekeningen

FIGUREN

(in aparte band)

1. Overzicht van het model.
2. Overzicht van het meetgebied.
3. Bouwfasen van de sluitkade.
4. Dwarsprofiel sluitgat ter plaatse van einde bodemverdediging.
5. Snelheidsverdeling TO in drie ijkraaien.
6. Snelheidsverdeling in bovenstroomse ijkraai voor drie bouwfasen.

- 7 ... 72
Ontgrondingsprofielen en tijd-ontgrondingslijnen.

- 73 ... 76
Debieten bij diverse sluitingsfasen volgens M 886.

77. Waterstanden bij diverse sluitingsfasen volgens M 886.

- 78a, b, c, Uitvoerings-tijdschema (resp. schema a1, schema b1, schema a2).
- 79a, b, c, Debietverloop bij de optredende bouwfasen.
- 80a, b, c, Verloop van waterstand en doorstroomprofiel.

- 81a, b, c ... 96a, b, c,
Tijdontgrondingslijnen voor het prototype.

- 97a, b, c, Te verwachten maximale ontgrondingsdiepten.

Afsluiting Brouwershavense Gat

Zuidelijk sluitgat

1. Inleiding en samenvatting

1.1. Doel en opzet van het onderzoek

In het detailmodel van het zuidelijke sluitgat van het Brouwershavense Gat (M 675) is reeds enige jaren geleden een vergelijkend onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden van een caissonsluiting en een geleidelijke sluiting van genoemd sluitgat, waarbij de konsekventies ten aanzien van de bodemaantasting in de omgeving van het sluitgat een belangrijk criterium vormden (zie rapport M 675 - deel III). Nadat mede op grond van dit onderzoek besloten was in het zuidelijke sluitgat van het Brouwershavense Gat een geleidelijke sluiting toe te passen, zijn in het model meer gedetailleerde proeven verricht ter bepaling van de volgorde der opbouwfasen van de sluitkade, de dimensionering van de bodemverdediging, de keuze van het tracé van de kabelbaan, de stabiliteit van het stortmateriaal en de tijdens de sluitingsprocedure te verwachten ontgrondingen. Al deze proeven, die eveneens beschreven zijn in het rapport M 675 - deel III, zijn uitgevoerd onder de als maatgevend beschouwde konditie van maximale vloed.

Om er zeker van te zijn dat het op deze wijze tot stand gekomen uitvoeringsplan voor de afsluiting ook voldoet ten opzichte van de minder sterke maar langer durende ebstroom, met name wat de te verwachten ontgrondingen betreft, werd besloten dit in het model te toetsen, zodat indien nodig nog detail-wijzigingen zouden kunnen worden aangebracht. Hiertoe moest het model worden verbouwd en worden ingericht voor eb-omstandigheden. Van deze gelegenheid kon worden gebruik gemaakt om het model aan te passen bij de nieuwe situatie, die was ontstaan met het ingebruiknemen van het overzichts-getijmodel van het Brouwershavense Gat M 886. Aan dit nieuwe overzichtsmodel konden namelijk voor het eb-onderzoek de randvoorwaarden worden ontleend, mits de bodemligging in M 675 op dezelfde peilingen werd gebaseerd als die in M 886.

Doordat intussen ook het systematische onderzoek naar geleidelijke sluitingen (M 731) was voortgezet, stonden materiaal en dwarsprofiel van de sluitkade al duidelijker vast dan aan het begin van het vloed-onderzoek. Nadat gebleken was dat de ontgrondingen in het model merkbaar beïnvloed werden door het al dan niet waterdoorlatend zijn van de dam, werd besloten het ontgrondingsonderzoek uit te voeren met een dam van los gestorte kubusvormige blokjes, daarmee

zo veel mogelijk de in het prototype optredende omstandigheden benaderd.

Tevens kon bij de uitwerking en interpretatie van de modelproeven gebruik worden gemaakt van de vorderingen die met het systematische ontgrondingsonderzoek, uitgevoerd onder de modelnummers M 847 en M 863, waren gemaakt. De samenwerking tussen algemeen systematisch onderzoek en specifiek modelonderzoek bij ontgrondingsverschijnselen en hun beider functies bij de vertaling van modelresultaten naar prototype-verwachtingen konden dankzij deze vorderingen veel duidelijker worden onderkend, en deze kennis kon, weliswaar pas na het uitvoeren van de proeven maar nog tijdens de uitwerking ervan, worden omgezet in een algemeen toepasbare methodiek voor het beschrijven en interpreteren van ontgrondingsonderzoek.

In het onderhavige verslag zal eerst in het kort de inrichting van het model en van de metingen worden beschreven, vervolgens de ijking van het model worden besproken en een overzicht worden gegeven van de uitgevoerde metingen. Tenslotte zullen de resultaten van het onderzoek en de interpretatie daarvan zo doelgericht mogelijk worden weergegeven. Het verslag is samengesteld door ir. W.H.P. Schukking, die ook met de uitvoering van het onderzoek was belast.

1.2. Samenvatting van de resultaten

Uitgaande van het voor vloed-omstandigheden opgestelde uitvoeringsplan voor de afsluiting van het zuidelijk sluitgat van het Brouwershavense Gat, zijn voor een drietal sluitingsprogramma's de maximale ontgrondingsdiepten bepaald die tengevolge van de ebstroom benedenstrooms van het einde van de bodemverdediging kunnen worden verwacht. De drie sluitingsprogramma's, waarin ook de afsluiting van het noordelijk sluitgat is betrokken, zijn geselecteerd uit acht door Rijkswaterstaat opgestelde varianten van het tijdschema voor de sluitingsprocedure; twee ervan hebben betrekking op zeer ongunstige situaties (hoge stroomsnelheden, lange sluitingsduur), de derde geeft de voor het zuidelijk sluitgat gunstigste variant.

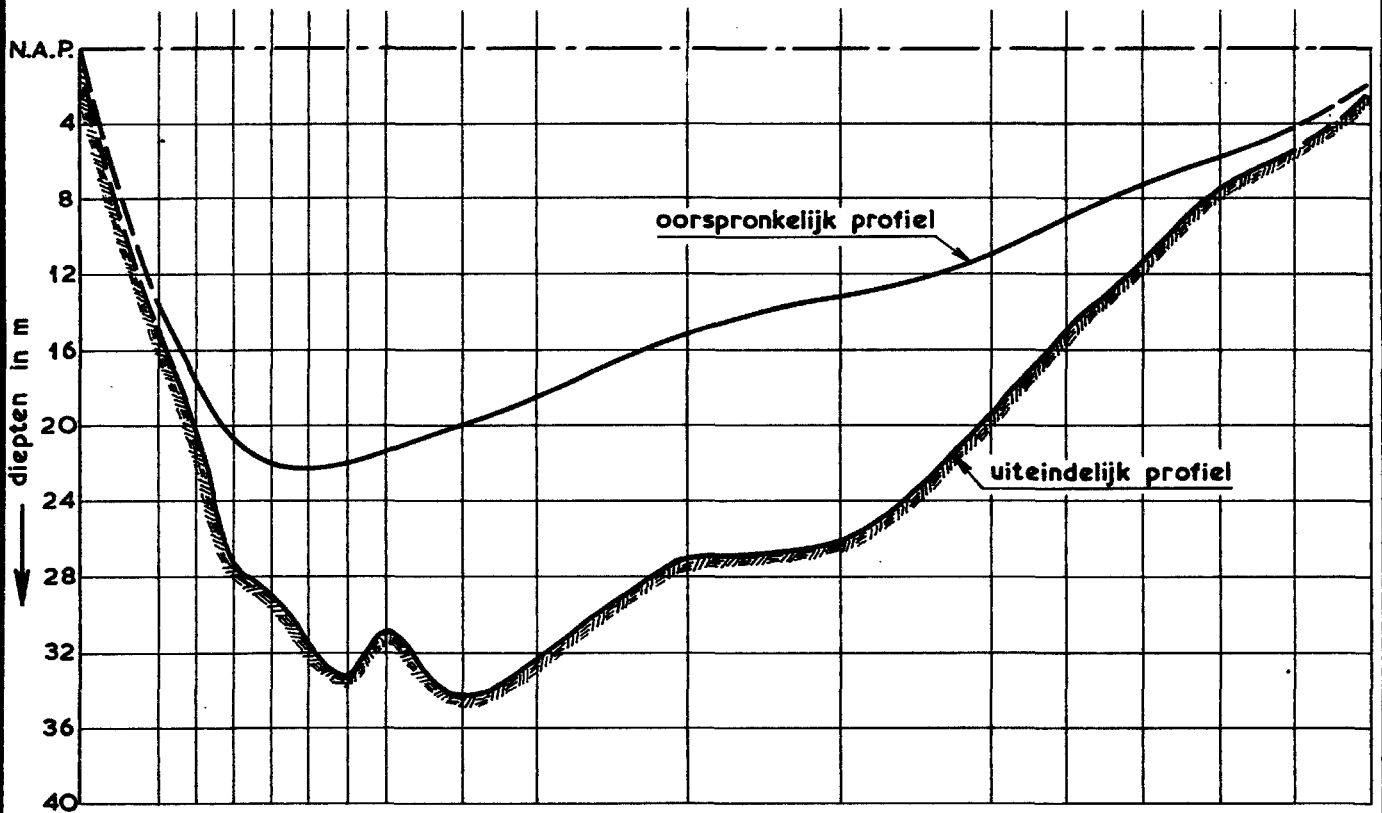
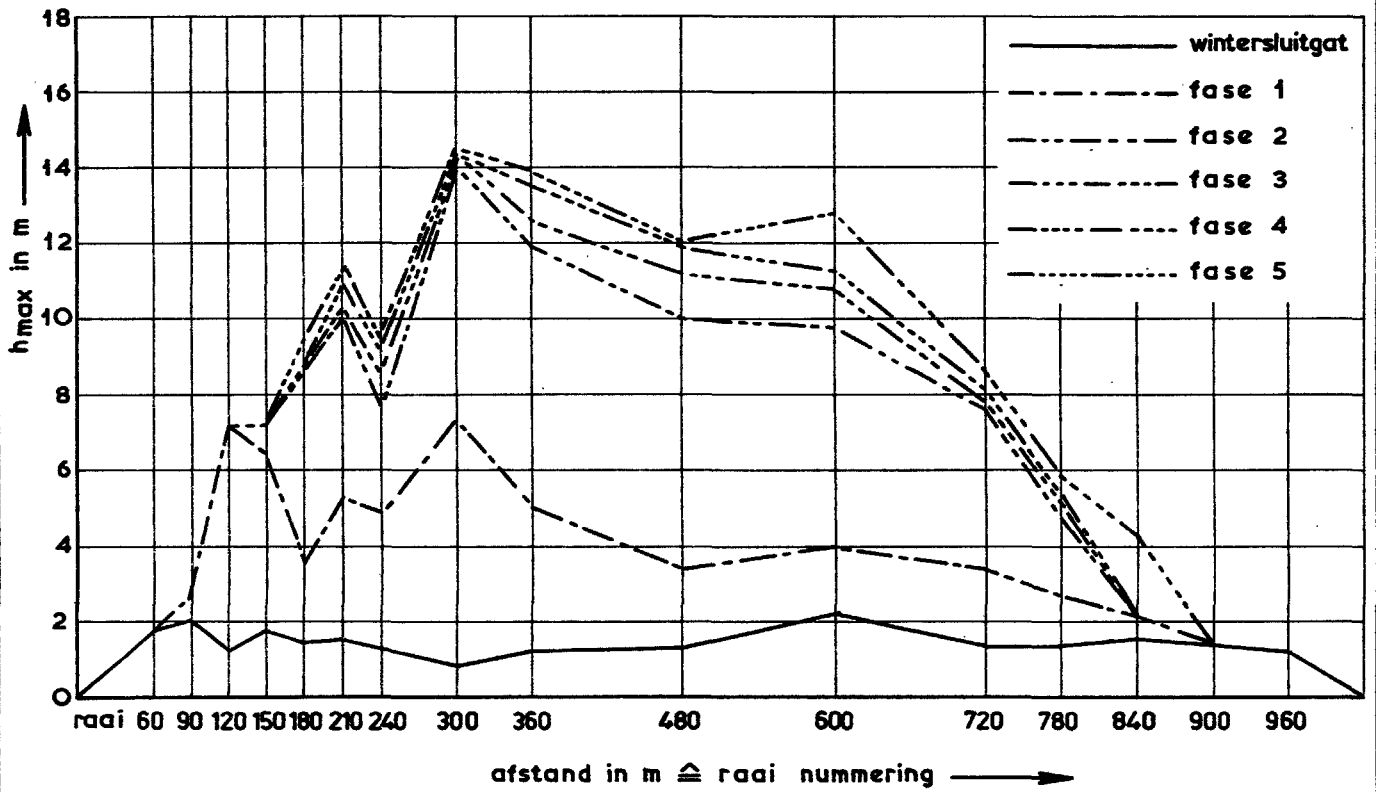
In het ongunstigste geval treden maximale verdiepingen op van 13 à 14 meter en komt het diepste punt van de geul te liggen op ongeveer N.A.P. - 34 meter. In het gunstigste geval bedragen de maximale verdiepingen 8 à 9 meter en wordt de grootste diepte van de geul ongeveer N.A.P. - 29 meter. In beide gevallen treedt de sterkste ontgroning niet direkt onder de Schouwse oever op

op maar verder naar het midden van het sluitgat, zodat het diepste punt van de geul zich tijdens de ontgroning van de oever af beweegt. In de figuren 97a, b en c zijn deze resultaten samengevat, terwijl in de tabellen IIIa, b en c de uitkomsten van de berekeningen in getalvorm zijn gegeven.

Om de hanteerbaarheid van het verslag te bevorderen zijn de bijbehorende figuren in een aparte band gebundeld. Voor de overzichtelijkheid zijn echter bovengenoemde figuren 97a, b en c bovendien direkt achter dit hoofdstuk in de tekst opgenomen. De tabellen bevinden zich achter in deze band van het verslag.

N.B.

Bij het ter perse gaan van dit verslag kwam een fout aan het licht in de berekening van t_1 -prototype, waardoor de ontgroningstijden in het prototype systematisch 5 à 10 % te hoog zijn aangegeven. Als gevolg hiervan zijn de berekende ontgrondingsdiepten over de gehele lijn ongeveer 2 à 5 % te klein. Gezien de geringe fout werd het niet noodzakelijk geacht alle uitkomsten alsnog in detail te korrigeren. Wel verdient het aanbeveling de gesignaleerde afwijking te verdiskontereren in de marge, die wegens onzekerheden in de berekeningen bij het beoordelen van de uitkomsten in acht genomen moet worden.



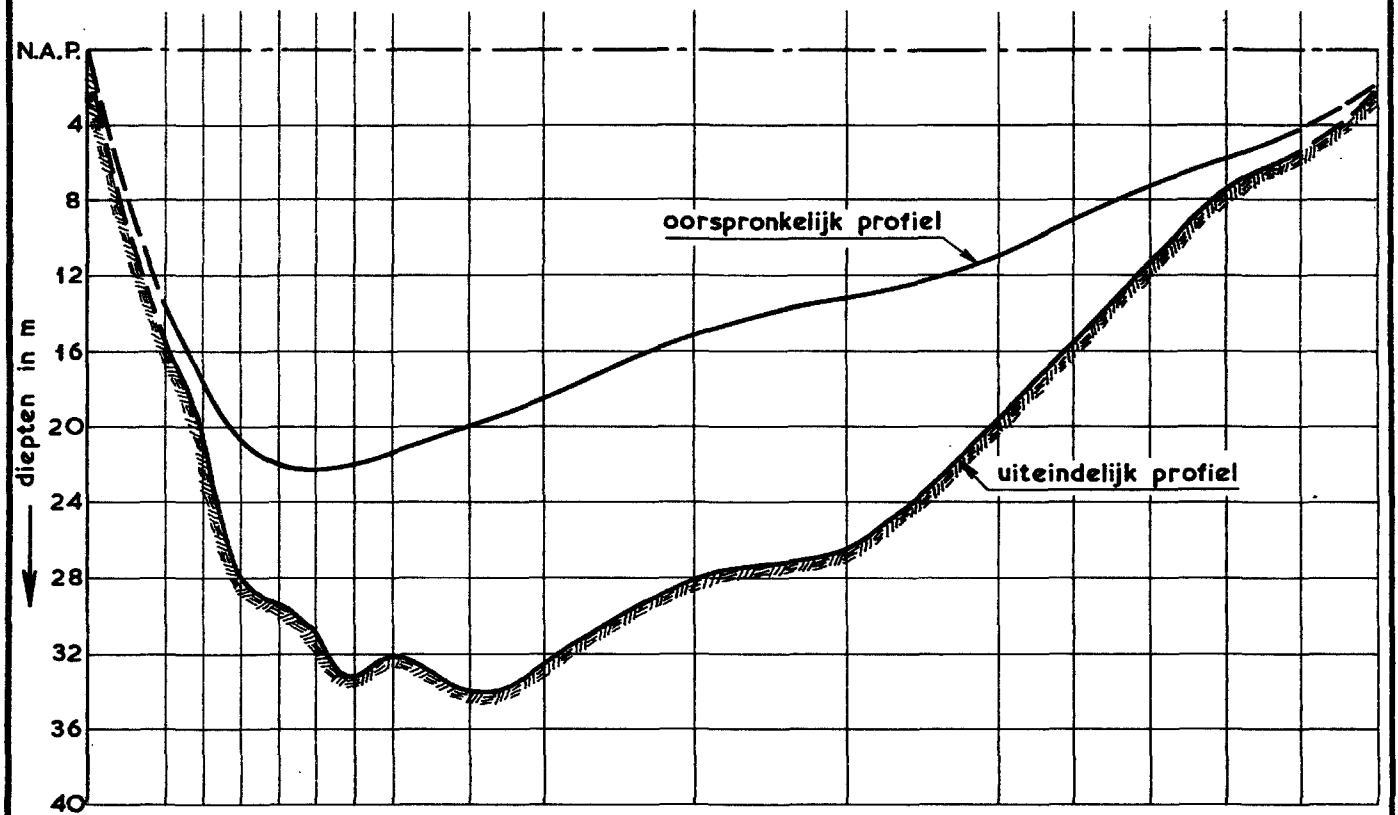
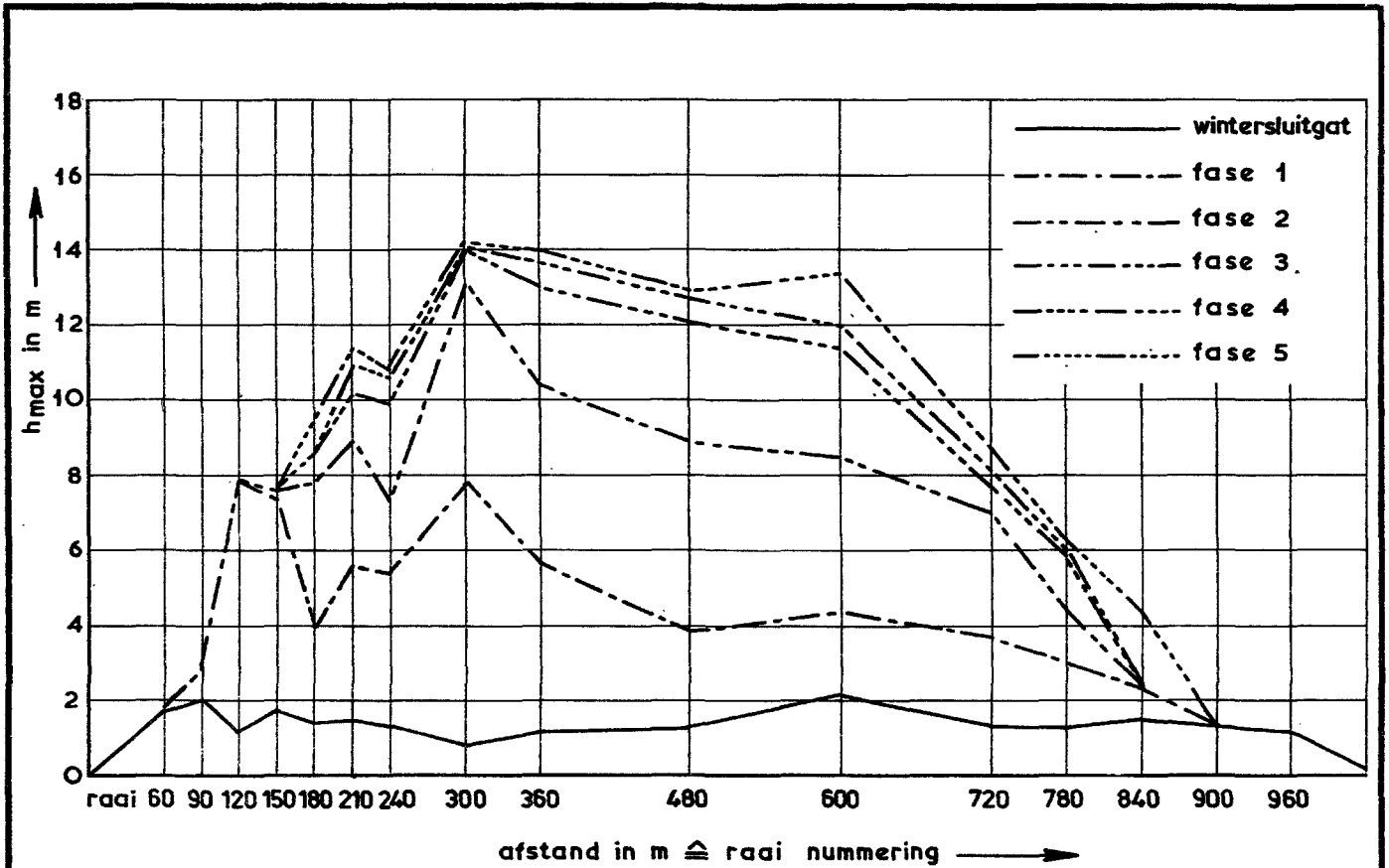
TE VERWACHTEN MAXIMALE ONTGRONDINGSDIEPTEN

SLUITINGSSCHEMA a 1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 675

FIG. 97 a



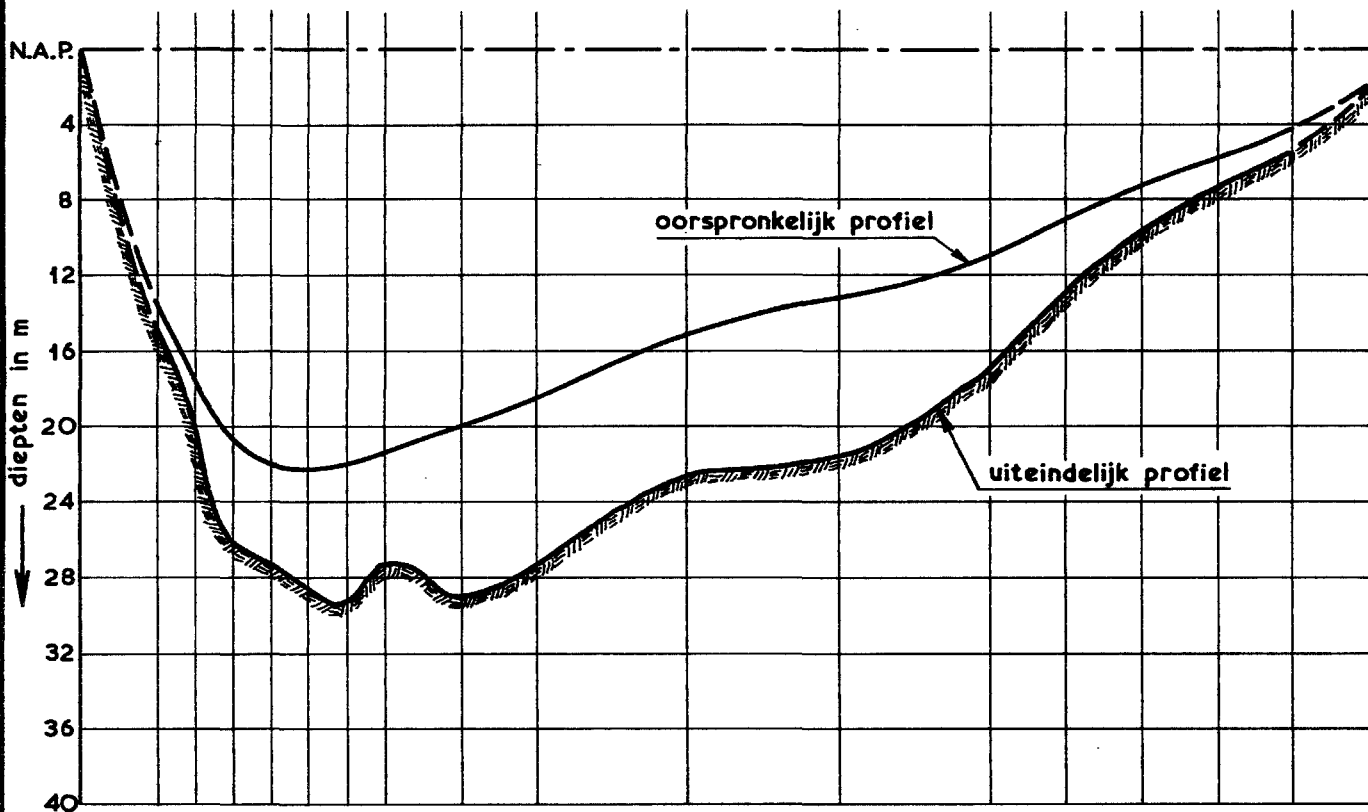
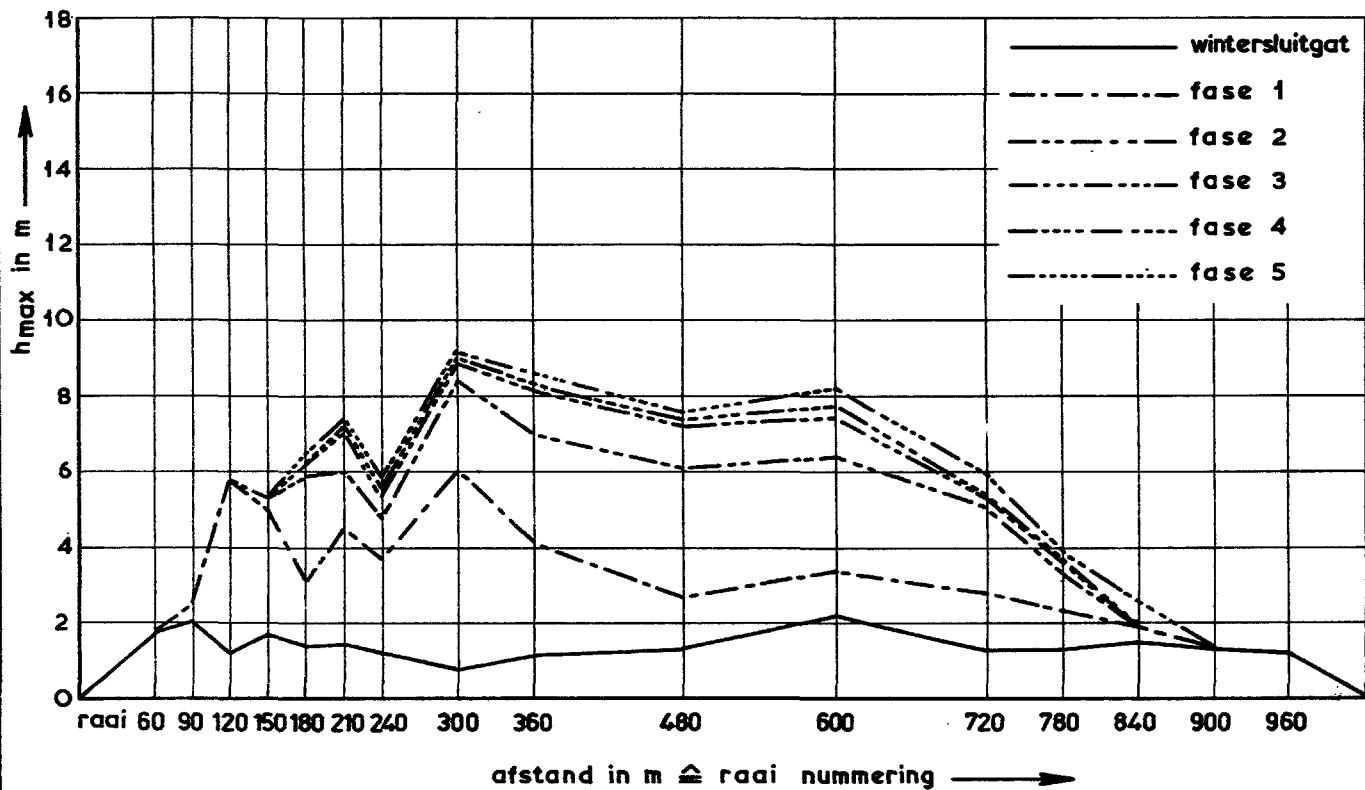
TE VERWACHTEN MAXIMALE ONTGRONDINGSDIEPTEN

SLUITINGSSCHEMA b 1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 675

FIG. 97 b



TE VERWACHTEN MAXIMALE ONTGRONDINGSDIEPTEN

SLUITINGSSCHEMA a 2

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 675

FIG. 97 c

2. Inrichting van het model en van de metingen

2.1. Het model

Het model M 675 ligt in de open lucht op het terrein van het laboratorium De Voorst. De horizontale schaal en de verticale schaal zijn gelijk en bedragen $n_l = n_h = 60$. Het model is ingericht voor bedrijf met permanente stroom; de watertoevoer geschiedt door middel van twee gekoppelde automatische romijnstuwen, waarmee een konstant debiet van bekende grootte kan worden ingesteld. Aan de benedenstroomse zijde van het model bevindt zich een rand bestaande uit zes kleppen, waarmee de waterstand in het model kan worden geregeld. De instelling van het peil kan worden gecontroleerd met een peilnaald benedenstrooms of bovenstrooms van het tracé. Voor het verkrijgen van een juiste snelheidsverdeling over het dwarsprofiel van het sluitgat wordt gebruik gemaakt van twee roosterwerken, één bovenstrooms en één benedenstrooms van het damtracé. Zie voor een overzicht van het model figuur 1.

Bij de verbouwing van de vloed- naar de ebsituatie is de oriëntatie van het model dezelfde gebleven en zijn aan- en afvoorzijden van plaats verwisseld. De modelbodem werd voor een groot gedeelte afgebroken en opnieuw uitgezet volgens de bouwtekeningen van het overzichtsmodel van het Brouwershavense Gat M 886, die gebaseerd waren op de lodingen in het prototype van 1965. Voor de omgeving van de voormalige "bult" nabij West-Repart is echter de situatie van juni 1967 aangehouden, op welk tijdstip genoemde bult inmiddels was weggebaggerd.

Benedenstrooms van het tracé is ter plaatse van de te onderzoeken ontgroningen de betonbodem vervangen door beweegbaar bodemmateriaal, waarvoor grof bakeliet is gebruikt. Hiertoe is over de gehele breedte van het sluitgat een bak gebouwd van 60 cm diep en 9 m lang. Een tweede bak verder benedenstrooms, de zogenaamde bakelietvang, dient om het door de stroom meegevoerde materiaal de gelegenheid te geven te bezinken voordat het water buiten het model in de afvoersloot terecht komt. Een aanvankelijk gebouwde overstortrand aan de bovenstroomse zijde van het model, bedoeld om de instroming gunstiger te maken, moest worden verwijderd wegens de te hoge waterstanden die door de opstuwung bleken op te treden benedenstrooms van de romijnstuwen. Desondanks kon daarna door de relatief grote lengte van het model een goede aanstroming eenvoudig worden gerealiseerd, en was het stroombeeld zelfs aanmerkelijk rustiger dan voorheen.

Na de ijking van het model is in de onmiddellijke omgeving van het damtracé in het model een bodemverdediging aangebracht volgens de gegevens uit het prototype (zie figuur 2). Hiervoor werd dakleer gebruikt, beplakt met steenslag van $d = 0,5$ à $1,0$ cm, ongeveer overeenkomend met een zinkstuk afgedekt met stortsteen van 80 - 300 kg. Op deze bodemverdediging zijn achtereenvolgens de verschillende uitvoeringsfasen van de sluitkade gebouwd volgens figuur 3. De blokken die voor de sluitkade gebruikt werden, waren kubusvormig met een ribbe van 1,9 cm. Dat is iets groter dan blokken van 1 m^3 op schaal 1 : 60, hetgeen gunstig is gezien de wenselijkheid de strooms door de dam zo veel mogelijk turbulent te houden.

2.2. De metingen

De volgende metingen zijn in het model verricht: profielmetingen, stroomsnelheidsmetingen en ontgrondingsmetingen. Waterstanden werden tijdens het stromen regelmatig gecontroleerd.

Profielmetingen zijn uitgevoerd met een waterpasinstrument. In aanmerking voor opmeten kwamen de dwarsprofielen over de geul ter plaatse van de bovenstroomse en benedenstroomse ijkraai, het damtracé en het benedenstroomse einde van de bodemverdediging. Bij de opbouw van de sluitkade waren kruinlijn en damprofiel van belang.

De stroomsnelheden zijn aanvankelijk gemeten met behulp van een Ottmolen, naderhand ook met een mikromolen. De Ottmolen is gebruikt bij de ijking van het model; nadat in de ijkraaien eerst een aantal verkennende metingen is gedaan, waarbij de snelheid op 0,4 van de waterdiepte vanaf de bodem werd gemeten en op grond daarvan het roosterwerk werd aangepast, zijn bij de definitieve bepaling van de snelheidsverdeling volledige vertikalen doorgemeten en door planimetreren de gemiddelde snelheden daarin berekend. De meettijd bedroeg steeds een halve minuut. Tijdens de ontgrondingsproeven zijn de horizontale snelheidsverdelingen bepaald ter plaatse van de tracé-as en het benedenstroomse einde van de bodemverdediging. Aanvankelijk werden deze snelheden op dezelfde wijze gemeten als tijdens de ijking; toen echter bleek dat vooral bij wat hogere drempels de turbulentie in het water zodanig toenam dat de betrouwbaarheid van de Ottmolenmetingen onzeker werd, is overgegaan op het gebruik van mikromolens. De meettijd, die bij de mikromolenmetingen eerst ook op een halve minuut was gehouden, werd

later opgevoerd tot twee minuten om het effect van langzame snelheidsfluctuaties op de meetuitkomsten te verminderen. Het feit, dat in buitenwater gemeten werd, maakte deze metingen moeilijk uitvoerbaar wegens de vervuiling van de mikromolens door slibdeeltjes en wierdraden. De reproduceerbaarheid van de snelheidsmetingen was dan ook, vooral in de situaties met hogere dammen, niet erg groot.

De ontgrondingen benedenstrooms van de bodemverdediging zijn bepaald door middel van een baak met schaalverdeling die met zijn voet op het bakeliet werd geplaatst, en een waterpasinstrument waarmee de verticale verplaatsing ten opzichte van een nulniveau kon worden afgelezen. Voor de metingen was een vast stramien ontworpen, bestaande uit een aantal meetraaien dwars over de geul op afstanden van 25 cm en verder benedenstrooms 50 cm van elkaar, met daarop gefixeerd een aantal meetpunten op onderlinge afstand van 50 cm (zie figuur 2). Gepeild werd aan het begin van een proef, nadat het model gevuld was, bij stilstaand water en vervolgens na $1/2$, 1, 2, 3, 5 en 7 uur stromen. De duur van een peiling bedroeg gemiddeld 20 minuten; de metingen werden zo uitgevoerd, dat ongeveer de helft van deze meettijd voor en de helft na het tijdstip viel, waarop de peilingen werden betrokken. Een tijdsverschuiving tussen de meetpunten onderling is niet in rekening gebracht.

3. Randvoorwaarden en ijking van het model

3.1. Beschikbare randvoorwaarden

In figuur 3 is een schema gegeven van de uitvoeringsfasen van de sluitkade, zoals dat op grond van de resultaten van het vloed-onderzoek en de uitvoeringstechnische gegevens en eisen voor de sluiting van het zuidelijk sluitgat van het Brouwershavense Gat is opgesteld. Gevraagd werd de ontgrondingen tengevolge van de ebstroom te bepalen bij zes situaties, te weten de toestand met wintersluitgat en de bouwfasen 1 t/m 5. Deze laatste vormen in feite vijf momentopnamen van het proces van de geleidelijke sluiting.

Voorafgaand aan de instelling in het model van de stroomtoestanden bij de genoemde zes uitvoeringsfasen werd een TO-toestand gestroomd, waarbij de uitbouw van het damvak-Middelplaat, de bodemverdediging in de geul en de 2 meter hoge drempel, aanwezig in de wintersluitgatfase, nog niet waren aangebracht. De in deze toestand optredende snelheidsverdelingen bij maximale ebstroom werden in het getijmodel van het Brouwershavense Gat M 886 gemeten in drie raaien, de bovenstroomse ijkraai, de tracé-raai en de benedenstroomse ijkraai (figuur 1); tevens werd de bijbehorende waterstand te Repart gemeten.

Bovendien stonden enkele snelheidsmetingen vlak onder de Schouwse oever in de onmiddellijke nabijheid van het tracé ter beschikking, die in het prototype waren verricht (stroommeting d.d. 26 en 27 april 1967). Uit een vergelijking van de getijlijnen kon bij benadering het tijdstip worden vastgesteld, waarop de stroomverdelingen van deze prototypemetingen ongeveer met die van M 886 (waarbij uitgegaan was van het getij van 26 oktober 1965) zouden moeten overeenkomen. Hiermee werd dus nog een extra controle verkregen op de voor de ontgrondingen zo belangrijke stroomcondities ter plaatse van het aansluitpunt van de dam op de Schouwse oever.

De stroomtoestanden optredende tijdens de uitvoeringsfasen konden eveneens in het overzichtsmodel M 886 worden vastgesteld. Aangezien echter bij de afsluiting van het Brouwershavense Gat het noordelijke en zuidelijke sluitgat gelijktijdig zullen worden gesloten, worden deze stroomtoestanden mede bepaald door het uitvoeringsschema voor het noordelijke sluitgat. Dit uitvoeringsschema kan echter pas definitief worden opgesteld wanneer de te verwachten ontgrondingen in het zuiden bekend zijn en dus na afloop van het onderzoek in M 675. Om uit

deze cirkelgang te komen is verondersteld, dat wel de grootte van het totale debiet door het zuidelijke sluitgat afhankelijk is van de sluitingsfase in het noorden, maar dat deze afhankelijkheid voor wat de stroomverdeling betreft verwaarloosbaar te achten is. Dit houdt in, dat de aan M 886 ontleende snelheidsgegevens wat de verdeling over het dwarsprofiel betreft zonder meer als randvoorwaarde konden worden aangehouden, maar dat de absolute grootte nog kon variëren. Met andere woorden, tijdens de proeven in M 675 stond de snelheidschaal niet precies vast. Dit is geen bezwaar voor de uitvoering van de ontgrondingsproeven; pas bij de interpretatie van de meetresultaten moeten de stroomkondities in het prototype volledig bekend zijn.

Voor drie uitvoeringsfasen in het zuidelijke sluitgat werden de in M 886 gemeten snelheidsverdelingen zo goed mogelijk in M 675 gereproduceerd, namelijk voor de wintersluitingsfase, voor fase 2 en voor een bouwphase die ligt tussen fase 5 en fase 6, fase 5a genoemd (zie figuur 3). De snelheidsverdelingen bij deze toestanden werden uitsluitend in de bovenstroomse ijkraai gecontroleerd, daar metingen in het tracé in M 886 minder goed uitvoerbaar waren, en de stroomverdeling in de benedenstroomse ijkraai van minder belang voor de ontgroningen geacht werd en door enig verschil in de bodemliggingen minder goed vergelijkbaar was. Voor de tussengelegen bouwfasen werden de randvoorwaarden, dat wil zeggen de verdeling van de latten in het bovenstroomse roosterwerk, geïnterpoleerd; de wijzigingen waren gering. Behalve de snelheidsverdelingen werden voor de wintersluitingsfase, fase 2 en fase 5a tevens de korresponderende waterstanden te Repart uit M 886 verkregen.

3.2. Resultaten van de ijkingen

De resultaten van de snelheidsmetingen bij de diverse instellingen van het model zijn weergegeven op de figuren 5 en 6.

Op figuur 5 is de snelheidsverdeling gegeven die in de T0-toestand in het getijmodel M 886 op het tijdstip $t = 19.00$ u. (getij van 26 oktober 1965) is gemeten, respektievelijk in de bovenstroomse ijkraai (5a), de tracé-raai (5b) en de benedenstroomse ijkraai (5c). In dezelfde figuren is de snelheidsverdeling gegeven die, bij een waterstand van N.A.P. - 0,15 m te Repart, met permanente stroom in M 675 kon worden ingesteld. In figuur 5b zijn bovendien de uitkomsten van de prototypemetingen van 26 en 27 april 1967 opgenomen; weer-

gegeven zijn de gemiddelden van de snelheidsmetingen op 2 1/2 uur en 3 uur na hoogwater.

In figuur 6a zijn de snelheidsverdelingen gegeven in de bovenstroomse ijkraai voor de wintersluitgatifase, respektievelijk volgens M 886 op $t = 19.00$ u. en volgens M 675 bij een waterstand te Repart van N.A.P. $-0,15$ m. In figuur 6b evenzo de snelheidsverdelingen in dezelfde raai bij bouwphase 2 ($t = 19.00$ u., waterstand te Repart = N.A.P. $+ 0,10$ m) en in figuur 6c de snelheidsverdelingen bij bouwphase 5a ($t = 19.00$ u., waterstand te Repart = N.A.P. $+ 0,38$ m). De overeenkomst tussen de resultaten van de ijkingen en de gegeven randvoorwaarden is redelijk goed te noemen.

4. Overzicht van de uitgevoerde metingen

In onderstaande tabel volgt een overzicht van de in het model bestudeerde toestanden met de daarbij behorende waterstanden en debieten.

bouwfase	benedenstroomse	
	waterstand (m prototype)	ingesteld debiet (l/s model)
wintersluitgat	N.A.P. - 0,15	1620
		1350
		1158
fase 1	N.A.P. + 0,20	1090
		984
		892
fase 2	N.A.P. + 0,20	1040
		932
		850
fase 3	N.A.P. + 0,26	1022
		925
		840
fase 4	N.A.P. + 0,32	972
		875
		796
fase 5	N.A.P. + 0,38	795
		715
		650

Bij ieder van deze toestanden zijn ontgrondingsmetingen verricht benedenstrooms van de bodemverdediging en snelheidsmetingen ter plaatse van de benedenstroomse beëindiging van de verdediging. Met betrekking tot deze snelheidsmetingen moet de volgende kanttekening worden gemaakt.

Tot nu toe was het de gewoonte om, op grond van de resultaten van het systematische tweedimensionale ontgrondingsonderzoek (verricht onder modelnummer M 648) de in het model gemeten snelheden ter plaatse van het einde van de bodemverdediging als uitgangspunt te nemen bij het interpreteren van ontgrondingsproeven. Met name bij het bepalen van de tijdschaal van een in het model gemeten ontgroning was deze werkwijze gangbaar. Vandaar, dat ook bij

het eb-onderzoek in M 675 deze snelheidsmetingen zijn verricht.

Inmiddels is gebleken, dankzij de vorderingen van het systematische ontgrondingsonderzoek M 847/M 863, dat deze werkwijze minder aanbeveling verdient, en wel om de volgende redenen:

- 1) de snelheidsverdeling aan het einde van de bodemverdediging wijzigt zich tijdens het ontgrondingsproces als gevolg van de ontwikkeling van de ontgrondingskuil (zie M 847/M 863, informatie 1) en is dus tijdsafhankelijk;
- 2) de snelheidsmetingen zijn moeilijk uitvoerbaar wegens de grote turbulentie van het water benedenstrooms van de drempel en zijn bijgevolg weinig betrouwbaar;
- 3) voor de interpretatie van de modelproeven is het niet noodzakelijk genoemde snelheden te kennen; de vereiste informatie kan beter en vollediger direct aan de ontgrondingsmetingen worden ontleend.

Deze drie punten vormen de motivering voor het feit, dat bij de uitwerking en interpretatie van de meetgegevens uit M 675 van de snelheidsmetingen geen gebruik is gemaakt.

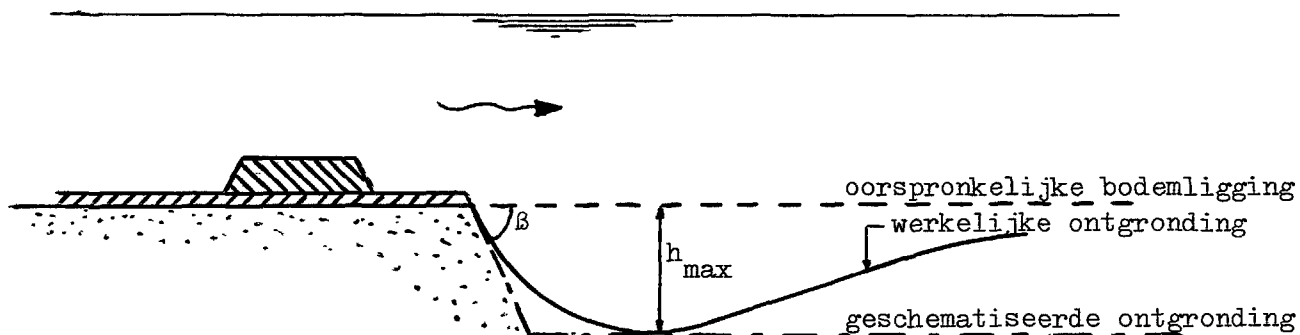
5. Resultaten en interpretatie van het ontgrondingsonderzoek

5.1. Doel en werkwijze

Het doel van het ontgrondingsonderzoek is om met het oog op de stabiliteit van de afsluitkonstruktie, de veranderingen die tijdens de sluitingswerkzaamheden zullen optreden in de bodemligging benedenstrooms van de bodemverdediging zo goed mogelijk te voorspellen, en de konsekventies te kunnen overzien van een bepaald tijd- en uitvoeringsschema voor de sluiting, inclusief opzettelijk of gedwongen afwijkingen daarvan. Dit doel kan worden bereikt als voor een voldoende aantal plaatsen benedenstrooms van de bodemverdediging bekend is hoe de ontgroning afhangt van zowel de tijd als de fase van afsluiting. Door de sluitingsprocedure in een aantal stappen (bouwfasen) te schematiseren en voor elk van deze bouwfasen het verband vast te stellen tussen de tijd en de daarin optredende ontgroning, kan voor elke gegeven duur de ontgroning in een bepaalde bouwfase worden bepaald en door superpositie hiervan de totale ontgroning tijdens de gehele sluitingsperiode. De schematisering van de sluiting in bouwfasen stond bij het eb-onderzoek in M 675 in principe reeds vast; er restte dus slechts de bepaling van de relaties tussen tijd en ontgroning bij de gegeven sluitingsfasen.

Voordat hiertoe kon worden overgegaan, moest een manier worden aangegeven waarop de ontgroning is te karakteriseren. Gangbaar was tot dusver om dit te doen door middel van de maximale diepte van de ontgrondingskuil (h_{\max}). Dit is een maat die zeer bruikbaar is gebleken bij het systematische ontgrondingsonderzoek en die ook voor de beoordeling van de ernst van een ontgroning onmisbaar is. In feite is hij echter niet voldoende, aangezien de vorm van een ontgrondingskuil door de diepte alleen nog niet eenduidig is bepaald. Nog een tweede parameter zou ter karakterisering moeten worden toegevoegd; het meest komt daarvoor in aanmerking de aanzethelling van de ontgrondingskuil ($\cotg \beta$), die eveneens voor de beoordeling van de ontgroning uiterst belangrijk is. Door een willekeurige ontgrondingskuil te schematiseren tot een uitschuring, die vanaf de rand van de bodemverdediging onder een hoek β verloopt tot op een diepte van h_{\max} en daarna verder horizontaal, heeft men de voor de stabiliteit van verdediging en drempel ongunstigste situatie bepaald en is men bij de beoordeling

van de toelaatbaarheid van de ontgroning aan de veilige kant.



Op het moment dat dit verslag werd geschreven was echter het systematische onderzoek nog niet zover gevorderd, dat voldoende duidelijk vaststond door welke factoren de aanzetting $\cotg \beta$ wordt bepaald. Noodgedwongen is daarom de weergave van de ontgroningen beperkt tot de maximale diepte; als aanzethelling zal in dit geval nog het natuurlijke talud of een andere aanvaardbare helling aangehouden moeten worden.

Uit het systematische ontgrondingsonderzoek zijn (met de tot nu toe verkregen informatie) bij permanente stroom de volgende relaties afgeleid:

$$\frac{h_{\max}(t)}{h_0} = f\left(\frac{t}{t_1}\right) \quad (1)$$

$$t_1 = \frac{K \cdot \Delta^{1,7} \cdot h_0^2}{(\bar{a}u - u_{kr})^{4,3}} \quad (2)$$

waarin: $h_{\max}(t)$ = maximale ontgrondingsdiepte op het tijdstip t [m]
 h_0 = waterdiepte t.p.v. einde bodemverdediging [m]
 t = tijd [uren]
 t_1 = tijd waarin $h_{\max} = h_0$ wordt [uren]
 K = konstante van grootte-orde 100
 Δ = relatieve dichtheid ontgrondingsmateriaal = $\frac{\rho_m - \rho_w}{\rho_w}$

ρ_m	= soortelijke dichtheid ontgrondingsmateriaal	$[kg/m^3]$
ρ_w	= soortelijke dichtheid water	$[kg/m^3]$
\bar{u}	= gemiddelde stroomsnelheid = $\frac{Q}{F}$	$[m/s]$
Q	= totaal debiet door sluitgat	$[m^3/s]$
F	= opp. dwarsprofiel sluitgat t.p.v. einde bodemverdediging	$[m^2]$
u_{kr}	= kritieke snelheid = $\sqrt{\frac{8}{\lambda}} \cdot u_{kr}$	$[m/s]$
λ	= weerstandcoëfficiënt volgens diagram van Moody = $f \left(\frac{d}{4h_o}, \frac{4uh_o}{v} \right)$	
u_{kr}^*	= kritieke schuifspanningssnelheid volgens Shields = $f(d, \Delta, g, v)$	$[m/s]$
d	= gemiddelde korreldiameter ontgrondingsmateriaal	$[m]$
v	= kinematische viscositeit	$[m^2/s]$
g	= versnelling van de zwaartekracht	$[m/s^2]$
a	= dimensieloze coëfficiënt afhankelijk van de geometrie van het sluitgat	

De eerste van de twee bovenstaande relaties geeft, in dimensieloze vorm, het verband tussen maximale ontgrondingsdiepte en tijd. De diepte h_{max} wordt gerekend vanaf de oorspronkelijke, horizontaal veronderstelde bodem. De ontgrondings-tijd t wordt betrokken op die tijdsduur, waarin de maximale ontgrondingsdiepte gelijk geworden is aan de waterdiepte ter plaatse van het einde van de verdediging, per definitie t_1 genoemd. De grootte van de tijdsduur t_1 volgt uit relatie (2).

Voor de bepaling van de tijd-ontgrondingsrelatie bij een gegeven bouwphase in het prototype zijn dus, afgezien van de aanzethelling, twee gegevens nodig:

- a) de functie f uit relatie (1)
- b) de waarde van t_1 -prototype

a) De functie f uit relatie (1)

In het tweedimensionale geval kan binnen een beperkt gebied voor het verband tussen ontgroning en tijd gebruikt worden de functie

$$\frac{h_{max}(t)}{h_o} = f \left(\frac{t}{t_1} \right) = \left(\frac{t}{t_1} \right)^{0,38}$$

Deze functie is ook wel toegepast op gevallen waarin driedimensionale effecten een rol spelen, dit echter ten onrechte. In het algemene driedimensionale geval voldoet bovenstaand verband niet: de exponent van $\frac{t}{t_1}$ blijkt aanvankelijk groter dan 0,38 te zijn en met de tijd af te nemen. Wel kan men stellen, dat de functie f onafhankelijk is van de waterdiepte h_0 en de gemiddelde stroomsnelheid \bar{u} en, zolang nog niet een evenwichtssituatie bij de ontgronding wordt benaderd, ook van het ontgrondingsmateriaal. Alleen de plaats in het dwarsprofiel met de daar heersende stroomcondities (veranderend met de tijd tengevolge van de ontgronding benedenstrooms) blijkt bepalend te zijn.

De functie f uit relatie (1) moet dus voor elk specifiek geval uit modelproeven worden bepaald. Het verloop ervan is afhankelijk van bouwfase en plaats in het dwarsprofiel, maar overigens, wegens het dimensieloos-zijn van de parameters, voor model en prototype gelijk.

b) De waarde van t_1 -prototype

De waarde van t_1 blijkt, volgens relatie (2), af te hangen van stromings- en materiaalgrootheden, terwijl door de koëfficiënt a de geometrie van het sluitgat mede bepalend is. De waarden van al deze grootheden zijn direkt uit het prototype op te meten, uitgezonderd die van de geometrie-afhankelijke grootheid a ; deze moet uit het modelonderzoek worden verkregen.

Onder "geometrie" moet in dit verband worden verstaan: aard en hoogte van de sluitkade, lengte en ruwheid van de bodemverdediging, bodemdiepte en -konfiguratie, nabijheid en steilheid van oevers, aanwezigheid van kribben, landhoofden of andere konstrukties. Deze geometrie is van wezenlijke invloed op het stroombeeld ter plaatse van de ontgronding, zowel wat horizontale en verticale snelheidsverdeling als wat turbulentie-intensiteit betreft. De koëfficiënt a , waarmee de gemiddelde snelheid $\bar{u} = \frac{Q}{F}$ moet worden vermenigvuldigd, is dus te beschouwen als een door de geometrie veroorzaakte vergroting van de ontgrondingskapaciteit van de plaatselijke turbulente stroom, vergeleken met die van een ongestoorde parallelstroom.

In het algemeen zullen in een sluitgat de geometrie-eigenschappen van plaats tot plaats in het dwarsprofiel variëren; alleen in het zuivere tweedimensionale geval zijn ze in elk punt van het dwarsprofiel gelijk. Voor elk niet-tweedimensionale geval, waaronder het zuidelijke sluitgat van het Brouwershavense Gat, zal dus ook de waarde van a met de plaats in het dwarsprofiel variëren. Door middel

van ontgrondingsonderzoek in een geometrisch gelijkvormig model is de grootte van α in elk gewenst punt te bepalen. In geval van permanente stroom is dan voor elk punt in het dwarsprofiel de waarde van t_1 -prototype zonder meer te berekenen. Voor getijstroom moet nog een omrekening plaatsvinden.

Uit het voorgaande wordt duidelijk welke gegevens uit het model van belang zijn. Dit zijn allereerst de ontgrondingspeilingen, uitgevoerd op een aantal achtereenvolgende tijdstippen. Voorts per proef het ingestelde debiet en de waterstand ter plaatse van het einde van de verdediging. Tenslotte de vaste gegevens betreffende het dwarsprofiel van de geul aan het einde van de verdediging en de eigenschappen van het ontgrondingsmateriaal.

De gang van zaken is nu als volgt: in het dwarsprofiel wordt een aantal punten geselecteerd, waarvoor raaien getrokken worden in een richting loodrecht op de as van de drempel, hierna langdraaien te noemen. In elke langdraai worden de bodemprofielen getekend zoals ze op de verschillende tijdstippen in het model gepeild zijn. Uit deze profielen worden de maximale ontgrondingsdiepten h_{\max} opgemeten en, na deling door de waterdiepte h_0 , grafisch uitgezet tegen de modeltijd. Waar de grafiek de lijn $h_{\max}/h_0 = 1$ snijdt, ligt op de tijd-as per definitie de waarde $t = t_1$ -model. Substitutie van deze t_1 -waarde en de bekende materiaal- en stromingsgrootheden uit het model in relatie (2) geeft de mogelijkheid de coëfficiënt α als enige onbekende op te lossen. Door vervolgens de waarde van α te combineren met de materiaal- en stromingsgrootheden van het prototype is t_1 voor het prototype te berekenen. Door verplaatsing van de tijd-ontgrondingsgrafiek zodanig dat voor $h_{\max} = h_0$ geldt $t = t_1$ -prototype is dan het gevraagde verloop van de ontgroning met de tijd voor de betreffende langdraai en bouwfase gevonden. Combinatie in één figuur van de tijd-ontgrondingslijnen die bij de verschillende bouwfasen in een en dezelfde langdraai optreden, geeft de mogelijkheid voor elk willekeurig tijdschema van de dam-opbouw direct de totale ontgrondingsdiepte in de betreffende langdraai af te lezen.

De bewerking van de meetresultaten resulteert dus in een aantal figuren, gelijk aan het aantal gekozen langdraaien, waarin een serie tijd-ontgrondingslijnen staat afgebeeld, korresponderend met de onderzochte bouwfasen. Het verdient aanbeveling de tijd-ontgrondingslijnen uit te zetten op dubbellogaritmisch papier. In dat geval kan men bij verandering van t_1 of h_0 van model- naar prototypemaat de lijnen eenvoudig verschuiven, terwijl de vorm gelijk blijft.

Zoals op het overzicht op bladzijde 13 te zien is, zijn bij elke bouwfase

drie ontgrondingsproeven gestroomd met drie verschillende debieten. Dit is gedaan om de volgende redenen:

- 1) het aantal waarnemingen is groter dan bij een enkele proef, waardoor meetonnauwkeurigheden of toevallige afwijkingen minder effect hebben op de uitkomst;
- 2) zowel op plaatsen met een relatief snelle ontgroning als op plaatsen met een relatief langzame komt het ontgrondingsverloop duidelijker tot zijn recht;
- 3) bij de verschillende debieten treden in eenzelfde langsraai in dezelfde tijd verschillende ontgrondingen op; de drie proeven leveren dus drie verschillende stukken van de (in dimensieloze grootheden uitgezette) tijd-ontgrondingslijnen. Dit heeft het grote voordeel dat het verloop van de tijd-ontgrondingslijn over een groter deel uit de waarnemingen kan worden afgeleid en extrapolatie, dikwijls nodig om de waarde $h_{\max}/h_0 = 1$ te bereiken, kan worden beperkt.

Na deze toelichting op de gevolgde werkwijze volgen hieronder de konkrete uit het model verkregen en op de aangegeven wijze bewerkte resultaten.

5.2. Gemeten ontgrondingsprofielen

In figuur 4, weergevend het dwarsprofiel van het sluitgat ter plaatse van het benedenstroomse einde van de bodemverdediging, staan de punten aangegeven die korresponderen met de langsraaien waarin de ontgrondingen zijn bekeken. In figuur 2 is de ligging van deze langsraaien in het sluitgat in bovenaanzicht gegeven. In de nabijheid van de Schouwse oever liggen zij op een onderlinge afstand van 30 m (prototype-maat), meer naar het midden van de geul op 60 m en vervolgens 120 m, en in de buurt van het damvak-Middelplaat weer op 60 m uit elkaar. Voor elk van de zes te onderzoeken bouwfases zijn de ontgrondingsbeelden in deze langsraaien uitgewerkt, voor zover er tenminste van ontgroning sprake was. Deze beelden zijn weergegeven op de figuren 7 t/m 72.

Beschouwing van de diverse ontgrondingsprofielen geeft aanleiding tot een aantal opmerkingen. Duidelijk is vooreerst dat bij grotere debieten grotere ontgrondingen ontstaan. Dit is in overeenstemming met de uitkomsten van het systematische ontgrondingsonderzoek (vergelijk blz. 16 en 17), immers geeft een grotere Q een grotere \bar{u} , dus volgens relatie (2) een kleinere t_1 en dat betekent

volgens relatie (1) een grotere h_{\max} . De mate waarin een toenemend debiet de ontgronding doet toenemen is niet steeds gelijk: dit wijst op een variërende α -waarde, als uitdrukking van een variërende geometrie.

De grootte van de ontgrondingen in de verschillende langsraaien loopt sterk uiteen, waardoor reeds op het eerste gezicht een globale indruk ontstaat van waar en wanneer kritieke situaties te verwachten zijn. Toch moet men er bijzonder voor oppassen in dit stadium vergaande konklusies te trekken, daar in de ontgrondingsbeelden op zich de tijdsfaktor nog niet verdiskonteerd is. Door introductie hiervan kunnen schijnbaar grote verschillen worden gereduceerd, terwijl ogenschijnlijk minder belangrijke verschillen benadrukt kunnen worden, zodat de verhoudingen geheel anders komen te liggen.

Wat vooral in het oog springt zijn de sterk uiteenlopende vormen van de ontgrondingskuilen. In de wervelstraatgebieden treden zeer geprononceerde korte en puntige kuilen op; in het middengedeelte van het sluitgat flauwer uitlopende langgerekte uitschuringen. Daartussen bevinden zich allerlei overgangsvormen. Uit de figuren is voorts te zien dat in de meeste gevallen de aanzethelling van de ontgrondingskuil naar een evenwichtsstand tendeert, die bij de korte wervelstraatkuilen steiler is dan bij de langgerekte uitschuringen.

Bij de uitwerking van de peilingen tot ontgrondingsprofielen kwamen hier en daar afwijkingen aan het licht die zo duidelijk met de uitkomsten van de omringende gedeelten in tegenspraak waren, dat zij als meetfouten of toevallige storingen moesten worden beschouwd. Deze zijn in de verdere uitwerking van de meetresultaten niet meegenomen. Een duidelijke illustratie van zo'n geval vormt het middelste van de drie ontgrondingsbeelden op figuur 50: ten opzichte van de twee andere ontgrondingskarakteristieken vertoont dit zonder meer een ongeloofwaardige afwijking, die mogelijk door een plaatselijke ongerechtigheid in het ontgrondingsmateriaal is veroorzaakt.

De ontgrondingsproef met drempel volgens fase 2 en ingesteld debiet van 932 l/s (zie overzicht op blz. 13) bleek bij de verdere uitwerking op vele plaatsen onregelmatigheden te vertonen. Hij is daarom in zijn geheel genegeerd. Met een gedeelte van de proef met drempel volgens fase 3 en ingesteld debiet van 925 l/s (zie overzicht) is om soortgelijke redenen hetzelfde gebeurd. De drie proeven met drempel volgens fase 5 gaven onderling weinig verschillen in ontgronding te zien: blijkbaar waren de verschillen tussen de ingestelde debieten onder de extreme kondities van deze bouwphase niet significant genoeg. Deze

proeven zijn daarom als één geheel beschouwd, waaruit de noodzakelijke gegevens zo goed mogelijk zijn geselecteerd. Herhaling van de hierbovenvermelde proeven op het moment dat de uitwerking tot dit stadium was voortgeschreden leek minder zinvol, daar voldoende betrouwbare resultaten voorhanden waren om de verdere bewerkingen te kunnen uitvoeren.

5.3. Tijd-ontgrondingslijnen

Uit de ontgrondingsprofielen zijn de tijd-ontgrondingslijnen afgeleid. Deze worden verkregen door in elk ontgrondingsbeeld de grootste verschillen te bepalen tussen de nulpeiling en de peilingen na respectievelijk 1/2, 1, 2, 3, 5 en 7 uur stromen, en deze maximale ontgrondingsdiepten, gedeeld door de uit figuur 4 af te lezen waterdiepten, uit te zetten tegen de tijd. Indien hiervoor de tijd in absolute waarde genomen wordt, geven de drie ontgrondingsproeven (die korresponderen met drie debieten) voor één situatie drie tijd-ontgrondingslijnen, die ten opzichte van elkaar over een zekere afstand langs de tijd-as verschoven liggen. Aangezien echter bij elke tijd-ontgrondingslijn de tijd de waarde $t = t_1$ bereikt voor $h_{\max}/h_0 = 1$, zullen de drie lijnen op elkaar moeten vallen, indien de absolute tijden gedeeld worden door de betreffende tijdsduur t_1 .

Men kan ook omgekeerd te werk gaan, namelijk eerst de uitgezette waarden van h_{\max}/h_0 , afkomstig van de drie ontgrondingsproeven, zodanig langs de tijd-as verschuiven dat de drie series waarnemingen zo goed mogelijk over elkaar vallen, en daarna door de samengestelde puntenverzameling één lijn trekken. Deze werkwijze heeft het voordeel, dat de tijd-ontgrondingslijn niet slechts uit de waarnemingen van één enkele proef, maar uit die van drie proeven wordt samengesteld. Gezien het feit, dat één proef slechts zes waarnemingspunten oplevert, is deze uitbreiding tot het drievoudige een nuttige zaak, waarmee de nauwkeurigheid van het resultaat wordt gediend. Doordat voorts de drie puntenseries elkaar ten dele overlappen, kan uit het totaal van de waarnemingen die lijn gekonstrueerd worden, die het best aansluit bij de drie proeven. In de figuren 7 t/m 72 is bij elke serie ontgrondingsprofielen de op deze wijze bepaalde tijd-ontgrondingslijn afgebeeld.

Is de vorm van de tijd-ontgrondingslijn eenmaal uit de gezamenlijke waarnemingen vastgesteld, dan kan deze voor elke afzonderlijke serie worden getekend. Het snijpunt met de aan de tijd-as parallel lopende lijn $h_{\max}/h_0 = 1$

bepaalt dan de t_1 -model voor het betreffende geval. Voor alle tijd-ontgrondingslijnen is deze bewerking uitgevoerd. De gevonden waarden van t_1 -model zijn vermeld in tabel I.

5.4. Berekening van α

Met de gevonden waarden van t_1 -model kunnen met behulp van de relatie

$$t_1 = K \cdot \Delta^{1,7} \cdot h_0^2 \cdot (\bar{u} - u_{kr})^{-4,3}$$

voor elke bouwfase de α 's in de verschillende langsraaien berekend worden. Daartoe moeten nog gegeven zijn de oorspronkelijke waterdiepte h_0 in elke langsraai, het totale debiet Q en de oppervlakte F van het dwarsprofiel aan het einde van de bodemverdediging ($\rightarrow \bar{u} = Q/F$), de relatieve dichtheid Δ van het ontgrondingsmateriaal en de karakteristieke korreldiameter d daarvan (waaruit in combinatie met h_0 en \bar{u} de waarde van u_{kr} is af te leiden), alle in modelmaten uitgedrukt. Tenslotte moet de grootte van de konstante K bekend zijn.

De waterdiepten zijn af te leiden uit figuur 4; zij verschillen nog iets per bouwfase door de verschillen in waterstand. De oppervlakte van het dwarsprofiel volgt eveneens uit deze figuur. De modeldebieten zijn bij elke proef genoteerd; zij zijn vermeld in het overzicht dat is opgenomen onder hoofdstuk 4. Als relatieve dichtheid van bakeliet is aangehouden de waarde $\Delta = 0,35$; als korreldiameter is gerekend $d_{50} = 1,9$ mm. De waarde van de konstante is, op grond van de huidige informatie uit het systematisch ontgrondingsonderzoek, vastgesteld op $K = 100$. Zie voor een overzicht van de gegevens tabel I.

Deze gegevens, gekombineerd met de waarden van t_1 -model uit tabel I, leveren voor elke ontgroning een waarde van α . Omdat in het merendeel van de gevallen meer dan één ontgrondingsproef per situatie gestroomd is, zijn in feite meerdere antwoorden per situatie te vinden, die onderling niet veel zullen verschillen, maar ook niet precies gelijk zullen zijn. Door middelen is die waarde van α bepaald, die het beste aansluit bij alle waarnemingen in één langsraai bij één bouwfase. Zie tabel I.

5.5. Stroomkondities in het prototype

Voordat met de berekende α 's de waarden van t_1 -prototype bepaald kunnen worden, moet eerst de situatie in het prototype tijdens de sluiting nader worden bezien. Het feit, dat in het prototype getij-omstandigheden heersen, noodzaakt ertoe de voor permanentie afgeleide formules voor de ontgronding toepasbaar te maken op niet-permanente situaties. En het feit, dat de getijbeweging in het zuidelijke sluitgat van het Brouwershavense Gat wordt beïnvloed door de werkzaamheden in het noorden, betekent dat de onderlinge korrelatie tussen noordelijk en zuidelijk sluitgat moet vaststaan om de ontgrondingsberekeningen te kunnen voltooien.

Voor permanente stroom geldt (zie 5.1.).

$$\frac{h_{\max}(t)}{h_0} = f\left(\frac{t}{t_1}\right) \quad (1)$$

$$t_1 = \frac{K \cdot \Delta^{1,7} \cdot h_0^2}{(\bar{a}\bar{u} - u_{kr})^{4,3}} \quad (2)$$

Toepassing van deze relaties bij niet-permanente stroom is mogelijk onder de veronderstelling, dat de niet-permanente beweging beschouwd mag worden als een opeenvolging van oneinig kort durende permanente toestanden. Men kan dan de tijdsafhankelijke grootheden stapsgewijs in de tijd laten variëren en elke tijdstap Δt als een kwasi-permanente situatie beschouwen. Van de uitdrukking die op die manier voor de maximale ontgrondingsdiepte is af te leiden kan men vervolgens de limiet bepalen voor een tot nul naderende tijdstap Δt . De maximale ontgrondingsdiepte volgt dan uit een integratie over de tijd.

De belangrijkste tijdsafhankelijke grootheid is de stroomsnelheid \bar{u} , maar ook de variatie van de waterdiepte h_0 kan in rekening worden gebracht. De variatie van u_{kr} met de tijd (als gevolg van variërende \bar{u} en h_0) is gewoonlijk zeer gering en kan zonder bezwaar worden verwaarloosd. In feite is ook de coëfficiënt α tijdsafhankelijk (als gevolg van een variërende geometrie door een variërende waterdiepte), maar gezien de onzekerheden die bij de bepa-

ling ervan meespelen lijkt een dergelijke verfijning weinig zinvol. Om dezelfde reden kan ook de variatie in de functie f van relatie (1) (als gevolg van variërende geometrie) worden verwaarloosd.

Voert men \bar{u} en h_0 als tijdsafhankelijke factoren in, dan volgt uit relatie (2) dat ook t_1 verandert met de tijd en dus geen konstante waarde meer heeft. Hetzelfde is het geval met h_0 . Dit betekent dat relatie (1) van moment tot moment een andere tijd-ontgrondingslijn voorstelt, weliswaar bepaald door een en hetzelfde funktieverband, maar met voortdurend wisselende randvoorwaarden. Voor een willekeurig verloop van \bar{u} en h_0 met de tijd is de maximale ontgrondingsdiepte h_{\max} dan alleen te bepalen door integratie over het beschouwde tijdsverloop.

Heeft men te maken met een cyclische beweging, dan kan men de zaak iets vereenvoudigen door af te zien van de onregelmatigheid in het ontgrondingsverloop binnen een cyclus en slechts te letten op de gemiddelde ontgroning per cyclus. Vergelijkt men deze gemiddelde ontgroning per cyclus met een ontgroning bij permanente stroom onder overigens gelijke omstandigheden, dan volgt hij precies hetzelfde verloop, alleen met een andere tijdschaal. Men kan dan, in analogie met het permanente geval, een t_1 definiëren als die tijd, waarin onder de heersende cyclische stroomcondities $h_{\max} = h_0$ wordt.

Bij een getijstroom heeft men met een nagenoeg cyclische beweging te maken. Strikt genomen zou men ook de variaties van \bar{u} en h_0 in de opeenvolgende getijden in aanmerking moeten nemen, maar uit praktische overwegingen kan men deze variaties verwaarlozen en de variabelen laten verlopen volgens een representatief te achten getij. In dat geval kunnen de relaties (1) en (2) als volgt geschreven worden:

$$\frac{h_{\max}(t)}{h_0(0)} = f\left(\frac{t}{t_{1\text{getij}}}\right) \quad (1a)$$

$$t_{1\text{getij}} = \frac{K \cdot \Delta^{1,7} \cdot h_0(0)}{\frac{1}{T} \int_{T_1}^T \frac{\{\bar{u}(t) - u_{kr}\}^{4,3}}{h_0(t)} dt} \quad (2a)$$

waarin: T = duur van de getijperiode
 T_1 = tijdstip waarop $\{ \bar{a}u(t) - u_{kr} \}$ positief wordt
 T_2 = tijdstip waarop $\{ \bar{a}u(t) - u_{kr} \}$ negatief wordt
 \bar{u} = gemiddelde stroomsnelheid in eb-richting
 $h_0(0)$ = waterdiepte op het tijdstip nul

Zie voor de afleiding van deze formule het aanhangsel achter in dit verslag.

Dat de integraal niet over de gehele getijperiode genomen wordt maar slechts over het interval tussen T_1 en T_2 , hangt samen met het feit dat de ontgroning hoofdzakelijk benedenstrooms van de sluitkade optreedt. Kentert de stroom, in ons geval van eb naar vloed, dan betekent dat voor de ontgroning aan de zeezijde van de sluitkade vrijwel hetzelfde als het wegvallen van de stroom. Daarom wordt in de ontgrondingsberekening slechts één stroomrichting in aanmerking genomen, in dit geval de ebstroom, en gedurende de rest van de getijcyclus een stroomsnelheid nul verondersteld.

Voor de berekening van t_1 -prototype is het dus nodig een representatief te achten getij te kiezen, waarvan bekend moet zijn het debietverloop en het profielverloop (geeft samen het verloop van $\bar{u} = Q/F$) en het waterstandsverloop met de tijd. Het ligt voor de hand voor langdurende bouwfasen een gemiddeld getij als representatief te kiezen, terwijl voor kortdurende bouwfasen uit veiligheidsoverwegingen een sterker getij in aanmerking komt. In het zuidelijke sluitgat van het Brouwershavense Gat duurt alleen de wintersluitgatfase relatief lang. Omdat in deze fase de ontgroning relatief gering is (zoals naderhand zal blijken), is het aanvaardbaar geacht de keuze van het representatieve getij af te stemmen op de latere bouwfasen en hiervoor het gematigde springtij van 26 oktober 1965 te nemen, dat in het overzichtsgetijmodel van het Brouwershavense Gat M 886 als grondslag van de metingen heeft gefungeerd. Door deze keus kunnen de resultaten van de metingen in M 886 onmiddellijk als informatie voor de ontgrondingsberekening worden gebruikt.

Dit is daarom van belang omdat bij het Brouwershavense Gat twee sluitgaten aanwezig zijn die gelijktijdig worden gesloten, zodat debiet en waterstand (en door deze laatste ook het natte profiel) in het zuidelijke sluitgat mede bepaald worden door de situatie in het noordelijke sluitgat. Om voor het zuiden het juiste debiet- en waterstandsverloop te kunnen vaststellen, moet dus voor elke optredende bouwphase de bijbehorende situatie in het noorden bekend zijn, en tevens de invloed daarvan op de getijbeweging. Het eerste gegeven volgt uit

het uitvoerings-tijdschema dat voor de afsluitingsprocedure is opgesteld (eventueel in een aantal varianten); het tweede gegeven volgt uit het modelonderzoek in M 886 (het zogenaamde "waaierprogramma"). Bij dit laatste zijn debieten en waterstanden gemeten voor een hele reeks van situaties, waarin verschillende bouwfases in noord en zuid zijn gekombineerd, uitgaande van de getij-omstandigheden op 26 oktober 1965 in de oorspronkelijke situatie.

Voor de afsluitingsprocedure is door Rijkswaterstaat een aantal uitvoerings-tijdschema's opgesteld. Hieruit zijn voor de ontgrondingsberekeningen de extreme varianten (betreffende debiet en tijdsduur van de sluiting) geselecteerd, waarna de bijbehorende getij-omstandigheden uit de gegevens van M 886 zijn afgeleid. Met deze informatie is de berekening van t_1 -prototype volgens formule (2a) ter hand genomen.

5.6. Berekening van t_1 -prototype voor drie extreme sluitingsprogramma's

De berekening is uitgevoerd voor drie sluitingsprogramma's, in schema weergegeven op de figuren 78a, b en c. Schema a1 (figuur 78a) en schema b1 (figuur 78b) zijn ongunstige varianten: bij a1 is de duur van de sluiting het langst, bij b1 zijn de debieten in het zuiden tijdens de sluiting het grootst. Schema a2 (figuur 78c) geeft voor het zuidelijke sluitgat de gunstigste combinatie van tijdsduur en debiet. Op de figuren is zowel de opeenvolging van de optredende bouwfases, als de bij elke bouwfase behorende tijdsduur aangegeven.

Voor elk van de drie schema's zijn de debietverlopen per bouwfase bepaald. Dit is als volgt gedaan: uit de debietgegevens van M 886, afgebeeld op de figuren 73 t/m 76 en korresponderend met de situaties die in de sluitingsschema's met stippen zijn aangegeven, is per bouwfase het debiet door lineaire interpolatie berekend. Zie voor de resultaten de figuren 79a, b en c.

De waterstanden ter plaatse van het benedenstroomse einde van de bodemverdediging (bij ebstroom het zeewaartse einde) zijn eveneens aan M 886 ontleend. Uit figuur 77 blijkt dat in alle situaties, die bij de debietberekening beschouwd zijn, het verticale getij op deze plaats nagenoeg hetzelfde blijft. Omdat bovendien de variatie van de waterstand in de berekening van sekundaire betekenis is, is volstaan met één waterstandsverloop voor alle gevallen, en wel het gemiddelde van de twaalf in figuur 77 aangegeven lijnen.

Uit het waterstandsverloop en het geulprofiel ter plaatse van het einde van de verdediging (zie figuur 4) volgt het verloop van de natte doorsnede F met de tijd. Ook dit is bijgevolg voor elk geval hetzelfde. Voor de volledigheid zijn het aangehouden verloop van waterstand en nat profiel op de figuren 80a, b en c aan de overige rekengegevens toegevoegd.

De gegevens van debiet, waterstand en nat profiel moeten beschouwd worden over de duur van één getijperiode. Door de keuze van het getij van 26 oktober 1965 komt het zo uit, dat deze gegevens voor de eb in twee stukken uiteenvallen, gescheiden door de vloed. Dit is in principe geen bezwaar, daar elk willekeurig stuk uit het getij met de duur van juist één periode als even representatief moet worden beschouwd. Tengevolge van de dagelijkse ongelijkheid van het getij sluiten de twee eb-takken echter niet precies aan elkaar, wat de vraag opwerpt waar de grenzen van het te beschouwen getijgedeelte te leggen. Deze vraag illustreert de moeilijkheid de juiste lengte van de periode vast te stellen bij de niet geheel periodieke getijbeweging. Bij de berekening is voor de getijgegevens een bemonsteringstijd van een half uur aangehouden; omdat het gewenst is de getijperiode een veelvoud van dit interval te laten zijn, is hiervoor als beste benadering $T = 12 \frac{1}{2}$ uur genomen, lopend van 7.30 u. tot 20.00 u.

Als $h_0(0)$, de waterdiepte op het tijdstip nul, is voor elke langsraai aangehouden de waterdiepte ten opzichte van N.A.P.; voor $h_0(t)$ is dan te nemen $h_0(0) + h(t)$, waarin $h(t)$ de waterstand uit figuur 80a, b en c voorstelt. De kritieke snelheid u_{kr} is bepaald voor zand als bodemmateriaal met $\Delta = 1,65$ en $d_{50} = 200 \mu$; de afhankelijkheid van de tijd (door wisselende gemiddelde snelheid en waterdiepte) is, zoals boven reeds vermeld, klein en daarom verwaarloosd. De gemiddelde snelheid is, evenals bij het model, bepaald als $\bar{u} = Q/F$. Voor de konstante K is uiteraard weer de waarde 100 aangenomen, evenals bij de modelberekeningen. De getalwaarde's van de koëfficiënt a volgen uit tabel I.

De uitdrukking voor t_1 -prototype volgens formule (2a) wordt nu:

$$t_{1 \text{ prot}} = \frac{2940 h_0(0)}{\int_{T_1}^{T_2} \left\{ \frac{a \frac{Q(t)}{F(t)} - u_{kr}}{h_0(t)} \right\}^{4,3} dt} \quad [\text{uren}]$$

De integraal is berekend volgens de trapezium-methode en alleen over dat deel van de getijperiode genomen waarvoor $(a_{\frac{F}{Q}} - u_{kr}) \gg 0$ is. De t_1 -tijd kan naar believen in andere tijdseenheden worden uitgedrukt. Voor een samenvatting van de gegevens en van de berekening zie men de tabellen IIa, b en c.

5.7. De invloed van materiaal-aanvoer op de ontgroning in het prototype

In de figuren 81a, b en c tot en met 96a, b en c zijn de tijd-ontgrondingslijnen weergegeven, zoals die uit de bovenbeschreven bewerkingen van modelmetingen en prototype-gegevens volgen voor respectievelijk de sluitingsschema's a1, b1 en a2. Elke figuur geeft voor één bepaalde langsraai het verband tussen de maximale ontgrondingsdiepte in meters en de tijdsduur in dagen voor de achtereenvolgende bouwfasen, vanaf de wintersluitgatifase tot en met fase 5. Bij de raaien in de nabijheid van de oevers van de geul zijn de tijd-ontgrondingslijnen voor een aantal bouwfasen vervallen, omdat in die fasen ter plaatse geen merkbare ontgroning meer plaatsvindt. Uit deze bundels van tijd-ontgrondingslijnen is nu in combinatie met de tijdsduren van de betreffende bouwfasen, aangegeven in de sluitingsschema's op de figuren 78a, b en c, in elke langsraai de maximale ontgrondingsdiepte te bepalen die daar in de loop van de afsluitingsperiode naar verwachting zal optreden.

Uit waarnemingen in de praktijk blijkt echter, dat de op deze wijze bepaalde ontgrondingsdiepten groter zijn dan die in werkelijkheid optreden en dus de verwachtingen, gebaseerd op het modelonderzoek, te ongunstig. Dit geldt in het bijzonder voor de toestand met wintersluitgat, waarbij de berekende ontgroningen de in het prototype waargenomen verdieping van de bodem zelfs aanmerkelijk overtreffen. Terwijl op grond van de tijd-ontgrondingslijnen van de figuren 81a, b en c tot en met 96a, b en c in de wintersluitgatifase na bijvoorbeeld 1 jaar een ontgroning van gemiddeld 8 à 9 meter zou moeten worden verwacht, blijkt deze in werkelijkheid niet meer dan 1 à 2 meter te bedragen. Het is duidelijk dat aan een dergelijk verschil niet stilzwijgend voorbij kan worden gegaan, wil het ontgrondingsonderzoek nog van enige waarde blijven voor de uitvoering van afsluitingswerken.

De oorzaak van de diskrepantie tussen modelresultaten en praktijk moet gezocht worden in het feit, dat in het prototype niet alleen uitschuring plaatsvindt als gevolg van de aanleg van konstrukties als bodemverdedigingen en drem-

pels, maar tezelfder tijd ook bodemmateriaal dat door het water wordt aangevoerd in de ontgrondingskuilen kan worden afgezet. Dit laatste is in het model niet het geval, daar bovenstrooms van de ontgrondingsbak geen beweeglijk bodemmateriaal aanwezig is en dus ook geen materiaaltransport plaatsvindt, terwijl door het stromen in één richting evenmin materiaal dat benedenstrooms van de ontgrondingskuil is afgezet teruggevoerd kan worden. Het ligt voor de hand dat bij het ontbreken van materiaalaanvoer ter plaatse van de ontgrondingskuil de uitschuring langer door zal gaan en pas later een evenwichtstoestand bereikt zal worden dan in het geval dat wel materiaal wordt aangevoerd. Volgens deze gedachtengang moeten in het model dus inderdaad grotere ontgroningen worden gevonden dan in het prototype.

Hiermee is weliswaar de oorzaak aangegeven van het gesignaleerde verschil tussen ontgrondingsmodel en prototype, maar hoe is dit verschil nu te elimineren? In principe zijn twee oplossingen denkbaar: ofwel in het model materiaalaanvoer ter plaatse van de ontgrondingskuil introduceren (het model met bodemmateriaal "voeden"), ofwel de modelresultaten door berekeningen korrigeren. Beide methoden hebben hun komplikaties, maar op dit moment verdient de tweede oplossing nog de voorkeur, en wel om de volgende redenen. Resultaten uit een ontgrondingsmodel zonder "voeding" zijn beschikbaar, die uit een ontgrondingsmodel met "voeding" niet. Het ontwikkelen van een dergelijk model met "voeding" zal bovendien geen eenvoudige zaak zijn gezien de problemen van schaalbepaling en technische inrichting, en dus de nodige tijd vergen. Aan de andere kant hebben berekeningen van de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst (zie nota W69-107: "Beschouwing over de invloed van het rollend en zwevend transport op de ontgroning benedenstrooms van een bodembescherming") aangetoond, dat het inderdaad mogelijk is de modelresultaten rekenenderwijs zo te korrigeren, dat een veel betere overeenstemming met de waarnemingen in het prototype bereikt wordt. Zo blijken voor het prototype geschatte zandtransporten in de orde van $1 \text{ à } 10 \text{ m}^3/\text{m}^1$ per etmaal de ontgroningen tijdens de wintersluitgatifase, berekend op basis van de modelresultaten, te reduceren tot verdiepingen van slechts enkele meters, wat zeer goed met de waarnemingen overeenstemt. Bovendien blijkt uit genoemde berekeningen, dat het vooral de langdurende bouwfases zijn, waarbij het niet in rekening brengen van materiaal-aanvoer tot afwijkingen van betekenis leidt, terwijl bij korte bouwfases het verschil nauwelijks de moeite waard is. In het geval van het zuidelijke sluitgat van het Brouwershavense Gat

betekent dat dus, dat in feite alleen de ontgrondingen tijdens de wintersluitgatfase voor korrektie in aanmerking komen.

Omdat ook aan de korrektie-berekening nog wel problemen verbonden zijn, met name de juiste grootte van het materiaaltransport en de verdeling ervan over het dwarsprofiel punten van onzekerheid vormen, is besloten voor de onderhavige ontgrondingsberekeningen de volgende werkwijze toe te passen. Aangenomen wordt dat de bodem in het zuidelijke sluitgat van het Brouwershavense Gat ten tijde van de peiling van februari 1969, waarop de toestand van wintersluitgat reeds 1 à 2 jaar aanwezig was, de evenwichtssituatie had bereikt en dus niet verder zal verdiepen tot aan het moment dat de werkelijke afsluiting begint. Voor de ontgroning tijdens de wintersluitgatfase worden nu de uit het prototype opgemeten verdiepingen aangehouden, terwijl de modelmetingen die deze fase betreffen worden genegeerd. Voor de overige bouwfasen, die slechts korte doorgangsstadia zijn van de relatief kort durende sluitingsprocedure, worden de ontgrondingen afgeleid uit de resultaten van het modelonderzoek en zonder verdere korrektie op de ontgrondingen van de wintersluitgatfase gesuperponeerd.

5.8. Berekening van de maximale ontgrondingsdiepten

In figuur 4 is het dwarsprofiel over het sluitgat ter plaatse van het einde van de bodemverdediging afgebeeld, zowel in de oorspronkelijke toestand als volgens de peiling van februari 1969. Het verschil tussen beide dwarsprofielen is dus de in het prototype zelf waargenomen verdieping, die ontstaan is als gevolg van het aanbrengen van de bodemverdediging en die naar verwachting niet noemenswaardig meer zal veranderen zolang de toestand van het wintersluitgat voortduurt.

Zodra met de opbouw van de sluitkade een begin wordt gemaakt, komt aan de toestand van het wintersluitgat een einde, maar bouwfase 1 is nog niet onmiddellijk bereikt. Verondersteld wordt, dat de ontgroning zich gaat ontwikkelen volgens de tijd-ontgrondingslijnen van fase 1 op het moment dat deze bouwfase voor de helft gerealiseerd is. Dit gaat door totdat bij de damopbouw het punt bereikt is halverwege fase 1 en fase 2 (gemeten aan de afgesloten oppervlakte van het dwarsprofiel), waarna de ontgroning verder volgens de tijd-ontgrondingslijnen van fase 2 geacht wordt te verlopen. Bij het begin van fase 2 wordt als uitgangspunt genomen de diepte die aan het einde van fase 1 is bereikt. Dat

betekent dus dat men in de bundels van tijd-ontgrondingslijnen, zoals afgebeeld op de figuren 81a, b en c tot en met 96a, b en c, na afloop van fase 1 overspringt naar fase 2 volgens een horizontale lijn (h_{\max} blijft gelijk). Vanaf het punt waar men met deze horizontale lijn de tijd-ontgrondingslijn van fase 2 treft gaat de ontgroning verder, zolang deze bouwphase duurt. Na afloop van fase 2 springt men op analoge wijze over naar fase 3, vervolgens naar fase 4 en tenslotte naar fase 5. Aan het einde van fase 5 wordt de ontgroning als beëindigd beschouwd. De diepte die dan bereikt is, is de uiteindelijke maximale ontgrondingsdiepte die bij de geulafsluiting verwacht kan worden.

Op deze wijze is voor de drie sluitingsschema's a1, b1 en a2 in elke onderzochte langsraai de totale h_{\max} bepaald. De resultaten van de berekeningen zijn samengevat op de figuren 97a, b en c, waarop zowel de ontgrondingen per bouwphase als de totale verdieping van het dwarsprofiel staan aangegeven. In de tabellen IIIa, b en c zijn deze resultaten bovendien nog in getalvorm gegeven.

6. Konklusies en aanbevelingen

Voor zover ontgrondingen door de maximale ontgrondingsdiepte worden gekarakteriseerd geven de figuren 97a, b en c de konsekventies voor de bodem aan, die bij afsluiting van het Brouwershavense Gat volgens de sluitingsprogramma's a1, b1 en a2 in het zuidelijke sluitgat tengevolge van de ebstroom benedenstrooms van het einde van de bodemverdediging kunnen worden verwacht. Van de drie genoemde sluitingsprogramma's, die geselecteerd zijn uit een achttal varianten, geven de programma's a1 en b1 voor het zuidelijke sluitgat de ongunstigste stroomkondities met betrekking tot de ontgrondingen, terwijl het programma a2 de voor het zuiden gunstigste variant vertegenwoordigt. De te verwachten ontgrondingen zullen dus, mits geen ingrijpende wijzigingen in het sluitingsprogramma worden aangebracht, tenminste die van figuur 97c bedragen, maar anderzijds die van de figuren 97a en 97b niet overschrijden.

De verschillen tussen figuur 97a en figuur 97b zijn klein. Bij de eerstgenoemde, die betrekking heeft op het sluitingsprogramma a1, zijn het fase 1 en vooral fase 2 die de grootste verdiepingen veroorzaken, wat met name aan hun relatief lange duur te wijten is. Bij het sluitingsprogramma b1 (figuur 97b) is de invloed van fase 2 iets minder door de kortere duur, maar die van fase 3 daarentegen weer groter, tengevolge van de extreem grote debieten die bij dit sluitingsprogramma in deze fase optreden. Bij beide programma's treden maximale verdiepingen op van 13 à 14 meter, waardoor in de geul diepten ontstaan tot 34 meter beneden N.A.P. Het diepste punt van het te verwachten dwarsprofiel ligt op ongeveer 300 meter uit de Schouwse oever, terwijl de afstand van het diepste punt in de oorspronkelijke situatie ongeveer 180 meter bedraagt. De ontgraving wordt dus van de oever af gedrongen, zodat ook bij eb, evenals bij vloed, met het opgestelde bouwfaseschema het beoogde doel bereikt wordt (vergelijk rapport M 675-deel III).

Bij het sluitingsprogramma a2 zijn de ontgrondingen aanzienlijk geringer (figuur 97c). De maximale verdiepingen bedragen in dit geval 8 à 9 meter, dus ongeveer tweederde van die bij de programma's a1 en b1. De grootste diepte in de geul wordt 29 meter; het diepste punt ligt ruim 200 meter uit de Schouwse oever. De ontgraving wordt dus weliswaar minder opvallend van de oever af gedrongen, maar geeft door zijn geringere omvang toch een duidelijk gunstiger eindprofiel.

Of de bovenberekende en -beschreven ontgrondingen bij de afsluiting aanvaardbaar zijn, is niet zozeer een waterloopkundig als wel een grondmechanisch vraagstuk. Hierop kan in dit verslag dus geen antwoord gegeven worden. Wel kunnen, ter ondersteuning van de besluitvorming, nog de volgende aanwijzingen worden gegeven.

Verkorting van de sluitingsduur is met het oog op de ontgrondingen altijd gunstig. Dit punt komt voornamelijk in aanmerking bij de bouwfasen 1 en 2; de overige bouwfasen duren in de opgestelde sluitingsprogramma's reeds zo kort, dat verdere verkorting betrekkelijk weinig effect meer heeft. Voor de uitvoering betekent dit punt: de produktie van de kabelbaan zo snel mogelijk op volle capaciteit brengen.

Voor de meeste plaatsen in het dwarsprofiel van de geul is fase 3 het meest kritiek: in deze fase van de afsluiting ontwikkelen de ontgrondingen zich over het geheel gezien het snelst. Bouwfase 3 moet dus bij voorkeur niet onnodig gerekt worden. Ook verdient het aanbeveling met het sluiten van de doorlaatcaissons in het noordelijke sluitgat in ieder geval te wachten totdat fase 3 geheel achter de rug is.

Zijn uit grondmechanisch of ander oogpunt de ontgrondingen volgens sluitingsprogramma a2 (figuur 97c) niet aanvaardbaar, dan is als meest in aanmerking komende oplossing te adviseren: uitbreiding van de bodemverdediging. Het alternatief van een nog gunstiger sluitingsprogramma voor het zuiden zal vermoedelijk weinig aantrekkelijk zijn, aangezien het de moeilijkheden van het zuiden naar het noordelijke sluitgat verplaatst. Ook wijziging in het bouwfasenschema zal naar alle waarschijnlijkheid weinig winst opleveren.

Tenslotte moet er, wellicht ten overvloede, nog op worden gewezen, dat het ontgrondingsonderzoek in de loop van de afgelopen jaren weliswaar merkbare vooruitgang heeft geboekt, maar dat desondanks in het wezen van het ontgrondingsverschijnsel nog slechts een gebrekkig inzicht bestaat. De fysische achtergronden van het samenspel tussen water en vast materiaal en de samenhang tussen ontgrondingen en transportverschijnselen zijn nog geensins opgehelderd. Dit heeft tot gevolg, dat ook de toe te passen schaalregels aan onzekerheid onderhevig zijn en dus bij het overbrengen van modelresultaten naar het prototype met voorzichtigheid gehanteerd moeten worden.

Op grond van deze onzekerheid, en van het feit dat bij de berekening schematisaties zijn toegepast die in werkelijkheid niet voorkomen, moet bij de beoordeling van de toelaatbaarheid van bepaalde situaties een zekere marge in acht worden genomen.

Aanhangsel

Afleiding van de tijd-ontgrondingsrelaties voor niet-permanente stroom

Voor permanente stroom is uit het systematische ontgrondingsonderzoek (M 648, M 847, M 863) een verband afgeleid tussen maximale ontgrondingsdiepte en tijd. Dit verband kan, met de tot nu toe verkregen kennis, het best in de volgende twee relaties worden uitgedrukt:

$$\frac{h_{\max}(t)}{h_0} = f\left(\frac{t}{t_1}\right) \quad (1)$$

$$t_1 = \frac{K \cdot \Delta^{1,7} \cdot h_0^2}{(\bar{u} - u_{kr})^{4,3}} \quad (2)$$

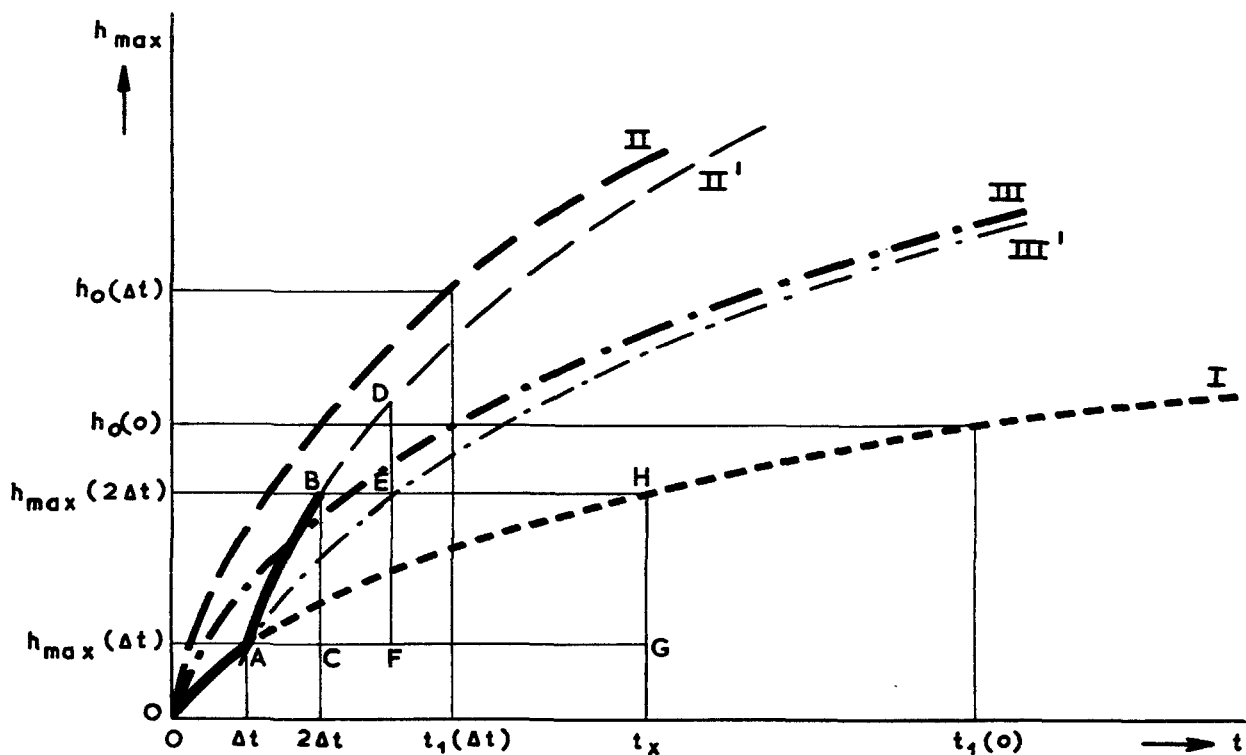
waarin:	h_{\max}	= maximale ontgrondingsdiepte	[m]
	h_0	= oorspronkelijke waterdiepte	[m]
	t	= tijd	[uren]
	t_1	= tijd waarin $h_{\max} = h_0$ wordt	[uren]
	Δ	= relatieve dichtheid van het ontgrondingsmateriaal	
	\bar{u}	= gemiddelde stroomsnelheid	[m/s]
	u_{kr}	= kritieke stroomsnelheid	[m/s]
	K	= konstante (≈ 100)	
	f	= functie, alleen afhankelijk van de geometrie	
	α	= koëfficiënt, alleen afhankelijk van de geometrie	

Wordt de ontgroning veroorzaakt door een niet-permanente stroom, dan zijn deze relaties niet zonder meer bruikbaar, daar een aantal bepalende factoren die eerst een konstante waarde hadden nu veranderlijk worden met de tijd. De belangrijkste van deze factoren is de gemiddelde snelheid \bar{u} ; sekundair, maar niettemin van invloed, is het tijdsafhankelijk worden van de waterdiepte h_0 . De veranderlijkheid van de kritieke snelheid u_{kr} is in het algemeen gering en als verwaarloosbaar te beschouwen. De variatie in de koëfficiënt α en de functie f , samenhangend met een variërende geometrie als gevolg van de variërende waterdiepte, zal gewoonlijk vallen binnen de nauwkeurigheid waarmee α en f

kunnen worden vastgesteld, zodat het geen zin heeft hierbij een tijdsafhankelijkheid in rekening te brengen.

Beperkt men aldus de tijdsafhankelijkheid tot de grootheden \bar{u} en h_0 , dan is het mogelijk de relaties (1) en (2) om te werken naar uitdrukkingen voor niet-permanente stroom, onder de veronderstelling dat de niet-permanente beweging beschouwd mag worden als een opeenvolging van oneindig kort durende permanente toestanden.

Beschouw daartoe onderstaande figuur, waarin langs de verticale as de maximale ontgrondingsdiepte h_{\max} en langs de horizontale as de tijd t is uitgezet, beide volgens lineaire schaal.



Stel dat op het tijdstip $t = 0$ de ontgroning begint, en aanvankelijk verloopt volgens de willekeurig gekozen tijd-ontgrondingslijn I (zie figuur), die is gekarakteriseerd door de getalwaarden $h_0(0)$ en $t_1(0)$. Na een tijdsduur Δt is dan een ontgrondingsdiepte bereikt die volgt uit:

$$\frac{h_{\max}(\Delta t)}{h_0(0)} = f \left\{ \frac{\Delta t}{t_1(0)} \right\} \quad (3)$$

en is de situatie ontstaan die korrespondeert met punt A in de figuur. Stel dat op dit moment de stroomkondities zodanig veranderen, dat de ontgronding zou verlopen volgens een tijd-ontgrondingslijn II (zie figuur), die is gekarakteriseerd door de getalwaarden $h_o(\Delta t)$ en $t_1(\Delta t)$. Aangezien de ontgronding reeds aan de gang is, zal in werkelijkheid niet de tijd-ontgrondingslijn II, maar de langs de tijd-as verschoven lijn II' gevolgd worden. Na een tweede tijdsinterval Δt is het ontgrondingsproces dan voortgeschreden tot punt B.

Omdat het weinig praktisch is de ontgrondingsdiepte h_{\max} te betrekken op een voortdurend variërende waterdiepte h_o , wordt nu de na $2\Delta t$ bereikte ontgrondingsdiepte overgebracht op de oorspronkelijke tijd-ontgrondingslijn I (punt H), zodat geschreven kan worden:

$$\frac{h_{\max}(2\Delta t)}{h_o(o)} = f \left\{ \frac{t_x}{t_1(o)} \right\} \quad (4)$$

waarin t_x het met punt H korresponderende tijdstip voorstelt. De grootte van t_x kan als volgt worden berekend.

Trek tussen de tijd-ontgrondingslijnen I en II de hulplijn III, gekarakteriseerd door $h_o(o)$ en $t_1(\Delta t)$. Nu geldt:

$$\text{voor lijn I} \quad : \quad \frac{h_{\max}(t)}{h_o(o)} = f \left\{ \frac{t}{t_1(o)} \right\}$$

$$\text{voor lijn III} \quad : \quad \frac{h_{\max}(t)}{h_o(o)} = f \left\{ \frac{t}{t_1(\Delta t)} \right\}$$

$$\text{en voor lijn II} \quad : \quad \frac{h_{\max}(t)}{h_o(\Delta t)} = f \left\{ \frac{t}{t_1(\Delta t)} \right\}$$

waarin f steeds hetzelfde funktieverband voorstelt. Hieruit volgt:

$$\text{voor gelijke } h_{\max} \text{ is } \frac{t_I}{t_{III}} = \frac{t_1(o)}{t_1(\Delta t)}$$

$$\text{voor gelijke } t \text{ is } \frac{h_{\text{maxII}}}{h_{\text{maxIII}}} = \frac{h_o(\Delta t)}{h_o(o)}$$

Met dit als gegeven en met behulp van gelijkvormigheidsoverwegingen, geldig mits Δt klein is, is dan te schrijven (zie figuur):

$$\left. \begin{aligned} \frac{DF}{EF} &= \frac{h_o(\Delta t)}{h_o(o)} = \frac{FA}{CA} = \frac{FA}{\Delta t} \\ \frac{GA}{FA} &= \frac{t_1(o)}{t_1(\Delta t)} \end{aligned} \right\} GA = \frac{h_o(\Delta t)}{h_o(o)} \cdot \frac{t_1(o)}{t_1(\Delta t)} \cdot \Delta t$$

zodat

$$t_x = \Delta t + GA = \Delta t + \frac{h_o(\Delta t)}{h_o(o)} \cdot \frac{t_1(o)}{t_1(\Delta t)} \cdot \Delta t \quad (5)$$

Dit gesubstitueerd in vergelijking (4) levert:

$$\frac{h_{\text{max}}(2\Delta t)}{h_o(o)} = f \left\{ \frac{\Delta t}{t_1(o)} + \frac{h_o(\Delta t)}{h_o(o)} \cdot \frac{\Delta t}{t_1(\Delta t)} \right\} \quad (6)$$

Veranderen vervolgens de stroomcondities zodanig, dat het ontgrondingsproces na het bereiken van punt B overgaat op een tijd-ontgrondingslijn gekarakteriseerd door de getalwaarden $h_o(2\Delta t)$ en $t_1(2\Delta t)$, dan is op analoge wijze af te leiden dat de ontgrondingsdiepte aan het einde van het volgende tijdsinterval bedraagt:

$$\frac{h_{\text{max}}(3\Delta t)}{h_o(o)} = f \left\{ \frac{\Delta t}{t_1(o)} + \frac{h_o(\Delta t)}{h_o(o)} \cdot \frac{\Delta t}{t_1(\Delta t)} + \frac{h_o(2\Delta t)}{h_o(o)} \cdot \frac{\Delta t}{t_1(2\Delta t)} \right\} \quad (7)$$

Stelt men nu, ter vereenvoudiging van de schrijfwijze,

$$\frac{h_{\text{max}}(\Delta t)}{h_o(o)} = f \left\{ \tau(\Delta t) \right\} \quad (3a)$$

$$\frac{h_{\max}(2\Delta t)}{h_o(o)} = f \left\{ \tau(2\Delta t) \right\} \quad (6a)$$

$$\frac{h_{\max}(3\Delta t)}{h_o(o)} = f \left\{ \tau(3\Delta t) \right\} \quad (7a)$$

dan is:

$$\tau(\Delta t) = \frac{\Delta t}{t_1(o)} \quad (3b)$$

$$\tau(2\Delta t) = \tau(\Delta t) + \frac{h_o(\Delta t)}{h_o(o)} \cdot \frac{\Delta t}{t_1(\Delta t)} \quad (6b)$$

$$\tau(3\Delta t) = \tau(2\Delta t) + \frac{h_o(2\Delta t)}{h_o(o)} \cdot \frac{\Delta t}{t_1(2\Delta t)} \quad (7b)$$

of algemeen:

$$\tau \left\{ (n+1)\Delta t \right\} = \tau(n\Delta t) + \frac{h_o(n\Delta t)}{h_o(o)} \cdot \frac{\Delta t}{t_1(n\Delta t)} \quad (8)$$

waarin $n\Delta t$ de totale tijd is, verlopen sinds de ontgroning begon. Vervangen we nu $n\Delta t$ door de lopende koördinaat t , dan is (8) als volgt te schrijven:

$$\tau(t + \Delta t) = \tau(t) + \frac{h_o(t)}{h_o(o)} \cdot \frac{\Delta t}{t_1(t)} \quad (8a)$$

ofwel:

$$\frac{\tau(t + \Delta t) - \tau(t)}{\Delta t} = \frac{h_o(t)}{h_o(o) \cdot t_1(t)} \quad (8b)$$

De limiet van dit differentiekosjant voor $\Delta t \rightarrow 0$ leidt tot

$$\frac{d\tau}{dt} = \frac{1}{h_o(o)} \cdot \frac{h_o(t)}{t_1(t)} \quad (9)$$

waaruit door integratie volgt:

$$\tau(t) = \frac{1}{h_o(o)} \int_0^t \frac{h_o(t)}{t_1(t)} dt + C \quad (10)$$

Voor de maximale ontgrondingsdiepte h_{\max} op het tijdstip t vindt men dus:

$$\frac{h_{\max}(t)}{h_o(o)} = f \left\{ \tau(t) \right\} = f \left\{ \frac{1}{h_o(o)} \int_0^t \frac{h_o(t)}{t_1(t)} dt \right\} \quad (11)$$

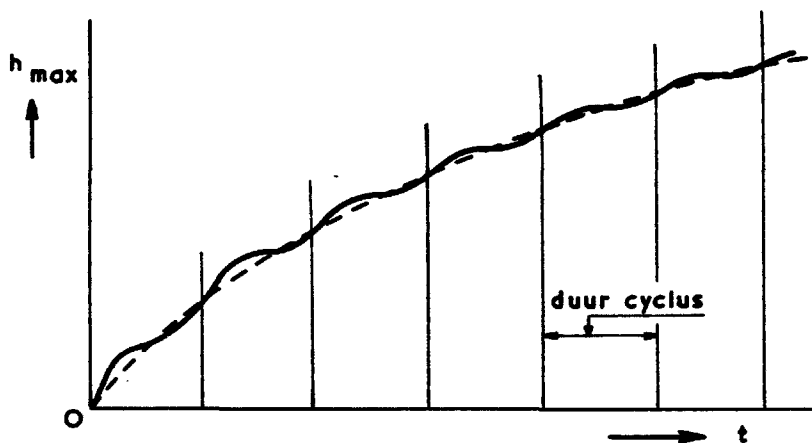
met $C = 0$ uit de voorwaarde dat $h_{\max} = 0$ voor $t = 0$.

De bijbehorende waarde van $t_1(t)$ volgt uit relatie (2):

$$t_1(t) = \frac{K \cdot \Delta^{1,7} \cdot h_o(t)^2}{\left\{ \bar{a}u(t) - u_{kr} \right\}^{4,3}} \quad (12)$$

waarin, in overeenstemming met het uitgangspunt, alleen de tijdsafhankelijkheid van de grootheden \bar{a} en h_o in aanmerking is genomen.

Doorloopt de niet-permanente stroom een cyclische beweging, wat bij een getijstroom nagenoeg het geval is, dan neemt de ontgrondingsdiepte toe volgens een golfvormig verloop als geschetst in onderstaande figuur.



Beschouwt men de ontgroning op langere termijn, dan kan men ter vereenvoudiging afzien van het detail-verloop binnen één cyclus en slechts de gemiddelde diepte-toename per cyclus in het oog houden, zoals in de figuur met een stippellijn is aangegeven. Deze gemiddelde ontgroning kan men veroorzaakt denken door een permanente stroom, waarvoor men echter de tijdschaal moet afleiden uit de gegevens van de niet-permanente cyclische getijbeweging. Definieert men nu als $t_{1\text{getij}}$ die tijdsduur, waarin onder de betreffende getij-omstandigheden $h_{\text{max}} = h_0$ wordt, en kiest men als vergelijkingswaarde voor h_{max} de waterdiepte op het tijdstip $t = 0$, dan geldt volgens relatie (1):

$$\frac{h_{\text{max}}(t)}{h_0(0)} = f \left\{ \frac{t}{t_{1\text{getij}}} \right\} \quad (13)$$

terwijl de relaties (11) en (12) aangeven hoe de ontgrondingsdiepte afhangt van de variabele grootheden \bar{u} en h_0 . Combineert men (11) en (13), dan krijgt men:

$$\frac{h_{\text{max}}(t)}{h_0(0)} = f \left\{ \frac{t}{t_{1\text{getij}}} \right\} = f \left\{ \frac{1}{h_0(0)} \int_0^t \frac{h_0(t)}{t_1(t)} dt \right\}$$

waaruit volgt:

$$t_{1\text{getij}} = \frac{t}{\frac{1}{h_o(o)} \int_0^t \frac{h_o(t)}{t_1(t)} dt} = \frac{h_o(o)}{\frac{1}{t} \int_0^t \frac{h_o(t)}{t_1(t)} dt} \quad (14)$$

met

$$t_1(t) = \frac{K \cdot \Delta^{1,7} \cdot h_o(t)^2}{\left\{ \bar{a}u(t) - u_{kr} \right\}^{4,3}} \quad (12)$$

Bij een cyclische beweging schommelt de getalwaarde van het rechterlid van relatie (14) om een gemiddelde; deze gemiddelde waarde verkrijgt men door te integreren over één gehele periode of een veelvoud daarvan. Stelt men de duur van de getijperiode op $t = T$ en substitueert men nog (12) in (14), dan kan men dus de gemiddelde ontgroning op langere termijn tengevolge van een getijstroom berekenen uit:

$$\frac{h_{\text{max}}(t)}{h_o(o)} = f \left\{ \frac{t}{t_{1\text{getij}}} \right\} \quad (13)$$

$$t_{1\text{getij}} = \frac{K \cdot \Delta^{1,7} \cdot h_o(o)}{\frac{1}{T} \int_0^T \frac{\left\{ \bar{a}u(t) - u_{kr} \right\}^{4,3}}{h_o(t)} dt} \quad (15)$$

Voor het geval dat slechts gedurende een gedeelte van de getijperiode ontgroning optreedt kan men de bijdrage van het overige deel aan de integraal van relatie (15) weglaten, of, wat op hetzelfde neerkomt, de integratiegrenzen zodanig kiezen dat alleen die tijd wordt ingesloten waarin ontgroning optreedt.

Indien men de tijdsafhankelijkheid van de waterdiepte h_o wil verwaarlozen en alleen de variatie van de gemiddelde snelheid \bar{u} in rekening wil brengen, kunnen de relaties (13) en (15) nog vereenvoudigd worden tot:

$$\frac{h_{\max}(t)}{h_0} = f \left\{ \frac{t}{t_{1\text{getij}}} \right\} \quad (13a)$$

$$t_{1\text{getij}} = \frac{K \cdot \Delta^{1,7} \cdot h_0^2}{\frac{1}{T} \int_0^T \left\{ \bar{au}(t) - u_{kr} \right\}^{4,3} dt} \quad (15a)$$

Bij ontgrondingen in sluitgaten onder normale getij-omstandigheden blijkt deze laatste vereenvoudiging slechts een geringe afwijking in de uitkomst te veroorzaken.

TABEL I Berekening van α ; gegevens en resultaten

TABEL I Berekening van α ; gegevens en resultaten

wintersluitgat

raai	t_1 [uren]	\bar{u} [m/s]	u_{kr} [m/s]	h_o [m]	α	raai	t_1 [uren]	\bar{u} [m/s]	u_{kr} [m/s]	h_o [m]	α
60	11	0,434	0,28	0,221	1,95	360	35	0,434	0,29	0,309	1,72
	26	0,361	0,28	0,221			130	0,361	0,29	0,309	
90	2,8	0,434	0,29	0,286	2,55		890	0,310	0,29	0,309	
	9,8	0,361	0,29	0,286		480	39	0,434	0,28	0,248	1,59
	30	0,310	0,29	0,286			190	0,361	0,28	0,248	
120	3,3	0,434	0,30	0,339	2,74	950	0,310	0,28	0,248		
	10	0,361	0,30	0,339		600	13,5	0,434	0,28	0,218	1,93
	23	0,310	0,30	0,339			25	0,361	0,28	0,218	
150	15	0,434	0,30	0,360	2,27	79	0,310	0,28	0,218		
	30	0,361	0,30	0,360		720	13	0,434	0,27	0,181	1,81
	60	0,310	0,30	0,360			20,5	0,361	0,27	0,181	
180	16	0,434	0,30	0,368	2,22	86	0,310	0,27	0,181		
	44	0,361	0,30	0,368		780	8	0,434	0,27	0,148	1,84
	103	0,310	0,30	0,368			10	0,361	0,27	0,148	
210	18	0,434	0,30	0,363	2,18	30	0,310	0,27	0,148		
	45	0,361	0,30	0,363		840	6,8	0,434	0,26	0,118	1,54
	106	0,310	0,30	0,363			10,5	0,361	0,26	0,118	
240	19,5	0,434	0,30	0,353	2,09	207	0,310	0,26	0,118		
	68	0,361	0,30	0,353		900	15,5	0,434	0,25	0,096	1,43
	140	0,310	0,30	0,353			22	0,361	0,25	0,096	
300	32	0,434	0,30	0,330	1,96	41	0,310	0,25	0,096		
	70	0,361	0,30	0,330		960	6,3	0,434	0,24	0,069	1,37
	175	0,310	0,30	0,330			31	0,361	0,24	0,069	

vaste gegevens: $\Delta = 0,35$
 $d = 1,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
 $K = 100$

TABEL I Berekening van α ; gegevens en resultaten

fase 1

raai	t_1 [uren]	\bar{u} [m/s]	u_{kr} [m/s]	h_o [m]	α	raai	t_1 [uren]	\bar{u} [m/s]	u_{kr} [m/s]	h_o [m]	α	
90	300	0,284	0,29	0,292	2,05	480	78	0,284	0,28	0,253	2,33	
	700	0,256	0,29	0,292			120	0,256	0,28	0,253		
120	52	0,284	0,29	0,345	2,37		350	0,233	0,28	0,253		
	190	0,256	0,29	0,345		600	60	0,284	0,28	0,223	2,37	
	840	0,233	0,29	0,345			89	0,256	0,28	0,223		
150	38	0,284	0,30	0,365	2,94	126	0,233	0,28	0,223			
	62	0,256	0,30	0,365		720	80	0,284	0,27	0,187	2,11	
	127	0,233	0,30	0,365			180	0,256	0,27	0,187		
180	290	0,284	0,30	0,373	2,17	215	0,233	0,27	0,187			
	810	0,256	0,30	0,373		780	38	0,284	0,26	0,153	2,05	
	2250	0,233	0,30	0,373			110	0,256	0,26	0,153		
210	1600	0,284	0,30	0,368	1,80	340	0,233	0,26	0,153			
	4200	0,256	0,30	0,368		840	80	0,289	0,25	0,123	1,82	
	25000	0,233	0,30	0,368			90	0,260	0,25	0,123		
240	59	0,284	0,29	0,358	2,68							
	95	0,256	0,29	0,358								
	250	0,233	0,29	0,358								
300	140	0,284	0,29	0,335	2,38							
	225	0,256	0,29	0,335								
	500	0,233	0,29	0,335								
360	128	0,284	0,29	0,315	2,33							
	265	0,256	0,29	0,315								
	540	0,233	0,29	0,315								

vaste gegevens: $\Delta = 0,35$
 $d = 1,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
 $K = 100$

TABEL I Berekening van α ; gegevens en resultaten

fase 2

fase 3

raai	t_1 [uren]	\bar{u} [m/s]	u_{kr} [m/s]	h_o [m]	α
150	5300	0,271	0,30	0,365	1,73
	17400	0,243	0,30	0,365	
180	520	0,271	0,30	0,373	2,21
	1600	0,222	0,30	0,373	
210	37	0,271	0,30	0,368	3,10
	105	0,222	0,30	0,368	
240	110	0,271	0,29	0,358	2,59
	420	0,222	0,29	0,358	
300	9,7	0,271	0,29	0,335	3,67
	25	0,222	0,29	0,335	
360	9	0,271	0,29	0,315	3,48
	42	0,222	0,29	0,315	
480	13	0,271	0,28	0,253	3,15
	40	0,222	0,28	0,253	
600	10	0,271	0,28	0,223	3,09
	42	0,222	0,28	0,223	
720	15	0,271	0,27	0,187	2,78
	48	0,222	0,27	0,187	
780	120	0,271	0,26	0,153	1,99
	275	0,222	0,26	0,153	

raai	t_1 [uren]	\bar{u} [m/s]	u_{kr} [m/s]	h_o [m]	α
180	$0,88 \cdot 10^5$	0,266	0,30	0,374	1,48
	$5,2 \cdot 10^5$	0,240	0,30	0,374	
	$24 \cdot 10^5$	0,218	0,30	0,374	
210	3100	0,266	0,30	0,369	1,89
	4300	0,240	0,30	0,369	
	5600	0,218	0,30	0,369	
240	20,5	0,266	0,29	0,359	3,43
	27	0,218	0,29	0,359	
300	73	0,266	0,29	0,336	2,78
	170	0,218	0,29	0,336	
360	18	0,266	0,29	0,316	3,10
	115	0,218	0,29	0,316	
480	6,1	0,266	0,28	0,254	3,66
	9,5	0,240	0,28	0,254	
	15	0,218	0,28	0,254	
600	4,3	0,266	0,28	0,224	3,69
	12	0,218	0,28	0,224	
720	48	0,266	0,27	0,188	2,44
	93	0,218	0,27	0,188	
780	24	0,266	0,26	0,154	2,14
	170	0,240	0,26	0,154	

vaste gegevens: $\Delta = 0,35$
 $d = 1,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
 $K = 100$

TABEL I Berekening van α ; gegevens en resultaten

fase 4

fase 5

raai	t_1 [uren]	\bar{u} [m/s]	u_{kr} [m/s]	h_o [m]	α	raai	t_1 [uren]	\bar{u} [m/s]	u_{kr} [m/s]	h_o [m]	α		
210	220	0,251	0,30	0,370	2,68	180	2100	0,184	0,30	0,376	2,75		
	260	0,226	0,30	0,370			210	1000	0,184	0,30		0,371	2,96
	300	0,206	0,30	0,370				240	5300	0,184		0,29	
240	91	0,251	0,29	0,360	2,88	300	3600		0,184	0,29	0,338	2,51	
	170	0,226	0,29	0,360			360		260	0,184	0,29		0,318
	320	0,206	0,29	0,360				480	420	0,184	0,28		0,256
300	480	0,251	0,29	0,337	2,34	600	16		0,184	0,28	0,226	4,28	
	700	0,226	0,29	0,337			720		110	0,184	0,27		0,190
	1560	0,206	0,29	0,337				780	360	0,184	0,26		0,156
360	69	0,251	0,29	0,317	2,92	840	60		0,184	0,25	0,126	2,90	
	100	0,206	0,29	0,317			480		36	0,251	0,28		0,255
	480	36	0,251	0,28				0,255	2,95	61	0,226		0,28
61		0,226	0,28	0,255	600	117		0,206		0,28	0,255	2,55	
117		0,206	0,28	0,255		720	23	0,251		0,28	0,225		3,08
600	23	0,251	0,28	0,225	3,08		32	0,226	0,28	0,225	2,55		
	32	0,226	0,28	0,225			780	47	0,206	0,28		0,225	
	47	0,206	0,28	0,225		720		58	0,251	0,27		0,189	2,55
720	58	0,251	0,27	0,189	2,55		78	0,226	0,27	0,189	1,94		
	78	0,226	0,27	0,189			780	135	0,206	0,27		0,189	
	135	0,206	0,27	0,189		780		315	0,251	0,26		0,155	1,94
780	315	0,251	0,26	0,155	1,94		590	0,226	0,26	0,155	1,94		
	590	0,226	0,26	0,155			780	1150	0,206	0,26		0,155	
	1150	0,206	0,26	0,155		780		1150	0,206	0,26		0,155	1,94

vaste gegevens: $\Delta = 0,35$
 $d = 1,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
 $K = 100$

TABEL IIa Berekening van t_1 -prototype; gegevens en resultaten
(sluitingsschema a1)

TABEL IIa Berekening van t_1 -prototype; gegevens en resultaten
(sluitingsschema a1)

wintersluitgat

tijd	$Q(t)$ [m ³ /s]	$h_o(t)$ [m]	$F(t)$ [m ²]
7.30	+112.10 ²	$h_o(0) - 0,67$	129.10 ²
8	+ 97	-0,93	126
8.30	+ 77	-1,10	125
9	+ 51	-1,12	124
9.30	+ 21	-1,06	125
10	- 7	-1,00	126
10.30	- 22	-0,96	126
11	- 25	-0,88	127
11.30	- 23	-0,75	128
12	- 16	-0,63	129
12.30	- 11	-0,53	130
13	- 11	-0,38	132
13.30	- 33	-0,13	135
14	- 96	+0,36	140
14.30	-170	+0,99	147
15	-196	+1,33	150
15.30	-160	+1,39	151
16	- 96	+1,37	151
16.30	- 30	+1,34	150
17	+ 38	+1,16	148
17.30	+101	+0,87	145
18	+141	+0,52	141
18.30	+146	+0,17	138
19	+141	-0,23	134
19.30	+133	-0,62	130
20	+122	-0,94	126

raai	$h_o(0)$ [m]	u_{kr} [m/s]	α	t_1 -prototype	
				[uren]	[dagen]
60	13,4	0,43	1,95	28203	1175
90	17,3	0,44	2,55	11390	475
120	20,5	0,44	2,74	11002	458
150	21,7	0,45	2,27	33849	1410
180	22,2	0,45	2,22	39943	1664
210	21,9	0,45	2,18	42905	1788
240	21,3	0,44	2,09	49780	2074
300	19,9	0,44	1,96	61948	2581
360	18,7	0,44	1,72	114859	4786
480	15,0	0,43	1,59	114186	4758
600	13,2	0,43	1,93	28982	1208
720	11,0	0,43	1,81	28911	1205
780	9,0	0,42	1,84	17159	715
840	7,2	0,41	1,54	29798	1242
900	5,9	0,41	1,43	31216	1301
960	4,3	0,40	1,37	20730	864

TABEL IIa Berekening van t_1 -prototype; gegevens en resultaten
(sluitingsschema a1)

fase 1

tijd	$Q(t)$ [m ³ /s]	$h_o(t)$ [m]	$F(t)$ [m ²]
7.30	+115.10 ²	$h_o(0)-0,67$	129.10 ²
8	+101	-0,93	126
8.30	+ 80	-1,10	125
9	+ 49	-1,12	124
9.30	+ 17	-1,06	125
10	- 9	-1,00	126
10.30	- 22	-0,96	126
11	- 26	-0,88	127
11.30	- 23	-0,75	128
12	- 18	-0,63	129
12.30	- 13	-0,53	130
13	- 13	-0,38	132
13.30	- 32	-0,13	135
14	-102	+0,36	140
14.30	-181	+0,99	147
15	-209	+1,33	150
15.30	-166	+1,39	151
16	-106	+1,37	151
16.30	- 38	+1,34	150
17	+ 50	+1,16	148
17.30	+116	+0,87	145
18	+145	+0,52	141
18.30	+148	+0,17	138
19	+144	-0,23	134
19.30	+136	-0,62	130
20	+124	-0,94	126

raai	$h_o(0)$ [m]	u_{kr} [m/s]	α	t_1 -prototype	
				[uren]	[dagen]
90	17,3	0,44	2,05	31848	1327
120	20,5	0,44	2,37	20496	854
150	21,7	0,45	2,94	7679	320
180	22,2	0,45	2,17	39398	1642
210	21,9	0,45	1,80	108440	4518
240	21,3	0,44	2,68	11662	486
300	19,9	0,44	2,38	18894	787
360	18,7	0,44	2,33	18675	778
480	15,0	0,43	2,33	11773	491
600	13,2	0,43	2,37	8348	348
720	11,0	0,43	2,11	10781	449
780	9,0	0,42	2,05	8240	343
840	7,2	0,41	1,82	9863	411

TABEL IIa Berekening van t_1 -prototype; gegevens en resultaten
(sluitingsschema a1)

fase 2

tijd	$Q(t)$ [m ³ /s]	$h_o(t)$ [m]	$F(t)$ [m ²]
7.30	+122.10 ²	$h_o(0)-0,67$	129.10 ²
8	+110	-0,93	126
8.30	+ 90	-1,10	125
9	+ 62	-1,12	124
9.30	+ 30	-1,06	125
10	- 2	-1,00	126
10.30	- 23	-0,96	126
11	- 29	-0,88	127
11.30	- 28	-0,75	128
12	- 25	-0,63	129
12.30	- 24	-0,53	130
13	- 27	-0,38	132
13.30	- 47	-0,13	135
14	-109	+0,36	140
14.30	-174	+0,99	147
15	-199	+1,33	150
15.30	-173	+1,39	151
16	-118	+1,37	151
16.30	- 40	+1,34	150
17	+ 46	+1,16	148
17.30	+115	+0,87	145
18	+144	+0,52	141
18.30	+149	+0,17	138
19	+145	-0,23	134
19.30	+139	-0,62	130
20	+126	-0,94	126

raai	$h_o(0)$ [m]	u_{kr} [m/s]	α	t_1 -prototype	
				[uren]	[dagen]
150	21,7	0,45	1,73	122453	5102
180	22,2	0,45	2,21	32737	1364
210	21,9	0,45	3,10	5500	229
240	21,3	0,44	2,59	12776	532
300	19,9	0,44	3,67	1943	81
360	18,7	0,44	3,48	2227	93
480	15,0	0,43	3,15	2318	97
600	13,2	0,43	3,09	1979	82
720	11,0	0,43	2,78	2348	98
780	9,0	0,42	1,99	8906	371

TABEL IIa Berekening van t_1 -prototype; gegevens en resultaten
(sluitingsschema a1)

fase 3

tijd	$Q(t)$ [m ³ /s]	$h_o(t)$ [m]	$F(t)$ [m ²]
7.30	+122.10 ²	$h_o(0)$ -0,67	129.10 ²
8	+111	-0,93	126
8.30	+ 96	-1,10	125
9	+ 75	-1,12	124
9.30	+ 45	-1,06	125
10	+ 7	-1,00	126
10.30	- 22	-0,96	126
11	- 32	-0,88	127
11.30	- 31	-0,75	128
12	- 27	-0,63	129
12.30	- 26	-0,53	130
13	- 30	-0,38	132
13.30	- 56	-0,13	135
14	-103	+0,36	140
14.30	-162	+0,99	147
15	-193	+1,33	150
15.30	-172	+1,39	151
16	-120	+1,37	151
16.30	- 40	+1,34	150
17	+ 35	+1,16	148
17.30	+106	+0,87	145
18	+142	+0,52	141
18.30	+148	+0,17	138
19	+142	-0,23	134
19.30	+134	-0,62	130
20	+123	-0,94	126

raai	$h_o(0)$ [m]	u_{kr} [m/s]	α	t_1 -prototype	
				[uren]	[dagen]
180	22,2	0,45	1,48	362140	15089
210	21,9	0,45	1,89	83392	3475
240	21,3	0,44	3,43	3342	139
300	19,9	0,44	2,78	8399	350
360	18,7	0,44	3,10	4271	178
480	15,0	0,43	3,66	1194	50
600	13,2	0,43	3,69	890	37
720	11,0	0,43	2,44	4987	208
780	9,0	0,42	2,14	6562	273

TABEL IIa Berekening van t_1 -prototype; gegevens en resultaten
(sluitingsschema a1)

fase 4

tijd	$Q(t)$ [m ³ /s]	$h_o(t)$ [m]	$F(t)$ [m ²]
7.30	+157.10 ²	$h_o(0)$ -0,67	129.10 ²
8	+149	-0,93	126
8.30	+134	-1,10	125
9	+113	-1,12	124
9.30	+ 83	-1,06	125
10	+ 49	-1,00	126
10.30	+ 21	-0,96	126
11	- 4	-0,88	127
11.30	- 27	-0,75	128
12	- 42	-0,63	129
12.30	- 49	-0,53	130
13	- 60	-0,38	132
13.30	- 87	-0,13	135
14	-127	+0,36	140
14.30	-186	+0,99	147
15	-201	+1,33	150
15.30	-189	+1,39	151
16	-148	+1,37	151
16.30	- 89	+1,34	150
17	- 29	+1,16	148
17.30	+ 57	+0,87	145
18	+128	+0,52	141
18.30	+157	+0,17	138
19	+166	-0,23	134
19.30	+167	-0,62	130
20	+161	-0,94	126

raai	$h_o(0)$ [m]	u_{kr} [m/s]	α	t_1 -prototype	
				[uren]	[dagen]
210	21,9	0,45	2,68	5018	209
240	21,3	0,44	2,88	3270	136
300	19,9	0,44	2,34	8114	338
360	18,7	0,44	2,92	2363	98
480	15,0	0,43	2,95	1436	60
600	13,2	0,43	3,08	905	38
720	11,0	0,43	2,55	1612	67
780	9,0	0,42	1,94	4351	181

TABEL IIa Berekening van t_1 -prototype; gegevens en resultaten
(sluitingsschema a1)

fase 5

tijd	$Q(t)$ [m ³ /s]	$h_o(t)$ [m]	$F(t)$ [m ²]
7.30	+111.10 ²	$h_o(0) - 0,67$	129.10 ²
8	+108	-0,93	126
8.30	+ 99	-1,10	125
9	+ 85	-1,12	124
9.30	+ 66	-1,06	125
10	+ 44	-1,00	126
10.30	+ 26	-0,96	126
11	+ 10	-0,88	127
11.30	- 6	-0,75	128
12	- 18	-0,63	129
12.30	- 24	-0,53	130
13	- 33	-0,38	132
13.30	- 55	-0,13	135
14	- 90	+0,36	140
14.30	-135	+0,99	147
15	-149	+1,33	150
15.30	-141	+1,39	151
16	-115	+1,37	151
16.30	- 77	+1,34	150
17	- 35	+1,16	148
17.30	+ 25	+0,87	145
18	+ 77	+0,52	141
18.30	+103	+0,17	138
19	+114	-0,23	134
19.30	+117	-0,62	130
20	+115	-0,94	126

raai	$h_o(0)$ [m]	u_{kr} [m/s]	a	t_1 -prototype	
				[uren]	[dagen]
180	22,2	0,45	2,75	27662	1153
210	21,9	0,45	2,96	18231	760
240	21,3	0,44	2,46	45688	1904
300	19,9	0,44	2,51	35815	1492
360	18,7	0,44	3,15	9465	394
480	15,0	0,43	2,88	9587	399
600	13,2	0,43	4,28	1010	42
720	11,0	0,43	3,09	3631	151
780	9,0	0,42	2,54	6743	281
840	7,2	0,41	2,90	2133	89

TABEL IIb Berekening van t_1 -prototype; gegevens en resultaten
(sluitingsschema b1)

TABEL IIB Berekening van t_1 -prototype; gegevens en resultaten
(sluitingsschema b1)

wintersluitgat

tijd	$Q(t)$ [m ³ /s]	$h_o(t)$ [m]	$F(t)$ [m ²]
7.30	+112.10 ²	$h_o(0)$ -0,67	129.10 ²
8	+ 97	-0,93	126
8.30	+ 77	-1,10	125
9	+ 51	-1,12	124
9.30	+ 21	-1,06	125
10	- 7	-1,00	126
10.30	- 22	-0,96	126
11	- 25	-0,88	127
11.30	- 23	-0,75	128
12	- 16	-0,63	129
12.30	- 11	-0,53	130
13	- 11	-0,38	132
13.30	- 33	-0,13	135
14	- 96	+0,36	140
14.30	-170	+0,99	147
15	-196	+1,33	150
15.30	-160	+1,39	151
16	- 96	+1,37	151
16.30	- 30	+1,34	150
17	+ 38	+1,16	148
17.30	+101	+0,87	145
18	+141	+0,52	141
18.30	+146	+0,17	138
19	+141	-0,23	134
19.30	+133	-0,62	130
20	+122	-0,94	126

raai	$h_o(0)$ [m]	u_{kr} [m/s]	α	t_1 -prototype	
				[uren]	[dagen]
60	13,4	0,43	1,95	28203	1175
90	17,3	0,44	2,55	11390	475
120	20,5	0,44	2,74	11002	458
150	21,7	0,45	2,27	33849	1410
180	22,2	0,45	2,22	39943	1664
210	21,9	0,45	2,18	42905	1788
240	21,3	0,44	2,09	49780	2074
300	19,9	0,44	1,96	61948	2581
360	18,7	0,44	1,72	114859	4786
480	15,0	0,43	1,59	114186	4758
600	13,2	0,43	1,93	28982	1208
720	11,0	0,43	1,81	28911	1205
780	9,0	0,42	1,84	17159	715
840	7,2	0,41	1,54	29798	1242
900	5,9	0,41	1,43	31216	1301
960	4,3	0,40	1,37	20730	864

TABEL IIb Berekening van t_1 -prototype; gegevens en resultaten
(sluitingsschema b1)

fase 1

tijd	$Q(t)$ [m ³ /s]	$h_o(t)$ [m]	$F(t)$ [m ²]
7.30	+124.10 ²	$h_o(0)-0,67$	129.10 ²
8	+108	-0,93	126
8.30	+ 86	-1,10	125
9	+ 53	-1,12	124
9.30	+ 19	-1,06	125
10	- 10	-1,00	126
10.30	- 24	-0,96	126
11	- 28	-0,88	127
11.30	- 25	-0,75	128
12	- 21	-0,63	129
12.30	- 17	-0,53	130
13	- 17	-0,38	132
13.30	- 34	-0,13	135
14	-107	+0,36	140
14.30	-187	+0,99	147
15	-216	+1,33	150
15.30	-178	+1,39	151
16	-118	+1,37	151
16.30	- 46	+1,34	150
17	+ 44	+1,16	148
17.30	+118	+0,87	145
18	+153	+0,52	141
18.30	+157	+0,17	138
19	+153	-0,23	134
19.30	+145	-0,62	130
20	+131	-0,94	126

raai	$h_o(0)$ [m]	u_{kr} [m/s]	α	t_1 -prototype	
				[uren]	[dagen]
90	17,3	0,44	2,05	23216	967
120	20,5	0,44	2,37	15102	629
150	21,7	0,45	2,94	5723	238
180	22,2	0,45	2,17	28793	1200
210	21,9	0,45	1,80	77909	3246
240	21,3	0,44	2,68	8658	361
300	19,9	0,44	2,38	13926	580
360	18,7	0,44	2,33	13745	573
480	15,0	0,43	2,33	8681	362
600	13,2	0,43	2,37	6163	257
720	11,0	0,43	2,11	7896	329
780	9,0	0,42	2,05	6035	251
840	7,2	0,41	1,82	7170	299

TABEL IIb Berekening van t_1 -prototype; gegevens en resultaten
(sluitingsschema b1)

fase 2

tijd	$Q(t)$ [m ³ /s]	$h_o(t)$ [m]	$F(t)$ [m ²]
7.30	+124.10 ²	$h_o(0)$ -0,67	129.10 ²
8	+112	-0,93	126
8.30	+ 93	-1,10	125
9	+ 66	-1,12	124
9.30	+ 34	-1,06	125
10	0	-1,00	126
10.30	- 23	-0,96	126
11	- 31	-0,88	127
11.30	- 30	-0,75	128
12	- 27	-0,63	129
12.30	- 25	-0,53	130
13	- 27	-0,38	132
13.30	- 46	-0,13	135
14	-109	+0,36	140
14.30	-175	+0,99	147
15	-202	+1,33	150
15.30	-179	+1,39	151
16	-123	+1,37	151
16.30	- 47	+1,34	150
17	+ 37	+1,16	148
17.30	+114	+0,87	145
18	+146	+0,52	141
18.30	+152	+0,17	138
19	+148	-0,23	134
19.30	+141	-0,62	130
20	+128	-0,94	126

raai	$h_o(0)$ [m]	u_{kr} [m/s]	α	t_1 -prototype	
				[uren]	[dagen]
150	21,7	0,45	1,73	112728	4697
180	22,2	0,45	2,21	29928	1247
210	21,9	0,45	3,10	5059	211
240	21,3	0,44	2,59	11721	488
300	19,9	0,44	3,67	1791	75
360	18,7	0,44	3,48	2052	86
480	15,0	0,43	3,15	2134	89
600	13,2	0,43	3,09	1822	76
720	11,0	0,43	2,78	2158	90
780	9,0	0,42	1,99	8139	339

TABEL IIb Berekening van t_1 -prototype; gegevens en resultaten
(sluitingsschema b1)

fase 3

tijd	Q(t) [m ³ /s]	h _o (t) [m]	F(t) [m ²]
7.30	+180.10 ²	h _o (0)-0,67	129.10 ²
8	+170	-0,93	126
8.30	+153	-1,10	125
9	+128	-1,12	124
9.30	+ 92	-1,06	125
10	+ 52	-1,00	126
10.30	+ 19	-0,96	126
11	- 11	-0,88	127
11.30	- 38	-0,75	128
12	- 55	-0,63	129
12.30	- 62	-0,53	130
13	- 74	-0,38	132
13.30	-104	-0,13	135
14	-146	+0,36	140
14.30	-211	+0,99	147
15	-228	+1,33	150
15.30	-213	+1,39	151
16	-166	+1,37	151
16.30	- 96	+1,34	150
17	- 26	+1,16	148
17.30	+ 74	+0,87	145
18	+154	+0,52	141
18.30	+184	+0,17	138
19	+193	-0,23	134
19.30	+192	-0,62	130
20	+185	-0,94	126

raai	h _o (0) [m]	u _{kr} [m/s]	α	t ₁ -prototype	
				[uren]	[dagen]
180	22,2	0,45	1,48	54787	2283
210	21,9	0,45	1,89	14388	599
240	21,3	0,44	3,43	703	29
300	19,9	0,44	2,78	1687	70
360	18,7	0,44	3,10	881	37
480	15,0	0,43	3,66	257	11
600	13,2	0,43	3,69	192	8
720	11,0	0,43	2,44	984	41
780	9,0	0,42	2,14	1259	52

TABEL IIb Berekening van t_1 -prototype; gegevens en resultaten
(sluitingsschema b1)

fase 4

tijd	$Q(t)$ [m ³ /s]	$h_o(t)$ [m]	$F(t)$ [m ²]
7.30	+157.10 ²	$h_o(0)-0,67$	129.10 ²
8	+149	-0,93	126
8.30	+134	-1,10	125
9	+113	-1,12	124
9.30	+ 83	-1,06	125
10	+ 49	-1,00	126
10.30	+ 21	-0,96	126
11	- 4	-0,88	127
11.30	- 27	-0,75	128
12	- 42	-0,63	129
12.30	- 49	-0,53	130
13	- 60	-0,38	132
13.30	- 87	-0,13	135
14	-127	+0,36	140
14.30	-186	+0,99	147
15	-201	+1,33	150
15.30	-189	+1,39	151
16	-148	+1,37	151
16.30	- 89	+1,34	150
17	- 29	+1,16	148
17.30	+ 57	+0,87	145
18	+128	+0,52	141
18.30	+157	+0,17	138
19	+166	-0,23	134
19.30	+167	-0,62	130
20	+161	-0,94	126

raai	$h_o(0)$ [m]	u_{kr} [m/s]	a	t_1 -prototype	
				[uren]	[dagen]
210	21,9	0,45	2,68	5018	209
240	21,3	0,44	2,88	3270	136
300	19,9	0,44	2,34	8114	338
360	18,7	0,44	2,92	2363	98
480	15,0	0,43	2,95	1436	60
600	13,2	0,43	3,08	905	38
720	11,0	0,43	2,55	1612	67
780	9,0	0,42	1,94	4351	181

TABEL IIb Berekening van t_1 -prototype; gegevens en resultaten
(sluitingsschema b1)

fase 5

tijd	$Q(t)$ [m ³ /s]	$h_o(t)$ [m]	$F(t)$ [m ²]
7.30	+111.10 ²	$h_o(0)-0,67$	129.10 ²
8	+108	-0,93	126
8.30	+ 99	-1,10	125
9	+ 85	-1,12	124
9.30	+ 66	-1,06	125
10	+ 44	-1,00	126
10.30	+ 26	-0,96	126
11	+ 10	-0,88	127
11.30	- 6	-0,75	128
12	- 18	-0,63	129
12.30	- 24	-0,53	130
13	- 33	-0,38	132
13.30	- 55	-0,13	135
14	- 90	+0,36	140
14.30	-135	+0,99	147
15	-149	+1,33	150
15.30	-141	+1,39	151
16	-115	+1,37	151
16.30	- 77	+1,34	150
17	- 35	+1,16	148
17.30	+ 25	+0,87	145
18	+ 77	+0,52	141
18.30	+103	+0,17	138
19	+114	-0,23	134
19.30	+117	-0,62	130
20	+115	-0,94	126

raai	$h_o(0)$ [m]	u_{kr} [m/s]	a	t_1 -prototype	
				[uren]	[dagen]
180	22,2	0,45	2,75	27662	1153
210	21,9	0,45	2,96	18231	760
240	21,3	0,44	2,46	45688	1904
300	19,9	0,44	2,51	35815	1492
360	18,7	0,44	3,15	9465	394
480	15,0	0,43	2,88	9587	399
600	13,2	0,43	4,28	1010	42
720	11,0	0,43	3,09	3631	151
780	9,0	0,42	2,54	6743	281
840	7,2	0,41	2,90	2133	89

TABEL IIc Berekening van t_1 -prototype; gegevens en resultaten
(sluitingsschema a2)

TABEL IIc Berekening van t_1 -prototype; gegevens en resultaten
(sluitingsschema a2)

wintersluitgat

tijd	$Q(t)$ [m ³ /s]	$h_o(t)$ [m]	$F(t)$ [m ²]
7.30	+112.10 ²	$h_o(0)$ -0,67	129.10 ²
8	+ 97	-0,93	126
8.30	+ 77	-1,10	125
9	+ 51	-1,12	124
9.30	+ 21	-1,06	125
10	- 7	-1,00	126
10.30	- 22	-0,96	126
11	- 25	-0,88	127
11.30	- 23	-0,75	128
12	- 16	-0,63	129
12.30	- 11	-0,53	130
13	- 11	-0,38	132
13.30	- 33	-0,13	135
14	- 96	+0,36	140
14.30	-170	+0,99	147
15	-196	+1,33	150
15.30	-160	+1,39	151
16	- 96	+1,37	151
16.30	- 30	+1,34	150
17	+ 38	+1,16	148
17.30	+101	+0,87	145
18	+141	+0,52	141
18.30	+146	+0,17	138
19	+141	-0,23	134
19.30	+133	-0,62	130
20	+122	-0,94	126

raai	$h_o(0)$ [m]	u_{kr} [m/s]	α	t_1 -prototype	
				[uren]	[dagen]
60	13,4	0,43	1,95	28203	1175
90	17,3	0,44	2,55	11390	475
120	20,5	0,44	2,74	11002	458
150	21,7	0,45	2,27	33849	1410
180	22,2	0,45	2,22	39943	1664
210	21,9	0,45	2,18	42905	1788
240	21,3	0,44	2,09	49780	2074
300	19,9	0,44	1,96	61948	2581
360	18,7	0,44	1,72	114859	4786
480	15,0	0,43	1,59	114186	4758
600	13,2	0,43	1,93	28982	1208
720	11,0	0,43	1,81	28911	1205
780	9,0	0,42	1,84	17159	715
840	7,2	0,41	1,54	29798	1242
900	5,9	0,41	1,43	31216	1301
960	4,3	0,40	1,37	20730	864

TABEL IIc Berekening van t_1 -prototype; gegevens en resultaten
(sluitingsschema a2)

fase 1

tijd	Q(t) [m ³ /s]	$h_o(t)$ [m]	F(t) [m ²]
7.30	+115.10 ²	$h_o(0)$ -0,67	129.10 ²
8	+101	-0,93	126
8.30	+ 80	-1,10	125
9	+ 49	-1,12	124
9.30	+ 17	-1,06	125
10	- 9	-1,00	126
10.30	- 22	-0,96	126
11	- 26	-0,88	127
11.30	- 23	-0,75	128
12	- 18	-0,63	129
12.30	- 13	-0,53	130
13	- 13	-0,38	132
13.30	- 32	-0,13	135
14	-102	+0,36	140
14.30	-181	+0,99	147
15	-209	+1,33	150
15.30	-166	+1,39	151
16	-106	+1,37	151
16.30	- 38	+1,34	150
17	+ 50	+1,16	148
17.30	+116	+0,87	145
18	+145	+0,52	141
18.30	+148	+0,17	138
19	+144	-0,23	134
19.30	+136	-0,62	130
20	+124	-0,94	126

raai	$h_o(0)$ [m]	u_{kr} [m/s]	α	t_1 -prototype	
				[uren]	[dagen]
90	17,3	0,44	2,05	31848	1327
120	20,5	0,44	2,37	20496	854
150	21,7	0,45	2,94	7679	320
180	22,2	0,45	2,17	39398	1642
210	21,9	0,45	1,80	108440	4518
240	21,3	0,44	2,68	11662	486
300	19,9	0,44	2,38	18894	787
360	18,7	0,44	2,33	18675	778
480	15,0	0,43	2,33	11773	491
600	13,2	0,43	2,37	8348	348
720	11,0	0,43	2,11	10781	449
780	9,0	0,42	2,05	8240	343
840	7,2	0,41	1,82	9863	411

TABEL IIc Berekening van t_1 -prototype; gegevens en resultaten
(sluitingsschema a2)

fase 2

tijd	$Q(t)$ [m ³ /s]	$h_o(t)$ [m]	$F(t)$ [m ²]
7.30	+117.10 ²	$h_o(0)$ -0,67	129.10 ²
8	+106	-0,93	126
8.30	+ 83	-1,10	125
9	+ 51	-1,12	124
9.30	+ 20	-1,06	125
10	- 6	-1,00	126
10.30	- 22	-0,96	126
11	- 25	-0,88	127
11.30	- 24	-0,75	128
12	- 21	-0,63	129
12.30	- 20	-0,53	130
13	- 25	-0,38	132
13.30	- 50	-0,13	135
14	-108	+0,36	140
14.30	-171	+0,99	147
15	-192	+1,33	150
15.30	-161	+1,39	151
16	-106	+1,37	151
16.30	- 25	+1,34	150
17	+ 65	+1,16	148
17.30	+118	+0,87	145
18	+138	+0,52	141
18.30	+142	+0,17	138
19	+139	-0,23	134
19.30	+133	-0,62	130
20	+124	-0,94	126

raai	$h_o(0)$ [m]	u_{kr} [m/s]	α	t_1 -prototype	
				[uren]	[dagen]
150	21,7	0,45	1,73	152490	6354
180	22,2	0,45	2,21	40138	1672
210	21,9	0,45	3,10	6645	277
240	21,3	0,44	2,59	15532	647
300	19,9	0,44	3,67	2334	97
360	18,7	0,44	3,48	2680	112
480	15,0	0,43	3,15	2794	116
600	13,2	0,43	3,09	2387	99
720	11,0	0,43	2,78	2841	118
780	9,0	0,42	1,99	10934	456

TABEL IIc Berekening van t_1 -prototype; gegevens en resultaten
(sluitingsschema a2)

fase 3

tijd	Q(t) [m ³ /s]	h _o (t) [m]	F(t) [m ²]
7.30	+120.10 ²	h _o (0)-0,67	129.10 ²
8	+110	-0,93	126
8.30	+ 87	-1,10	125
9	+ 57	-1,12	124
9.30	+ 28	-1,06	125
10	- 3	-1,00	126
10.30	- 22	-0,96	126
11	- 26	-0,88	127
11.30	- 24	-0,75	128
12	- 22	-0,63	129
12.30	- 22	-0,53	130
13	- 30	-0,38	132
13.30	- 61	-0,13	135
14	-108	+0,36	140
14.30	-163	+0,99	147
15	-184	+1,33	150
15.30	-159	+1,39	151
16	-103	+1,37	151
16.30	- 18	+1,34	150
17	+ 68	+1,16	148
17.30	+117	+0,87	145
18	+137	+0,52	141
18.30	+141	+0,17	138
19	+138	-0,23	134
19.30	+132	-0,62	130
20	+125	-0,94	126

raai	h _o (0) [m]	u _{kr} [m/s]	α	t ₁ -prototype	
				[uren]	[dagen]
180	22,2	0,45	1,48	409938	17081
210	21,9	0,45	1,89	93048	3877
240	21,3	0,44	3,43	3711	155
300	19,9	0,44	2,78	9362	390
360	18,7	0,44	3,10	4751	198
480	15,0	0,43	3,66	1323	55
600	13,2	0,43	3,69	987	41
720	11,0	0,43	2,44	5572	232
780	9,0	0,42	2,14	7352	306

TABEL IIc Berekening van t_1 -prototype; gegevens en resultaten
(sluitingsschema a2)

fase 4

tijd	Q(t) [m ³ /s]	h _o (t) [m]	F(t) [m ²]
7.30	+105.10 ²	h _o (0)-0,67	129.10 ²
8	+ 96	-0,93	126
8.30	+ 76	-1,10	125
9	+ 49	-1,12	124
9.30	+ 23	-1,06	125
10	- 1	-1,00	126
10.30	- 17	-0,96	126
11	- 20	-0,88	127
11.30	- 19	-0,75	128
12	- 18	-0,63	129
12.30	- 18	-0,53	130
13	- 26	-0,38	132
13.30	- 53	-0,13	135
14	- 95	+0,36	140
14.30	-144	+0,99	147
15	-162	+1,33	150
15.30	-139	+1,39	151
16	- 91	+1,37	151
16.30	- 18	+1,34	150
17	+ 58	+1,16	148
17.30	+100	+0,87	145
18	+117	+0,52	141
18.30	+121	+0,17	138
19	+120	-0,23	134
19.30	+115	-0,62	130
20	+109	-0,94	126

raai	h _o (0) [m]	u _{kr} [m/s]	α	t ₁ -prototype	
				[uren]	[dagen]
210	21,9	0,45	2,68	29883	1245
240	21,3	0,44	2,88	18849	785
300	19,9	0,44	2,34	50489	2104
360	18,7	0,44	2,92	13536	564
480	15,0	0,43	2,95	8110	338
600	13,2	0,43	3,08	5033	210
720	11,0	0,43	2,55	9486	395
780	9,0	0,42	1,94	28427	1184

TABEL IIc Berekening van t_1 -prototype; gegevens en resultaten
(sluitingsschema)

fase 5

tijd	$Q(t)$ [m ³ /s]	$h_o(t)$ [m]	$F(t)$ [m ²]
7.30	+ 80.10 ²	$h_o(0) - 0,67$	129.10 ²
8	+ 72	-0,93	126
8.30	+ 58	-1,10	125
9	+ 37	-1,12	124
9.30	+ 19	-1,06	125
10	+ 2	-1,00	126
10.30	- 8	-0,96	126
11	- 10	-0,88	127
11.30	- 11	-0,75	128
12	- 12	-0,63	129
12.30	- 13	-0,53	130
13	- 20	-0,38	132
13.30	- 39	-0,13	135
14	- 72	+0,36	140
14.30	-110	+0,99	147
15	-124	+1,33	150
15.30	-107	+1,39	151
16	- 74	+1,37	151
16.30	- 21	+1,34	150
17	+ 36	+1,16	148
17.30	+ 69	+0,87	145
18	+ 84	+0,52	141
18.30	+ 88	+0,17	138
19	+ 90	-0,23	134
19.30	+ 87	-0,62	130
20	+ 84	-0,94	126

raai	$h_o(0)$ [m]	u_{kr} [m/s]	α	t_1 -prototype	
				[uren]	[dagen]
180	22,2	0,45	2,75	136800	5700
210	21,9	0,45	2,96	87313	3638
240	21,3	0,44	2,46	234597	9775
300	19,9	0,44	2,51	181787	7574
360	18,7	0,44	3,15	43751	1823
480	15,0	0,43	2,88	45273	1886
600	13,2	0,43	4,28	4214	176
720	11,0	0,43	3,09	16570	690
780	9,0	0,42	2,54	32846	1369
840	7,2	0,41	2,90	9648	402

TABELLEN IIIa, b, c, Resultaten van de ontgrondingsberekeningen
(sluitingsschema's a1, b1, a2)

TABEL IIIa Resultaten van de ontgrondingsberekeningen
(sluitingsschema a1)

raai	bereikte ontgrondingsdiepte in m na						oorspronkelijke diepte [m]	uiteinde-lijke diepte [m]
	winter-sluitgat	fase 1	fase 2	fase 3	fase 4	fase 5		
60	1,7						13,4	15,1
90	2,0	2,6					17,3	19,9
120	1,2	7,2					20,5	27,7
150	1,7	6,5	7,2				21,7	28,9
180	1,4	3,6	8,5	8,6		9,5	22,2	31,7
210	1,5	5,2	10,0	10,3	10,9	11,4	21,9	33,3
240	1,3	4,8	7,7	8,5	9,2	9,5	21,3	30,8
300	0,8	7,4	14,0	14,3	14,4	14,5	19,9	34,4
360	1,2	5,0	11,9	12,6	13,5	13,9	18,7	32,6
480	1,3	3,4	10,0	11,2	11,9	12,0	15,0	27,0
600	2,2	4,0	9,8	10,8	11,3	12,8	13,2	26,0
720	1,3	3,4	7,6	7,8	8,2	8,7	11,0	19,7
780	1,3	2,7	4,8	5,2	5,4	5,8	9,0	14,8
840	1,5	2,2				4,3	7,2	11,5
900	1,3						5,9	7,2
960	1,2						4,3	5,5

TABEL IIIb Resultaten van de ontgrondingsberekeningen
(sluitingsschema b1)

raai	bereikte ontgrondingsdiepte in m na						oorspronkelijke diepte [m]	uiteinde-lijke diepte [m]
	winter-sluitgat	fase 1	fase 2	fase 3	fase 4	fase 5		
60	1,7						13,4	15,1
90	2,0	2,8					17,3	20,1
120	1,2	7,9					20,5	28,4
150	1,7	7,4	7,6				21,7	29,3
180	1,4	3,9	7,8	8,6		9,5	22,2	31,7
210	1,5	5,6	8,9	10,2	10,9	11,4	21,9	33,3
240	1,3	5,4	7,3	9,9	10,6	10,8	21,3	32,1
300	0,8	7,8	13,1	14,0	14,1	14,2	19,9	34,1
360	1,2	5,6	10,4	13,0	13,7	14,0	18,7	32,7
480	1,3	3,8	8,9	12,1	12,7	12,9	15,0	27,9
600	2,2	4,4	8,5	11,4	12,0	13,4	13,2	26,6
720	1,3	3,7	7,0	7,7	8,1	8,7	11,0	19,7
780	1,3	3,0	4,4	5,8	6,0	6,3	9,0	15,3
840	1,5	2,3				4,4	7,2	11,6
900	1,3						5,9	7,2
960	1,2						4,3	5,5

TABEL IIIc Resultaten van de ontgrondingsberekeningen
(sluitingsschema a2)

raai	bereikte ontgrondingsdiepte in m na						oorspronkelijke diepte [m]	uiteinde-lijke diepte [m]
	winter-sluitgat	fase 1	fase 2	fase 3	fase 4	fase 5		
60	1,7						13,4	15,1
90	2,0	2,4					17,3	19,7
120	1,2	5,8					20,5	26,3
150	1,7	5,0	5,3				21,7	27,0
180	1,4	3,0	5,9	6,2		6,4	22,2	28,6
210	1,5	4,5	6,0	7,0	7,2	7,4	21,9	29,3
240	1,3	3,7	4,8	5,3	5,5	5,7	21,3	27,0
300	0,8	6,1	8,4	8,9	9,0	9,1	19,9	29,0
360	1,2	4,1	7,0	8,1	8,3	8,6	18,7	27,3
480	1,3	2,7	6,1	7,2	7,4	7,6	15,0	22,6
600	2,2	3,4	6,4	7,4	7,8	8,2	13,2	21,6
720	1,3	2,8	5,1	5,3	5,4	6,0	11,0	17,0
780	1,3	2,3	3,3	3,6	3,7	3,8	9,0	12,8
840	1,5	1,9				2,5	7,2	9,7
900	1,3						5,9	7,2
960	1,2						4,3	5,5