

opdrachtgever:

**Bouwkombinatie Maeslant Kering**

## **Maeslant Kering**

analyse van het responsiegedrag van de sectordeuren  
met behulp van een rekenmodel (met gebruikmaking  
van drukmetingen in sectiemodel)

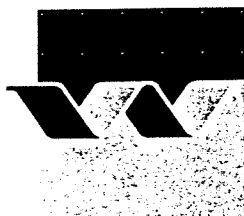
verslag studie en berekeningen

mei 1991

**concept**

## Maeslant Kering

analyse van het responsiegedrag van de sectordeuren  
met behulp van een rekenmodel (met gebruikmaking  
van drukmetingen in sectiemodel)



## INHOUD

1.	Algemeen . . . . .	1
1.1	Opdracht . . . . .	1
1.2	Nadere uitwerking van de probleemstelling . . . . .	2
1.3	Samenvatting resultaten . . . . .	4
2.	Statische stabiliteit . . . . .	9
2.1	Theorie . . . . .	9
2.2	Het rekenprogramma STASTAB . . . . .	11
3.	Laagfrequente oscillaties . . . . .	14
3.1	In het overzichtsmoedel gevonden laagfrequente oscillaties . . . . .	14
3.2	Theorie . . . . .	15
3.3	Analytische aanpak . . . . .	16
3.4	Bepaling dynamische stabiliteit ( $\alpha$ -waarden) via rekenmodellen . . . . .	17
3.5	Berekeningen in het tijdsdomein . . . . .	19
3.5.1	Het rekenschema . . . . .	19
3.5.2	Resultaten en conclusies . . . . .	22
4.	Verandering deurpositie . . . . .	24
4.1	Theorie . . . . .	24
4.2	Het rekenmoedel SHIFTPO . . . . .	25
5.	Onderzochte varianten in het sectiemoedel . . . . .	26
5.1	Het moedel . . . . .	26
5.2	Onderzochte varianten . . . . .	27
5.3	Verwerking van de metingen en resultaten . . . . .	28
6.	IJking van de rekenmodellen . . . . .	31
6.1	Verandering schuifstand met toenemend verval . . . . .	31
6.2	$\alpha$ -waarden . . . . .	32
7.	Vergelijking tussen de deurvormen die in het sectiemoedel zijn onderzocht . . . . .	34
7.1.	$\alpha$ -waarden . . . . .	34
7.2	Statische stabiliteit . . . . .	34
8.	Beschouwingen over trilling in de dompelfrequentie . . . . .	36

REFERENTIES

TABELLEN

## LIJST VAN TABELLEN

1. Testprogramma drukmetingen in het sectiemodel
2. Gemeten drukken
3. Ongecorrigeerde en gecorrigeerde afvoercoëfficiënten

## LIJST VAN FIGUREN

1. Bovenaanzicht stroomgoot voor twee stroomrichtingen (uit Q 1293).
2. Sectiemodel sectordeur: langsdoorsnede en bovenaanzicht (uit Q 1293).
3. Verticale doorsnede over vast deel sectiemodel (uit Q 1293).
4. Horizontale doorsnede over het sectiemodel, bovenaanzicht (uit Q 1293).
5. "Definitief" ontwerp Q 1140; drukmeting proevenseries A en B.
6. Variant 7. Drukmetingen proevenseries C en D (uit Q 1293).
7. Variant 8. Drukmetingen proevenserie E (uit Q 1293)
8. Drempelplaat; drukmetingen op de bodem, proevenseries A t/m E (uit Q 1293)
9. Sedimentprofiel zeezijde. Proevenseries B en D (uit Q 1293).
10. Sectordeur "definitief" ontwerp Q 1140 verticale doorsnede
11. Sectordeur Variant 1; verticale doorsnede (uit Q 1278)
12. Sectordeur Variant 2; verticale doorsnede (uit Q 1278)
13. Sectordeur Variant 3; verticale doorsnede (uit Q 1278)
14. Sectordeur Variant 4; verticale doorsnede (uit Q 1278)
15. Sectordeur Variant 5; verticale doorsnede (uit Q 1278)
16. Toegepast sedimentprofiel (variant 1 getekend) (uit Q 1278)
17. Eigenbewegingsvormen van enkele deur en van beide deuren (uit Q 1278).
18. Top-dalwaarden mode 2 en mode 5 in overzichtensmodel; "definitief" ontwerp Q 1140, met en zonder sediment en stroming zee → rivier.
19. Top-dalwaarden mode 1 en mode 3 in overzichtensmodel; "definitief" ontwerp Q 1140, alleen zonder sediment en stroming rivier → zee.
20. Gebied waar zeker geen oscillatie is geconstateerd in overzichtensmodel; "definitief" ontwerp 1140. Stroming zee → rivier geen sediment. Bijzonderheid: 1 deur op drempel.
21. Top-dal waarden mode 2 in overzichtensmodel; varianten 1, 2 en 3 met sediment (Q 1278), stroming zee → rivier.
22. Top-dal waarden mode 2 en 5 in overzichtensmodel. Variant 4 (Q 1278), stroming zee → rivier, met sediment.
23. Top-dal waarden mode 2 en 5 in overzichtensmodel. Variant 5, (Q 1278), stroming zee → rivier, met en zonder sediment.

24. Top-dal waarden mode 3 in overzichtsmode. Variant 5, (Q 1278) stroming rivier → zee, geen sediment.
25. Drukmetingen sectiemodel Q 1293, dimensieloos uitgezet
  - 25a: proevenserie A, d (deuropening) = 0,5, 1,5 2,5 en 4 m  
(stroming zee → rivier)
  - 25b: proevenserie A, d = 7m, proevenserie B, d = 0,5, 1,5 en 2,5 m  
(stroming zee → rivier)
  - 25c: proevenserie B, d = 4m,; proevenserie C, d = 0,5, 1,5 en 2,5 m  
(stroming zee → rivier)
  - 25d: proevenserie C, d = 4, 7 en 10m (stroming zee → rivier) en d = 0,5  
(stroming rivier → zee)
  - 25e: proevenserie C, d = 1, 2, 5, 4 en 7m (stroming rivier → zee)
  - 25f: proevenserie D, d = 0,5, 1,5 2,5 en 4m (stroming zee → rivier)
  - 25g: proevenserie D, d = 7 m (stroming zee → rivier), proevenserie E,  
d = 1,5, 4, en 7m (stroming zee → rivier)
  - 25h: proevenserie E, d = 0,5 en 2,5 (stroming zee → rivier, proeven  
serie E stroming d = 1 en 2,5 (stroming rivier → zee)
  - 25i: proevenserie E, d = en 7m (stroming rivier → zee)
26. Coëfficiënten  $\mu$ ,  $\eta$ ,  $\xi$  en  $\tau$ , proevenserie A, stroming zee → rivier
27. Coëfficiënten  $\mu$ ,  $\eta$ ,  $\xi$  en  $\tau$ , proevenserie B, stroming zee → rivier
28. Coëfficiënten  $\mu$ ,  $\eta$ ,  $\xi$  en  $\tau$ , proevenserie C, stroming zee → rivier
29. Coëfficiënten  $\mu$ ,  $\eta$ ,  $\xi$  en  $\tau$ , proevenserie C, stroming rivier → zee
30. Coëfficiënten  $\mu$ ,  $\eta$ ,  $\xi$  en  $\tau$ , proevenserie D, stroming zee → rivier
31. Coëfficiënten  $\mu$ ,  $\eta$ ,  $\xi$  en  $\tau$ , proevenserie E, stroming zee → rivier
32. Coëfficiënten  $\mu$ ,  $\eta$ ,  $\xi$  en  $\tau$ , proevenserie E, stroming rivier → zee
33. Verandering deurpositie bij toenemend verval; vergelijking berekening proevenserie C, positief verval, variant 7, met proeven overzichtsmode, variant 5.
34. Verandering deurpositie bij toenemend verval; vergelijking berekening proevenserie C negatief verval, variant 7, met proeven overzichtsmode, variant 5.
35. Verandering deurpositie bij toenemend verval; vergelijking berekening proevenserie D, positief verval, variant 7 sediment, met proeven overzichtsmode, variant 5 met sediment.
36. Berekende  $\alpha$ -waarden, proevenserie A, stroming zee → rivier, geen sediment
37. Berekende  $\alpha$ -waarden, proevenserie B, stroming zee → rivier, met sediment
38. Berekende  $\alpha$ -waarden, proevenserie C, stroming zee → rivier, geen sediment
39. Berekende  $\alpha$ -waarden, proevenserie C, stroming rivier → zee, geen sediment

40. Berekende  $\alpha$ -waarden, proevenserie D, stroming zee  $\rightarrow$  rivier, met sediment
41. Berekende  $\alpha$ -waarden, proevenserie E, stroming zee  $\rightarrow$  rivier, geen sediment
42. Berekende  $\alpha$ -waarden, proevenserie E, stroming rivier  $\rightarrow$  zee, geen sediment
- 43a Vergelijking  $\alpha$ -waarden met begin oscillaties overzichtsmoedel "definitief" ontwerp Q 1140, positief verval, geen sediment
- 43b Vergelijking  $\alpha$ -waarden met begin oscillatie overzichtsmoedel "definitief" ontwerp Q 1140, positief verval, met sediment.
44. Vergelijking  $\alpha$ -waarden met begin oscillatie overzichtsmoedel "definitief" ontwerp Q 1140, geen sediment, Bijzonderheid:1 deur op bodem.
45. Vergelijking  $\alpha$ -waarden bij negatief verval, variant 5 (overzichtsmoedel) en variant 7 (sectiemoedel)
46. Statische stabiliteit, proevenserie A, stroming zee  $\rightarrow$  rivier, geen sediment
47. Statische stabiliteit, proevenserie B, stroming zee  $\rightarrow$  rivier, met sediment
48. Statische stabiliteit, proevenserie C, stroming zee  $\rightarrow$  rivier, geen sediment
49. Statische stabiliteit, proevenserie C, stroming rivier  $\rightarrow$  zee, geen sediment
50. Statische stabiliteit, proevenserie D, stroming zee  $\rightarrow$  rivier, met sediment
51. Statische stabiliteit, proevenserie E, stroming zee  $\rightarrow$  rivier, geen sediment
52. Statische stabiliteit, proevenserie E, stroming rivier  $\rightarrow$  zee, geen sediment
53. In kaart gebracht  $\alpha = 0$  voor alle proeven stroming zee  $\rightarrow$  rivier
54. In kaart gebracht  $\alpha = 0$  voor alle proeven stroming rivier  $\rightarrow$  zee

#### BIJLAGEN

- Bijlage 1: Artikel te presenteren op het congres van het International Association for Hydraulic Research (IAHR) Sept. '91 te Madrid.
- Bijlage 2: Listing programma STASTAB (voor de berekening van de statische stabiliteit).
- Bijlage 3: Invoergegevens voor proevenserie A, "definitief" ontwerp Q 1140.

Bijlage 4: Analytische benadering van de dynamische stabiliteit met gebruikmaking van vereenvoudigde relaties voor debiet en zuigkracht.

Bijlage 5: Notitie betreffende de invloed van een versmalling of verbreding van de drijfkist, waarbij de wand aan de rivierzijde opschuift.

MAESLANT KERING: Analyse van het responsiegedrag van de sectordeuren met behulp van een rekenmodel (met gebruikmaking van drukmeting in sectiemodel)

1. Algemeen

1.1 Opdracht

Deze studie betreffende de statische en dynamische stabiliteit van de sectordeuren tijdens afzinken en opkomen in stroming, is opgedragen door de bouwkombinatie Maeslant Kering (BMK) en is mede gefinancierd door de Rijkswaterstaat.

De studie diende vooral om een theoretische basis te geven <sup>niet in bezit</sup> aan de proefresultaten in het overzichtsmodel (onderzoeken Q 1140, Q 1278) bij verschillende varianten van de deurvorm. In het bijzonder behelsde de studie:

- a. Het aanpassen van het theoretisch model betreffende statische stabiliteit (zoals opgenomen in rapport Q 1190) zoveel mogelijk gebruik makend van coëfficiënten zoals die uit modelmetingen volgen,
- b. Het doorrekenen van het schuifgedrag betreffende statische stabiliteit waarbij de invloed van schuif- en bodemgeometrie worden meegenomen,
- c. Het opstellen van een theoretisch model betreffende laagfrequente oscillaties zoals die in het overzichtsmodel zijn gevonden,
- d. Het transformeren van onderzoeksresultaten uit het overzichtsmodel betreffende ballastgewichten en afvoercoëfficiënten in grootheden die in de punten a, b en c kunnen worden gebruikt,
- e. Het bepalen van de debietrelatie bij wijzigingen waterstanden maar bij constante ballastsituatie.

Bij de oorspronkelijk aanbidding van de studie werd verwacht dat de vorm van de deurdoorsnede en de plaats van de onderrand al volledig waren bepaald (definitief ontwerp Q1140), zodat de studie geen invloed meer zou hebben op het ontwerp. Later zijn toch nog een aantal wijzigingen<sup>en</sup> doorgevoerd waarbij de in dit verslag behandelde rekenmodellen zijn gebruikt voor een eerste schatting voor het al dan niet optreden van oscillaties. De gekozen randvorm is daarna in het overzichtsmodel beproefd. Om die reden is deze

studie uitvoeriger gerapporteerd dan aanvankelijk in de bedoeling lag. De studie werd uitgevoerd door dr. ir. P.A. Kolkman in de periode september 1990 - mei 1991. Bij de uitwerking is tevens behulpzaam geweest ir. Yan Shi Wu van het Hydraulic Research Institute te Nanjing, die in die periode bij het WL was gedetacheerd. Projectleider was ir. T.H.G. Jongeling. Vanuit de opdrachtgever was de begeleider ir. A. Bakker, adviseur bij de Bouwkombinatie Maeslant Kering.

## 1.2 Nadere uitwerking van de probleemstelling

De initiële analyse van het responsiegedrag van de deuren in stroming gaf aanleiding tot onderkenning van de volgende mogelijkheden van instabiel gedrag:

1. Statische instabiliteit, waarbij een initieel kleine deurbeweging zodanige debietverandering geeft dat het verval toe- of afneemt (er ontstaan boven- en benedenstroomse translatiegolven); de wijziging van de door stroming veroorzaakte zuigkracht zou zo sterk kunnen zijn dat daarmee de normaal aanwezige stabiliteit (indompelingsstijfheid) teniet kan worden gedaan.
2. Dynamische instabiliteit in de indompelingsfrequentie (ca. 10 sec); dit is bekend bij schuiven met een wat dikkere onderrand bij kleine hefhoogte.

In het overzichtsmodel is de eerste instabiliteit niet opgetreden, terwijl de in model geconstateerde trillingen als onder 2 genoemd slechts voorkwamen in een gebied van kleine hefhoogte (tot ca 0,5 m) met amplituden niet groter dan de door windgolven opgewekte amplituden. De voornaamste instabiliteit die ontstond in het overzichtsmodel kwam voor bij stroming van zee naar rivier; daarbij ontstond een staande golf tussen de landhoofden (periode ca 60 sec). Omdat daarbij grote schuifbewegingen vóórkomen (dubbelamplituden tot ca 1,5 maal het verval), werd besloten in deze studie vooral dit verschijnsel te bestuderen.

Na overleg over de mogelijke uitkomst van deze theoretische studie werd door ir. A. Bakker een eerste analytische aanpak opgezet. Hierbij werd uitgegaan van sterk geschematiseerde relaties van de opdrijvende kracht (als functie van hefhoogte en waterstanden). Hierbij kon een indicatie worden verkregen over de invloed van wijzigingen in de vormgeving.

*niet in bezit*  
Korte tijd nadat opdracht voor de onderhavige bureaustudie was verstrekt, werd aan WL ook opdracht gegeven tot het verrichten van debiet- en drukmetingen in een sectiemodel (Q 1293), waarmee de werkelijke relaties konden worden bepaald. Vervolgens werd na overleg besloten dat de onderhavige studie zou resulteren in een rekenmodel waarin de resultaten van de debiet- en drukmetingen direct ingevoerd zouden kunnen worden. De resultaten dienen dan als tweede controle van de door BMK voorgestelde verbeteringen in de vormgeving; eindcontrole van de gekozen rand vond, zoals reeds vermeld, plaats in het overzichtsmodel.

### 1.3 Samenvatting resultaten

In figuur 17 zijn de eigenbewegingsvormen die bij deuroscillaties kunnen optreden, samengevat.

- MODE 1: Beide deuren bewegen gelijktijdig op en neer. De beweging (periode ca 100 s) is een enkele keer geconstateerd (bij stroming van rivier naar zee). Deze oscillatie is vermoedelijk gerelateerd aan een staande golf tussen de deuren en de nabijgelegen kribben (waar partiële terugkaatsing optreedt).
- MODE 2: De deuren gaan in tegenfase op en neer, periode 60 à 65 s. Deze mode ontstaat bij stroming van zee naar rivier. Aan de benedenstroomse zijde ontstaat een staande dwarsgolf. De deur volgt deze waterspiegelvariatie. De staande dwarsgolf tussen de landhoofden komt ook voor (maar bij groter verval) als één deur op de bodem staat; er ontstaat nu wel golfstraling. De oscillatie met één deur op de bodem komt veel minder snel op gang.
- MODE 3: De deuren roteren om het midden, en bij de spleet in het midden van de kering is de beweging van beide deuren in fase. Periode orde 30 s. Mode 3 ontstaat bij stroming van rivier naar zee. Ook hier treedt aan de benedenstroomse zijde een staande dwarsgolf op, nu dus aan de zeezijde, maar het betreft hier een tweede harmonische.
- MODE 4: Hetzelfde als mode 3 maar met tegenfase in het midden van de kering. Deze beweging trad niet op bij de hier behandelde modelonderzoeken.
- MODE 5: De deuren oscilleren onafhankelijk van elkaar in de periode van de indompelfrequentie (orde 10 s). Deze oscillatie komt voor bij kleine opening.
- MODE 6: Hetzelfde als mode 5 maar dan betreft het een kantelbeweging van de deur.

De oscillaties in de dompelfrequentie (Mode 5 en 6) worden slechts summier besproken (Hoofdstuk 8) omdat ze voor het ontwerp niet maatgevend zijn. De fenderconstructie, die ontworpen is voor het opvangen van de beweging door golven, kan ook deze oscillaties opvangen.

Omdat er geen ervaring bestaat op het gebied van drijvende deuren, moest de theorie over het deurgedrag nog volledig ontwikkeld worden.

De studie betreffende instabiel schuifgedrag van modes 1 t/m 4 heeft geresulteerd in een beschouwing waarbij de verandering van het schuifdebiet tengevolge van waterstandsveranderingen maatgevend is. Hierin speelt mee dat bij een waterstandsverandering ook de schuifpositie wijzigt. De relatie debietverandering (per eenheid van deurbreedte) tot waterspiegelverandering wordt als  $\alpha$  (alpha) gedefinieerd. Betreft het een verandering van de benedenwaterstand, dan is de relatie  $\alpha-2$ ; betreft het een verandering in de bovenwaterstand, dan is deze  $\alpha-1$ .

Alle berekeningen voor het instabiele deurgedrag maken gebruik van de debiet- en drukmetingen in het sectiemodel (gerapporteerd in hoofdstuk 5). De theorie van de oscillaties wordt behandeld in bijlage 1.

De volgende rekenmodellen zijn opgezet;

1.  $\alpha-2$  en  $\alpha-1$  worden bepaald door bij een verandering van de benedenwaterstand of van de bovenwaterstand de nieuwe schuifstand proberenderwijs op te zoeken, waarna weer de afvoer wordt berekend. Dit model dat is opgezet voor stroming van zee naar rivier, heet ALPHA-sr.
2. Idem; nu voor stroming van rivier naar zee. Dit model heet ALPHA-rs.
3. Staat de deur in een bepaalde stand bij gelijk water, dan wordt bij toenemende bovenwaterstand en gelijkblijvende benedenwaterstand de nieuwe schuifstand vastgesteld. Ook hier worden de drukmetingen uit het sectiemodel gebruikt. De hoeveelheid ballastwater in de deur wordt hierbij verondersteld niet te wijzigen. Dit model heet SHIFTPO (shift of gate position). Dit model dient als ijking van het sectiemodel met waarnemingen uit het bverzichtmodel.
4. Het rekenmodel betreffende de statische stabiliteit. Dit geeft gecombineerd zowel de resultaten bij stroming van zee naar rivier als bij stroming van rivier naar zee. Het model berekent wat er gebeurt als de deur een kleine waarde stijgt of daalt: als de totale oprijvende kracht toeneemt bij een initiële stijging, dan is de deur statisch instabiel. Rekening wordt gehouden met translatiegolven die door een debietwijziging ontstaan.
5. Staat de schuif in een bepaalde stand bij gelijk water, dan wordt in aanvulling op de onder 3 bepaalde schuifstand ook het debiet bepaald bij de gewijzigde bovenwaterstand. Dit is het model DISCHAR (afkorting

van discharge). Doordat bij het uitbrengen van dit rapport de definitief te kiezen deurvorm nog niet bekend was, zijn geen rekenresultaten hiervan opgenomen. Het rekenmodel is geschikt om, gegeven een bepaalde mate van ballasten, voor elke combinatie van waterstanden het debiet te berekenen. Dit kan van belang zijn als besloten mocht worden ~~dat~~<sup>om</sup> met behulp van ZWENDL de afzinkstrategie in detail door te rekenen tijdens het afzinken zelf.

Doordat er vijf rekenmodellen zijn en vijf combinaties van deurvarianten en sedimentprofielen\*, werd besloten de deurgegevens als een soort van databestand op te zetten, dat direct ingevoerd kan worden in elk van de rekenmodellen. Alleen voor variant 7 (fig. 6) moest voor de stroming van rivier naar zee een apart databestand worden aangemaakt, omdat bij een brede onderrand (de balk was 1 m breed en 1,35 m hoog) het loslaatpunt van de stroming 1 m verschuift bij stroming in omgekeerde richting.

Dan is er nog een totaal ander rekenmodel opgezet:

6. Een model met twee bakjes, één benedenstrooms van de schuif en één bovenstrooms, die elk verbonden zijn via een pijp met het oneindig ruime water beneden- respectievelijk bovenstrooms. De bakjes met pijp zijn zodanig ontworpen dat de resonantiefrequenties kloppen met de geconstateerde dwarsslingeren (60 sec bij stroming van zee naar rivier en 30 sec bij stroming van rivier naar zee). Met dit model kon bepaald worden bij welke combinaties van  $\alpha-1$  en  $\alpha-2$  de slingeren in het benedenstroomse resp. het bovenstroomse bekken optreden. De resultaten gaven uiteindelijk aan dat oscillaties alleen in het bekken benedenstrooms van de deuren optreden.

In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van alle metingen en berekeningen die zijn uitgevoerd, met voor wat betreft de vormgeving, verwijzing naar figuren waarin de dwarsdoorsneden zijn gegeven.

---

\* Later zijn nog veel meer varianten doorgerekend (Q 1293)

*niet in bezit*

	vormgeving
Serie A	"definitief" ontwerp Q1140; figuren 5 en 10
Serie B	idem met sediment (zeezijde); figuren 5, 9, 10 en 16
Serie C	variant 7; figuren 6 en 10
Serie D	idem met sediment (zeezijden); figuren 6, 9, 10 en 16
Serie E	variant 8; figuur 7

Alle series omvatten stroming zee → rivier; in serie C en E is ook stroming rivier → zee bekeken.

De ijkingen van het model ALPHA-sr met het begin van oscilleren van de deur zoals dat werd geconstateerd in het overzichtsmiddel bij stroming van zee naar rivier, geeft aan dat het begin van oscilleren overeenkomt met een  $\alpha-2$  waarde tussen 0 en 0,5 (mode 2, met twee deuren oscillerend). De bij deze ijking toegepaste vormgeving is het "definitieve" ontwerp Q 1146 (fig. 5), de vorm die het meest uitgebreid in het overzichtsmiddel is beproefd. Voor stroming van zee naar rivier is geen ijking mogelijk doordat geen overeenkomstige meetgegevens in het overzichtsmiddel en het sectiemodel beschikbaar waren. Bij latere metingen in het sectiemodel en ijkingen in het overzichtsmiddel, gerapporteerd onder Q1293, is geconcludeerd dat bij stroming van zee naar rivier  $\alpha-2 = 0,75$  en bij stroming van rivier naar zee  $\alpha-2 = 3$  aangehouden moet worden als criterium voor stabiel gedrag.

*niet in bezit*

Uit de alpha-analyse blijkt bij variant "definitief ontwerp Q 1140" (proevenseries A en B) met de 0,6 m hoge scherpe rand ter plaatse van de knik waar de deur wordt afgeschuind, dat de geprofileerde bodem (zand op de drempel met een erosiekuil) ongunstiger is dan de situatie met vlakke bodem. Dit was ook in het overzichtsmiddel gevonden.

Bij variant 7 met de 1 m brede en 1,35 m hoge balk wordt tussen de proeven met vlakke bodem en met het erosiekuil-profiel (proevenseries C en D) nauwelijks verschil gevonden. Ook dit komt overeen met resultaten van de ongeveer overeenkomstige variant 5 (fig. 15) uit het overzichtsmiddel.

Variant 8, de scherpe rand van 1,35 m hoog, 1 m verschoven richting rivier, is getest in proevenserie E bij vlakke bodem. Van alle onderzochte vormen is deze veruit de gunstigste, maar deze vorm is in het kader van deze studie niet met een geprofileerde bodem onderzocht. Toch mogen ook hier voor stroming van zee naar rivier gunstige resultaten worden verwacht. Bij stroming van rivier naar zee is variant 8 vergelijkbaar met variant 7 met de 1 m brede balk.

Figuren 53 en 54 geven voor alle onderzochte varianten de lijnen waarbij alpha juist gelijk is aan 0. Deze zijn uitgezet in een grafiek waar op de assen de deuropening en het verval staan. Fig. 53 betreft alle proeven met positief verval (stroming van zee naar rivier) en fig. 54 de proeven met negatief verval. Uit figuur 53 blijkt dat variant 8 ten opzichte van de andere onderzochte vormen zeer gunstig is voor stroming van zee naar rivier; er zijn geen aanwijzingen dat deze rand ongunstiger is bij omgekeerd stromen.

Nadat geverifieerd was dat de rekenmethode bruikbaar is voor vergelijking van verschillende doorsneden is een berekening uitgevoerd naar de invloed van verbreden of versmallen van de drijfkist. De resultaten zijn te vinden in bijlage 5. Dit is gedaan voor variant 7, voor stroming zee → rivier mét en zonder sediment en voor stroming rivier → zee alleen zonder sediment. Als referentie gelden serie C en serie D.

Opmerking: alle berekeningen zijn uitgevoerd op een ACORN-BBC computer en geprogrammeerd in BBC-basic. Het lezen van deze programma's vergt ervaring. Eén van deze programma's, STASTAB, is als voorbeeld in bijlage 2 opgenomen.

## 2. Statische stabiliteit

### 2.1 Theorie

Uitgangspunt bij alle berekeningen is dat er een oprijvende kracht is die een functie is van deurpositie en beide waterstanden.

Dan wordt aangenomen dat er een evenwicht is tussen oprijvende kracht en het deurgewicht inclusief ballastwater. Bij een bepaalde uitgangssituatie waarbij waterstanden en hefhoogte gegeven <sup>zijn</sup> ~~is~~, wordt de oprijvende kracht berekend waarmee dus ook het eigen gewicht van de gedeeltelijk geballaste deur bekend is. Ook het debiet kan, als de afvoercoëfficiënt bekend is, worden berekend.

Nu wordt aangenomen dat de deur een klein stukje ( $y$ ) wordt geheven. Neemt nu de oprijvende kracht toe, dan zal deze beweging zich doorzetten, en is de situatie instabiel. Bij stilstaand water is de deur uiteraard stabiel, maar bij stroming geeft de veranderde schuifpositie een debietverandering die weer waterstandsveranderingen geeft. De debietverandering en de waterstandsveranderingen zijn eenduidig aan elkaar gekoppeld:

?

Bovenstrooms is de waterspiegelverhoging bij een debiettoename (per eenheid van breedte) van  $dq$ :

$$z_1 = - dq/C_1 \quad (1)$$

Hierin is  $C_1$  de loopsnelheid van de translatiegolf bovenstrooms.

Opmerking: De beschouwing gaat er van uit dat het hele probleem tweedimensionaal is. Gaan beide deuren gelijktijdig naar boven of naar beneden dan is deze benadering ongeveer juist want de waterspiegelbreedte van de Nieuwe Waterweg is ongeveer gelijk aan de totale ontwikkelde deurlengte. Bij de uitwerking zijn de loopsnelheden van de golf wat gevarieerd, om zodoende een lengteverschil in rekening te brengen.

Evenzo geldt benedenstrooms:

$$z_2 = + dq/C_2 \quad (2)$$

Verder is uit de debietrelatie van de schuif met afvoercoëfficiënt  $\mu$  en hefhoogte  $d$

$$q = \mu d \sqrt{\frac{(h_1 - h_2)}{2g}}, \quad \mu = \text{constant} \quad (3)$$

af te leiden

$$dq = (\partial q / \partial h_1) z_1 + (\partial q / \partial h_2) z_2 + (\partial q / \partial d) y \quad (4)$$

Deze relatie is geldig bij kleine verstoringen van  $h_1$ ,  $h_2$  en  $d$ , en dus moeten  $z_1$ ,  $z_2$  en  $y$  klein zijn.

Door nu uit (4) de  $z_1$  en  $z_2$  te elimineren (m.b.v. (1) en (2)) <sup>'berging' onder kering verwaarloosd</sup> wordt het verband tuseen  $dq$  en  $y$  gevonden. Uit  $dq$  zijn ook de waterstandsvariaties  $z_1$  en  $z_2$  te berekenen, waardoor  $z_1$  en  $z_2$  gekoppeld zijn aan  $y$ . <sup>in werkelijkheid ook nog gekoppeld aan  $y$  t.g.v. 'berging' onder kering</sup> Nu kan dus opnieuw de oprijvende kracht worden berekend, waarmee de toe- of afname van de oprijvende kracht kan worden bepaald.

Voor het berekenen wordt gebruik gemaakt van de coëfficiënten  $\eta$ ,  $\xi$  en  $\tau$  die een functie zijn van de hefhoogte. Eerst wordt bepaald de oprijvende kracht bij stilstaand water (gerelateerd aan de indompeling, dat is de waterdiepte minus de hefhoogte). Dan wordt aangenomen dat er ter plaatse van de onderrand (het mes) geen debiet stroomt, maar dat er wel verval is, bij een constant gehouden benedenwaterstand. Dit levert bij verval van zee naar rivier een extra opwaartse vervalcracht op gelijk aan het verval maal de horizontale lengte van de drijfkist bovenstrooms van het mes, terwijl er bij verval van rivier naar zee, ~~er~~ weer van af gaat een neerwaartse kracht ~~die~~ die bovenop de drijfkist werkt.

Gaat het water nu stromen, dan verlagen de drukken. Bovenstrooms van het mes versnelt het water en geldt de wet van Bernoulli. Benedenstrooms laat de stroming weliswaar bij het mes los, maar zijn de drukken toch lager dan bij de niet-stromende situatie. Deze drukverlagingen zijn evenredig met het verval  $\Delta h$ . Nu worden de volgende definities gehanteerd:

STROMING VAN RIVIER NAAR ZEE:

$$\eta = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$\eta \times \Delta h$  - gemiddelde drukverlaging doordat het water stroomt, aan onderzijde deur bovenstrooms van het mes.

$\xi \times \Delta h$  - idem maar nu benedenstrooms van het mes.

$\tau \times \Delta h$  - gem. drukverlaging bovenop de drijfkist, deze is nagenoeg gelijk aan de lokale waterstandsverlaging benedenstrooms van de deur.

#### STROMING VAN RIVIER NAAR ZEE:

$\eta \times \Delta h$  - gemiddelde drukverlaging (doordat het water stroomt) aan onderzijde deur bovenstrooms van het mes.

$\xi \times \Delta h$  - idem, maar nu benedenstrooms van het mes.

$\tau \times \Delta h$  - gemiddelde DRUKVERHOGING (door stroming) bovenop de drijfkist.

Uit de drukmetingen is gebleken dat  $\eta$ ,  $\xi$  en  $\tau$  constanten zijn die, binnen het onderzochte gebied, niet afhangen van de waterstanden zelf. Ze variëren wel sterk met de positie van de deuren.

Het feit dat bij stroming van rivier naar zee een positieve waarde van  $\tau$  nu juist gekoppeld is aan een drukverhoging, heeft te maken met het feit dat werd verwacht dat bovenstrooms van de deur een zekere opstuwing zou optreden. Deze verwachting is niet bewaarheid; daardoor heeft  $\tau$  bij stroming van rivier naar zee steeds een negatieve waarde.

#### 2.2 Het rekenprogramma STASTAB

Zoals hierboven in vgl. (1) en (2) is te zien is de vervaltoename

$$z = z_1 + z_2 \quad (5)$$

ook eenduidig aan  $dq$  gekoppeld.

In het programma wordt uitgegaan van een (willekeurig gekozen) waarde van  $z$  (gekozen is  $z = 1$ ).  $z$  wordt, met behulp van (1) en (2) uitgesplitst in  $z_1$  en  $z_2$ , terwijl uit (1) of (2) ook  $dq$  is af te leiden. Nu is uit (4) ook de  $y$  te bepalen, mits de differentialen  $\partial q / \partial h$ , etc bekend zijn. Daarna wordt, uit de gevonden evenredigheid tussen  $z$  en  $y$ , berekend hoe groot de  $z$ -waarden zijn bij  $y = 1$ .

De differentiaal die in (4) voorkomen zijn numeriek bepaald. Uit metingen in het sectiemodel was de afvoercoëfficiënt  $\mu$  bepaald als functie van de hefhoogte. Tussen de gemeten waarden wordt in het rekenprogramma lineair geïnterpoleerd. Door nu achtereenvolgens kleine verstoringen in  $h_1$ , in  $h_2$  en in de hefhoogte  $d$  aan te brengen kan steeds de invloed hiervan op het debiet worden bepaald. Nu bij  $y=1$  de  $z_1$  en  $z_2$  waarden zijn bepaald kan weer de oprijvende kracht worden berekend.

Een aantal bijzonderheden van het programma zijn:

1. De waarden van  $\mu$ ,  $\eta$ ,  $\xi$  en  $\tau$  worden ingevoerd als functie van de dimensieloze hefhoogte (hefhoogte gedeeld door de kistlengte).
2. Deze coëfficiënten worden als data ingevoerd, met ook twee fantasiewaarden voor  $d/L = 0$  en voor  $d/L = 1$ . Dus het aantal data is twee meer dan de gemeten hefhoogten. In het databestand van de deurkarakteristieken (in te voeren als PROCinput, welke procedure achter elk van de rekenprogramma's is te zetten) zijn de data gedefinieerd als: aantal hefhoogten, hefhoogte-1, coëff.-1, hefhoogte-2, coëff.-2 etc.

Als voorbeeld is in bijlage 3 opgenomen het invoerbestand voor schuif A, waarvan de doorsnede is te vinden in figuur (1a). Het verloop van de coëfficiënten met de opening is voor deze variant te vinden in figuur (3a).

In figuur (3b) zijn de gegevens aangevuld met een fantasiepunt voor wat betreft  $\eta$  om de discontinuïteit, die ontstaan is doordat de metingen maar bij een beperkt aantal hefhoogten <sup>zijn</sup> uitgevoerd, te verminderen. Ten opzichte van de metingen is de afvoercoëfficiënt iets verlaagd door rekening te houden met <sup>na</sup> zijdelijse lek. Uitgangspunt hierbij was een effectieve lekspleet van een halve millimeter aan beide zijden. Deze correctie is in tabel 3 te vinden.

In het programma, dat als bijlage 2 is bijgevoegd, zijn de volgende procedures en functies te onderkennen:

De coëfficiënten worden opgeborgen in een matrix, bijvoorbeeld:

PROCfillmatrix-mu-rs

Dit betreft de mu waarden bij stroming rivier naar zee.

De interpolatie van de mu waarden vindt nu plaats via de zelfgedefinieerde functie:

FNmu-rs (d/L)

d/L is de hefhoogte gerelateerd aan de lengte van de bodemkist. Een dergelijke functie is gedefinieerd voor alle coëfficiënten, en voor beide stromingsrichtingen. Ontbreken er gegevens dan wordt in het invoerbestand gewerkt met dummygegevens.

De oprijvende kracht is nu te berekenen via

FNfloat-force-R-S

Het debiet  $q$ , behorend bij waterstanden  $h_1$  en  $h_2$  en hefhoogte  $d$  wordt rechtstreeks berekend:

$$q = (\text{FNmu-rs}(d/L)) * d * \text{SQR}(2 * g * (h_1 - h_2))$$

en  $dq/dy$  is dan te bepalen uit

$$((\text{FNmu-rs}((d+y)/L)) * (d+y) * \text{SQR}(2 * g * (h_1 - h_2)) - q) / y$$

De stabiliteitsparameter  $S$  is bepaald door de verandering in oprijvende kracht bij een  $y$  van 1 m te delen door  $(\rho g b)$ , zijnde de "stijfheid" in stilstaand water. Positieve  $S$  is gedefinieerd als "stabiel".

De uitvoer is gepresenteerd als een matrix van getallen, waarbij de horizontale as de deuropening weergeeft en de verticale as het verval. Op de kruispunten staan steeds de  $S$ -waarden vermeld. De getallen onderaan en links in de matrix geven niet de betreffende  $S$ -waarden, maar ze geven respectievelijk de grootte van de opening en van het verval. In bijlage 3 is een voorbeeld gegeven van de uitvoer van de diverse rekenmodellen die zijn ontwikkeld.

De uitkomsten worden besproken in paragraaf 7.2.

### 3. Laagfrequente oscillaties

#### 3.1 In het overzichtsmoedel gevonden laagfrequente oscillaties

In <sup>de</sup> ~~het~~ overzichtsmoedel onderzoeken Q 1278 en Q 1140 zijn de volgende verschijnselen geconstateerd: *↙ niet in bezit*

- Het sterkst oscilleert het twee-deurensysteem (beide drijvend), waarbij de ene schuif omhoog gaat, terwijl de ander naar beneden beweegt (mode 2, zie figuur 17).
- De sterke oscillatie bij mode 2 treedt op bij stroming van zee naar rivier.
- De oscillaties gaan samen met een dwarsgolving van de waterspiegel; een staande golf ontstaat tussen de landhoofden (periode 60 sec.), overeenkomend met de eerste harmonische golf.
- De waterspiegelamplitude loopt bij een verval van 4 m op tot 6 m topdal, en de schuif volgt deze beweging op de voet (zonder faseverschuiving). Dit laatste volgt ook uit trillingstheorie: als de aanstootfrequentie laag is ten opzichte van de dompelfrequentie (orde 0,1 Hz), dan is de deur passief volgend.
- Het bovenwater is volledig in rust.
- Op enige afstand benedenstrooms is bij de twee-deuren oscillatie weinig golfstraling te bemerken (het totale debiet onder de twee schuiven door verandert nauwelijks met de tijd) waardoor deze oscillatie zwak gedempt is.
- De oscillaties kunnen ook ontstaan bij een enkele deur, namelijk als één van de schuiven op de bodem staat.
- De opslingering gaat langzaam, de evenwichtsamplitude ontstaat na 20 à 100 perioden.
- Er zijn ook oscillaties geconstateerd bij stroming rivier → zee maar de staande golf speelt zich dan meer tussen de schuiven af en de schuiven maken meer een kantelbeweging; de uiteinden in het midden van de rivier bewegen in fase (mode 3).
- Er is ook incidenteel een oscillatie geconstateerd waarbij beide deuren in fase op en neer gaan (mode 1). Deze oscillatie kwam voor bij stroming van rivier naar zee.

In figuren 10 t/m 16 is aangegeven welke varianten van deurvorm in het overzichtsmoedel zijn onderzocht. In figuren 18 t/m 24 is te vinden welke (dubbel-)amplituden de deuren kunnen bereiken na enige tijd stromen. Met

lijnen is aangegeven bij welke opening/vervalrelatie de oscillaties globaal beginnen.

### 3.2 Theorie

In bijlage 1 is een uitvoerig exposé gepresenteerd betreffende het mechanisme van de laagfrequente oscillaties.

Het theoretische model geeft aan dat een met het benedenwater communicerend vat benedenstrooms van de deur in opslinging kan komen, als het debiet onder de deur door juist wat toeneemt wanneer ook de benedenstroomse waterspiegel omhoog komt, en vice versa. Een kleine toename is al voldoende om een ongedempt systeem te doen opslingeren.

Een debiettoename impliceert dat het verval en/of de opening groter is geworden.

Het mechanisme kan als volgt geïllustreerd worden. Stel er loopt een klein pulsgolfje tegen de schuif aan. Dan verhoogt bij de terugkaatsing de waterspiegel bij de schuif. Bij een positieve  $\alpha$  (dat is als  $q$  toeneemt met benedenwaterstijging) neemt dan het debiet toe (door deze waterspiegelstijging bij de schuif). Daardoor is het teruggekaatste golfje hoger dan de heengaande golf! Loopt de golf nu heen en weer tussen de linker en de rechter schuif dan zal het golfje bij elke terugkaatsing hoger worden, wat overeenkomt met het begrip opslinging. Het blijkt zelfs mogelijk een analytische oplossing te vinden voor de vergrotingsfactor van de teruggekaatste golf, en daarmee is het in principe ook mogelijk een maat te verkrijgen voor de opslinging van de staande golf. Dat wordt hier niet verder uitgewerkt.

In werkelijkheid moeten ook dempende factoren overwonnen worden. Daarom is voor die punten, waar in het overzichtsmodeel de grens ligt tussen het wel en niet optreden van de laagfrequente oscillaties, berekend hoeveel debiettoename er is als de benedenwaterstand iets omhoog komt. Door de berekende waarden te vergelijken met de modelwaarden wordt dus gevonden dat de grens niet zal liggen bij een debiettoename van nul, maar bij een grotere waarde. Deze waarde is dus kennelijk nodig om de dempende factoren te compenseren. Het hierboven besproken mechanisme biedt een verklaring zowel voor de oscillaties in mode 1, mode 2 als mode 3 (eventueel ook mode 4, maar die zijn bij de in dit rapport behandelde deurvormen niet in het

overzichtsmodel geconstateerd). Alleen is bij elke mode en bij elk van de stromingsrichtingen de demping door stromingsverliezen en golfstraling verschillend, zodat de berekening voor elk geval geijkt moet worden op metingen in het overzichtsmodel. Wel hebben de berekeningen zonder ijking een kwalitatieve geldigheid, en kunnen deurvormen onderling worden vergeleken. In hoofdstuk 6 worden de ijkingen gepresenteerd.

De berekening die nu bij de analyse gebruikt wordt, is de bepaling van de  $\alpha-2$  factor, dat is de debiettoename (per eenheid van deurbreedte) bij een benedenstroomse waterspiegelverhoging gelijk aan 1 m. Deze laatste waarde is willekeurig want uitgangspunt zijn gelineariseerde vergelijkingen. Is  $\alpha$  groter dan nul, dan is de situatie instabiel. In het rekenmodel is gewerkt met de factor S;  $S > 0$  betekent stabiel,  $S < 0$  betekent instabiel. Een negatieve S komt overeen met een positieve  $\alpha-2$  factor. Verder is ook de  $\alpha-1$  factor berekend, de debiettoename als alleen de bovenstroomse waterspiegel 1 m stijgt.  $\alpha-1$  groter dan nul is nu een stabiele situatie en  $\alpha-1$  kleiner dan nul is instabiel.

Globaal geldt dat  $\alpha-2 > 0$  alleen een oscillatie van het water benedenstrooms van de deur geeft en  $\alpha-1 < 0$  geeft alleen een oscillatie van het benedenwater. In par. 3.5.2 worden deze beweringen nog wat genuanceerd.

### 3.3 Analytische aanpak

De analytische aanpak is gebaseerd op een idee van ir. A. Bakker, adviseur van BMK en begeleider van dit onderzoek. Het uitgangspunt is dat er een eenvoudige lineaire relatie is tussen elk van de coëfficiënten  $\mu$ ,  $\eta$ ,  $\xi$  en  $\tau$  enerzijds en de schuifopening anderzijds. Zo is  $\mu$  te benaderen als een constante en geldt voor de ander coëfficiënten, zoals bijvoorbeeld  $\eta$ , dat deze bestaat uit een constant deel  $\eta_0$  en een deel evenredig met de deuropening, dus  $\eta = \eta_0 + (\eta_1) \cdot (d/L)$ . Met deze aannamen wordt voor de oprijvende kracht,  $O$ , een analytische uitdrukking gevonden die er als volgt uitziet:

$$O = C_0 + C_1 \cdot (h_2 - d) + C_2 \cdot Dh + C_3 \cdot (d/L) \cdot Dh \quad (6)$$

$h_2$  is hierin de waterdiepte benedenstrooms,  $d$  de hefhoogte,  $L$  de lengte van de drijfkist en  $D_h$  het verval.

De gedetailleerde uitwerking van (6) is in bijlage 4 te vinden.

Gaat nu de benedenwaterstand een (kleine) waarde  $z$  omhoog, en de schuif gaat daarmee ook een (onbekende) waarde  $y$  omhoog, en het verval vermindert *met* een waarde  $dz$ , dan is, wetende dat de opdrijvende kracht,  $O$ , dezelfde moet blijven (er stelt zich namelijk een nieuw evenwicht in) door differentiëren van de opdrijvende kracht (zoals ~~de~~ uit (6) gevonden ~~worden~~) naar  $h_2$ , naar  $d$  en naar  $y$  een relatie tussen  $z$  en  $y$  te vinden:

$$dO = 0$$

dus:

$$0 = 0 + C_1 z - C_1 y - C_3 z - C_4 (d/L) z + C_4 (D_h/L) y$$

en dus:

$$y/z = (C_1 - C_3 - C_4 (d/L)) / (C_1 - C_4 (D_h/L)) \quad (7)$$

Nu is dus bij een gegeven  $z$  de  $y$  te berekenen, en nu kan ook weer de debietverandering worden bepaald. De relatie  $dq/z$ , dus de debiettoename bij een stijging van de benedenwaterstand, wordt  $\alpha$  genoemd.

De analytische methode, meer in detail uitgewerkt in bijlage 4, is gebruikt om het rekenmodel dat in de volgende paragraaf gepresenteerd wordt, te verifiëren. Deze verificatie wordt niet verder besproken.

#### 3.4 Bepaling dynamische stabiliteit ( $\alpha$ -waarden) via rekenmodellen

Er zijn twee rekenmodellen ontwikkeld. Het programma ALPHA-sr berekent, bij stroming van zee naar rivier, afzonderlijk de debiettoename bij stijging van het benedenwater en bij stijging van het bovenwater. Het rekenmodel bepaalt de debietverandering onder de deur als, bij een constante waterstand, de benedenwaterstand 1 m stijgt. Het programma ALPHA-rs doet hetzelfde, maar nu bij stroming van rivier naar zee.

Het voornaamste element in deze modellen is weer de bepaling van de schuifstand die zich in de nieuwe situatie instelt. Doordat alle

drukcoëfficiënten  $\eta$ ,  $\xi$  en  $\tau$  bekend zijn als functie van de hefhoogte, is steeds de totale oprijvende kracht te berekenen als waterstanden en hefhoogte gegeven zijn. Gebruik wordt gemaakt van dezelfde procedures die in het programma STASTAB, gepresenteerd in het vorige hoofdstuk, zijn geïntroduceerd.

Bovendien is er een extra procedure ingelast om, gegeven het deurgewicht en de beide waterstanden, de evenwichtsdeurstand te berekenen. Door de deurstand als de waarde  $X$  te benoemen, is de oprijvende kracht minus het deurgewicht (dit verschil noemen we  $Y$ ) voor elke waarde van  $X$  te bepalen. Evenals in het programma STASTAB is er namelijk een procedure om, gebruik makend van de experimenteel bepaalde coëfficiënten  $\eta$ ,  $\xi$  en  $\tau$ , de oprijvende kracht te berekenen.

De functie  $Y = F(X)$  moet dus uiteindelijk resulteren in een  $X$ -waarde waarbij  $Y$  gelijk aan 0 wordt, en hiervoor zijn standaard procedures beschikbaar. Een dergelijke procedure is in de beide programma's opgenomen. Nu is het zonder meer mogelijk om, uitgaande van een evenwichtsituatie waarbij het deurgewicht is bepaald bij een gegeven combinatie van waterstanden en deuropening, te zien wat de deurstand wordt als de benedenwaterstand een klein beetje omhoog komt. Dan zijn ook alle gegevens beschikbaar om na te gaan welke verandering het debiet ondergaat.

Nu berekent het rekenmodel tevens de invloed die een wijziging van de bovenwaterstand op het debiet heeft. Op analoge wijze als theoretisch werd bepaald dat voor het benedenpand geldt (zie bijlage 1):

indien  $\alpha_2 (= \partial q / \partial h_2) < 0$  dan deur stabiel (8a)

Indien  $\alpha_2 > 0$  dan deur instabiel, (8b)

is ook voor het bovenpand een soortgelijke beschouwing op te zetten die resulteert in:

indien  $\alpha_1 (= \partial q / \partial h_1) > 0$  dan deur stabiel (9a)

Indien  $\alpha_1 < 0$  dan deur instabiel (9b)

In het programma worden alle  $S_2$ -waarden in kaart gebracht op een grafiek met als  $X$ -as de initiële deuropening en op de  $Y$ -as het initiële verval. Op

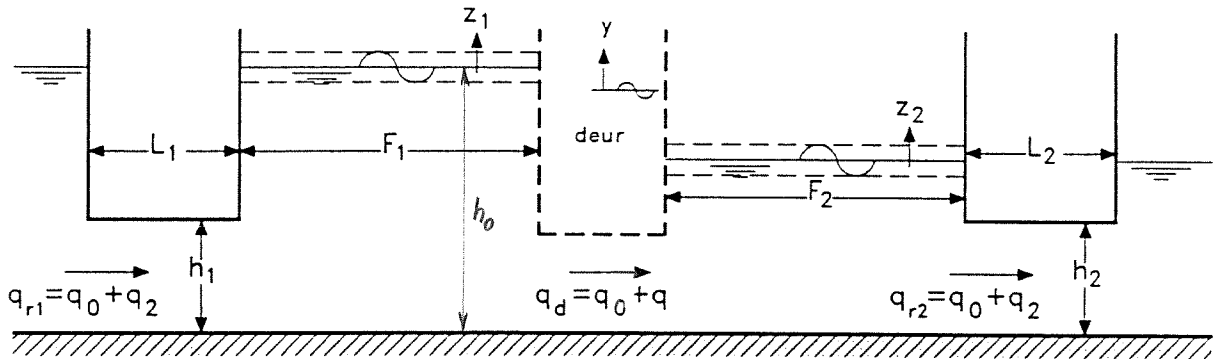
$\alpha_2 = S$

een tweede grafiek wordt  $S_1$  in kaart gebracht. Dan worden "hoogtelijnen" getekend met constante S-waarden.

### 3.5 Berekeningen in het tijdsdomein

#### 3.5.1 Het rekenschema

Uitgegaan is van de volgende situatie



Het bovenstaande (twee-dimensionale) schema is een uitbreiding van wat in bijlage 1, figuur 5 is gepresenteerd en wat daar analytisch is behandeld. Er wordt nu uitgegaan van een oscillerend bovenstrooms bekken en een benedenstrooms bekken. De resonantiefrequentie van het bovenstroomse bekken (als het schuifdebiet volledig constant zou zijn) wordt bepaald door  $L_1$ ,  $h_1$ ,  $F_1$  en de zwaartekracht.

$$T = 2\pi \sqrt{F_1 L_1 / h_1 g} \quad (10)$$

Dit is ook te vinden in bijlage 1, vgl. 5.

Gekozen is voor een systeem dat qua berging en traagheid zoveel mogelijk lijkt op een staande golf (bijvoorbeeld tussen de landhoofden).

Dit resulteert in:

loopsnelheid  $C = \sqrt{gh_0}$ , dus als  $h_0 = 17$  m geldt  $C = 13$  m/s

( $h_0$  = waterdiepte bovenstrooms).

$$\lambda = CT \quad (11)$$

( $\lambda$  = golflengte, T is de periode als gemeten in het overzichtsmode).

Bij een oscillatieperiode van 60 s geldt  $\lambda = 780$  m. Dit komt vrij goed overeen met de golflengte van de staande golf tussen de langhoofden. Aan de zeezijde (periode 30 s) geldt  $\lambda = 390$  m.

Berging in het bekken ( $z_1 \times F_1$ ) moet gelijk zijn aan de berging van een halve buik in de staande golf (dus een kwart golflengte, met een gemiddelde golfhoogte van  $(2/\pi)$  maal de golfhoogte):

$$z_1 F_1 = \left(\frac{1}{4} \lambda z_1\right) (2/\pi) \quad (12)$$

Aan de zeezijde, met een golfperiode van 30 s en een  $h_0$  van 17 m, wordt gevonden (Mode 3, stroming rivier  $\rightarrow$  zee)

*staande golf, 1 golflengte tussen langhoofden (buik in midden)*

$$F_1 = (1/2\pi) (\sqrt{g \cdot 17} \cdot 30) = 65\text{m} \quad (13)$$

Voor de rivierzijde is gevonden een golfperiode die twee keer zo lang is (60 s, Mode 2) en dus wordt gevonden

*staande golf,  $\frac{1}{2}$  golflengte tussen langhoofden (knoop in midden)*

$$F_2 = 130\text{m} \quad (14)$$

Wordt nu de rioolhoogte gelijk genomen aan de waterdiepte (overeenkomstige traagheid) dan geldt bovendien (af te leiden via (10)):

$$L_1 = F_1 \text{ en } L_2 = F_2 \quad (15a,b)$$

Nu wordt weer de stabiliteit van het systeem gekoppeld aan hoe het deurbiet varieert met variatie van waterstanden. Verondersteld wordt dat de deuren, en gekoppeld daaraan ook het debiet, onmiddellijk en zonder traagheid reageren op gewijzigde waterstanden. Deze aanname is gerechtvaardigd omdat de oscillatieperiodes veel langer zijn dan de indompelingsfrequentie (van 10 à 12 s).

$$q_d = \alpha_1 z_1 + \alpha_2 z_2 \quad (16)$$

Evenals in bijlage 1 is afgeleid voor het benedenstroomse bekken, geldt als basis voor de bepaling van de traagheid in het bovenstroomse riool de onderstaande vergelijking:

$$\rho L_1 (dV_1/dt) = - \rho g z_1, \text{ ofwel}$$

$$dq_1/dt = - (gh_1/L_1) z_1 \quad (17)$$

De berging in het bekken wordt als volgt in vergelijking gebracht:

$$dz_1/dt = (q_1 - q_d)/F_1 \quad (18)$$

Evenzo geldt voor het benedenstroomse bekken

$$dq_2/dt = + (gh_2/L_2) z_2 \quad (19)$$

$$dz_2/dt = (q_d - q_2)/F_2 \quad (20)$$

De vergelijkingen 16 t/m 20 zijn ook precies de vier afgeleiden die nodig zijn om, als  $q_1$ ,  $q_2$ ,  $z_1$  en  $z_2$  gegeven zijn op het tijdstip  $t$ , deze waarden te kunnen bepalen op een tijdstip  $\Delta t$  later. Zo worden dus berekeningen in het tijdsdomein uitgevoerd.

In het rekenprogramma OSCILL zijn nog wat verfijningen aangebracht om de topwaarden van  $z_1$  en  $z_2$  vast te stellen (als  $dz_1/dt$  of  $dz_2/dt$  van teken wisselen of nul zijn) en uit de toename van de maxima is weer de dimensie-loze opslingering of damping te bepalen.

$$\gamma_1 = (1/2\pi) \ln (z_{1(t)} / z_{1(t+\Delta t)}) \quad (21)$$

$\gamma_1$  is een maat voor de opslingering van het bovenstroomse,  $\gamma_2$  voor het benedenstroomse bekken.

In het rekenmodel is onderzoek verricht naar de relatie tussen  $\gamma_1$  en ( $\alpha_1$  en  $\alpha_2$ ) en tussen  $\gamma_2$  en ( $\alpha_1$  en  $\alpha_2$ ).

De grootheden  $L_1$ ,  $F_1$ ,  $L_2$  en  $F_2$  zijn niet verder gevarieerd.

Uit de symmetrie van de vergelijkingen (behoudens een tekenomkering) blijkt dat de resultaten niet afhangen van de stromingsrichting, mits goed gekeken wordt aan welke zijde het bekken met de 30 s periode en met 60 s periode gelokaliseerd is. Is er maar één bekken dan geldt dat oscillaties benedenstrooms optreden als  $\alpha_2 > 0$  (zie bijlage ②) en bij een bovenstrooms bekken is dat als  $\alpha_1 < 0$  is.

### 3.5.2 Resultaten en conclusies

Eerst is het rekenmodel op twee manieren geijkt.

1e: De waarden  $\alpha_1$  en  $\alpha_2$  zijn gelijk aan nul gekozen. Bij de gekozen tijdstap (0,2 sec) is gekeken of bij een initiële verstoring  $\gamma_1$  en  $\gamma_2$  gelijk aan nul zijn. Dat was niet het geval. Voor het 30 s bekken gold  $\gamma = 0,02$  (opslingering) en voor het 60 s bekken was dit  $\gamma = -0,01$ . Besloten is om de gevonden waarden met deze "ijkwaarden" te corrigeren, een procedure waarmee al eerder ervaring is opgedaan.

2e: Voor die gevallen waarbij één bekken in rust was is nagegaan of de relatie tussen  $\gamma$  en  $\alpha$  voor het oscillerende bekken klopt met de analytische oplossing van het één-bekken systeem.

In bijlage 1, vgl. 16, staat de volgende vergelijking (symbolen iets omgewerkt voor het benedenstroomse bekken).

$$\frac{L_2}{h_2} \frac{d^2 z_2}{dt^2} - \frac{\alpha_2}{h_2} \frac{dz_2}{dt} + \frac{g}{F_2} z_2 = 0 \quad (22)$$

Door toepassen van de analogie met een trillingssysteem

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + c \frac{dy}{dt} + ky = 0 \quad (23)$$

en de daarbij behorende  $\gamma$

$$\gamma = \frac{c}{2\sqrt{km}} \quad (23)$$

kunnen we nu afleiden

$$\gamma = (-\alpha_2/h_2)/2 \sqrt{\frac{L_2}{h_2} \frac{g}{F_2}} \quad (24)$$

Invullen  $h_2 = 17$  m,  $L_2 = F_2 = 130$  m,

$$\gamma = 0,038$$

Uit het volgende overzicht blijkt dat dit redelijk overeenkomt met gevonden waarden. Omdat alle vergelijkingen lineair zijn is het voldoende om alleen te beschouwen ( $\alpha_1 = -1$  en  $\alpha_1 = +1$ ) en ( $\alpha_2 = -1$  en  $\alpha_2 = +1$ ), en zo zijn ook in de volgende tabel alle uitkomsten geordend.

$\alpha_1 = -1,$	$\begin{bmatrix} \alpha_2 = -1 \\ \alpha_2 = 0 \\ \alpha_2 = +1 \end{bmatrix}$	geeft	$\begin{bmatrix} \gamma_1 = -0,04 \\ \gamma_1 = -0,0385 \\ \gamma_1 = -0,043 \end{bmatrix}$	en	$\begin{bmatrix} \gamma_2 = \text{klein, erratisch} \\ \gamma_2 = -0,015 \\ \gamma_2 = -0,043 \end{bmatrix}$
$\alpha_1 = +1,$	$\begin{bmatrix} \alpha_2 = -1 \\ \alpha_2 = +1 \end{bmatrix}$	geeft	$\begin{bmatrix} \gamma_1 = +0,04 \\ \gamma_1 = 0 \end{bmatrix}$	en	$\begin{bmatrix} \gamma_2 = +0,038 \\ \gamma_2 = -0,038 \end{bmatrix}$
$\begin{bmatrix} \alpha_1 = -10 \\ \alpha_1 = -5 \\ \alpha_1 = -1 \\ \alpha_1 = 0 \\ \alpha_1 = +1 \end{bmatrix}$	$, \alpha_2 = -1$	geeft	$\begin{bmatrix} \gamma_1 = -0,41 \\ \gamma_1 = -0,194 \\ \gamma_1 = -0,04 \\ \gamma_1 = 0 \\ \gamma_1 = +0,04 \end{bmatrix}$	en	$\begin{bmatrix} \gamma_2 = -0,42 \\ \gamma_2 = -0,205 \\ \gamma_2 = \text{klein/erratisch} \\ \gamma_2 = +0,038 \\ \gamma_2 = +0,038 \end{bmatrix}$
$\begin{bmatrix} \alpha_1 = -1 \\ \alpha_1 = 0 \\ \alpha_1 = 0,2 \\ \alpha_1 = 1 \\ \alpha_1 = 3 \\ \alpha_1 = 10 \\ \alpha_1 = 100 \end{bmatrix}$	$, \alpha_2 = +1$	geeft	$\begin{bmatrix} \gamma_1 = -0,043 \\ \gamma_1 = -0,01 \\ \gamma_1 = \text{klein} \\ \gamma_1 = \text{en} \\ \gamma_1 = \text{on-} \\ \gamma_1 = \text{regel-} \\ \gamma_1 = \text{matig} \end{bmatrix}$	en	$\begin{bmatrix} \gamma_2 = +0,043 \\ \gamma_2 = +0,038 \\ \gamma_2 = \text{klein} \\ \gamma_2 = \text{en} \\ \gamma_2 = \text{on-} \\ \gamma_2 = \text{regel-} \\ \gamma_2 = \text{matig} \end{bmatrix}$

Tabel 3.5.2 Overzicht  $\gamma$  waarden verkregen met rekenmodel OSCILL

Uit de berekeningen zijn de volgende conclusies te trekken:

- als  $\alpha_1$  negatief is, slingert het bovenbekken op;
- als  $\alpha_2$  positief is, slingert het benedenbekken op;
- ~~op~~ beide bekken oscilleren steeds elk in hun eigen periode;
- $\alpha_1$  positief en  $\alpha_2$  negatief werken juist dempend;
- slingert het bekken van 60 s (aan de rivierzijde) op, doordat bij stroming van zee naar rivier de  $\alpha_2$  gelijk is aan 1, dan is een  $\alpha_1$  groter dan 0,2 al voldoende om het bovenbekken tot rust te krijgen.

Anders geformuleerd:

bij stroming zee→rivier en  $\alpha_2 = > 0$  is bij  $\alpha_1/\alpha_2 > 0,2$  de zeezijde in rust;

- bij stroming rivier→zee en  $\alpha_1 = < 0$  is bij  $(\alpha_2/\alpha_1) > 1$  de rivierzijde in rust.

#### 4. Verandering deurpositie

Verandering deurpositie en daarbij behorende debieten bij constant deurgewicht, gelijkblijvende benedenwaterstand en toenemend verval.

##### 4.1 Theorie

In het overzichtsmodel zijn vele proeven als volgt uitgevoerd:

- Eerst wordt bij gelijk water de deur zodanig geballast dat hij op de gewenste deurpositie wordt gebracht.
- Daarna wordt de bovenwaterstand in stapjes omhoog gebracht, waarna gekeken wordt op welke evenwichtspositie de deur zich instelt.

Omdat nu de waterstanden en de deurpositie bekend zijn, kan, als de afvoercoëfficiënt als functie van de deurpositie gegeven is, ook de afvoer worden berekend.

De uitkomsten van het rekenmodel SHIFTP0 zijn gebruikt om globaal na te gaan of de uitkomsten van de berekening, gebruikmakend van de drukmetingen in het sectiemodel, overeenkomen met metingen in het overzichtsmodel. De uitkomst is alleen gecontroleerd voor wat betreft deurpositie<sup>s)</sup>. De afvoer bij toenemend verval is niet verder uitgewerkt. Voor de situatie stroming van zee naar rivier blijkt de afvoercoëfficiënt globaal overeen te komen maar voor stroming rivier naar zee (hoewel niet bij precies overeenkomstige vorm van de deur) sterk af te wijken (door de vorm van de kering botsen de stralen hetgeen lokale opstuwning geeft). Voor stroming zee→rivier, kan het debiet bepaald worden uit

$$q = 0,9 d \sqrt{2g (h_1 - h_2)} \quad (25)$$

In de aanbiedingsbrief van het WL is gesteld dat de debietrelatie van de deur bij constant deurgewicht van belang is bij een beschouwing van de (buitengewone) omstandigheid dat de deur langere tijd drijvend blijft bij afgesloten drijfkist en pompen buiten gebruik. Het rekenmodel van de benedenrivieren moet dan gekoppeld worden aan de debietrelatie van de stuw. Als nu de curves bekend<sup>zijn</sup> die de veranderde deurpositie aangeven bij toenemend verval<sub>s</sub> (Figuren 33 - 35), dan kan de volgende procedure worden gevolgd:

- Stel het deurgewicht en de benedenwaterstand zijn gegeven; dan wordt eerst vastgesteld wat bij verval nul de deurstand is.
- Uit figuren 33 - 35 wordt dan de deurpositie bij het juiste verval bepaald.
- Met behulp van vgl. 25 wordt nu het debiet gevonden.

In de praktijk zal het wenselijk zijn de verandering van de deurpositie, zoals bijvoorbeeld in Figuur 33, in een empirische relatie vast te leggen.

Bijvoorbeeld:  $\Delta d$

$$\text{positiewijziging} = A (\Delta h) + B (\Delta h)^2$$

A en B zijn een functie van de deurpositie zoals die is zonder verval.

Nu moet eerst de deurpositie bij verval = 0 bepaald worden:

$$d_0 = h_2 - f(\text{deurgewicht})$$

De werkelijke positie wordt:

$$d = d_0 + \Delta d = d_0 + (\Delta h) A(d_0) + (\Delta h)^2 B(d_0)$$

en het debiet

$$q = \mu (d_0 + \Delta d) \sqrt{2g (h_1 - h_2)}$$

Deze vergelijkingen kunnen in een enkelvoudige vergelijking worden omgezet en ingevoerd in het netwerkprogramma van het benedenrivierengebied.

#### 4.2 Het rekenmodel SHIFTPO

De elementen van het rekenmodel zijn geheel dezelfde als beschreven in par. 2.2 voor de statische stabiliteit. Om te beginnen zijn alle drukmetingen omgewerkt in een opdrijvende kracht als functie van schuifpositie en beide waterstanden. Dan is de onbekende de deurstand bij gewijzigde bovenwaterstand. Dit is weer een "nuldoorgangs"-probleem waarvoor standaardprocedures beschikbaar zijn.

Voor de berekening van de bijbehorende afvoer is aanvankelijk nog apart het programma DISCHA gemaakt; dat is grotendeels gelijk aan SHIFTPO, alleen de uitvoer is anders.

## 5. Onderzochte varianten in het sectiemodel

### 5.1 Het model

Ten behoeve van optimalisering van deurvormen is een reeds eerder gebruikt sectiemodel (gebruikt bij onderzoek Q1190) weer in gebruik genomen. De deur en de drempel zijn voorzien van drukaansluitingen. De zo bepaalde opwaartse krachten zijn in eerste instantie door ir A. Bakker in een rekenmodel gestopt met het doel om inzicht in het gedrag van verschillende deurvormen te verkrijgen.

De resultaten zijn ook gebruikt voor de berekeningen met de rekenmodellen die in dit rapport zijn gepresenteerd.

In Figuur 1 is een bovenaanzicht getekend van de stroomgoot waarin het sectiemodel was geplaatst. De goot heeft één stromingsrichting, zodat voor proeven met omgekeerde stromingsrichting het deurmodel moest worden gedraaid. De drempel werd niet gedraaid.

Figuur 2 geeft een schematische langsdoorsnede en een schematisch <sup>bovenaanzicht</sup> ~~ende~~ van de vakwerkarm ~~was~~ (bevestigd op een hoogte van NAP+5m). De vlakke drempel onder de deur was aangebracht op een hoogte van NAP-17m. De deur was scharnierend opgehangen aan een staaf, die eveneens scharnierend was bevestigd aan een in hoogte verstelbaar frame. De verticale opening onder de deur, zijnde de verticale afstand tussen drempel en ~~de~~ onderkant van de skirt, kon met dit frame op de gewenste waarde worden ingesteld.

De bovenstroomse- en benedenstroomse waterstand werden in het model gemeten met behulp van peilnaalden op respectievelijk 512 m en 365 m van de kering. De plaats van de peilnaalden is in Figuur 1 aangegeven. Tevens werd het debiet gemeten met behulp van een elektromagnetische debietmeter in de watertoevoerleiding van de goot.

In Figuur 3 is een verticale doorsnede over het sectiemodel getekend. Het drijflichaam van het deurmodel bestaat uit een vast deel en een verwisselbaar deel. Bij de voorgaande onderzoeken werd van deze verdeling gebruik gemaakt om verschillende onderrandvormen van de deuren te beproeven. Bij de huidige drukmetingen is slechts één onderrand gebruikt; deze rand werd bij verandering van variant steeds aangepast.

Figuur 4 geeft een gedeeltelijk bovenaanzicht en een gedeeltelijke horizontale doorsnede van het sectiemodel. De lekspleet tussen de glazen wanden van de goot en de zijkanten van het model bedroeg ca 1 mm. De gemeten

debieten zijn als gevolg van het lekdebiet door deze zijspeten iets te hoog.

Drukken zijn in het model gemeten met zogenaamde drukaansluitingen. Dit zijn in het model ingebouwde buisjes met aan de ene zijde een kleine opening naar het water en aan de andere zijde een slang, die is verbonden met een manometerbord. De stationaire (statische) drukken zijn op het manometerbord als stijghoogten afgelezen. In het deurmodel waren tien drukaansluitingen gemaakt (nummers 1 t/m 10), in de drempel acht (nummers A t/m H). De drukaansluitingen waren in de hartlijn van de goot aangebracht; de plaats van de drukaansluitingen is in de figuren 5, 6 en 7 (verschillende varianten) en Figuur 8 (drempel) aangegeven. In Figuur 8 is ook de stand van het deurmodel boven de drempel (de positie in horizontale zin) aangegeven. Bij omdraaien van het deurmodel (omgekeerde stromingsrichting) veranderde de oriëntatie van de drukopnemers in de deur dienovereenkomstig ten opzichte van de opnemers in de drempel.

Alle proeven zijn steeds als stationaire proeven met vaste deurstand en met constante waterstanden uitgevoerd.

## 5.2 Onderzochte varianten

In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van alle metingen en berekeningen die zijn uitgevoerd, met voor wat betreft de vormgeving, verwijzing naar figuren waarin de dwarsdoorsneden zijn gegeven.

	vormgeving
Serie A	"definitief" ontwerp Q1140; figuren 5 en 10
Serie B	idem met sediment (zeezijde); figuren 5, 9, 10 en 16
Serie C	variant 7; figuren 6 en 10
Serie D	idem met sediment (zeezijde); figuren 6, 9, 10 en 16
Serie E	variant 8; figuur 7

Alle series omvatten stroming zee → rivier; in serie C en E is ook stroming rivier → zee bekeken.

Begonnen is met het zogenaamde "definitieve" ontwerp van onderzoek Q1140. In fig. 5 is een verticale doorsnede getekend. Voor deze variant zijn twee proevenseries A en B uitgevoerd (zie tabellen 1<sup>a</sup> en 2<sup>b</sup>). Bij beide proevense-

ries was de stroomrichting van zee naar rivier. Bij proevenserie B is een sedimentprofiel aan zeezijde toegepast, zoals is getekend in fig 9. Het proevenprogramma in tabellen 1<sup>a</sup> en 2<sup>b</sup> laat zien dat zowel de verticale opening als het verval <sup>is</sup> zijn gevarieerd.

In fig. 6 is de variant die hierna is onderzocht (variant 7) getekend. Deze variant vertoont veel gelijkenis met variant 5 van onderzoek Q2178 [3].  
U  
niet in bezit

- De skirt/fenderconstructie is 1,35 m hoog i.p.v. 1,0 m.
- Het verstijvingsprofiel op het hoekpunt aan rivierzijde is weggelaten.
- Er zijn verstijvingsprofielen op het schuine ondervlak aan zeezijde aangebracht.

Deze variant sluit aan op de ontwikkelingen in het skirt/fenderontwerp van eind 1990. Voor deze variant zijn de proevenseries C en D (deze laatste serie met een sedimentprofiel aan zeezijde) uitgevoerd. Het proevenprogramma is weergegeven in tabellen 3<sup>c</sup> en 4<sup>d</sup>. Bij de proeven is zowel de verticale opening als het verval gevarieerd (bij serie C ook negatief verval, dus stroming rivier → zee).

Fig. 7 geeft een doorsnede over variant 8. Bij deze variant is de rechthoekige skirt/fenderconstructie van variant 7 vervangen door een hoekprofiel met een liggend been van 1,0 m en een opstaand been van 1,35 m. Voor de stromingsrichting zee → rivier ligt het loslaatpunt van de stroming daardoor een meter verder naar <sup>de</sup> rivierzijde. Deze variant is in het rekenmodel Q1271 onderzocht om na te gaan of verschuiving van het loslaatpunt tot verbetering van het responsiegedrag bij positief verval aanleiding zou geven. Voor de stromingsrichting rivier → zee is deze variant 8 ongeveer hetzelfde als variant 7. Het proevenprogramma voor variant 8 is aangegeven in tabel 5<sup>e</sup> (proevenserie E zonder sedimentprofiel).

### 5.3 Verwerking van de metingen en resultaten

De resultaten van de metingen zijn, omgerekend naar prototype, integraal weergegeven in tabellen 2a t/m 2e, en voor wat betreft de afvoercoëfficiënt in tabel 3.

De drukmetingen zijn in figuren 25a t/m 25<sup>L</sup> dimensieloos gepresenteerd. De punten 1 t/m 8 zijn in figuur 25 op de juiste afstand getekend vanaf de deurbeplating aan de zeezijde. Deze punten zijn met een lijn verbonden, zodat hieruit ook de gemiddelde druk onder de deur kon worden bepaald. Punten 9 en 10 (aan de achterzijde en bovenop de onderkist) zijn in de figuren daar gewoon achter gezet. Het blijkt dat de <sup>lijnhoogten</sup> drukk~~en~~ 9 en 10 steeds

aan elkaar gelijk zijn, zodat geconcludeerd moet worden dat vlak achter de kist de drukverdeling hydrostatisch is.

Alle <sup>stijghoogten</sup> drukken zijn uitgezet ten opzichte van de bened<sup>en</sup>waterstand, en gedeeld door het verval. Bij gesloten deur zijn <sup>deze waarden</sup> dus de drukken bovenstrooms van de rand gelijk aan +1 en benedenstrooms zijn gelijk aan nul. De werkelijke <sup>stijghoogten/Δh</sup> drukken liggen lager, bovenstrooms van de onderrand (dat is daar waar de stroming loslaat) een waarde  $\eta$ , benedenstrooms een waarde  $\xi$ . De gemiddelde waarden waarmee ook is gerekend, uitgezet in figuren 26 t/m 32, staan bij elk van de figuurtjes aangegeven. Ook is de lijn aangegeven die het gebied verdeelt in "bovenstrooms" en "benedenstrooms".

Bij de brede balk (proevenseries C en D) ligt deze lijn bij stroming van zee naar rivier ten opzichte van stroming van rivier naar zee 1 m. <sup>ver</sup>schoven.

Zoals in par. 2.1 reeds is besproken, is uit meetpunt 10 de waarde  $\tau$  bepaald die de drukverandering bovenop de onderkist weergeeft. Voor stroming zee-rivier is een positieve  $\tau$  een indicatie voor een druk lager dan de benedenwaterstand en voor stroming rivier-zee is een positieve  $\tau$  een indicatie voor een druk hoger dan de <sup>eneden</sup> bodenwaterstand. De verklaring voor deze tekenafpraak is dat voor stroming zee-rivier een afzuiging, en voor stroming rivier-zee een opstuwing verwacht werd.

In tabel 3 zijn de in het sectiemodel gevonden  $\mu$ -waarden weergegeven volgens de definitie

$$Q = \mu B d \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$

*afvoercoëff.*

B = breedte goot,  $h_1$  = bovenwaterstand,  $h_2$  = benedenwaterstand, (beide op afstand gemeten) en Q = debiet.

Echter de  $\mu$  is nog gecorrigeerd voor de zijdelingse lek. <sup>contractiecoëff. (?)</sup> Uitgaande van een gootbreedte 0,5 m en een modelschaal 50 is B = 25 m. De zijdelingse lekspleet is gemiddeld 1 mm aan elke zijde, met een  $\mu$  van 0,5 is  $\mu_{lek} \times \delta_{lek}$  totaal 1 mm over de hoogte van de (waterspiegel minus schuifopening). Omgerekend naar prototype is het oppervlak van de de effectieve lekspleet (bij een waterdiepte van 17 m):

$$10^{-3} \times 50 \times (17-d) = 0,05(17-d)$$

De totale afvoer is dus (bij benadering)

$$Q = (\mu Bd + 0,05(17-d))\sqrt{2g(h_1-h_2)}$$

terwijl de oorspronkelijk uitwerking was gebaseerd op

$$Q = \mu_0 Bd \sqrt{2g(h_1-h_2)}$$

Hieruit volgt:

$$\mu = \mu_0 - \frac{0,05(17-d)}{Bd} = \mu_0 - \frac{0,05(17-d)}{25d}$$

Deze correctie is in tabel 3 verwerkt.

Alle gevonden  $\mu$ - (gecorrigeerd),  $\bar{\eta}$ ,  $\bar{\xi}$  en  $\tau$ -waarden zijn grafisch weergegeven in figuren 26 t/m 32.

## 6. IJking van de rekenmodellen

### 6.1 Verandering schuifstand met toenemend verval.

Om na te gaan of de schuifstandverandering in het overzichtsmodel overeen komt met de berekende waarden, moest eerst gezocht worden naar vormgevingsvarianten waarbij zowel in het overzichtsmodel als in het sectiemodel metingen zijn verricht en die qua vorm van de deur gelijk zijn, althans zoveel mogelijk op elkaar lijken. Gekozen is voor de vergelijking van variant 5 in het overzichtsmodel (figuur 15) en variant 7 (fig 6) in het sectiemodel (C/D-proeven). Beide zijn onderzocht met vlakke bodem (verval in beide richtingen) en met een sediment<sup>profiel</sup> volgens figuur 9. De vormgeving wijkt op de volgende punten af:

- Bij variant 7 is de onderbalk 1,35 m hoog en 1 m hoog bij variant 5;
- aan<sup>de</sup>zeezijde heeft variant 7 verstijvingstroggen (dit compenseert voor een deel de hogere rand bij stroming zee → rivier);
- beide hebben aan<sup>de</sup>rivierzijde troggen (dat compenseert dus niet de te hoge rand);
- de laatste trog ontbreekt in variant 7.

De vergelijkingen zijn gepresenteerd in figuren 33 t/m 35.

Gezien bovenstaande verschillen mag het volgende verwacht worden:

- Bij stroming zee → rivier, ligt bij variant 5 de stroom al bij kleinere openingen weer aan. De extra opwaartse druk~~te~~ tengevolge van stijgende bovenwaterstand wordt dus bij variant 5 eerder gecompenseerd. In fig 33 wordt inderdaad gevonden dat de deurpositie in het overzichtsmodel minder verschuift. Dat geldt ook bij de situatie met sediment.
- Bij stroming rivier → zee ligt de stroming bij variant 7 door het ontbreken van de laatste trog meer aan en bouwt bovenstrooms, mede door de hogere balk, meer druk op, zodat het effect van zuiging wordt gecompenseerd. Dit klopt, in fig. 34 verlopen de lijnen van de berekende verandering van de deurpositie (variant 7) minder sterk dan in het overzichtsmodel (variant 5). Het globale verloop van de lijnen komt evenwel goed overeen. Dat geldt ook voor de situatie met sediment (fig. 35).

## 6.2 $\alpha$ -Waarden

De in kaart gebrachte  $\alpha$ -waarden worden per trillingsvorm (zie hiervoor figuur 17) vergeleken met het begin van de oscillaties in het overzichtsmodel. Het betreft hier in wezen de  $\alpha_2$ -waarden die betrekking hebben op het oscilleren van het water benedenstrooms van de ~~straal~~<sup>kering</sup>.

### Mode 2 (stroming zee $\rightarrow$ rivier).

Vergeleken worden de meetresultaten van het "definitieve" ontwerp Q1140 met de berekeningen, met proevenseries A/B in het sectiemodel als basis. Het betreft proeven zonder en met sediment. De vergelijking is uitgevoerd in de figuren 43, a en b. Gebruik is gemaakt van de gegevens uit figuren 18 en fig 36/37. Deze hebben betrekking op "definitief ontwerp Q1140", voor de situatie met en zonder sediment. Zonder sediment lijkt het erop dat een waarde van  $\alpha$  gelijk aan 0,4 nodig is om demping en golfstraling te compenseren. Met sediment is dit hooguit 0 à 0,1. Het blijkt dat, ten gevolge van de weinige schuifposities die in het sectiemodel zijn onderzocht, de  $\alpha$ -lijnen nogal discontinu verlopen. Dit effect is kunstmatig iets verkleind door bij de proevenserie A een fantasiepunt in te voeren in de drukcoëfficiënt  $\xi$  benedenstrooms van de deurrand (zie figuur 26).

Later is een aanvullend onderzoek gedaan waarbij ~~de oprijvende kracht~~<sup>niet in bezit</sup> met behulp van een krachtmeter is gemeten (Q1293). Deze aanpak is nauwkeuriger dan de methode met gesommeerde drukken. Uit dat onderzoek is geconcludeerd dat een  $\alpha$ -waarden van 0,75 de beste overeenstemming geeft met het begin van de mode 2 oscillaties in het overzichtsmodel.

### Mode 2, één deur op de grond

Voor de situatie waarbij één deur aan de grond staat zijn alleen metingen in het overzichtsmodel gedaan waarbij, bij de "definitieve vorm" deze oscillaties niet optraden (figuur 20). Het blijkt dat bij vergelijking met de berekeningsresultaten van fig. 36 de  $\alpha$  zeker groter dan 2 moet zijn voordat de demping overwonnen wordt. De vergelijking is uitgevoerd in fig 44. De demping wordt bij de één-schuif-oscillatie sterk vergroot doordat er nu, in tegenstelling tot de twee-schuiven-oscillatie van Mode 2 en 3, golfstraling is naar het beneden- en bovenpand toe ten gevolge van een periodiek fluctuerend totaaldebiet door de kering.

### Mode 3

Deze komt voor bij stroming van rivier naar zee. Helaas zijn in het sectie-model geen metingen verricht die als vergelijking met het overzichtsmodel kunnen dienen. Evenals bij de verandering van schuifstand is gedaan, kunnen variant 7, proevenserie C (figuur 39) variant 5 (figuur 24) nog enigszins met elkaar worden vergeleken. Evenals bij de schuifpositie kan uit het verschil in vormgeving verwacht worden dat variant 7 stabiel is. In fig 45 is de vergelijking uitgevoerd. De gemeten lijn in het overzichtsmodel komt ongeveer overeen met de lijn  $\alpha = 2$ , maar dit is niet meer dan een indicatie. In het onderzoek Q1293, al genoemd bij de Mode 2 bewegingen, is <sup>er</sup> uitvoeriger vergelijking uitgevoerd en is geconcludeerd tot een  $\alpha$ -waarde van 3. *niet in bezit*

### Mode 1 (stroming rivier → zee)

Deze is slechts een enkele keer in het overzichtsmodel voorgekomen (Q 1140 "definitieve" ontwerp, figuur 19). Meestal trad hij dan op in combinatie met een Mode 3 oscillatie; bij één proef met een opening van 4,5 m en een verval van 2,3 m kwam hij zelfstandig voor, met een periode van 100 seconden. Dit is niet de staande golf tussen de landhoofden (die ontbreken aan de zeezijde) maar heeft waarschijnlijk te maken met partiële reflectie tegen kribben op de rivier. Verwacht mag worden dat de demping erg hoog is. Met deze vorm zijn in het sectiemodel geen metingen verricht bij stroming van rivier naar zee.

Nu is de situatie Q1140 "definitief" nog enigszins vergelijkbaar met variant 7, waarbij een hogere skirt is toegepast (meer opstuwning) maar met een verlaagde kist aan de rivierzijde (juist een compenserend effect, dus de stroming raakt de balk minder, en het "botspunt" van de 1,34 m hoge balk werkt weer verlagend voor de opwaartse druk).

Vergelijking van fig. 19 met fig 39 levert op dat het ene punt valt op de lijn  $\alpha = -1$ . Dit is in tegenspraak met de verwachting dat  $\alpha > 0$  moet zijn om de hoge demping te compenseren. Vanwege het verschil in vormgeving kan niet geconcludeerd worden dat de theorie niet juist is.

De oscillatie als zodanig trad op bij een verval dat ver ligt buiten de randvoorwaarden, en deze is dus niet maatgevend voor het ontwerp.

7. Vergelijking tussen de deurvormen die  
in het sectiemodel zijn onderzocht

7.1 Alpha-Waarden

Alle resultaten voor wat betreft  $\alpha_1$ -waarden en  $\alpha_2$ -waarden zijn in figuren 36 t/m 42 weergegeven. De bovenste figuur heeft steeds betrekking op  $\alpha_2$  die maatgevend is voor de stabiliteit voor oscillaties benedenstrooms van de deur. De waarden  $\alpha_1$ , voor het bekken bovenstrooms zijn bij stroming van zee naar rivier voor alle relevante situaties positief en groter dan het gestelde criterium in par 3.4.2, zodat er theoretisch geen oscillaties in het bovenstroomse pand vóórkomen;  $\alpha_1$ , is steeds groter dan  $0,2 \times \alpha_2$ .

Bij stroming van rivier naar zee is de situatie ook bovenstrooms instabiel. Hier zou wellicht een verklaring kunnen liggen voor de in het overzichtsmo- del gevonden mode-1 oscillaties, een situatie waarbij veel demping en golfuitstraling te verwachten is.

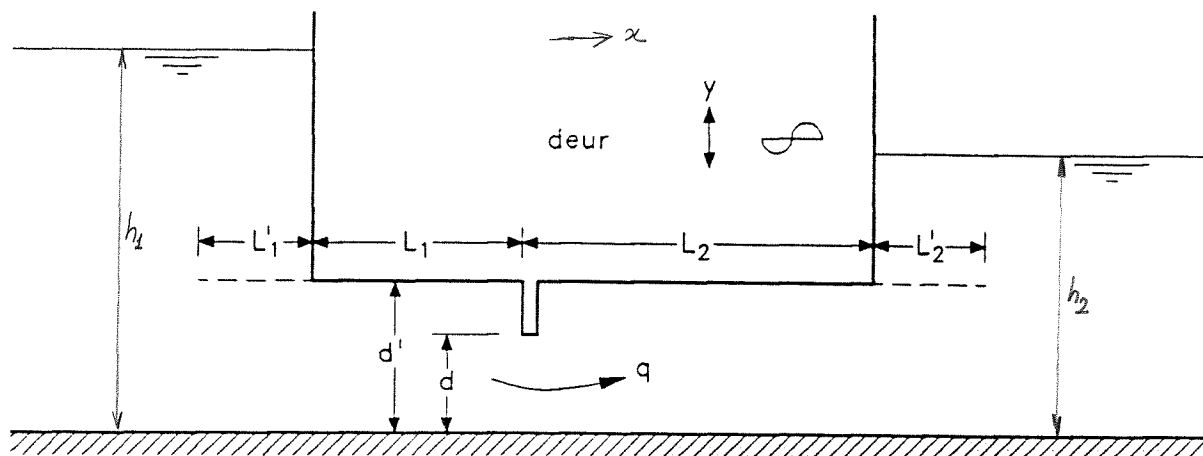
Voor de situatie met stroming zee naar rivier zijn alle proeven (series A, B, C, D en E) op één figuur (figuur 53) samengevat voor wat betreft de lijnen  $\alpha_2 = 0$ , de theoretische lijnen van stabiliteit aan benedenstroomse zijde. Duidelijk komt hier naar voren dat het "definitieve" ontwerp" Q1140 het laagst ligt en dat deze vorm gevoelig is voor het gekozen sedimentpro- fiel (B ligt lager dan A). Variant 7 met de verhoogde balk is duidelijk gunstiger en is niet erg gevoelig voor sediment (D ligt niet lager dan C). Zeer gunstig ligt variant 8, de scherpe rand die 1 m richting rivier is opgeschoven.

Voor wat betreft stroming rivier-zee, zie figuur 54. Het betreft hier proevenseries C<sup>b</sup>(variant 7) en E<sup>b</sup>(variant 8). Beide lijnen met  $\alpha_2 = 0$  vallen nagenoeg samen. Dit was te verwachten, omdat ook bij de brede balk van C de stroming aan de rivierzijde van de balk loslaat, zodat het loslaatpunt gelijk ligt met de scherpe rand 1 m verschoven. Hoewel niet alle gegevens beschik- baar zijn voor een systematische vergelijking van randen, is ten opzichte van het "definitieve" ontwerp Q1140 en variant 7 ook hier de variant 8 zeker een grote vooruitgang.

## 7.2 Statistische stabiliteit

Alle proeven zijn vermeld in fig. 46 t/m 52. Voor alle situaties stroming zee → rivier worden S-waarden groter dan nul gevonden zodat alle deurvarties lijken te voldoen. Ook hier geldt dat variant 8 hogere S-waarden heeft dan de andere randen, en dus beter is. Voor stroming rivier → zee blijken varianten 7 en 8 (beide zonder sediment) gelijkwaardig te zijn.

## 8. Beschouwingen over trilling in de dompelfrequentie



In de studie was niet begrepen een kwantitatieve analyse van de "trillingen" in de dompelfrequentie van de deur ( $T = 5$  à  $12$  s). In het volgende zal evenwel een kwalitatieve beschouwing worden gegeven die indertijd is opgezet voor verticale schuiftrilling met relatief smalle rand (ref.4). De beschouwing gaat er van uit dat de toegevoegde watermassa (kracht in fase met de deurbeweging) los kan worden gezien van de "zelf-excitatie" of "negatieve demping" (kracht uit fase met de deurbeweging). Door de periodieke deurbeweging verandert het debiet en daarmee ook de watersnelheden onder de deur.

De snelheidsveranderingen in x-richting geven traagheidskrachten in de stroming. Maatgevend is daarvoor de "pijplengte" onder de deur ( $L_{\text{deur}} = L_{\text{bovenstr}}^{L_1} + L_{\text{benedenstr}}^{L_2}$ ) en daarbij komt dan nog de traagheid in het water boven- en benedenstrooms van de deur. Deze laatste wordt weer uitgedrukt in fictieve pijplengten  $L_1'$  en  $L_2'$  (de waarde hangt af van deuropening, waterstand, en frequentie).

Door de traagheid van de pijpstroming zal, zolang de oscillatie hoekfrequentie  $\omega$  laag is, het debiet de schuifbeweging quasi-stationnair volgen volgens

$$q = \mu d \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (26)$$

Een maat voor dit quasi-stationnair zijn van het debiet is dat het Strouhalgetal  $S$  kleiner moet zijn dan 0,5.

$$S = \omega (L + L'_1 + L'_2) / \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad , \quad L = L_1 + L_2 \quad (27)$$

$L'_1$  is bij benadering:

$$L'_1 = [1,4 \log \left( \frac{h_1}{d'} \right) + 0,6 \operatorname{tgh} \frac{\omega^2 h_1}{4g}] d' \quad (28)$$

Deze vergelijking is empirisch bepaald uit ref. 4, fig. II.17.

Een dergelijke uitdrukking is ook voor  $L'_2$  op te schrijven.

Passen we deze formule toe bij  $T = 10$  sec ( $\omega = 2\pi/10$ ), een gemiddelde waterdiepte van 19 m en een  $d^1$  van 2 m, dan vinden we uit (28):

$$L'_1 - L'_2 = 3 \text{ m}$$

In vergelijking 28 is de eerste term ca 10x groter dan de tweede term, dus de invloed van de frequentie is niet groot.

Uit (27) volgt bij  $(L + L'_1 + L'_2) = 21$  m en een verval van 2 m dat  $S = 0,1$ . Dit is kleiner dan 0,5 dus de debietverandering verloopt "quasi-stationair".  $S = \frac{2R}{10} \times 21 / \sqrt{2g \times 2} \approx 2,1$  (?)  $\swarrow = h_1 - h_2$

Beweegt nu de schuif op en neer, dan is uit (26) de debietvariatie en daaruit ~~is~~ ook de snelheidsvariatie te berekenen. Samenhangend met de versnelling of de vertraging van de waterkolom ontstaat een extra verval over de onderrand (vergelijk een afsluiter in een pijp die open of dicht gaat).

Stijgt de deur dan neemt het debiet toe en daarmee ook de plaatselijke snelheden (behalve in <sup>de</sup>gecontraheerde straal), de druk bovenstrooms van de rand neemt af, de druk benedenstrooms neemt toe. Zakt de deur (afknijpen debiet) dan neemt de druk bovenstrooms toe en benedenstrooms af. De afnemende druk bovenstrooms van de rand zwakt de omhooggaande beweging af (demping), de druk benedenstrooms versterkt de schuifbeweging (excitatie). De drukken zijn inderdaad proportioneel aan de snelheid waarmee de schuif beweegt, dus in fase met  $dy/dt$ , wat betekent: uit fase met de schuifverplaatsing  $y$ .

Is er bovendien een zuiging onder de bodemkist proportioneel aan het verval, dan speelt deze ook <sup>e</sup>en rol bij het dynamisch gedrag.

Deze analyse is niet verder doorgezet omdat de in het overzichtsmode gemeten trillingen niet groter waren dan de door golven opgewekte bewegingen. Wel volgt uit deze analyse iets analoogs als ook bij de statische en dynamische stabiliteits<sup>f</sup>beschouwing is gebleken: het is ter voorkoming van oscillaties in de dompelfrequentie gunstig de rand richting benedenstrooms te verplaatsen.

## REFERENTIES

1. Waterloopkundig Laboratorium  
Maeslant Kering. Onderzoek met behulp van een sectiemodel:
  - optimalisatie vormgeving sectordeur
  - drukmetingen op drempel en sectordeurVerslag modelonderzoek Q 1190, november 1990
  
2. Waterloopkundig Laboratorium  
Maeslant Kering.  
Additioneel onderzoek voor de sectordeuren in een overzichtsmodel.  
Verslag modelonderzoek Q 1278, februari, 1991  
*↖ niet in bezit*
  
3. Waterloopkundig Laboratorium  
Maeslant Kering  
Vervolgonderzoek naar het responsiegedrag van de sectordeuren in een overzichtsmodel.  
Verslag modelonderzoek Q 1140, juni 1990
  
4. Kolkman, P.A.: "Flow-induced gate vibrations", publ.164 van het Waterloopkundig Laboratorium, 1976
  
5. Waterloopkundig Laboratorium,  
Maeslant Kering  
Vervolgstudie skirt/fender constructie sectordeuren:
  - Kracht- en drukmetingen in het sectiemodel
  - StabiliteitsberekeningenVerslag modelonderzoek Q1293, 1991  
*↖ niet in bezit*

Tabel 1: Testprogramma drukmetingen in het sectiemodel

proef	$h_{zee}$ (m NAP)	$h_{riv}$ (m NAP)	$\Delta h$ (m)	VO (deuropening) (m)
A1	+1,5	0,0	+1,5	0,5
A2				1,5
A3				2,5
A4				4,0
A5				7,0
A6	+3,0	0,0	+3,0	0,5
A7				1,5
A8				2,5
A9				4,0
A10				7,0
A11	+4,5	0,0	+4,5	0,5
A12				1,5
A13				2,5
A14				4,0

Tabel 1<sup>a</sup>. "Definitief" ontwerp Q 1140.  
Drukmetingen proevenserie A, zonder sedimentprofiel.

proef	$h_{zee}$ (m NAP)	$h_{riv}$ (m NAP)	$\Delta h$ (m)	VO (m)
B1	+1,5	0,0	+1,5	0,5
B2				1,5
B3				2,5
B4				4,0
B5	+3,0	0,0	+3,0	0,5
B6				1,5
B7				2,5
B8				4,0

Tabel 1<sup>b</sup>. "Definitief" ontwerp Q 1140.  
Drukmetingen proevenserie B, met sedimentprofiel zeezijde.

proef	$h_{zee}$ (m NAP)	$h_{riv}$ (m NAP)	$\Delta h$ (m)	$V_0$ (m)
C1	+1,5	0,0	+1,5	0,5
C2				1,5
C3				2,5
C4				4,0
C5				7,0
C6				10,0
C7	+3,0	0,0	+3,0	0,5
C8				1,5
C9				2,5
C10				4,0
C11				7,0
C12	+4,5	0,0	+4,5	0,5
C13				1,5
C14				2,5
C15				4,0
C24	+1,0	+2,0	-1,0	0,5
C16				1,0
C17				2,5
C18				4,0
C19				7,0
C23	0,0	+2,0	-2,0	0,5
C20				1,0
C21				2,5
C22				4,0

Tabel 1<sup>c</sup>.

Variant 7.

Drukmetingen proevenserie C, zonder sedimentprofiel.

proef	$h_{zee}$ (m NAP)	$h_{riv}$ (m NAP)	$\Delta h$ (m)	VO (m)
D1	+1,5	0,0	+1,5	0,5
D2				1,5
D3				2,5
D4				4,0
D5				7,0
D6	+3,0	0,0	+3,0	0,5
D7				1,5
D8				2,5
D9				4,0

Tabel 1<sup>d</sup>. Variant 7  
Drukmetingen proevenserie D, met sedimentprofielzeezijden.

proef	$h_{zee}$ (m NAP)	$h_{riv}$ (m NAP)	$\Delta h$ (m)	VO (m)
E1	+1,5	0,0	+1,5	1,5
E2				4,0
E3				7,0
E4	+3,0	0,0	+3,0	0,5
E5				1,5
E6				2,5
E7				4,0
E8				7,0
E9	+1,0	+2,0	-1,0	1,0
E10				2,5
E11				4,0
E12				7,0

Tabel 1<sup>e</sup>. Variant 8.  
Drukmetingen proevenserie E, zonder sedimentprofiel.

Tabel 2: gemeten drukken

proef	VO (m)	h <sub>zee</sub> (m NAP)	h <sub>riv</sub> (m NAP)	verval Δh (m)	debiet (m <sup>3</sup> /s)	stijghoogtes deur (m NAP)										stijghoogtes drempel (m NAP)							
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	A	B	C	D	E	F	G	H
A1	0,5	+1,50	+0,02	+1,48	72	+1,48	+1,48	+1,45	+1,30	-0,44	0,19	-0,05	-0,03	-0,01	-0,02	+1,36	+1,12	-0,26	-0,59	-0,46	-0,17	-0,05	+0,01
A2	1,5	+1,49	-0,09	+1,58	210	+1,35	+1,31	+1,20	+0,88	-1,03	-0,82	-0,48	-0,33	-0,21	-0,23	+0,89	+0,41	-0,15	-0,65	-0,81	-0,75	-0,60	-0,34
A3	2,5	+1,38	-0,07	+1,45	339	+1,02	+1,06	+0,92	+0,60	-1,04	-0,97	-0,64	-0,42	-0,30	-0,32	+0,52	+0,17	-0,13	-0,45	-0,62	-0,70	-0,67	-0,48
A4	4,0	+1,59	-0,01	+1,60	588	+0,86	+0,99	+0,80	+0,44	-1,32	-1,29	-1,04	-0,64	-0,48	-0,48	+0,34	+0,04	-0,17	-0,41	-0,57	-0,70	-0,77	-0,72
A5	7,0	+1,53	-0,07	+1,60	1050	+0,42	+0,63	+0,46	+0,13	-1,53	-1,57	-1,46	-1,17	-0,86	-0,86	+0,10	+0,10	-0,23	-0,39	-0,50	-0,62	-0,73	-0,88
A6	0,5	+3,04	-0,05	+3,09	109	+2,96	+2,98	+2,92	+2,60	-1,68	-0,71	-0,34	-0,21	-0,14	-0,14	+2,82	+2,24	-0,75	-1,60	-1,35	-0,68	-0,45	-0,17
A7	1,5	+2,89	-0,06	+2,95	293	+2,52	+2,54	+2,33	+1,70	-1,94	-1,69	-0,93	-0,52	-0,35	-0,37	+1,60	+0,83	-0,24	-1,19	-1,55	-1,48	-1,20	-0,69
A8	2,5	+3,01	-0,10	+3,11	503	+2,20	+2,31	+1,99	+1,27	-2,29	-2,08	-1,48	-0,92	-0,68	-0,68	+1,01	+0,34	-0,30	-1,00	-1,43	-1,65	-1,59	-1,21
A9	4,0	+2,89	-0,09	+2,98	813	+1,51	+1,72	+1,37	+0,69	-2,66	-2,58	-2,04	-1,29	-1,00	-0,99	+0,39	-0,07	-0,50	-0,95	-1,24	-1,53	-1,66	-1,56
A10	7,0	+3,16	+0,02	+3,14	1472	+0,72	+1,20	+0,90	+0,26	-3,15	-3,16	-2,81	-2,07	-1,59	-1,46	+0,12	-0,19	-0,47	-0,76	-0,98	-1,23	-1,42	-1,73
A11	0,5	+4,74	-0,03	+4,77	139	+4,63	+4,65	+4,57	+4,10	-2,21	-0,98	-0,45	-0,27	-0,16	-0,16	+4,37	+3,61	-0,69	-2,11	-1,85	-0,97	-0,52	-0,22
A12	1,5	+4,58	-0,09	+4,67	371	+3,99	+4,01	+3,69	+2,70	-3,04	-2,50	-1,42	-0,84	-0,57	-0,58	+2,62	+1,38	-0,31	-1,85	-2,42	-2,36	-1,93	-1,00
A13	2,5	+4,61	-0,05	+4,66	620	+3,39	+3,55	+3,04	+2,00	-3,32	-3,15	-2,09	-1,25	-0,91	-0,92	+1,65	+0,66	-0,35	-1,39	-2,03	-2,39	-2,33	-1,74
A14	4,0	+4,57	-0,00	+4,57	998	+2,41	+2,73	+2,21	+1,18	-3,93	-3,92	-2,93	-1,78	-1,37	-1,33	+0,71	+0,05	-0,68	-1,34	-1,87	-2,28	-2,47	-2,26

Tabel 2a: Meetresultaten proevenserie A, "definitief" ontwerp Q1140, geen sediment; fig. 5, 8 en 10

proef	VO (m)	h <sub>zee</sub> (m NAP)	h <sub>riv</sub> (m NAP)	verval Δh (m)	debiet (m <sup>3</sup> /s)	stijghoogtes (m NAP) deur										stijghoogtes (m NAP) drempel							
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	A	B	C	D	E	F	G	H
B1	0,5	+1,98	+0,08	+1,90	65	+1,94	+1,87	+0,96	+1,03	-0,26	-0,01	+0,05	+0,09	+0,08	+0,08	*	*	+0,27	-0,15	-0,12	+0,04	+0,07	+0,06
B2	1,5	+1,43	-0,19	+1,62	169	+1,20	+0,88	+0,32	+0,19	-0,78	-0,72	-0,56	-0,36	-0,27	-0,26	*	*	+0,45	-0,24	-0,55	-0,64	-0,56	-0,41
B3	2,5	+1,28	-0,15	+1,43	261	+0,89	+0,75	+0,38	+0,11	-0,74	-0,74	-0,69	-0,46	-0,33	-0,34	*	*	+0,49	-0,08	-0,23	-0,52	-0,56	-0,51
B4	4,0	+1,55	-0,15	+1,70	445	+0,85	+0,87	+0,59	+0,24	-0,90	-0,93	-0,96	-0,84	-0,57	-0,55	*	*	+0,49	+0,39	+0,11	-0,25	-0,48	-0,67
B5	0,5	+3,09	-0,08	+3,1	88	+3,04	+2,82	+1,46	+1,49	-0,68	-0,30	-0,13	-0,10	-0,11	-0,10	*	*	+0,23	-0,54	-0,50	-0,27	-0,10	-0,07
B6	1,5	+3,19	+0,06	+3,13	240	+2,70	+2,14	+0,97	+0,76	-1,17	-1,09	-0,71	-0,32	-0,17	-0,15	*	*	+1,17	-0,15	-0,74	-0,95	-0,81	-0,45
B7	2,5	+3,28	-0,08	+3,36	413	+2,26	+1,95	+1,03	+0,40	-1,65	-1,71	-1,49	-0,92	-0,58	-0,60	*	*	+1,25	+0,28	-0,44	-1,15	-1,29	-1,11
B8	4,0	+3,28	+0,05	+3,23	635	+1,84	+1,86	+1,27	+0,64	-1,60	-1,68	-1,66	-1,37	-0,81	-0,74	*	*	+1,24	+0,92	+0,28	-0,36	-0,79	-1,10

\* drukopnemer onder sedimentprofiel

Tabel 2b Meetresultaten proevenserie B, "definitief" ontwerp Q1140, sediment (zeezijde); fig. 5, 8, 9, 10 en 16.

Proef	VO (m)	h <sub>zee</sub> (m NAP)	h <sub>riv</sub> (m NAP)	verval (m)	debiet (m <sup>3</sup> /s)	stijghoogte deur (m NAP)										stijghoogte drempel (m NAP)							
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	A	B	C	D	E	F	G	H
						C1	0,5	+1,45	-0,21	+1,66	83	+1,46	+1,40	+1,42	+1,39	-0,49	-0,48	-0,40	-0,28	-0,23	-0,22	+1,33	+0,78
C2	1,5	+1,62	-0,21	+1,83	203	+1,48	+1,51	+1,49	+1,46	-0,89	-0,92	-0,80	-0,67	-0,36	-0,36	+1,19	+0,61	-0,12	-0,61	-0,81	-0,89	-0,87	-0,66
C3	2,5	+1,47	-0,24	+1,71	319	+1,16	+1,27	+1,24	+1,22	-0,97	-1,02	-1,01	-0,69	-0,54	-0,53	+0,78	+0,37	-0,07	-0,45	-0,79	-0,91	-0,94	-0,86
C4	4,0	+1,68	-0,16	+1,84	523	+1,16	+1,33	+1,30	+1,31	-0,97	-1,04	-1,07	-0,99	-0,63	-0,59	+0,69	+0,40	+0,09	-0,16	-0,37	-0,66	-0,78	-0,88
C5	7,0	+1,63	-0,12	+1,75	935	+0,82	+1,13	+1,11	+1,20	-1,19	-1,22	-1,24	-1,43	-0,97	-0,92	+0,44	+0,25	+0,05	-0,11	-0,24	-0,46	-0,63	-0,89
C6	10,0	+1,42	-0,09	+1,51	1355	+0,63	+0,95	+0,94	+1,07	-1,46	-1,47	-1,50	-1,64	-1,22	*	+0,19	+0,02	-0,13	-0,25	-0,33	-0,50	-0,65	-0,92
C7	0,5	+2,97	-0,22	+3,19	114	+2,89	+2,93	+2,90	+2,86	-0,65	-0,61	-0,77	-0,51	-0,29	-0,29	+2,78	+1,83	-1,54	-0,78	-0,60	-0,62	-0,63	-0,69
C8	1,5	+2,95	-0,26	+3,21	272	+2,67	+2,77	+2,70	+2,66	-1,47	-1,52	-1,61	-0,67	-0,53	-0,52	+2,10	+1,18	-0,06	-0,97	-1,28	-1,46	-1,40	-1,07
C9	2,5	+3,08	-0,14	+3,22	440	+2,57	+2,74	+2,64	+2,65	-1,58	-1,70	-1,72	-1,01	-0,71	-0,69	+1,65	+0,99	+0,20	-0,52	-0,99	-1,42	-1,49	-1,37
C10	4,0	+2,85	-0,16	+3,01	677	+1,97	+2,23	+2,18	+2,24	-1,62	-1,72	-1,77	-1,69	-1,05	-0,95	+1,15	+0,69	+0,17	-0,25	-0,58	-1,04	-1,28	-1,46
C11	7,0	+2,81	-0,10	+2,91	1207	+1,42	+1,91	+1,90	+2,04	-1,97	-2,02	-2,14	-2,32	-1,59	-1,46	+0,74	+0,45	+0,13	-0,12	-0,38	-0,75	-1,01	-1,44
C12	0,5	+4,47	-0,17	+4,64	141	+4,36	+4,38	+4,34	+4,29	-0,81	-0,60	-0,79	-0,52	-0,28	-0,26	+4,15	+2,85	-2,02	-1,00	-0,74	-0,72	-0,70	-0,54
C13	1,5	+4,38	-0,10	+4,48	321	+4,00	+4,12	+4,03	+3,97	-1,77	-1,48	-1,40	-0,71	-0,50	-0,46	+3,17	+1,95	+0,23	-1,05	-1,49	-1,75	-1,70	-1,23
C14	2,5	+4,54	-0,15	+4,69	535	+3,75	+3,99	+3,86	+3,87	-2,27	-2,17	-2,18	-1,46	-1,02	-0,97	+2,52	+1,53	+0,35	-0,72	-1,38	-2,03	-2,17	-1,92
C15	4,0	+4,55	-0,21	+4,76	850	+3,19	+3,61	+3,51	+3,61	-2,42	-2,32	-2,38	-2,07	-1,49	-1,37	+1,86	+1,19	+0,48	-0,26	-0,79	-1,52	-1,88	-2,10
C24	0,5	+0,84	+1,89	-1,05	65	+0,81	+0,81	+0,82	+0,83	+1,86	+1,84	+1,83	+1,74	+1,91	+1,90	+1,83	+1,82	+1,75	+1,76	+1,66	+0,47	+0,72	+0,74
C16	1,0	+0,79	+1,93	-1,14	113	+0,71	+0,71	+0,72	+0,76	+1,79	+1,76	+1,76	+1,59	+1,96	+1,95	+1,71	+1,71	+1,67	+1,64	+1,53	+0,88	+0,66	+0,65
C17	2,5	+0,81	+1,96	-1,15	291	+0,57	+0,60	+0,61	+0,63	+1,25	+1,14	+0,95	+0,88	+1,90	+1,96	+1,10	+1,07	+1,02	+0,99	+0,95	+0,81	+0,70	+0,55
C18	4,0	+0,84	+1,96	-1,12	480	+0,41	+0,51	+0,53	+0,55	+0,93	+0,62	+0,45	+0,35	+1,82	+1,96	+0,88	+0,80	+0,71	+0,69	+0,65	+0,62	+0,59	+0,50
C19	7,0	+0,91	+1,91	-1,00	869	+0,28	+0,35	+0,35	+0,36	+0,29	+0,09	-0,18	-0,22	+1,74	+1,90	+0,70	+0,63	+0,55	+0,51	+0,49	+0,42	+0,40	+0,30
C23	0,5	-0,16	+1,81	-1,97	90	-0,24	-0,23	-0,22	-0,20	+1,71	+1,68	+1,65	+1,50	+1,83	+1,81	+1,66	+1,64	+1,60	+1,59	+1,45	-0,76	-0,21	-0,24
C20	1,0	-0,10	+1,91	-2,01	148	-0,27	-0,25	-0,23	-0,21	+1,64	+1,58	+1,52	+1,27	+1,91	+1,92	+1,51	+1,52	+1,47	+1,41	+1,20	+0,06	-0,20	-0,20
C21	2,5	-0,11	+1,92	-2,03	388	-0,55	-0,52	-0,49	-0,45	+0,70	+0,42	+0,10	-0,06	+1,81	+1,92	+0,42	+0,35	+0,25	+0,22	+0,13	-0,11	-0,28	-0,47
C22	4,0	-0,15	+1,95	-2,10	657	-0,87	-0,82	-0,79	-0,72	-0,17	-0,67	-0,98	-1,12	+1,61	+1,91	-0,14	-0,28	-0,38	-0,43	-0,49	-0,64	-0,67	-0,75

\* Waterstand lager dan drukmeetpunt

Tabel 2c Meetresultaten proevenserie C, variant 7, geen sediment; fig. 6, 8, en 16



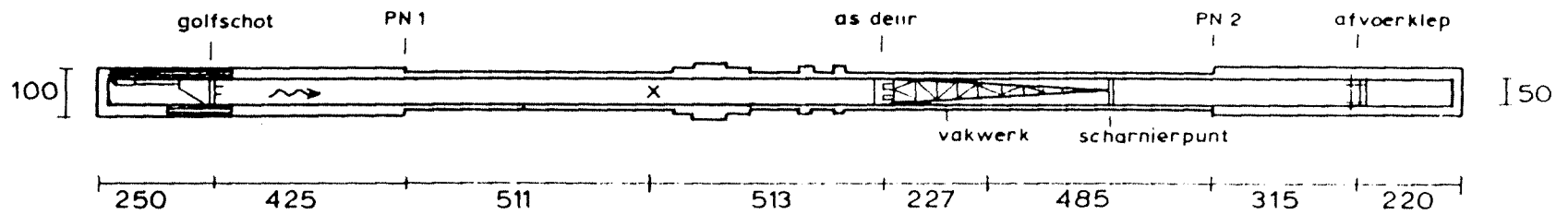
proef	VO (m)	h <sub>zee</sub> (m NAP)	h <sub>riv</sub> (m NAP)	verval $\Delta h$ (m)	debiet $Q$ (m <sup>3</sup> /s)	stijghoogtes (m NAP)										drempeel (m NAP)							
						deur										stijghoogtes				drempeel			
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	A	B	C	D	E	F	G	H
E1	1,5	+1,43	+0,32	+1,75	199	+1,31	+1,33	+1,28	+1,16	-0,88	-0,90	-0,91	-0,56	-0,45	-0,49	+0,95	+0,59	0,00	-0,52	-0,79	-0,90	-0,89	-0,71
E2	4,0	+1,47	-0,17	+1,64	507	+0,97	+1,13	+1,04	+0,88	-0,80	-0,84	-0,92	-0,86	-0,57	-0,59	+0,53	+0,32	+0,09	-0,12	-0,29	-0,52	-0,62	-0,72
E3	7,0	+1,30	-0,17	+1,47	901	+0,53	+0,79	+0,69	+0,57	-1,04	-1,06	-1,10	-1,22	-0,93	-0,94	+0,20	+0,07	-0,07	-0,19	-0,29	-0,48	-0,59	-0,81
E4	0,5	+3,02	-0,11	+3,13	108	+2,97	+2,99	+2,98	+2,86	-0,72	-0,75	-0,64	-0,26	-0,18	-0,17	+2,92	+2,55	+0,36	-0,68	-0,76	-0,78	-0,72	-0,37
E5	1,5	+3,05	-0,13	+3,18	272	+2,77	+2,84	+2,74	+2,66	-1,20	-1,25	-1,31	-0,64	-0,44	-0,41	+2,14	+1,52	+0,48	-0,49	-0,96	-1,20	-1,20	-0,92
E6	2,5	+2,89	-0,18	+3,07	441	+2,33	+2,49	+2,34	+2,02	-1,43	-1,49	-1,67	-1,12	-0,78	-0,77	+1,48	+0,95	+0,28	-0,34	-0,80	-1,24	-1,33	-1,22
E7	4,0	+2,99	-0,12	+3,11	705	+2,05	+2,30	+2,14	+1,82	-1,41	-1,55	-1,69	-1,48	-0,94	-0,91	+1,22	+0,78	+0,35	-0,07	-0,42	-0,85	-1,07	-1,24
E8	7,0	+2,83	-0,20	+3,03	1295	+1,17	+1,69	+1,51	+1,26	-2,14	-2,21	-2,26	-2,57	-1,82	-1,75	+0,48	+0,21	-0,06	-0,32	-0,53	-0,89	-1,16	-1,63
E9	1,0	+0,72	+1,98	-1,26	106	+0,63	+0,65	+0,65	+0,66	+1,85	+2,13	+1,80	+1,67	+2,01	+2,00	+1,81	+1,78	+1,75	+1,71	+1,65	+1,00	+0,70	+0,60
E10	2,5	+0,77	+2,07	-1,30	285	+0,52	+0,54	+0,54	+0,56	+1,42	+1,45	+1,07	+1,00	+2,06	+2,09	+1,27	+1,21	+1,14	+1,10	+1,03	+0,89	+0,72	+0,54
E11	4,0	+0,76	+1,95	-1,19	477	+0,37	+0,40	+0,39	+0,36	+0,85	+0,71	+0,61	+0,34	+1,79	+1,92	+0,87	+0,76	+0,67	+0,64	+0,60	+0,55	+0,50	+0,40
E12	7,0	+0,87	+1,89	-1,02	867	+0,23	+0,28	+0,27	+0,24	+0,25	-0,17	-0,27	-0,33	+1,68	+1,89	+0,69	+0,56	+0,48	+0,44	+0,40	+0,34	+0,33	+0,24

Tabel 2e: Meetresultaten proevenserie E, variant 8, geen sediment; fig. 7 en 8

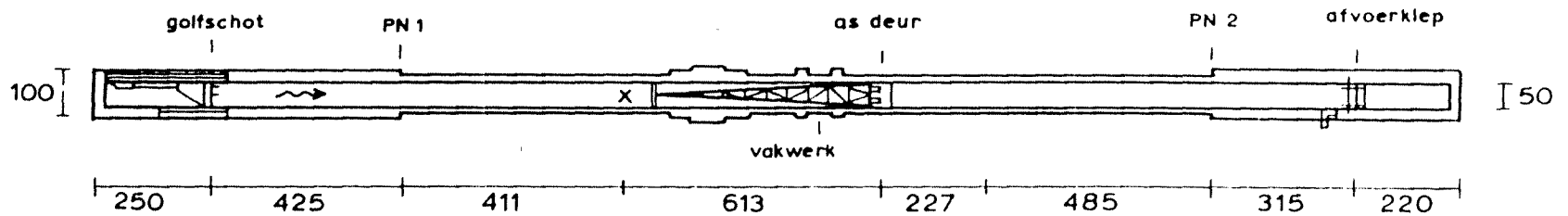
Proeven serie	d	proef	$\mu$	proef	$\mu$	proef	$\mu$	$\mu_{gem}$	$\mu_{corr}$
A pos. verval	0,5	A1	1,08	A6	1,13	A11	1,15	1,12	1,054
	1,5	A2	1,01	A7	1,03	A12	1,03	1,023	1,002
	2,5	A3	1,02	A8	1,03	A13	1,04	1,03	1,018
	4	A4	1,05	A9	1,06	A14	1,06	1,057	1,050
	7	A5	1,07	A10	1,07			1,07	1,065
B pos. verval	0,5	B1	0,86	B5	0,90			0,88	0,814
	1,5	B2	0,80	B6	0,82			0,81	0,789
	2,5	B3	0,79	B7	0,82			0,805	0,793
	4	B4	0,77	B8	0,80			0,785	0,779
C pos. verval	0,5	C1	1,18	C7	1,16	C12	1,19	1,177	1,111
	1,5	C2	0,90	C8	0,91	C13	0,92	0,91	0,889
	2,5	C3	0,88	C9	0,89	C14	0,89	0,887	0,875
	4	C4	0,87	C10	0,88	C15	0,88	0,877	0,870
	7	C5	0,91	C11	0,91			1,91	0,905
	10	C6	1,00	-	-			1,00	0,999
C neg. verval	0,5	C24	1,15	C23	1,16			1,155	1,089
	1	C16	0,95	C20	0,95			0,95	0,918
	2,5	C17	0,98	C21	0,99			0,985	0,973
	4	C18	1,02	C22	1,02			1,02	1,0135
	7	C19	1,12					1,12	1,115
D pos. verval	0,5	D1	0,923	D6	0,957			0,94	0,874
	1,5	D2	0,742	D7	0,76			0,751	0,73
	2,5	D3	0,714	D8	0,72			0,717	0,705
	4	D4	0,714	D9	0,72			0,717	0,711
	7	D5	0,748					0,748	0,743
E pos. verval	0,5			E4	1,11			1,11	1,044
	1,5	E1	0,91	E5	0,92			0,915	0,894
	2,5			E6	0,91			0,91	0,898
	4	E2	0,89	E7	0,90			0,90	0,894
7	E3	0,96	E8	0,96			0,96	0,955	
E neg. verval	1	E9	0,85					0,85	0,818
	2,5	E10	0,90					0,90	0,888
	4	E11	0,99					0,99	0,984
	7	E12	1,11					1,11	1,105

$$\mu_{corr} = \mu - \frac{0,05 (17 - d)}{25d}$$

Tabel 3 Ongecorrigeerde en gecorrigeerde afvoercoëfficiënten



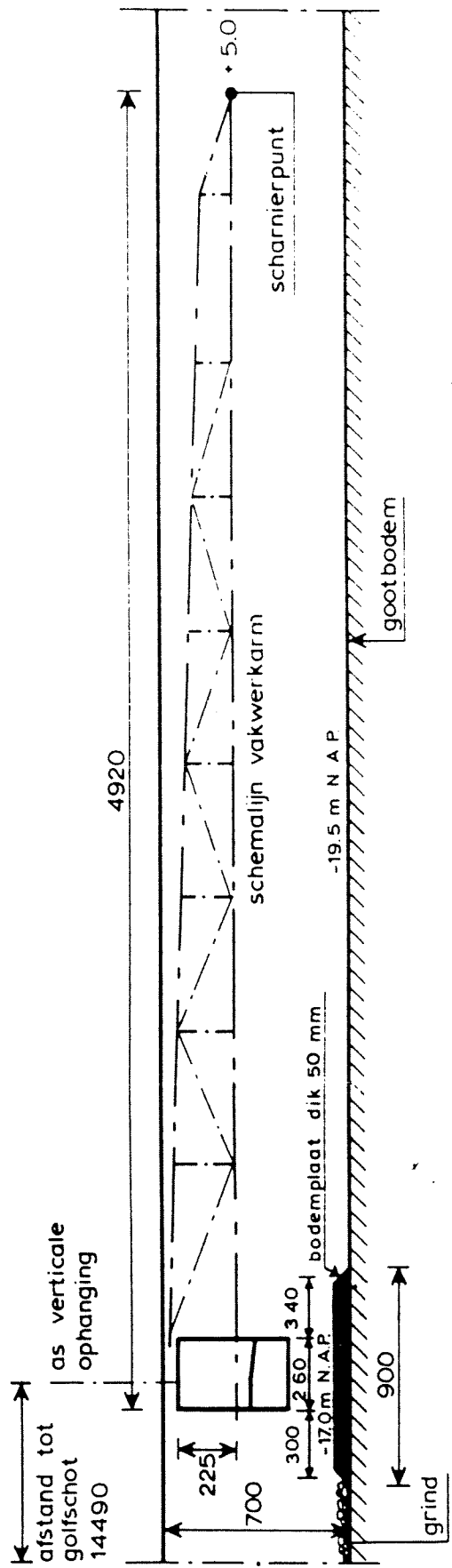
STROMING : ZEE → RIVIER



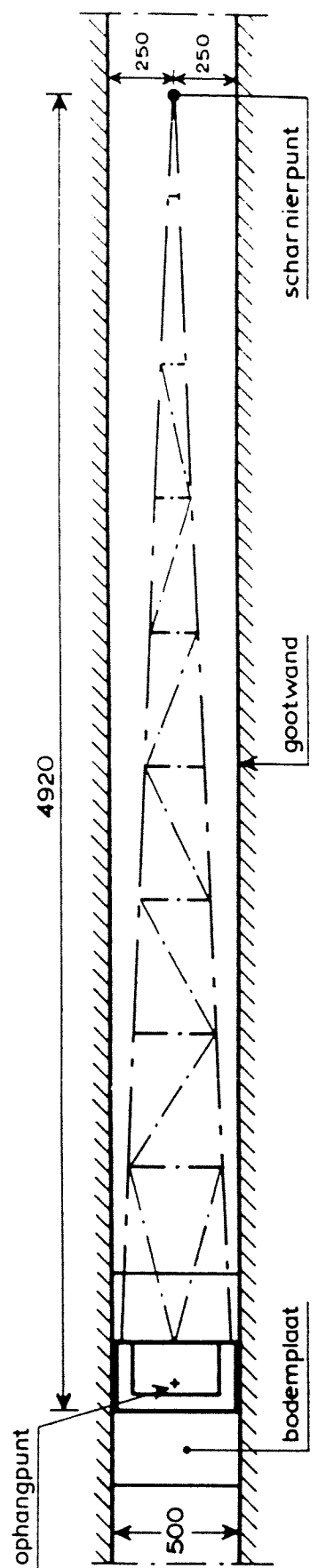
STROMING : RIVIER → ZEE

PN 1 = peilnaald bovenstroomse waterstandsmeting, PN 2 = peilnaald benedenstroomse waterstandsmeting

maten in cm



LANGSDOORSNEDE OVER MODEL (SCHEMATISCH)



BOVENAANZICHT (SCHEMATISCH)

maten in mm  
peilmaten in m prototype

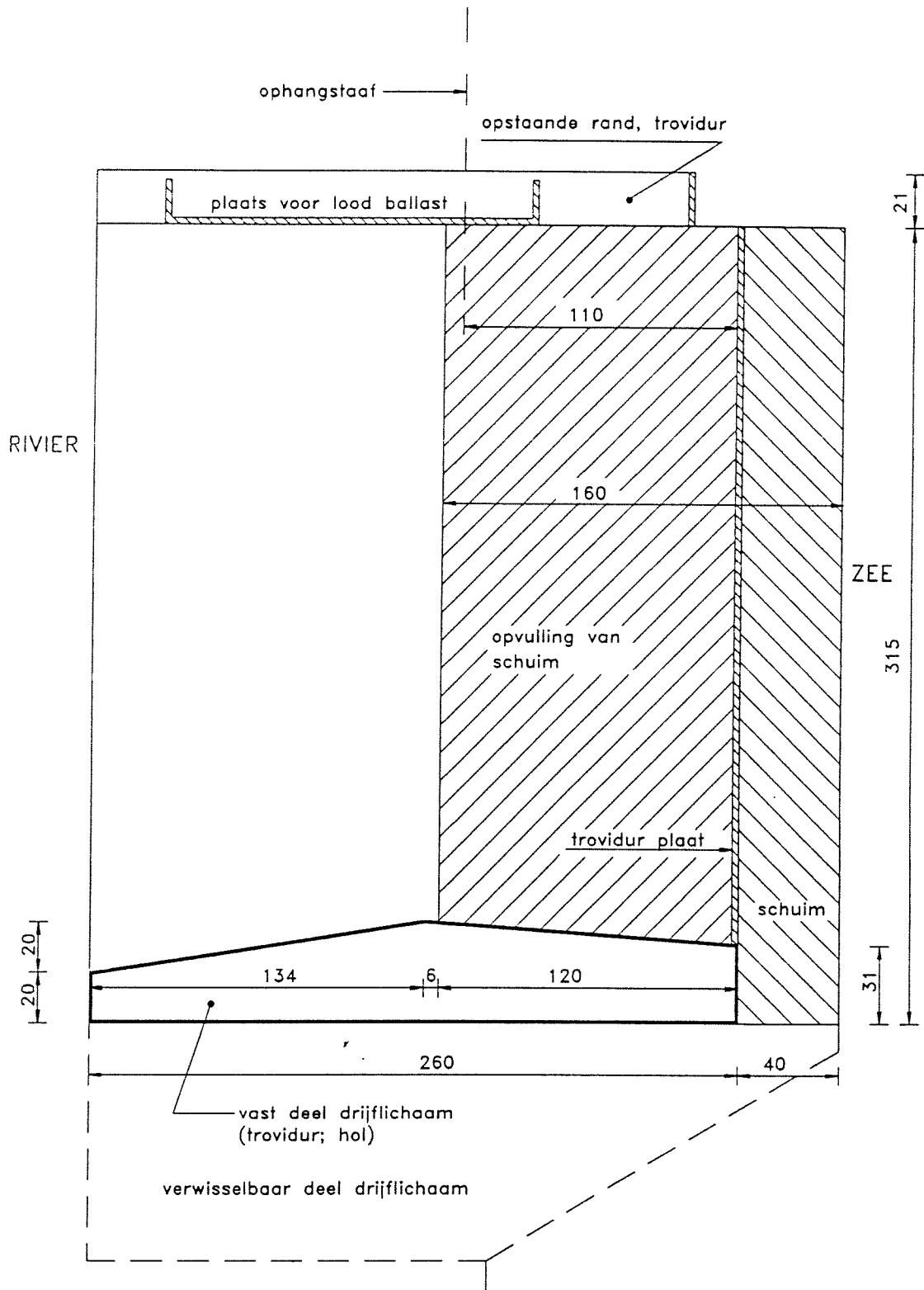
SECTIEMODEL VAN DE SECTORDEUR:  
LANGSDOORSNEDE EN BOVENAANZICHT

uit Q 1293

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 2



maten in mm

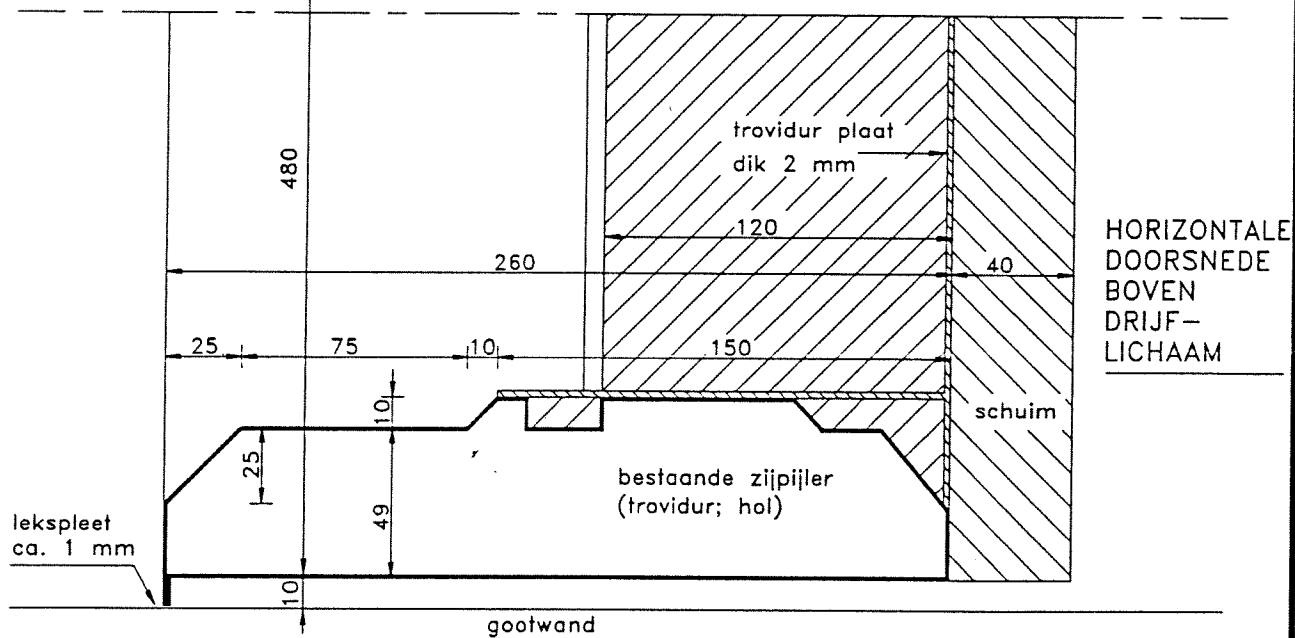
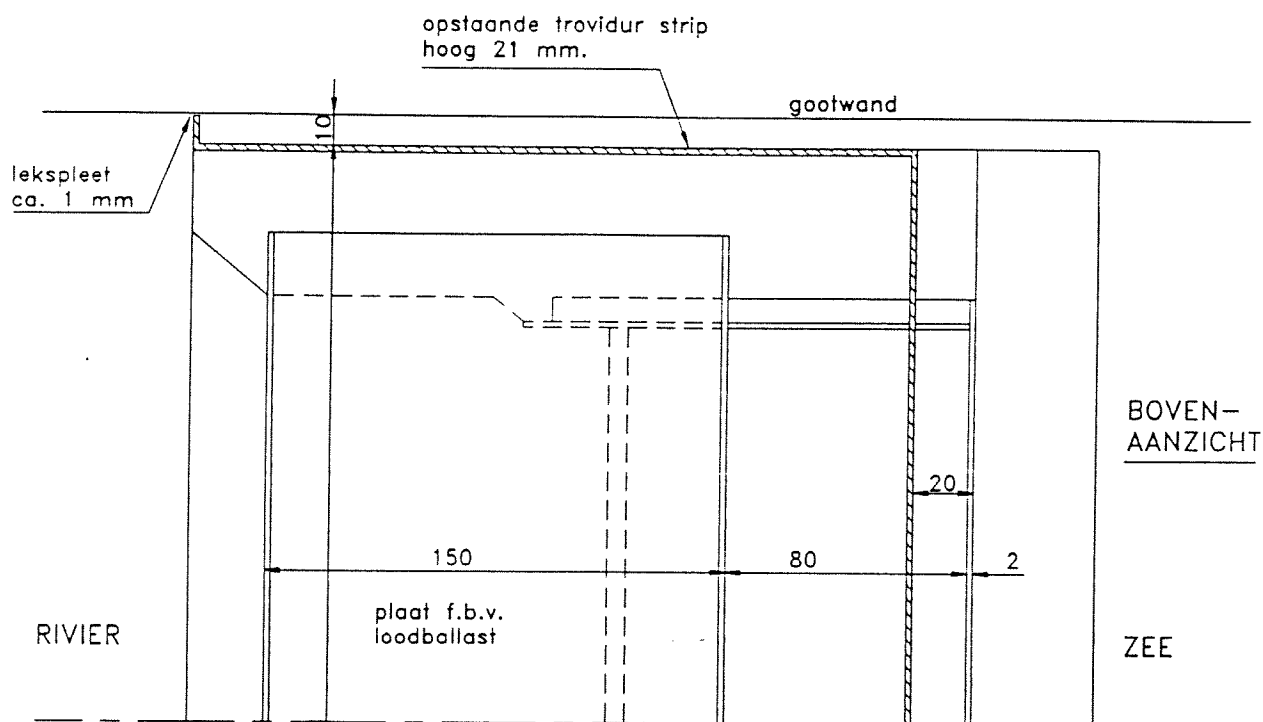
VERTICALE DOORSNEDE OVER VAST DEEL  
VAN SECTIEMODEL.

uit Q 1293

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 3



maten in mm

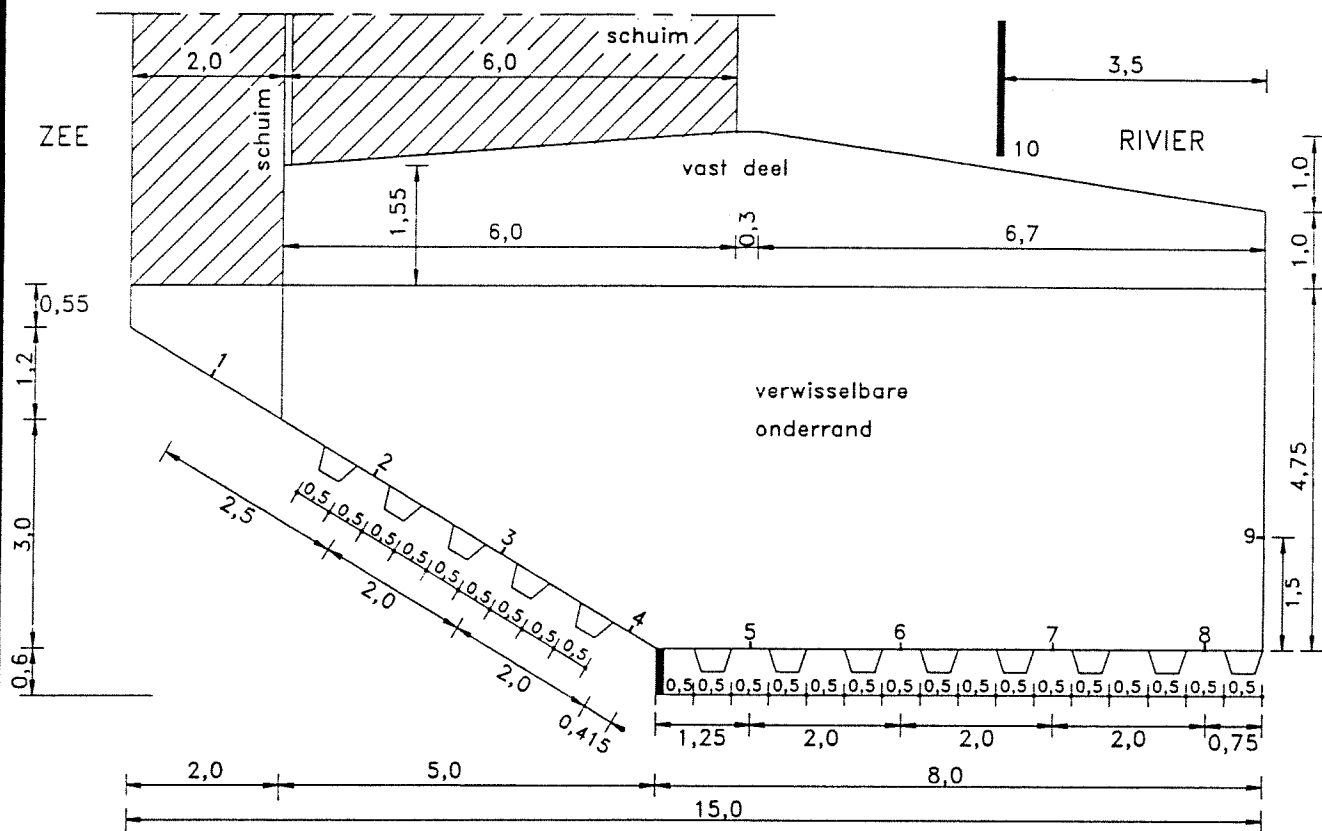
HORIZONTALE DOORSNEDE OVER HET SECTIEMODEL.  
BOVENAANZICHT

uit Q 1293

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 4



Proevenserie A: zonder sedimentprofiel  
 Proevenserie B: met sedimentprofiel  
 aan zeezijde.

1 t/m 10: drukaansluitingen.

maten in m prototype

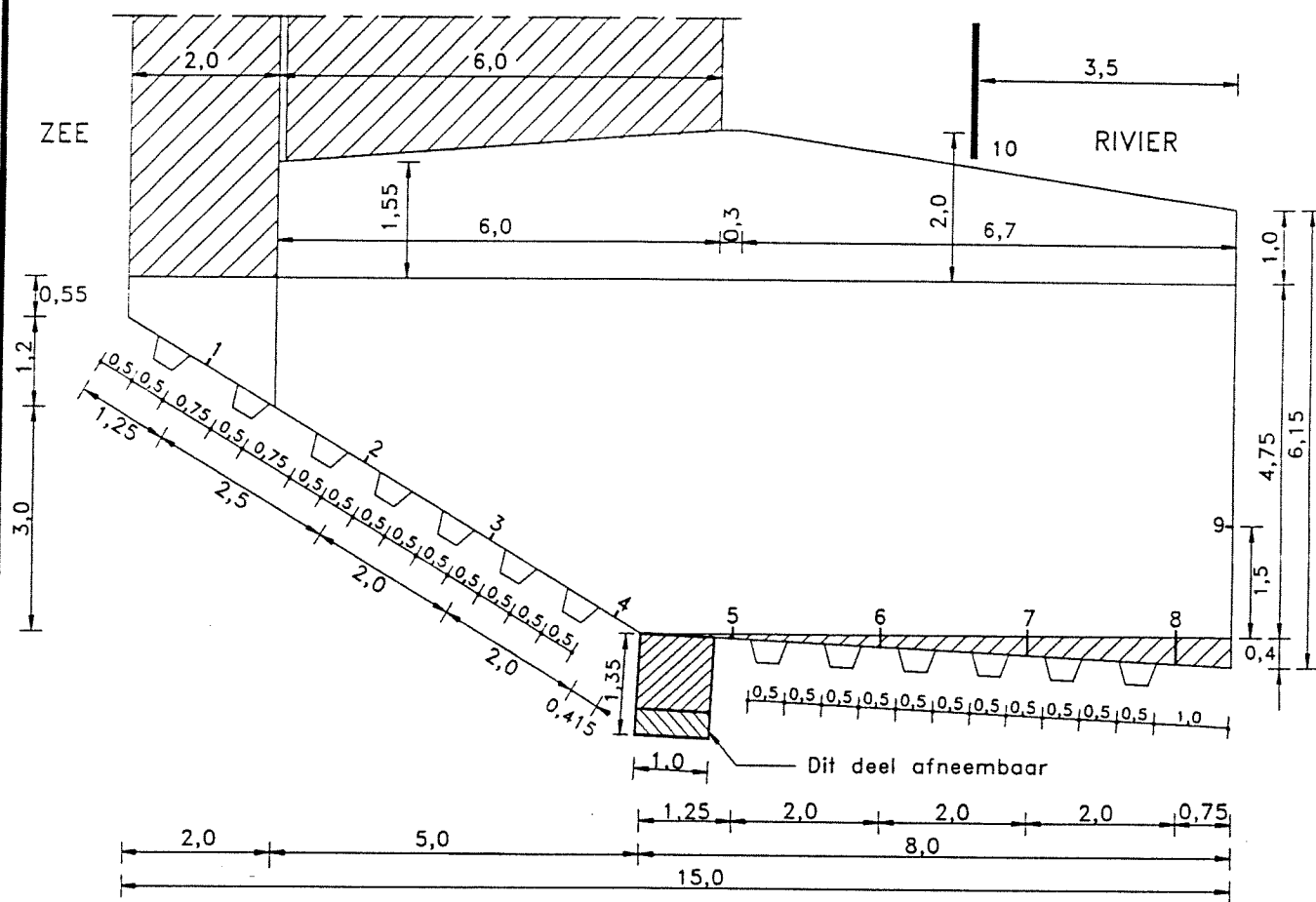
"DEFINITIEF" ONTWERP Q1140.  
 DRUKMETINGEN PROEVENSERIES A EN B.

uit Q 1293

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 5



Proevenserie C: zonder sedimentprofiel  
 Proevenserie D: met sedimentprofiel  
 aan zeezijde.

1 t/m 10: drukaansluitingen.

maten in m prototype

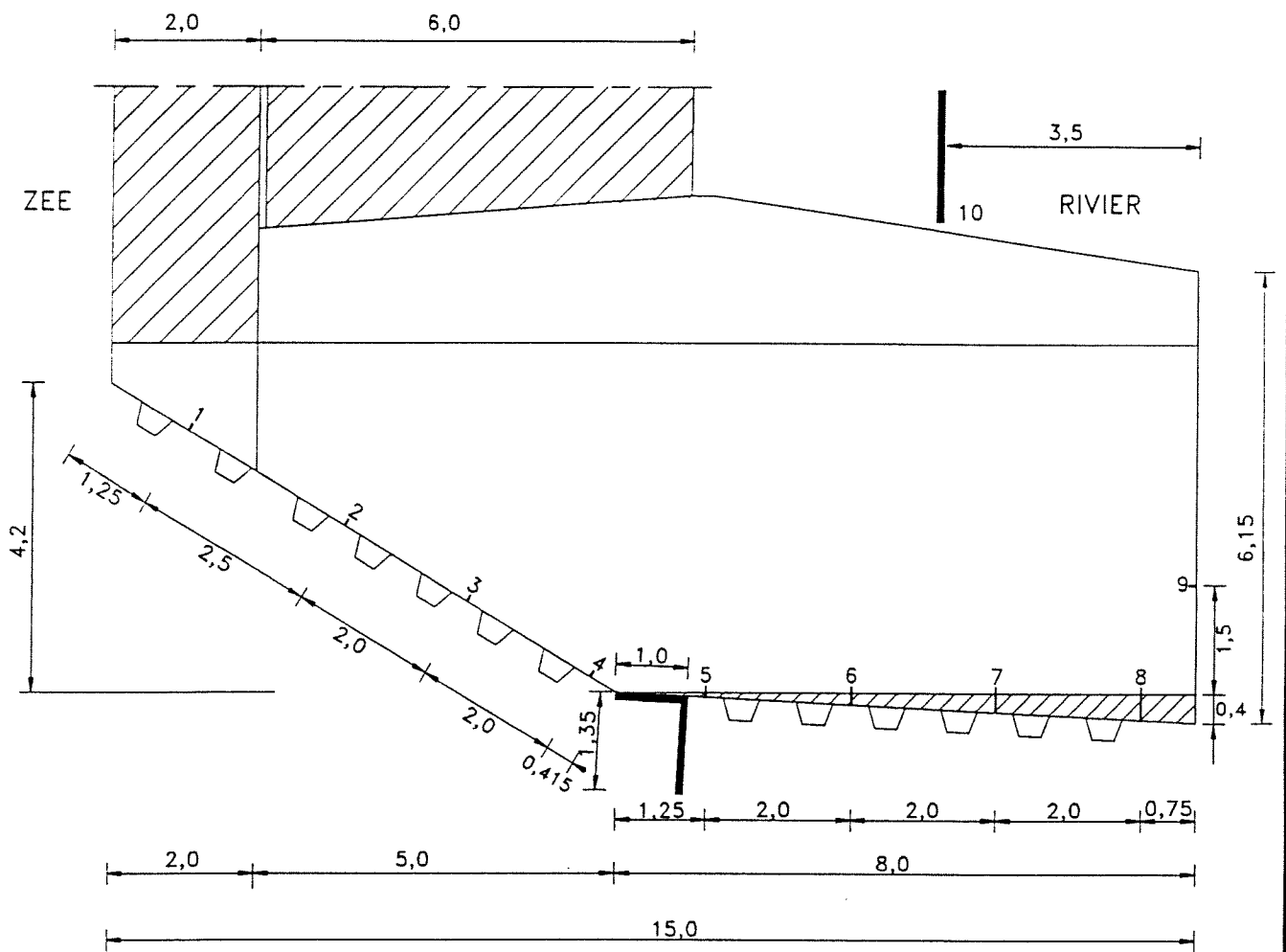
VARIANT 7.  
 DRUKMETINGEN PROEVENSERIES C EN D.

uit Q 1293

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 6



Proevenserie E: zonder sedimentprofiel.

1 t/m 10: drukaansluitingen.

maten in m prototype

VARIANT 8  
DRUKMETINGEN PROEVENSERIE E.

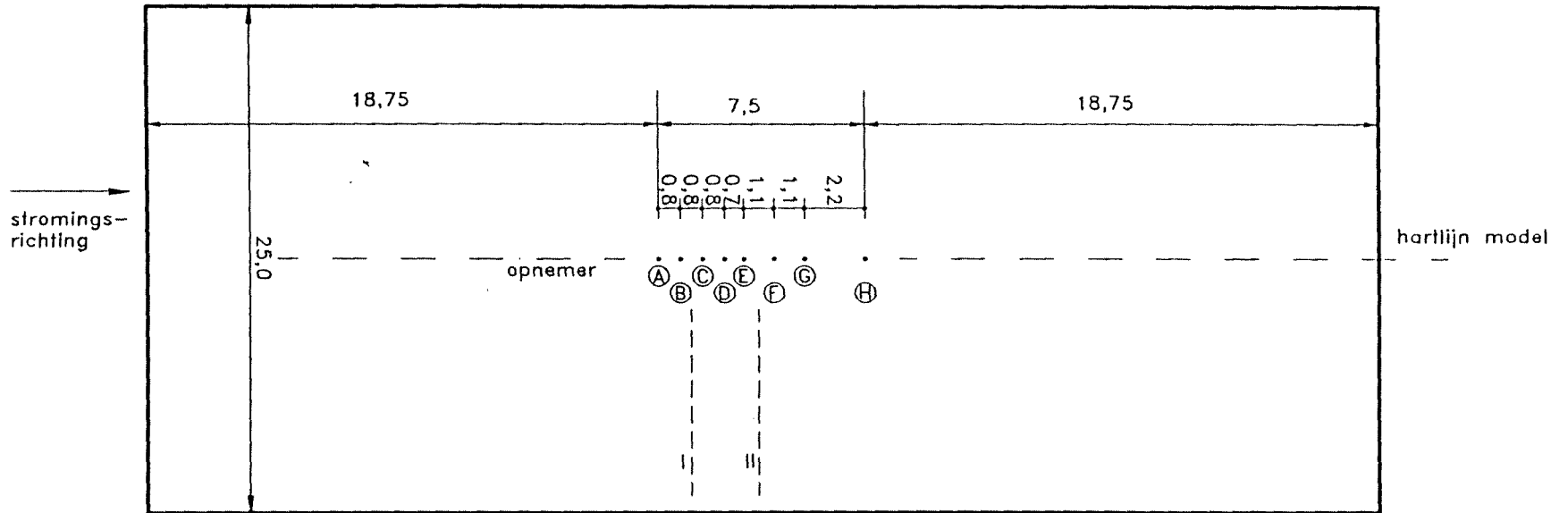
uit Q 1293

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 7

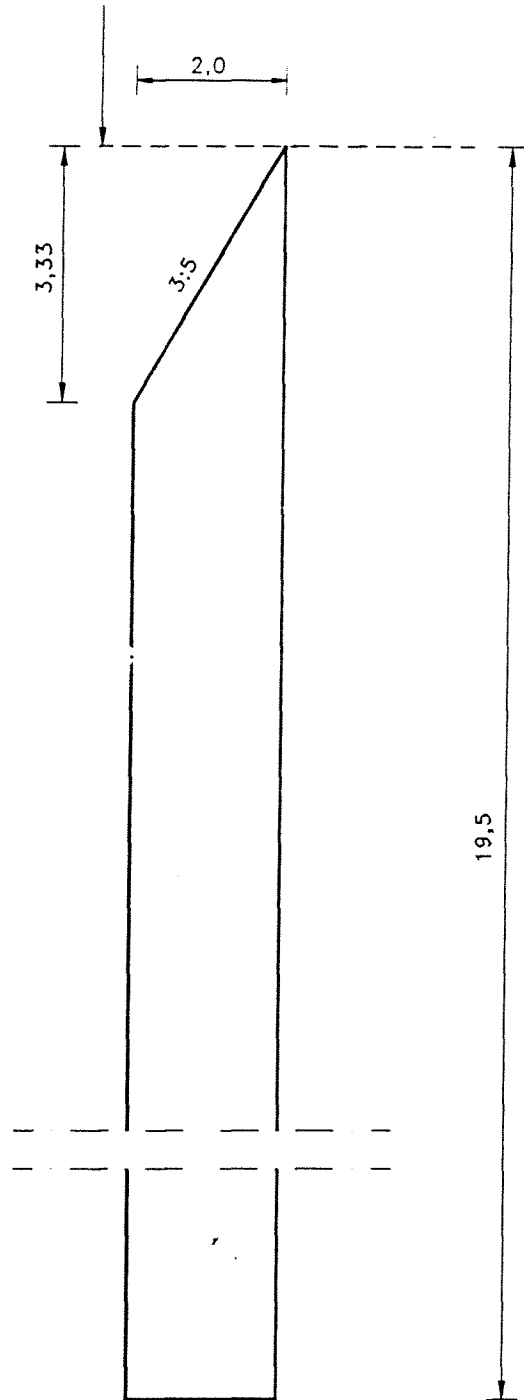
Ⓐ t/m Ⓗ : Drukaansluitingen



Deurpositie: I stroming zee → rivier  
 bovenstroomse kant van skirt of fender midden tussen Ⓑ en Ⓒ .  
 II stroming rivier → zee  
 bovenstroomse kant van skirt of fender midden tussen Ⓔ en Ⓕ .

maten in m prototype

BUITENKANT  
(BOVENSTROOMSE KANT)  
VAN SKIRT OF FENDERS.



maten in m prototype

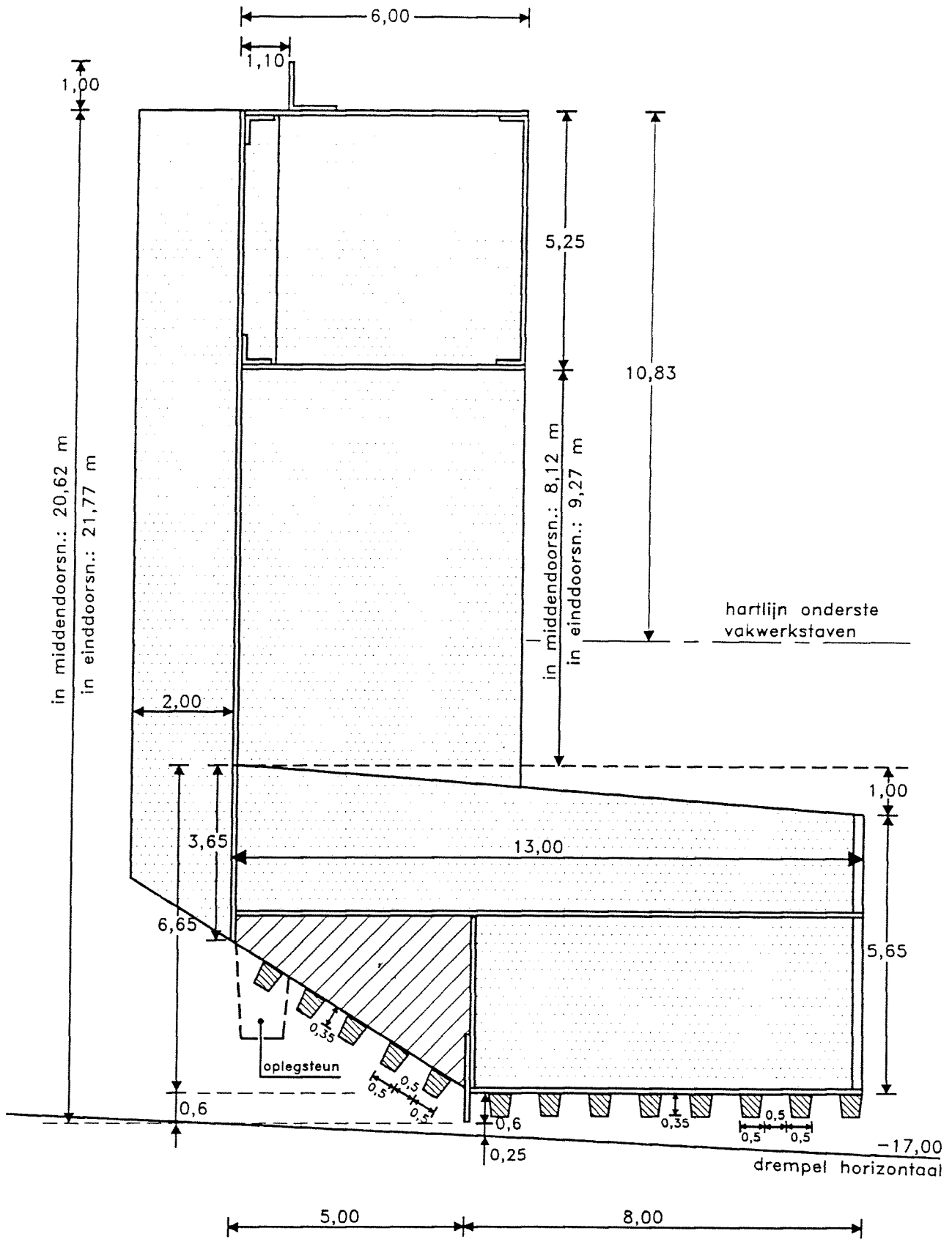
SEDIMENTPROFIEL ZEEZIJDE.  
PROEVENSERIES B EN D.

uit Q 1293

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 9



maten in m prototype

SECTORDEUR, "DEFINITIEF" ONTWERP Q 1140  
VERTICALE DOORSNEDE

uit Q 1278

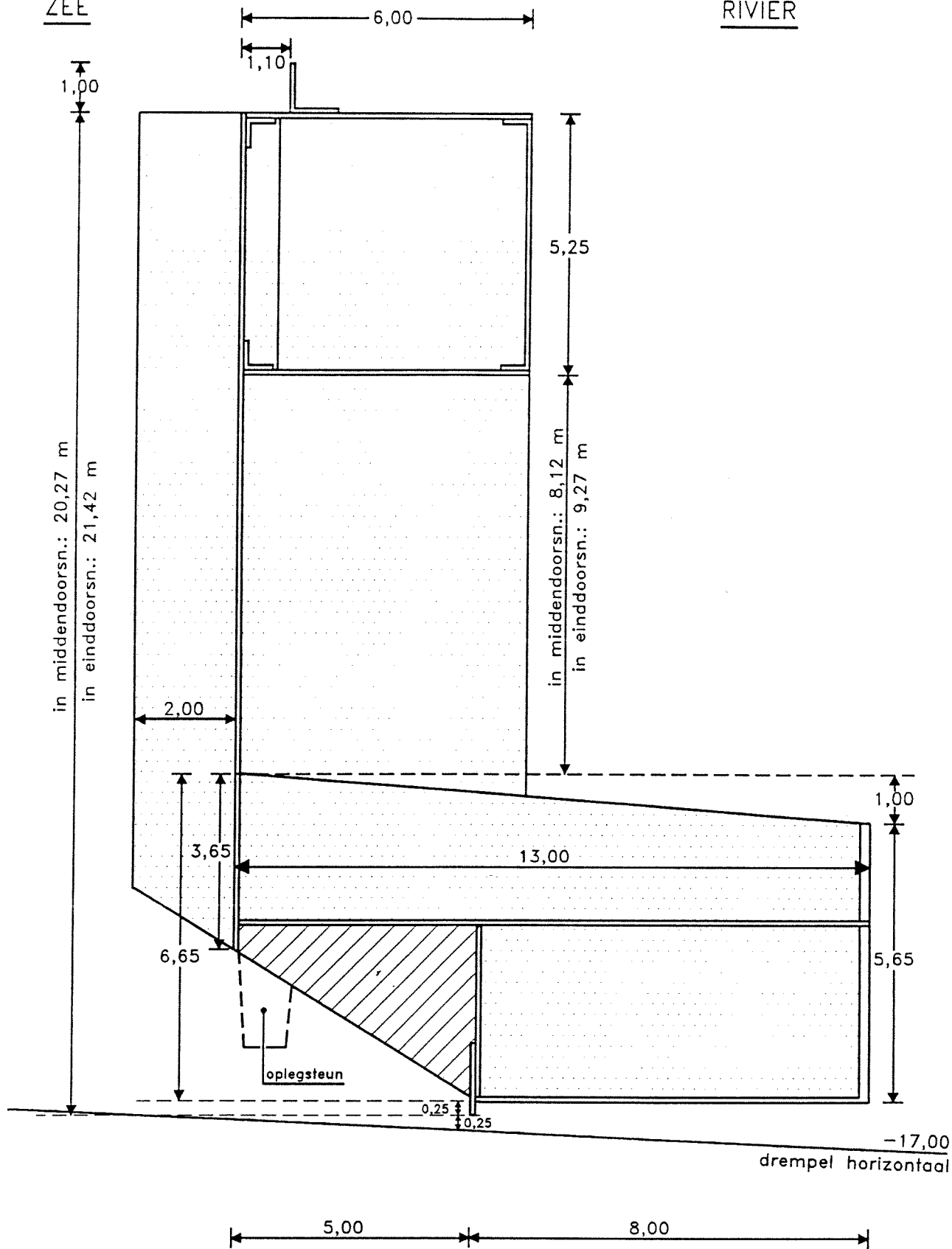
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 10

ZEE

RIVIER



Geen troggen, verkorte strip

maten in m prototype

SECTORDEUR. VARIANT 1.  
VERTICALE DOORSNEDE

uit Q1278

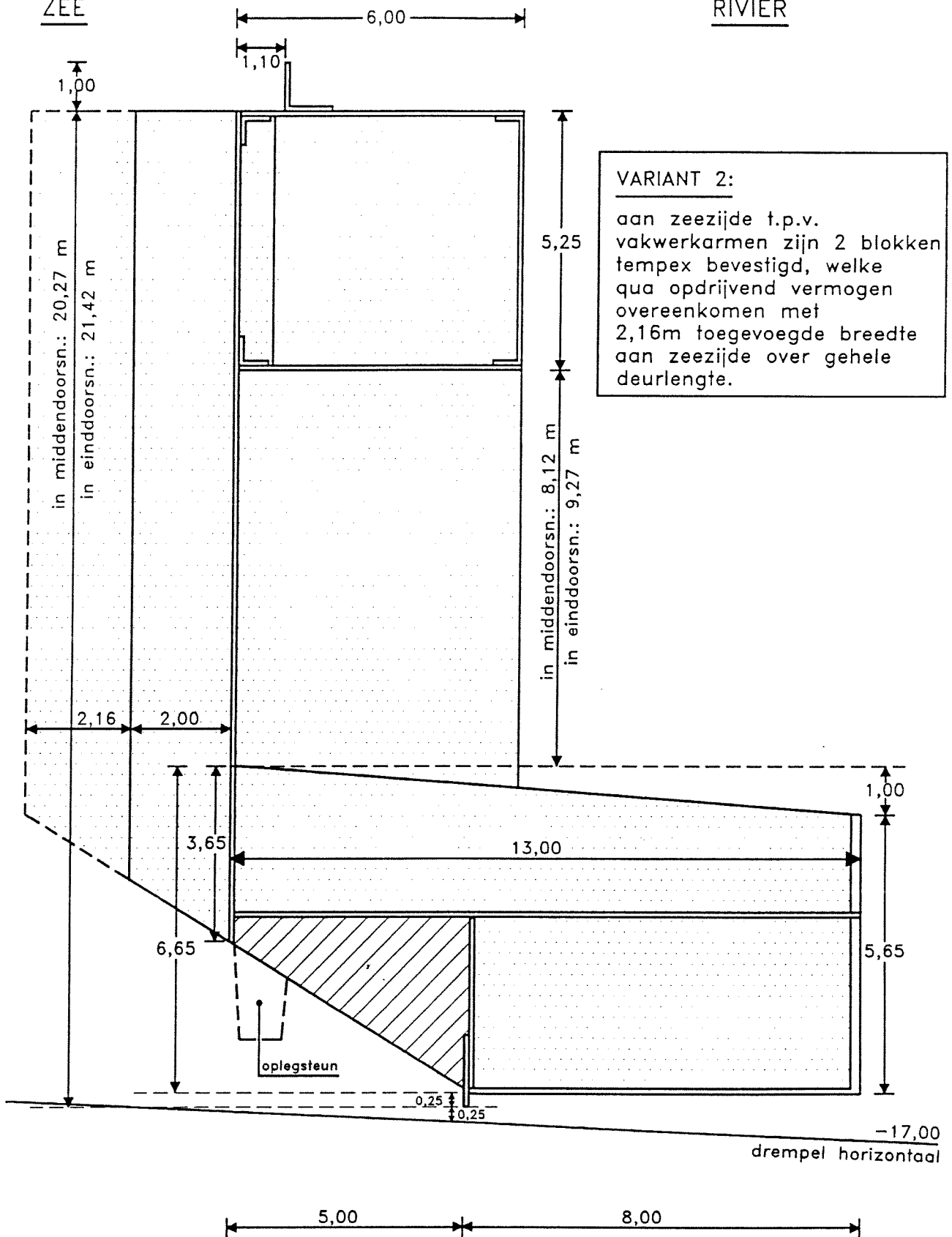
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 11

ZEE

RIVIER



**VARIANT 2:**  
 aan zeezijde t.p.v. vakwerkarmen zijn 2 blokken tempex bevestigd, welke qua opdrijvend vermogen overeenkomen met 2,16m toegevoegde breedte aan zeezijde over gehele deurlengte.

Als variant 1, maar met extra drijfvermogen

maten in m prototype

SECTORDEUR. VARIANT 2.  
VERTICALE DOORSNEDE

uit Q 1278

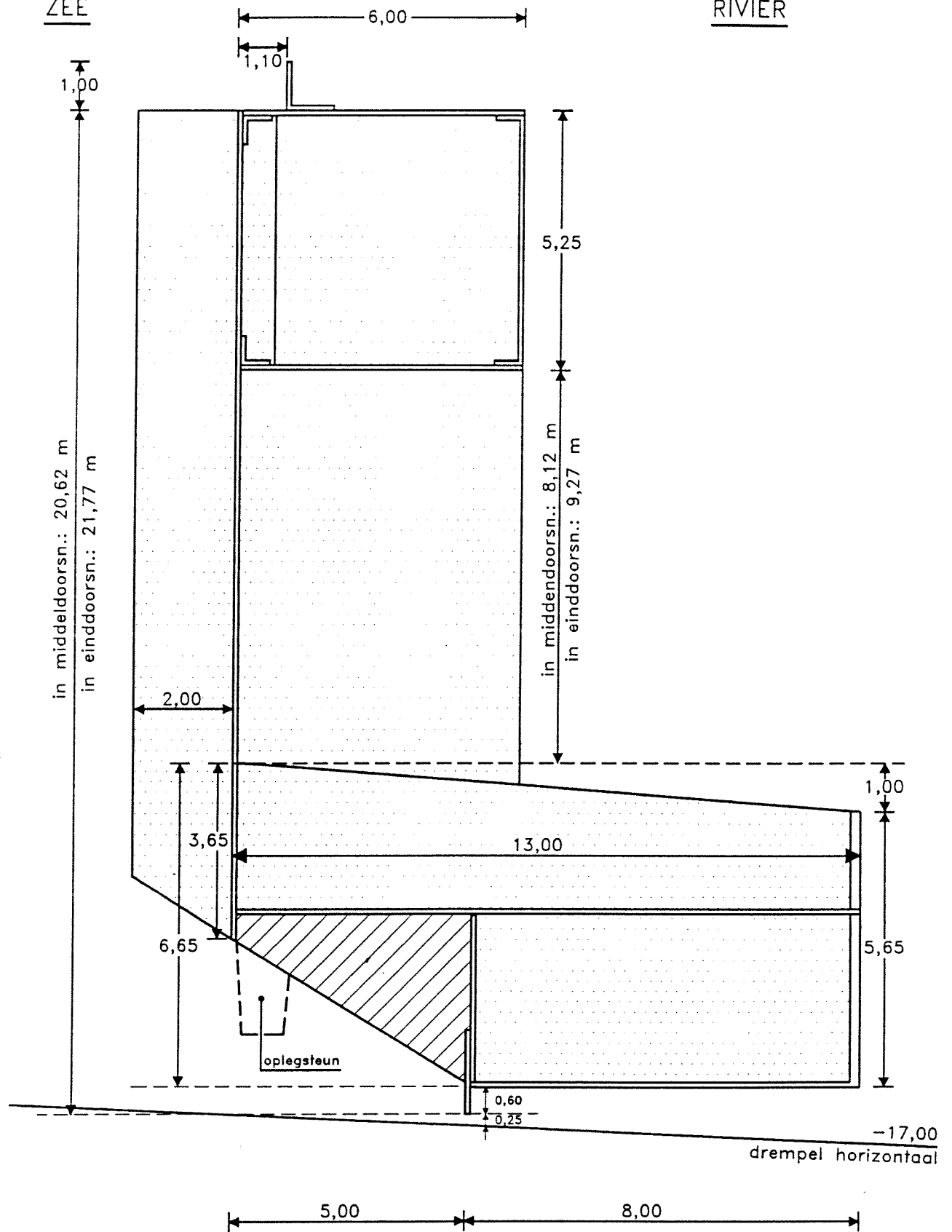
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 12

ZEE

RIVIER



Als variant 1, maar met verlengde strip

maten in m prototype

SECTORDEUR. VARIANT 3.  
VERTICALE DOORSNEDE

uit Q 1278

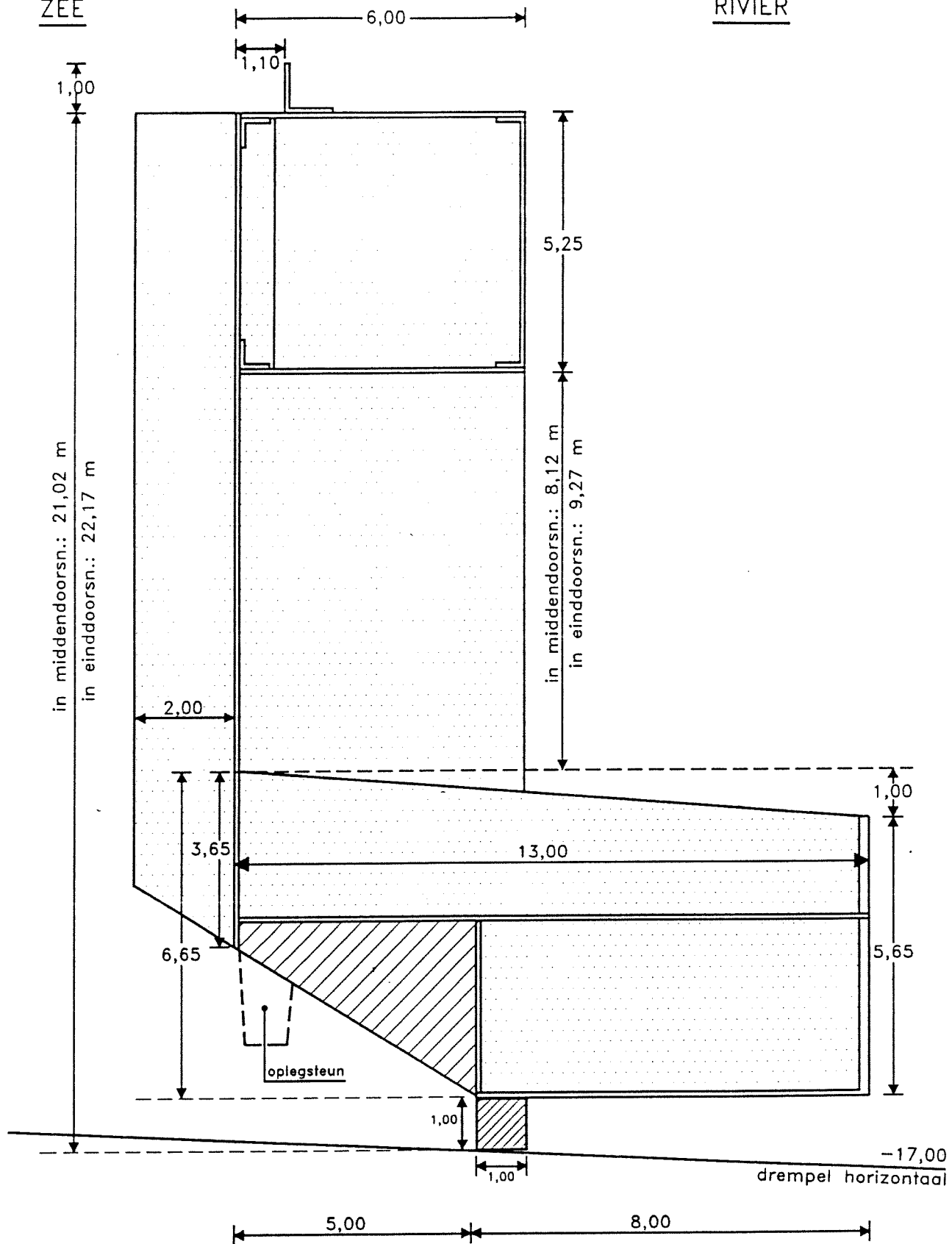
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 13

ZEE

RIVIER



Als variant 1, maar strip vervangen door 1x1 balk

maten in m prototype

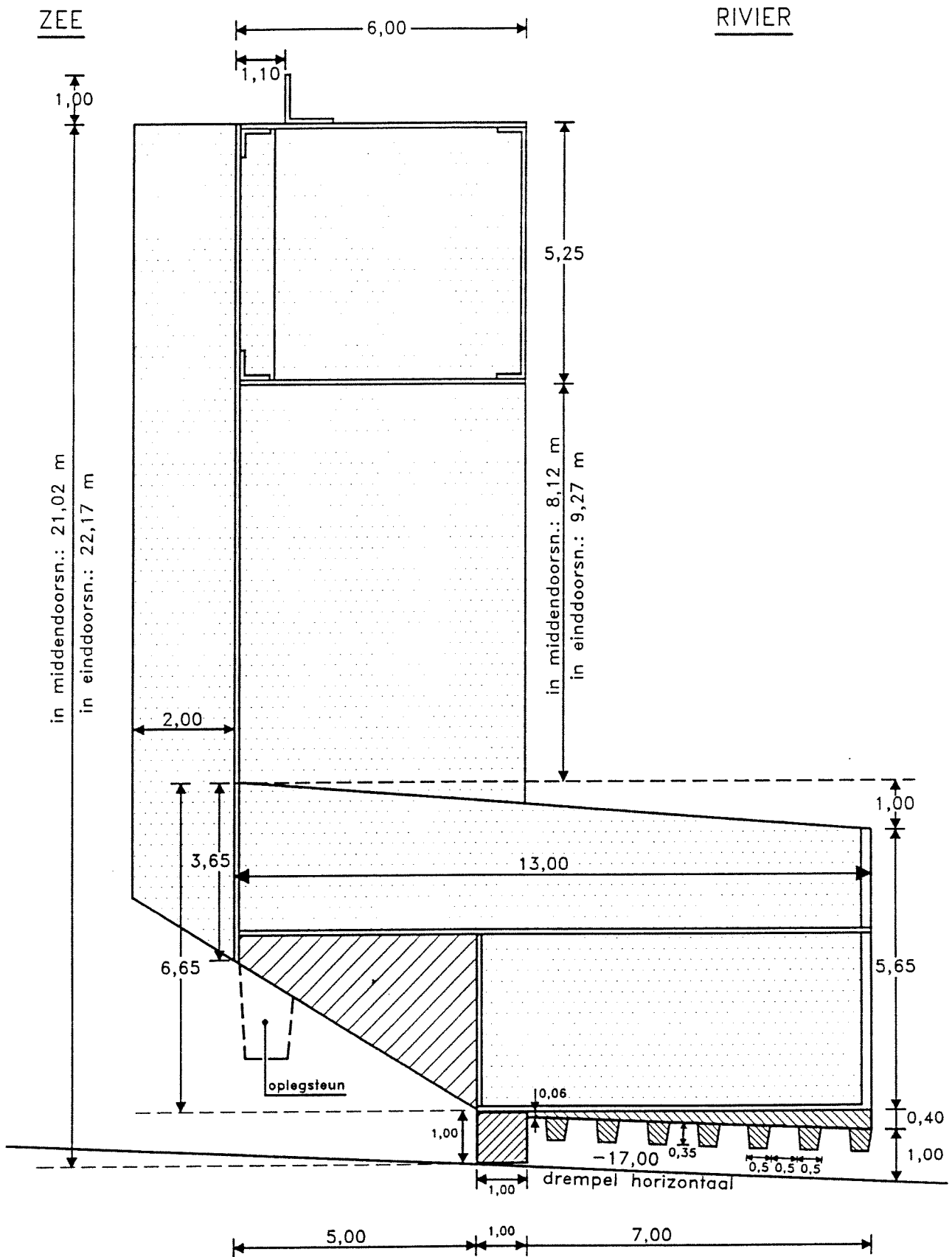
SECTORDEUR. VARIANT 4.  
VERTICALE DOORSNEDE

uit Q 1278

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 14



Als variant 4, maar troggen benedenstrooms en bovenstrooms maten in m prototype

SECTORDEUR. VARIANT 5.  
VERTICALE DOORSNEDE

uit Q 1278

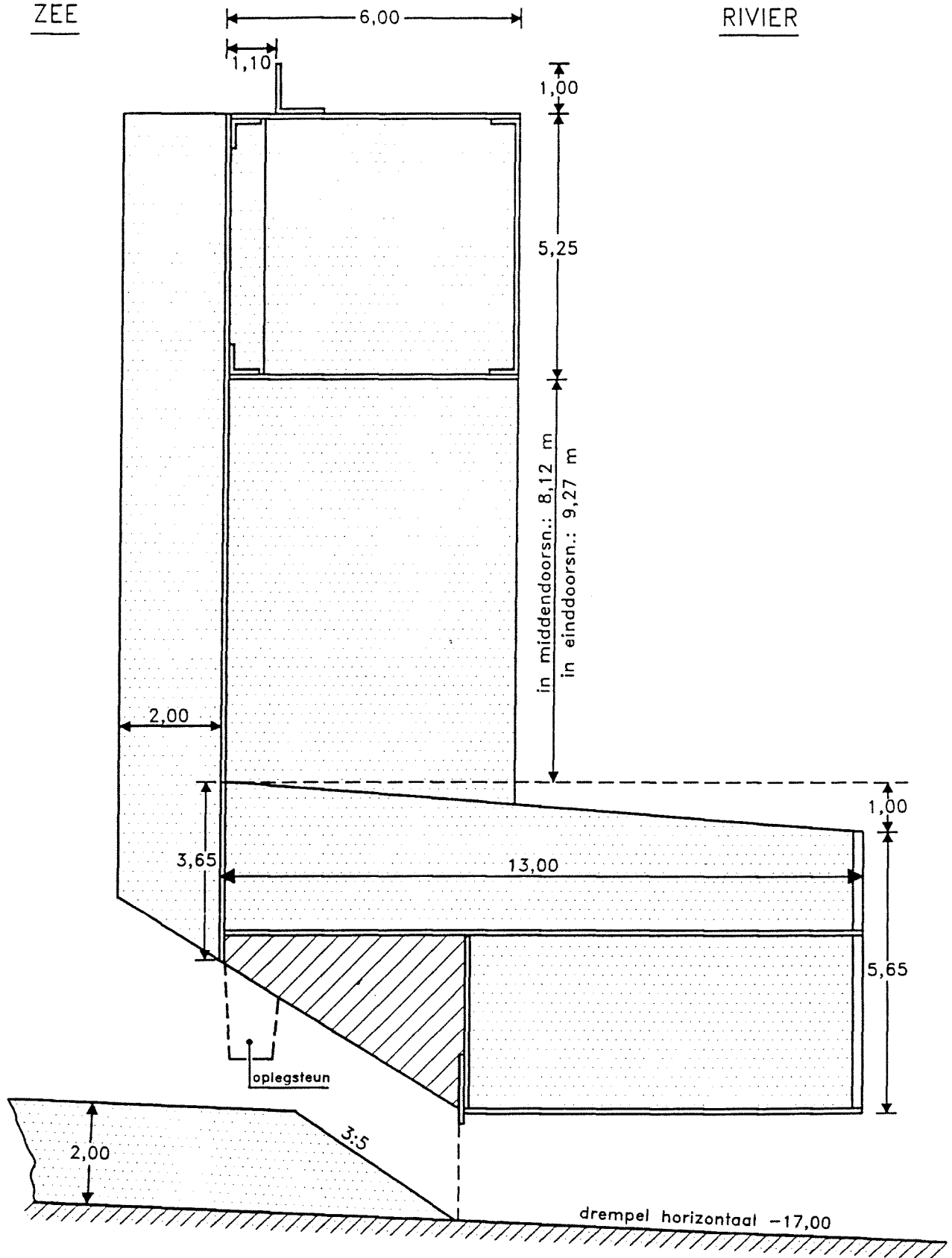
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 15

ZEE

RIVIER



maten in m prototype

TOEGEPAST SEDIMENT PROFIEL .  
(DEURVARIANT 1 GETEKEND)

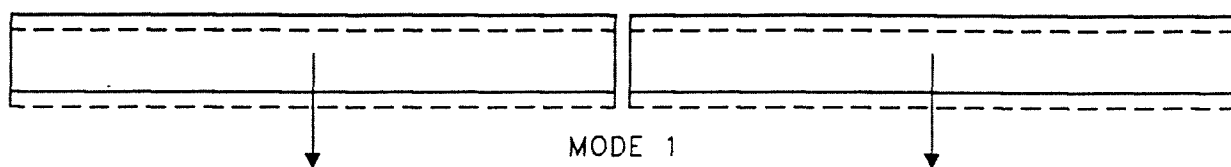
uit Q 1278

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

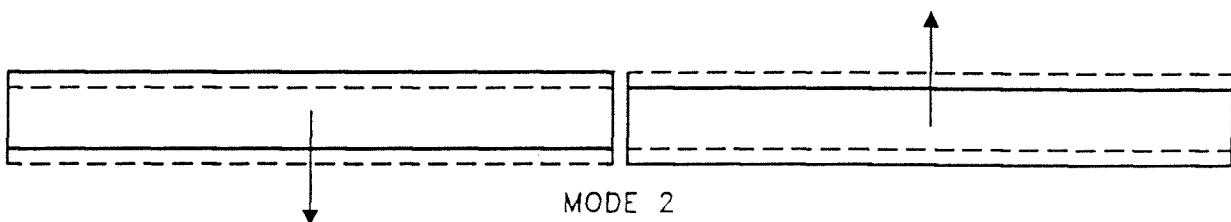
Q 1271

FIG. 16

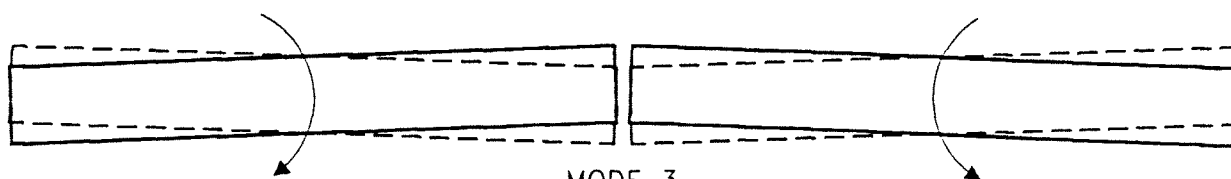
TWEE DEUREN



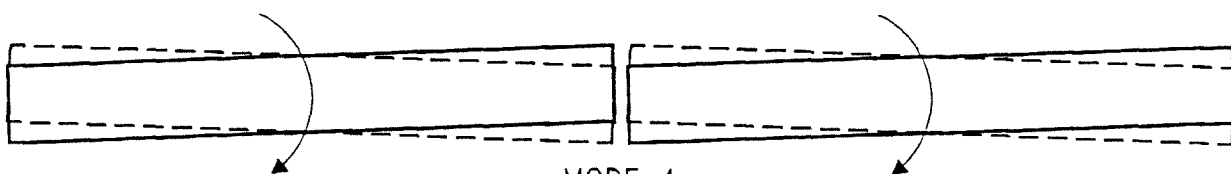
MODE 1



MODE 2



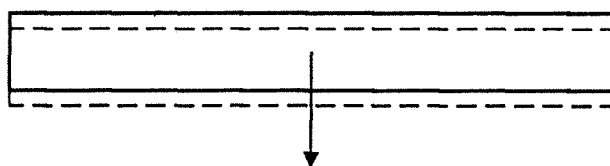
MODE 3



MODE 4

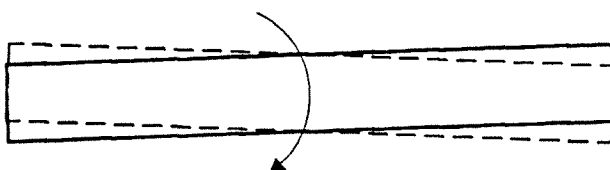
ENKELE DEUR

dampen



MODE 5

stampen



MODE 6

EIGENBEWEGINGSVORMEN VAN ENKELE DEUR  
EN VAN BEIDE DEUREN

uit Q 1278

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

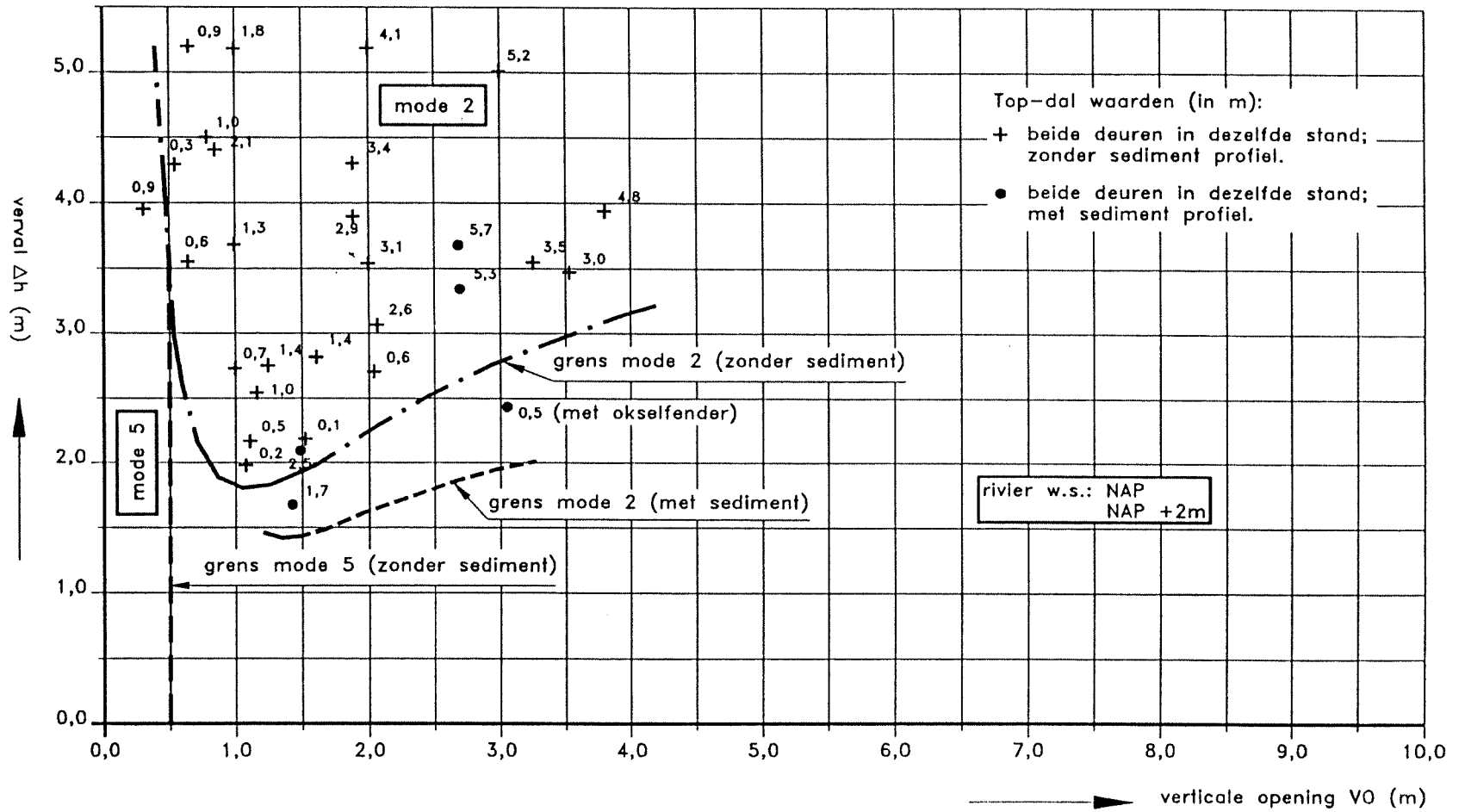
Q 1271

FIG. 17

TOP-DAL WAARDEN MODE 2 EN 5 IN OVERZICHTS-  
 MODEL; "DEFINITIEF" ONTWERP Q 1140, MET EN  
 ZONDER SEDIMENT EN STROMING ZEE → RIVIER.

uit Q 1278

POSITIEF VERVAL



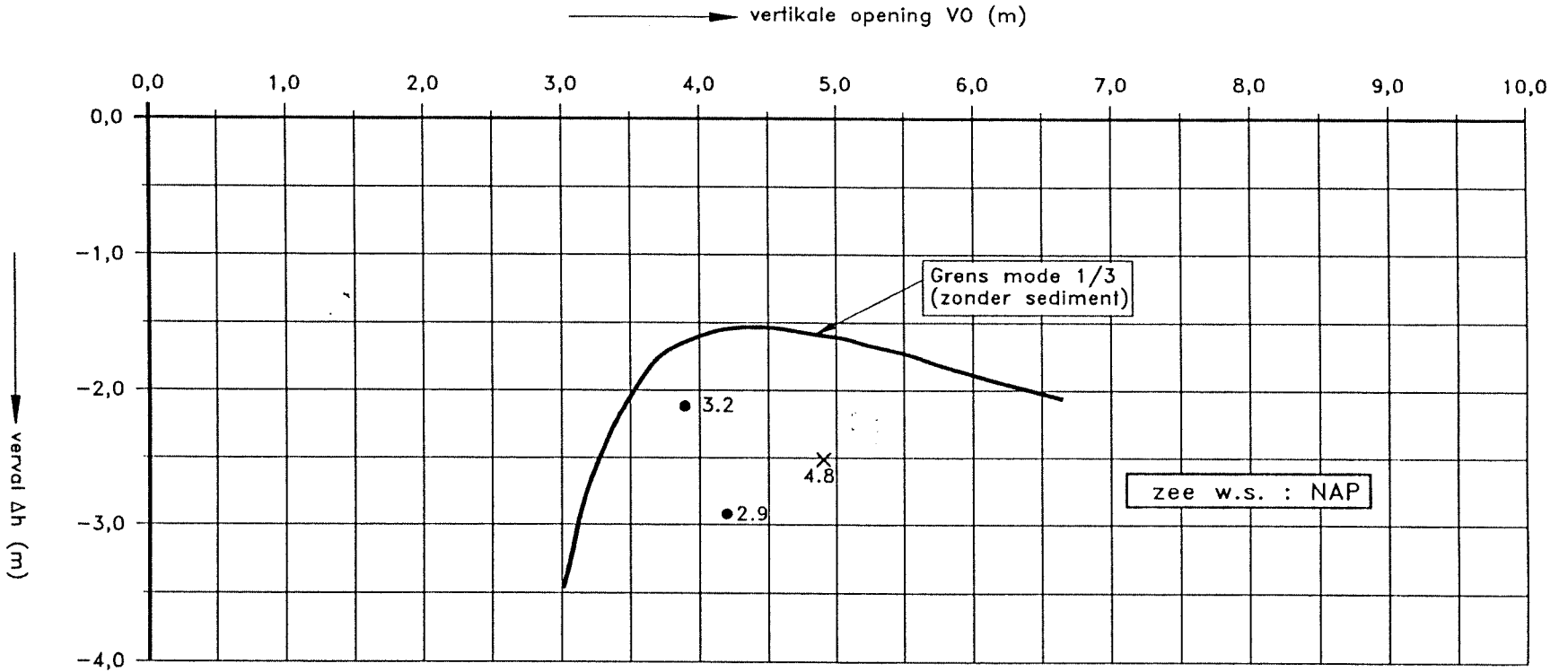
TOP-DAL WAARDEN MODE 1 EN 3 IN OVERZICHTS-  
 MODEL: "DEFINITIEF" ONTWERP Q 1140, ALLEEN  
 ZONDER SEDIMENT EN STROMING RIVIER → ZEE.

uit Q 1278

NEGATIEF VERVAL

Q 1271

FIG. 19



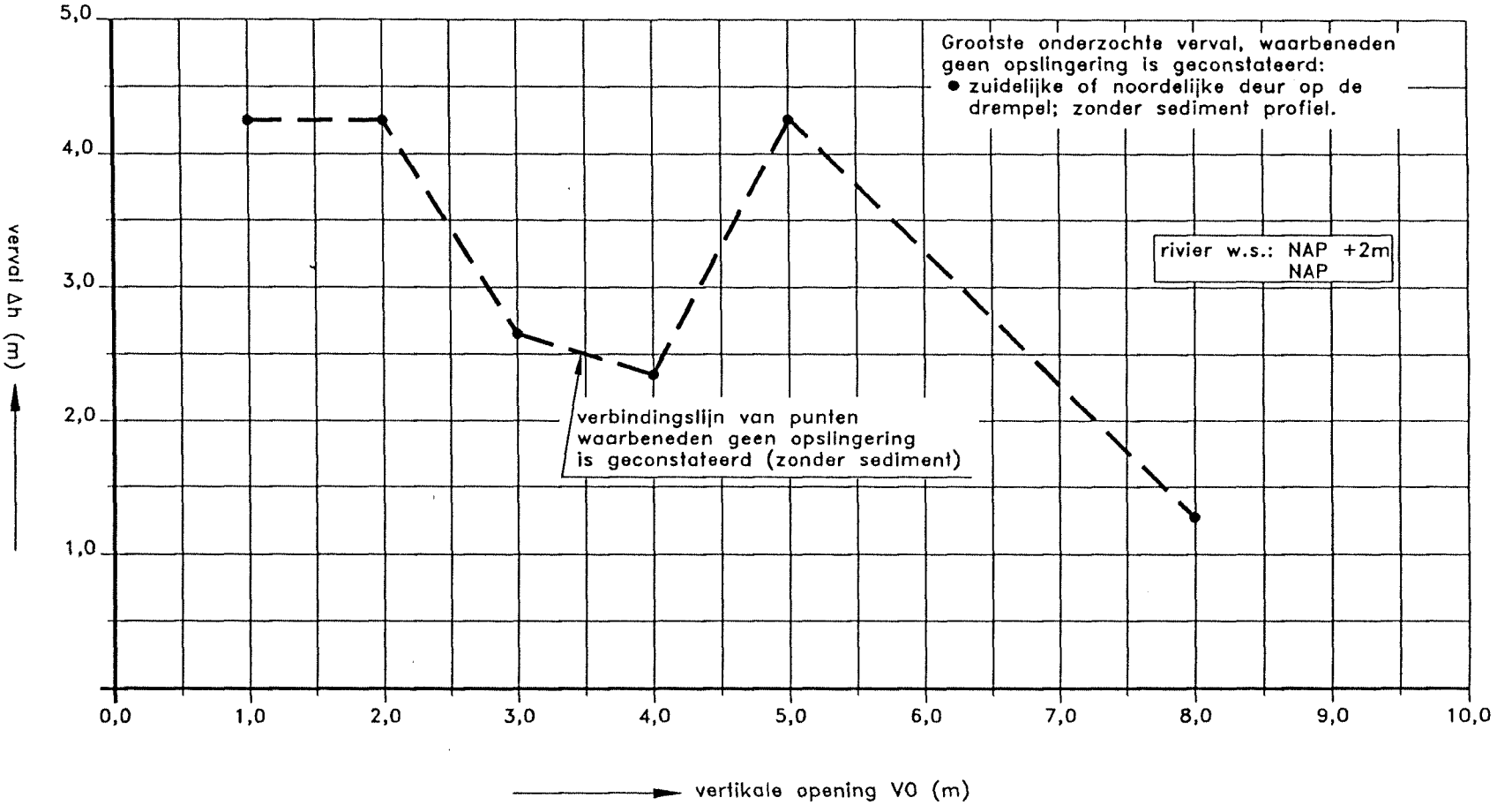
Top- dal waarden (m)

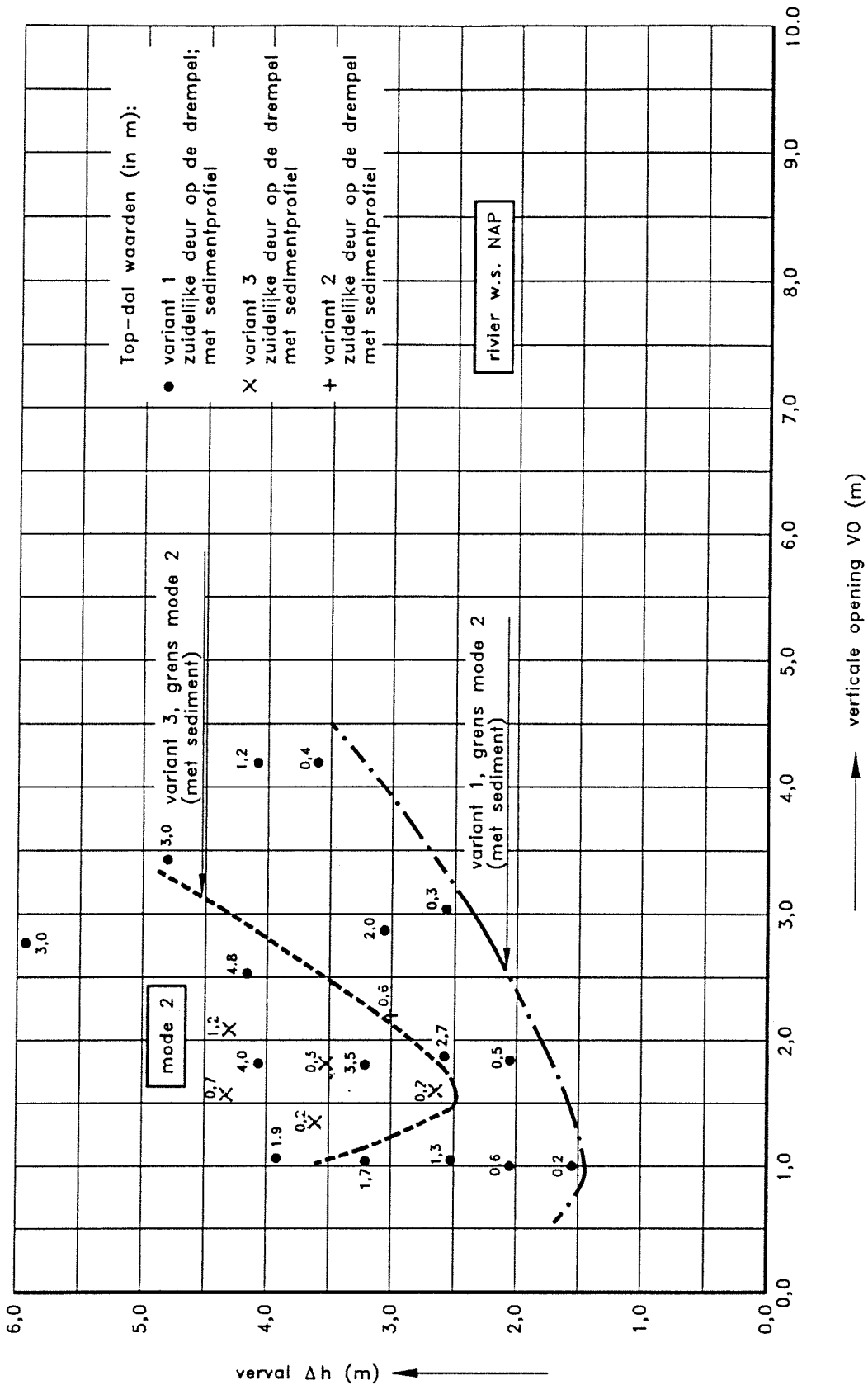
- Gecombineerde mode 1 en mode 3 beweging;  
 Beide deuren in dezelfde stand;  
 Geen sedimentprofiel.
- × Mode 1 beweging;  
 Beide deuren in dezelfde stand;  
 Geen sedimentprofiel.

GEBIED WAAR ZEKER GEEN OSCILLATIE IS GECONSTATEERD IN OVERZICHTSMODEL: "DEFINITIEF" ONTWERP Q1140. STROMING ZEE → RIVIER, GEEN SEDIMENT. BIJZ.: 1 DEUR OP DREMPEL.

uit Q 1278

POSITIEF VERVAL





TOP-DAL WAARDEN MODE 2 IN OVERZICHTSMODEL;  
 VARIANTEN 1, 2 EN 3 MET SEDIMENT (Q 1278),  
 STROMING ZEE → RIVIER.

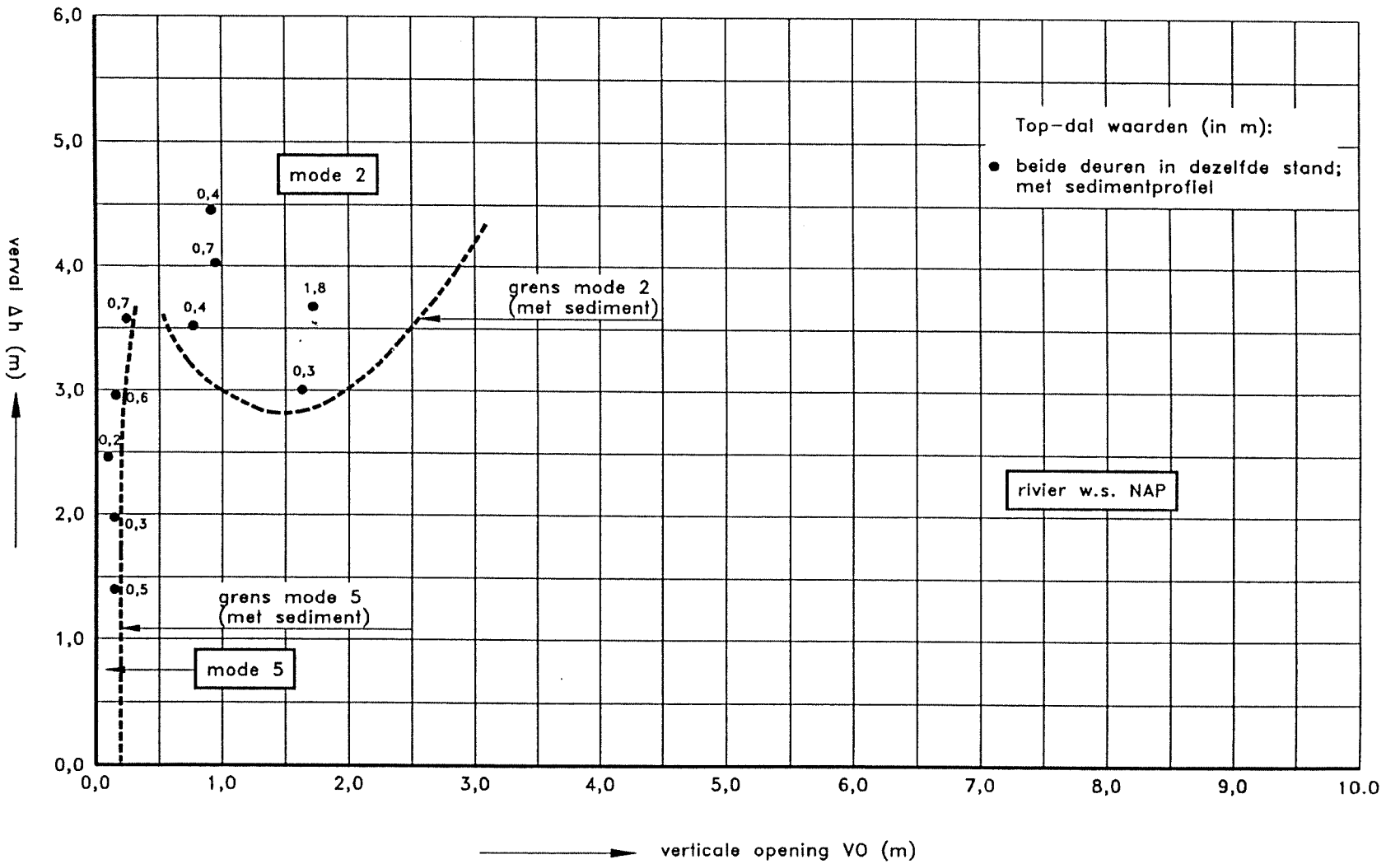
uit Q 1278

POSITIEF VERVAL

TOP-DAL WAARDEN MODE 2 EN 5 IN  
 OVERZICHTSMODEL. VARIANT 4 (Q1278),  
 STROMING ZEE → RIVIER, MET SEDIMENT.

uit Q 1278

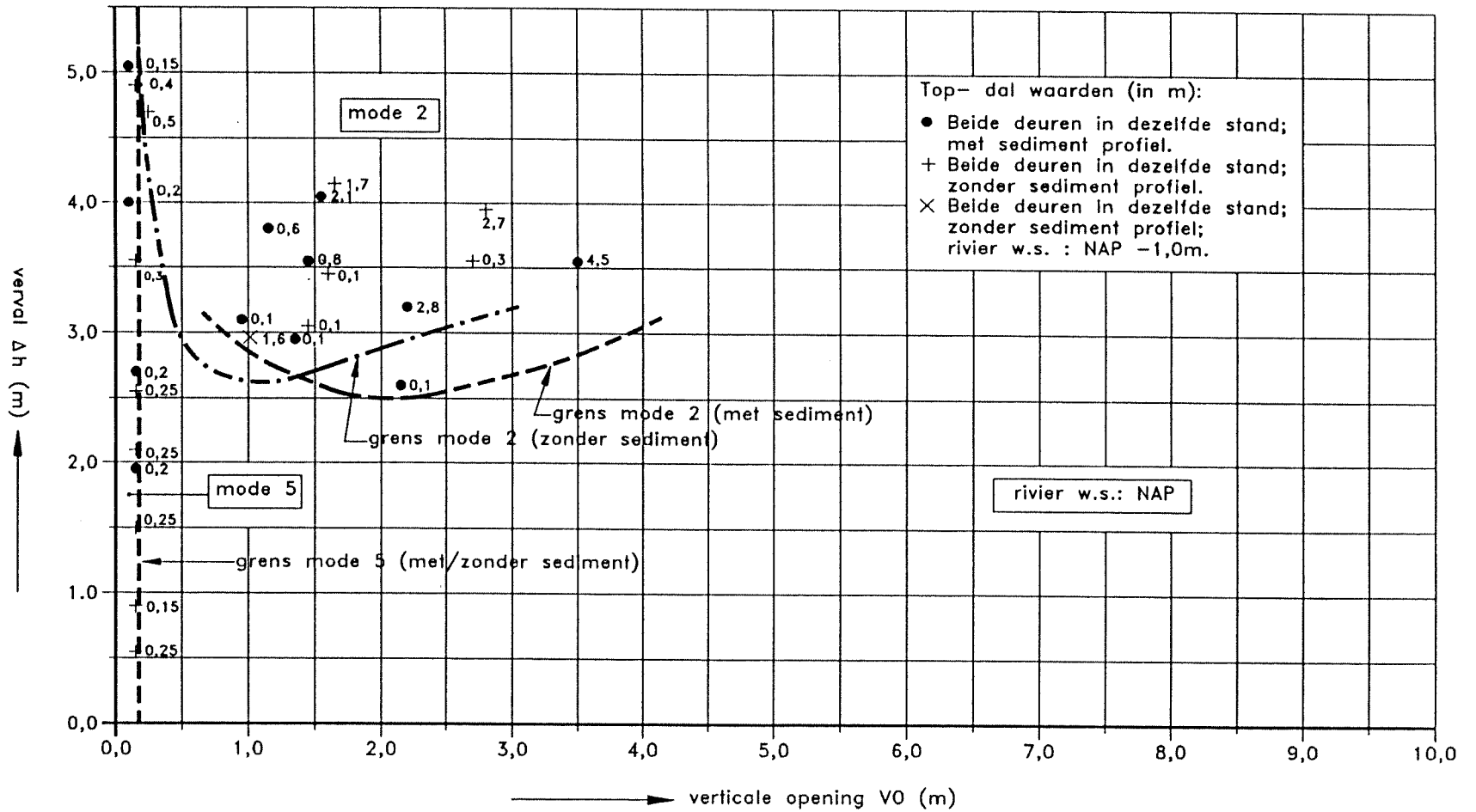
POSITIEF VERVAL



TOP-DAL WAARDEN MODE 2 EN 5 IN  
OVERZICHTSMODEL. VARIANT 5 (Q1278), STROMING  
ZEE → RIVIER, MET EN ZONDER SEDIMENT.

uit Q 1278

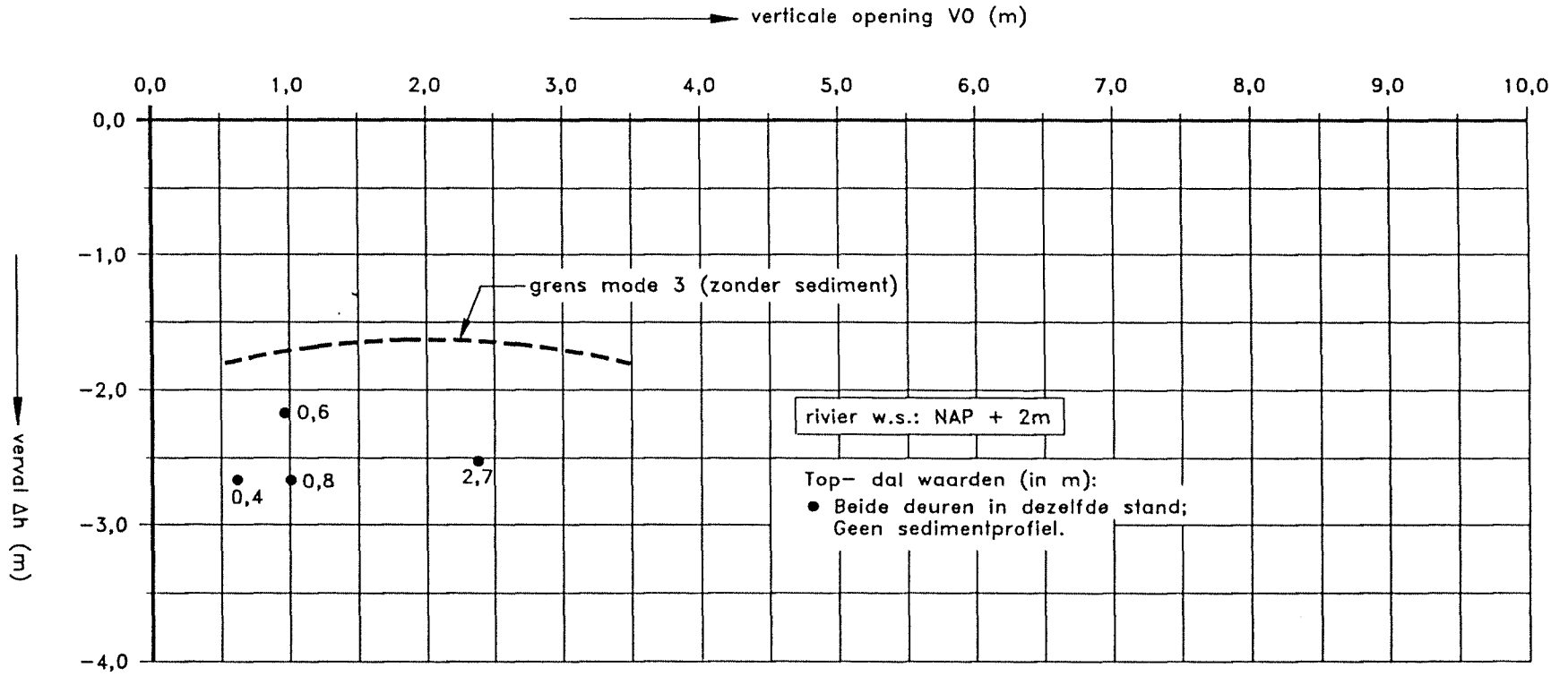
POSITIEF VERVAL



TOP-DAL WAARDEN MODE 3 IN OVERZICHTSMODEL.  
 VARIANT 5 (01278), STROMING  
 RIVIER → ZEE, GEEN SEDIMENT.

NEGATIEF VERVAL

uit Q 1278

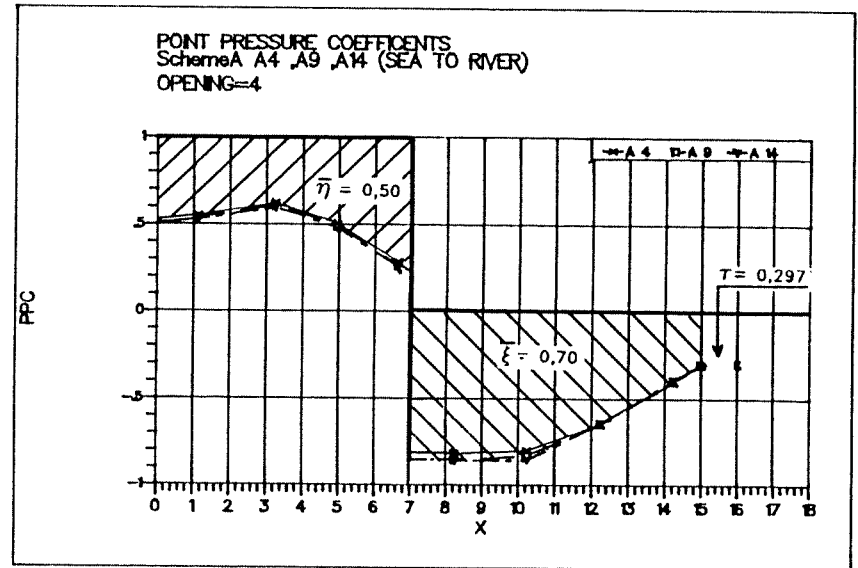
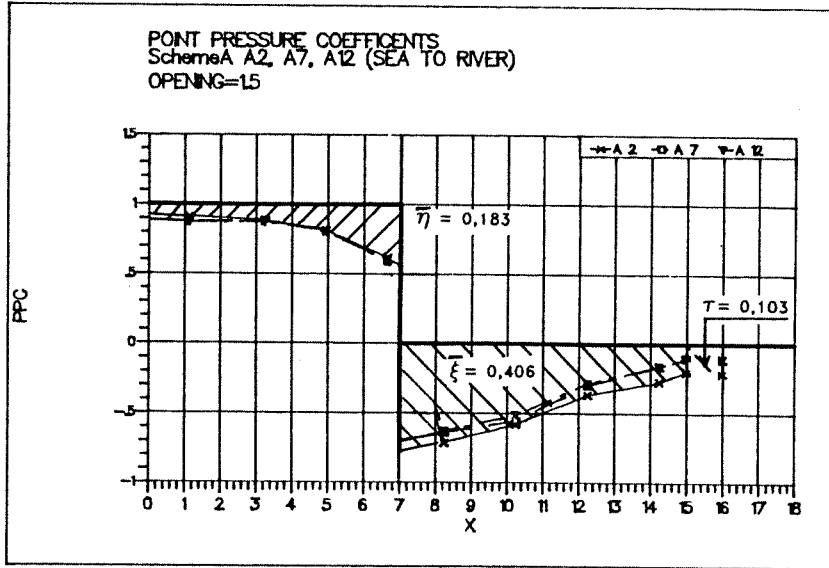
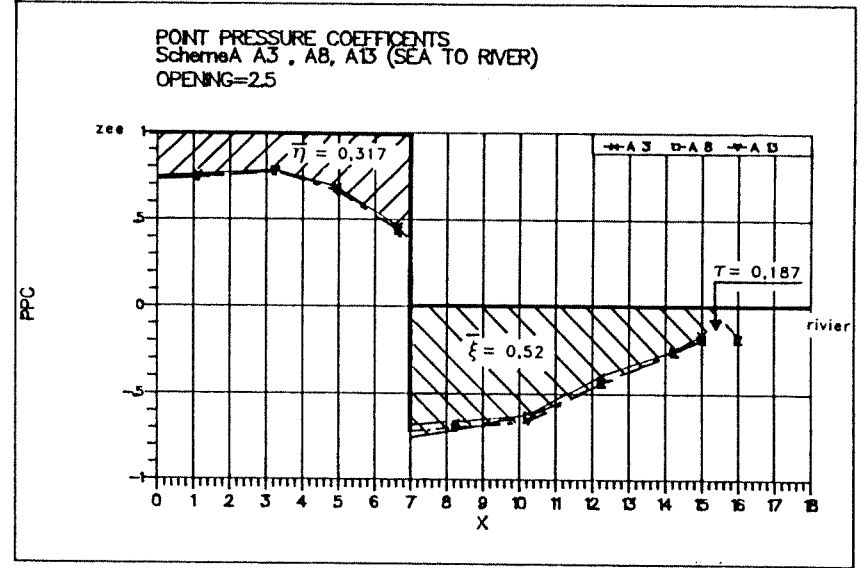
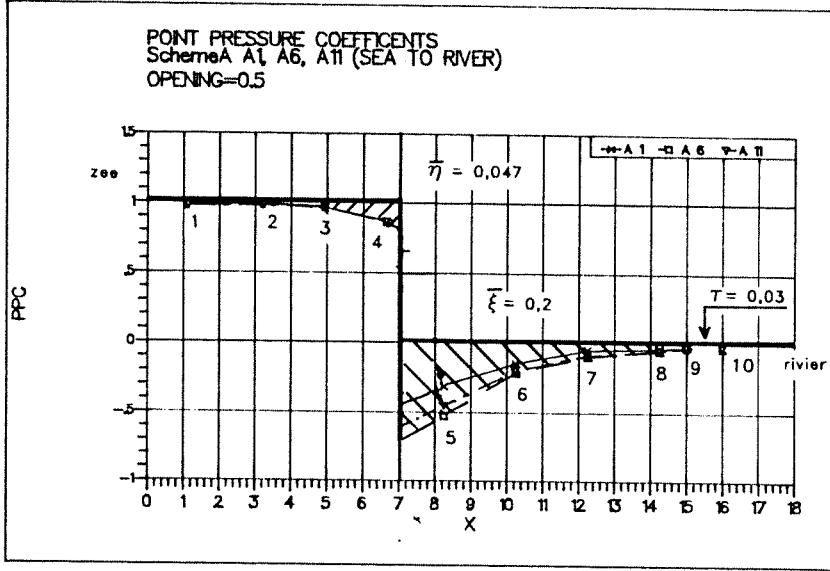


PROEVENSERIE A, d (deuropening) =  
0,5 1,5 2,5 EN 4m (STROMING ZEE → RIVIER)

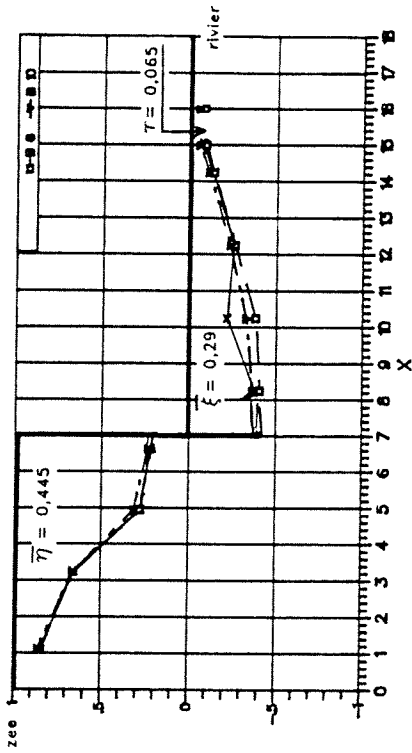
drukmetingen sectiemodel  
dimensieloos uitgezet

Q 1271

FIG. 25a

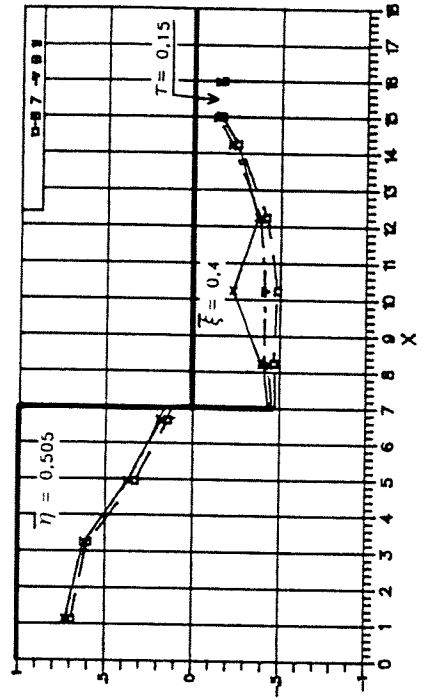


POINT PRESSURE COEFFICIENTS  
 Schema B  
 B6, B10 (SEA TO RIVER)  
 OPENING=15



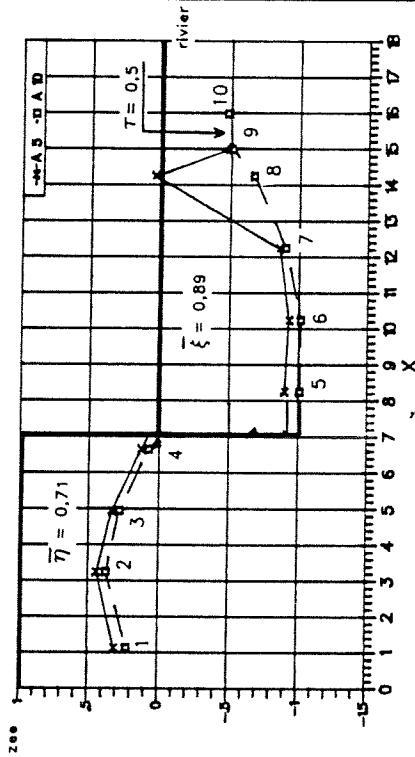
PC

POINT PRESSURE COEFFICIENTS  
 Schema B  
 B7, B11 (SEA TO RIVER)  
 OPENING=2.5



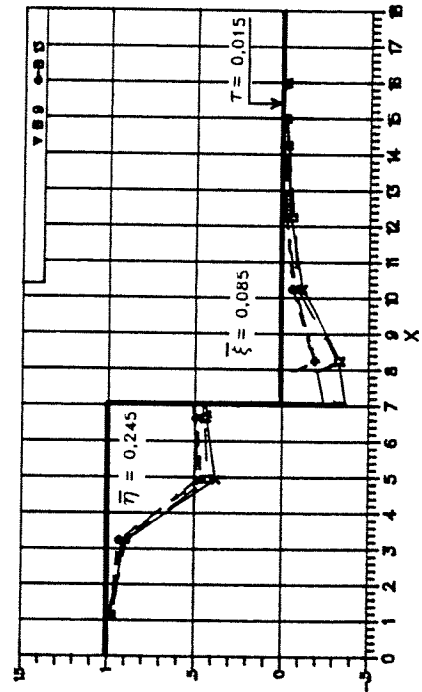
PC

POINT PRESSURE COEFFICIENTS  
 Schema A  
 A5, A10 (SEA TO RIVER)  
 OPENING=7



PC

POINT PRESSURE COEFFICIENTS  
 Schema B  
 B9, B13 (SEA TO RIVER)  
 OPENING=5



PC

PROEVENSERIE A, d=7m,  
 PROEVENSERIE B, d=0,5 1,5 EN 2,5m  
 (STROMING ZEE → RIVIER)

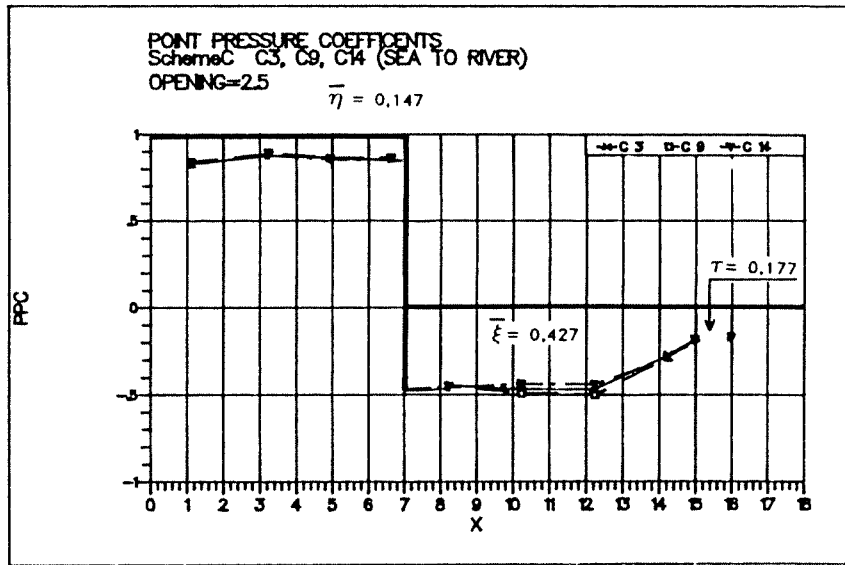
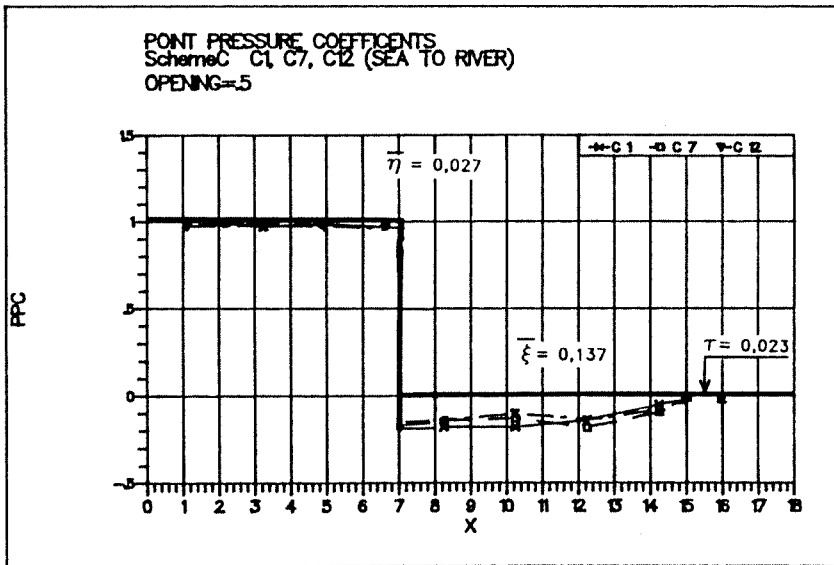
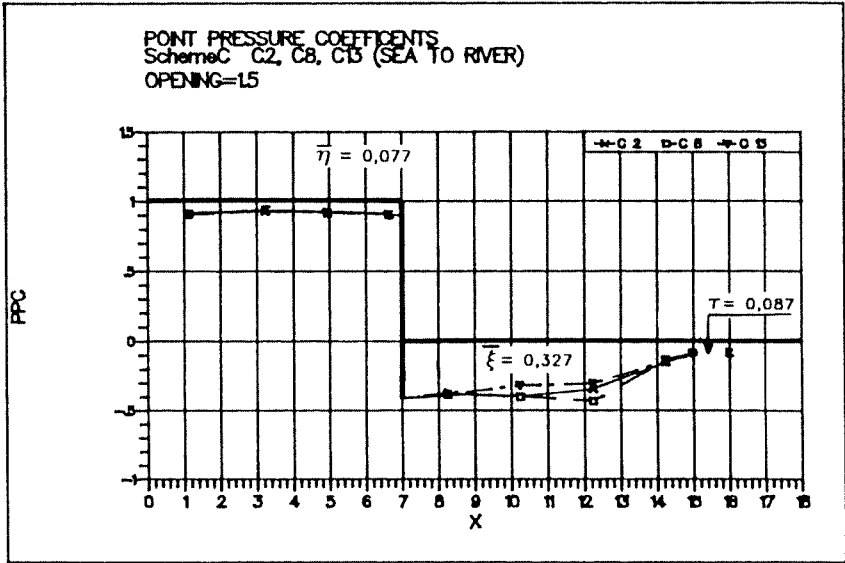
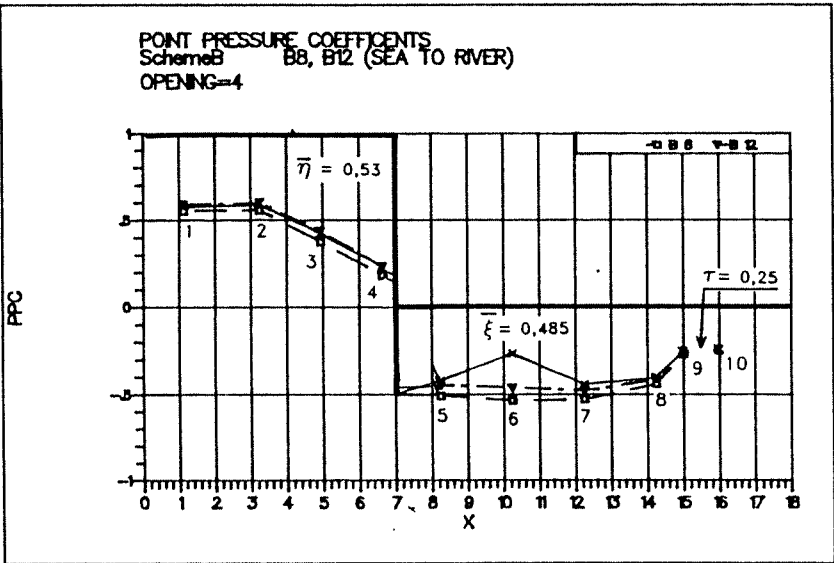
drukmetingen sectiemodel  
 dimensieloos uitgezet

PROEVENSERIE B, d=4m  
 PROEVENSERIE C, d=0,5 1,5 EN 2,5m  
 (STROMING ZEE → RIVIER)

drukmetingen sectiemodel  
 dimensieloos uitgezet

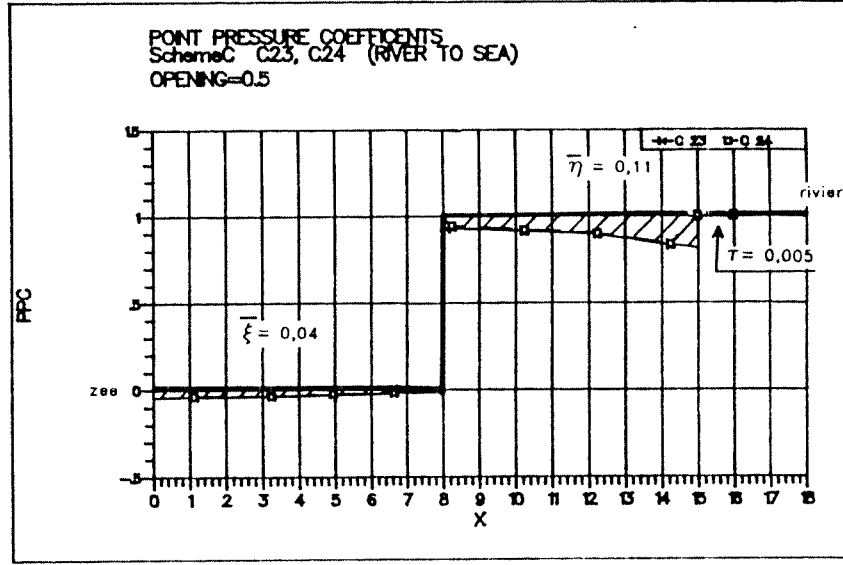
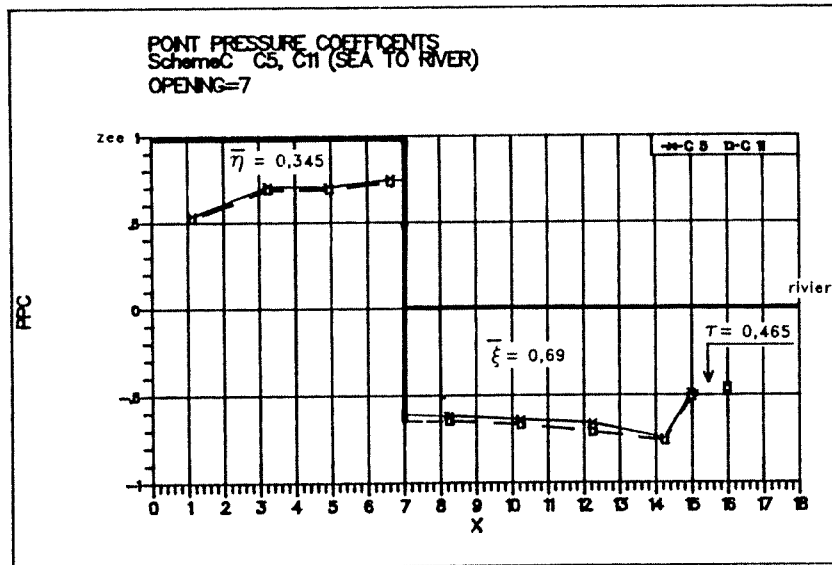
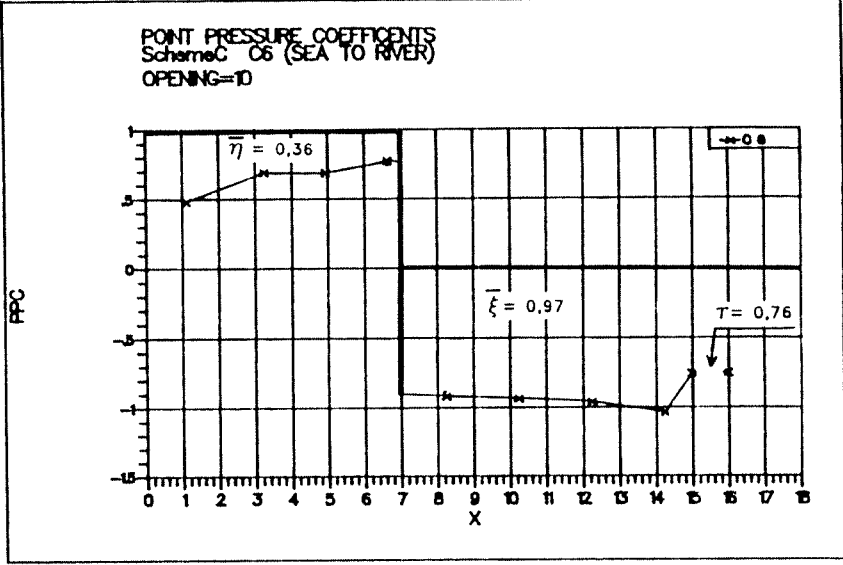
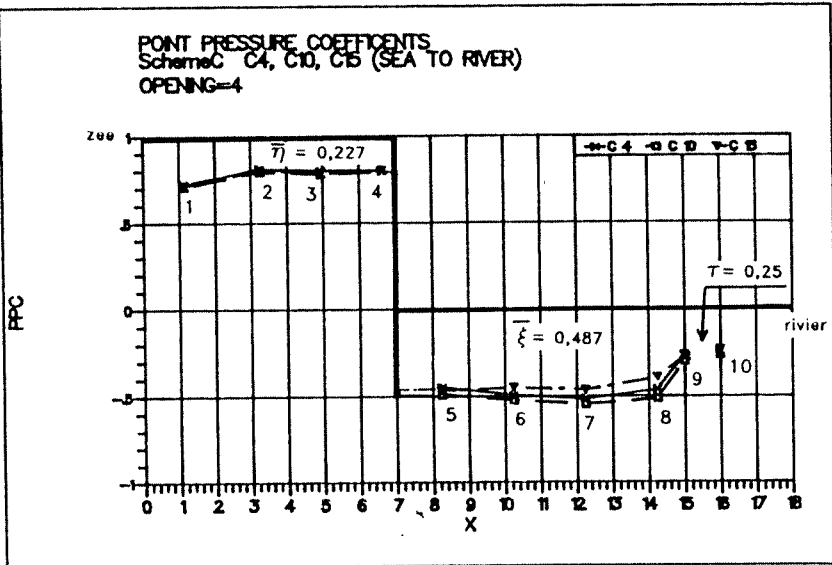
Q 1271

FIG. 25c

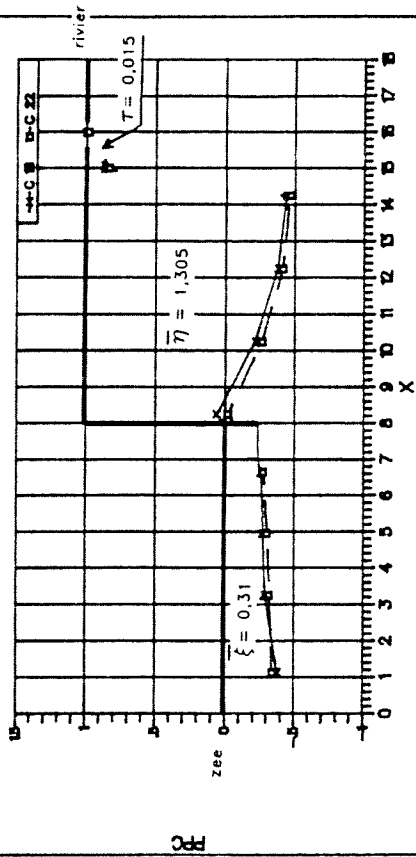


PROEVENSERIE C,  
 d=4, 7 EN 10m (STROMING ZEE → RIVIER)  
 EN d=0,5m (STROMING RIVIER → ZEE)

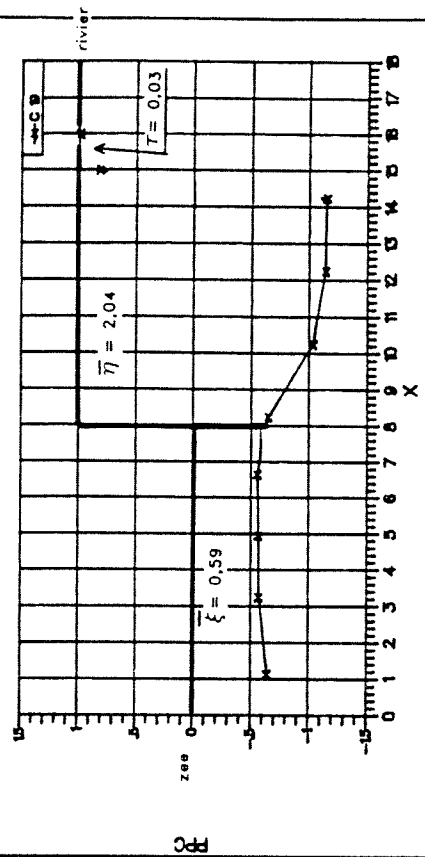
drukmetingen sectiemodel  
 dimensieloos uitgezet



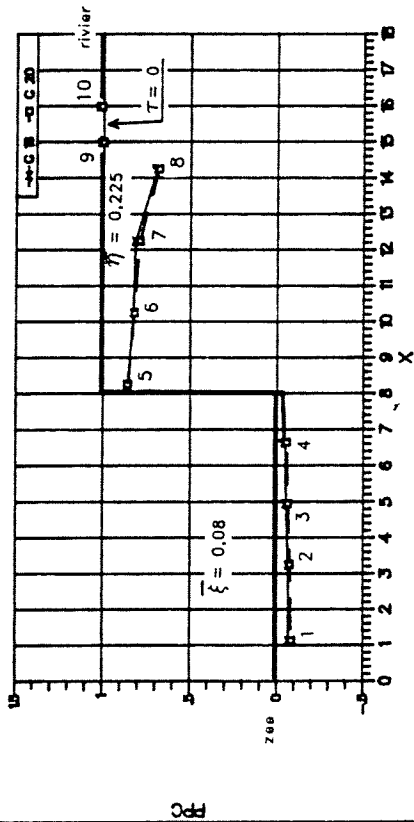
POINT PRESSURE COEFFICIENTS  
 Scheme C C1B, C22 (RIVER TO SEA)  
 OPENING=4



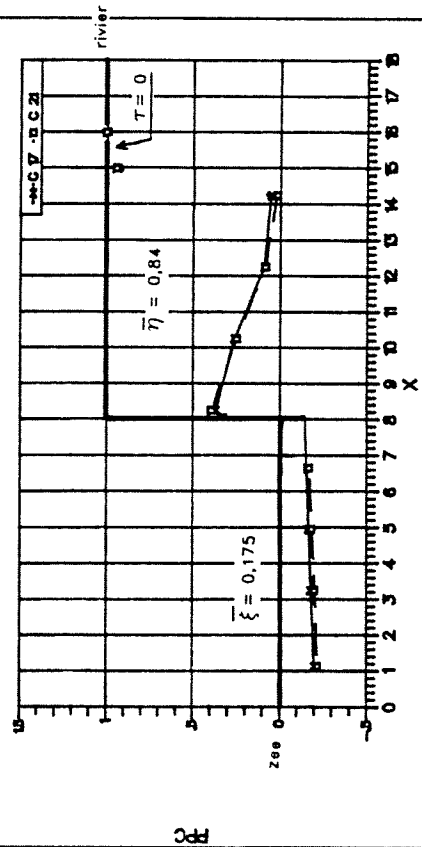
POINT PRESSURE COEFFICIENTS  
 Scheme C C1B (RIVER TO SEA)  
 OPENING=7



POINT PRESSURE COEFFICIENTS  
 Scheme C C16, C20 (RIVER TO SEA)  
 OPENING=1



POINT PRESSURE COEFFICIENTS  
 Scheme C C17, C21 (RIVER TO SEA)  
 OPENING=2.5



PROEVENSERIE C, d=1 2,5 4 EN 7m  
 (STROMING RIVIER → ZEE)

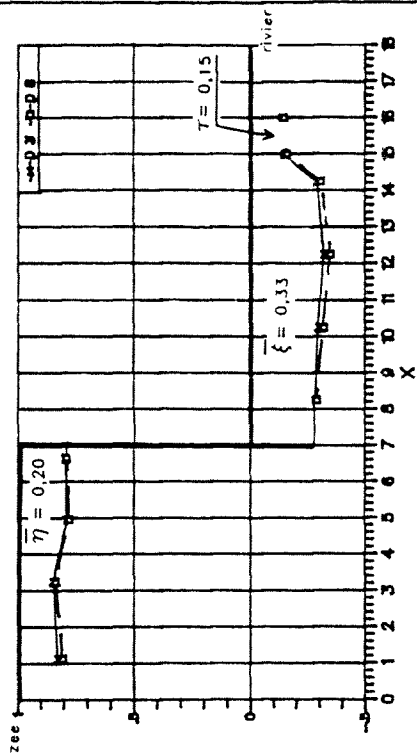
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

drukmetingen sectiemodel  
 dimensieloos uitgezet

Q 1271

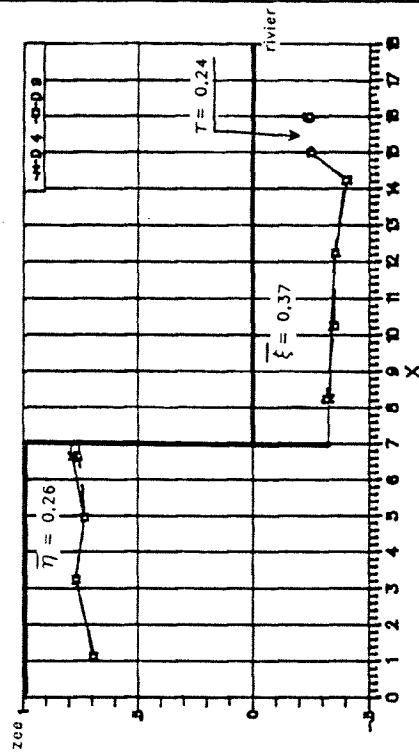
FIG. 25e

PONT PRESSURE COEFFICIENTS  
 Schemed D3, D8 (SEA TO RIVER)  
 OPENING=2.5



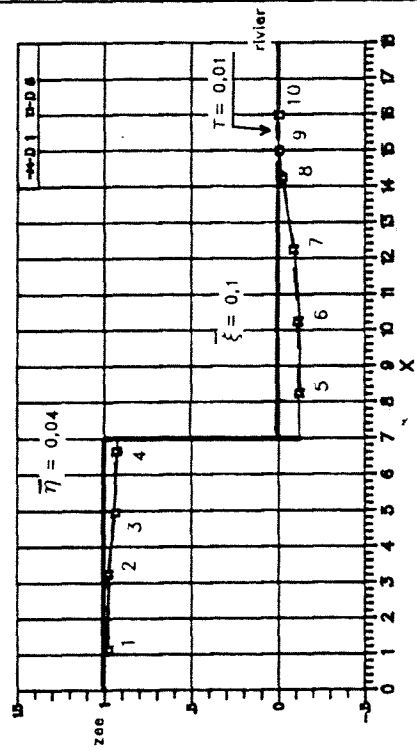
PC

PONT PRESSURE COEFFICIENTS  
 Schemed D4, D9 (SEA TO RIVER)  
 OPENING=4



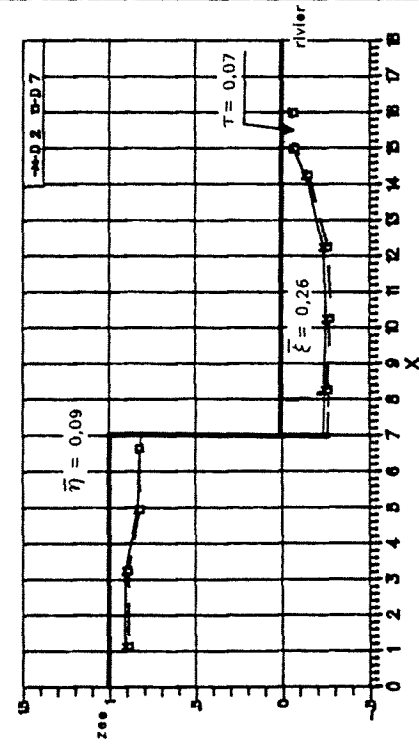
PC

PONT PRESSURE COEFFICIENTS  
 Schemed D1, D6 (SEA TO RIVER)  
 OPENING=0.5



PC

PONT PRESSURE COEFFICIENTS  
 Schemed D2, D7 (SEA TO RIVER)  
 OPENING=1.5

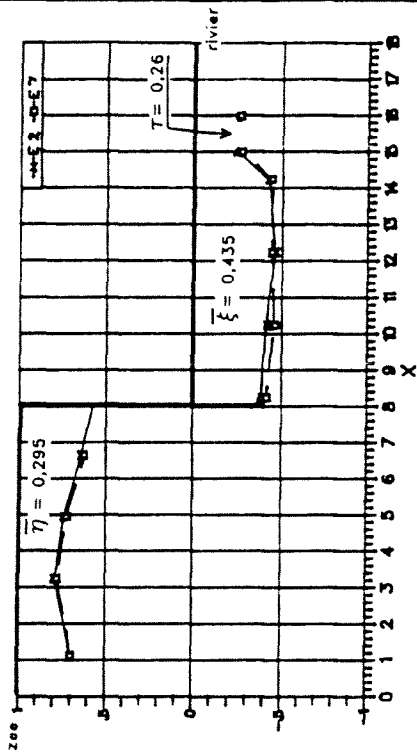


PC

PROEVENSERIE D, d=0,5 1,5 2,5 EN 4m  
 (STROMING ZEE → RIVIER)

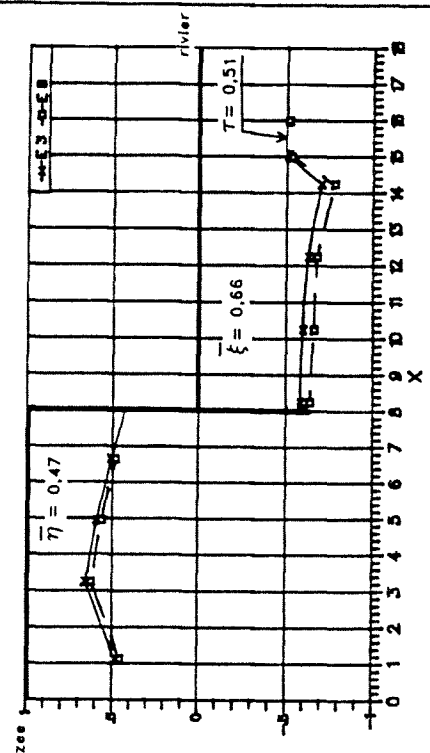
drukmetingen sectiemodel  
 dimensieloos uitgezet

PONT PRESSURE COEFFICIENTS  
 Scheme E2, E7 (SEA TO RIVER)  
 OPENING=4



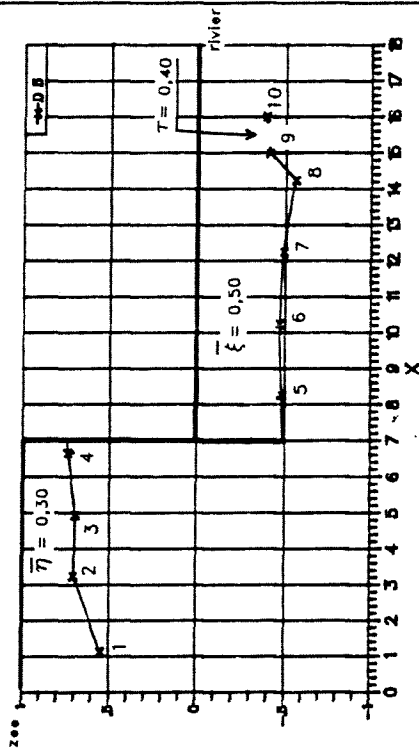
PC

PONT PRESSURE COEFFICIENTS  
 Scheme E2, E8 (SEA TO RIVER)  
 OPENING=7



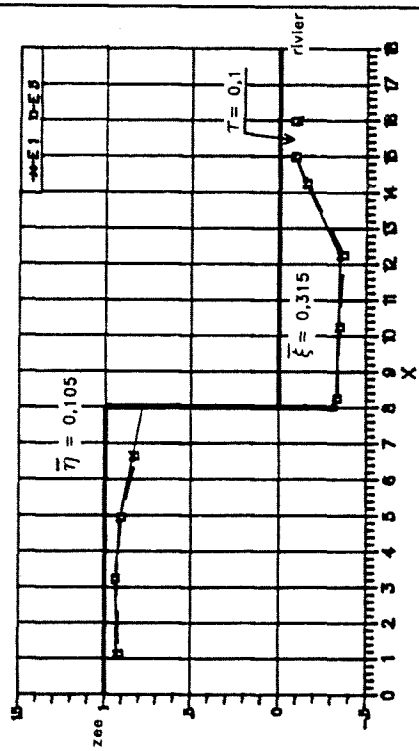
PC

PONT PRESSURE COEFFICIENTS  
 Scheme D5 (SEA TO RIVER)  
 OPENING=7



PC

PONT PRESSURE COEFFICIENTS  
 Scheme E1, E5 (SEA TO RIVER)  
 OPENING=15



PC

PROEVENSERIE D, d=7m (STROMING ZEE → RIVIER)  
 PROEVENSERIE E, d=1,5 4 EN 7m  
 (STROMING ZEE → RIVIER)

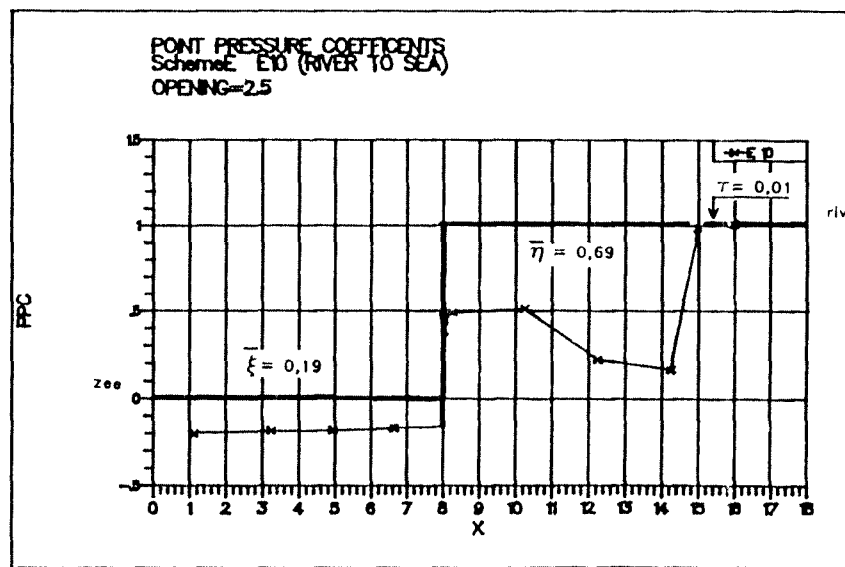
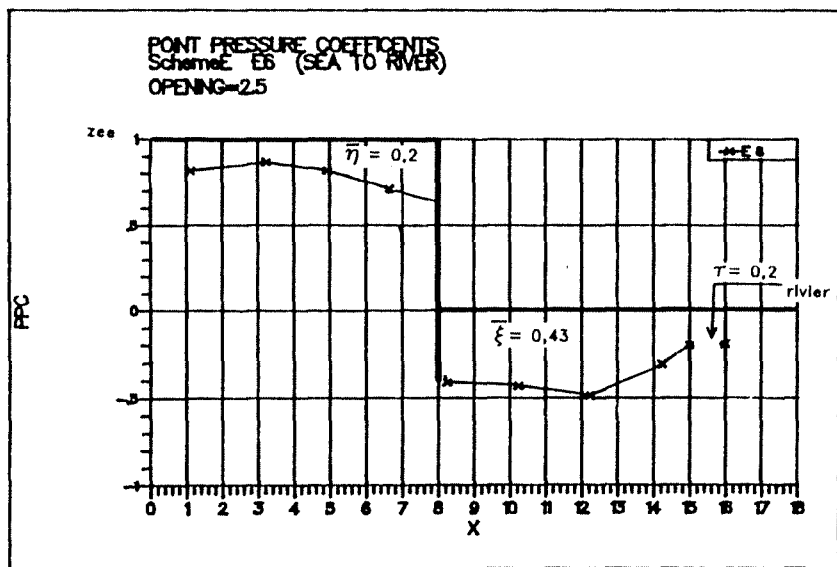
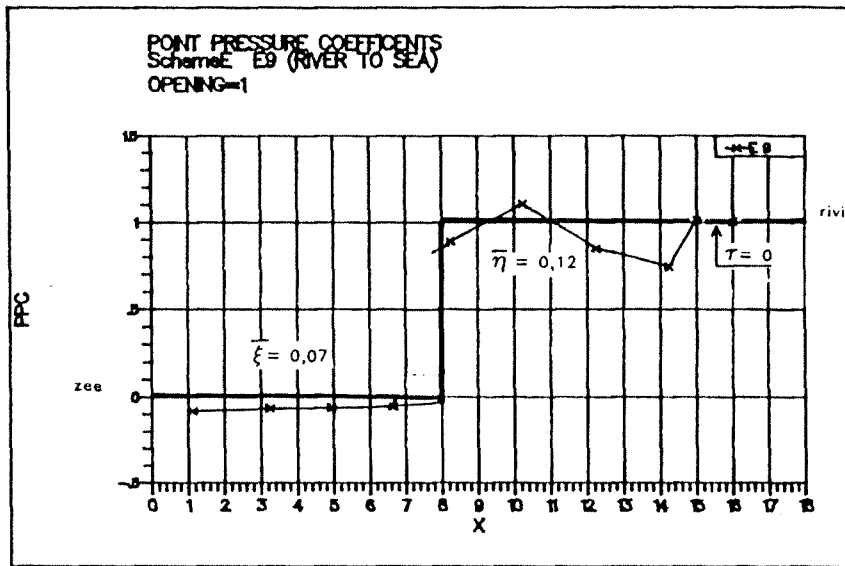
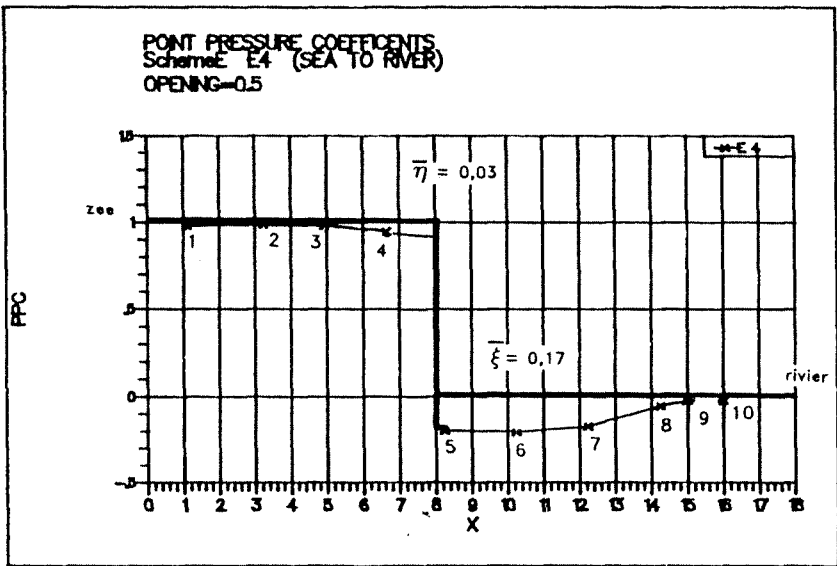
drukmetingen sectiemodel  
 dimensieloos uitgezet

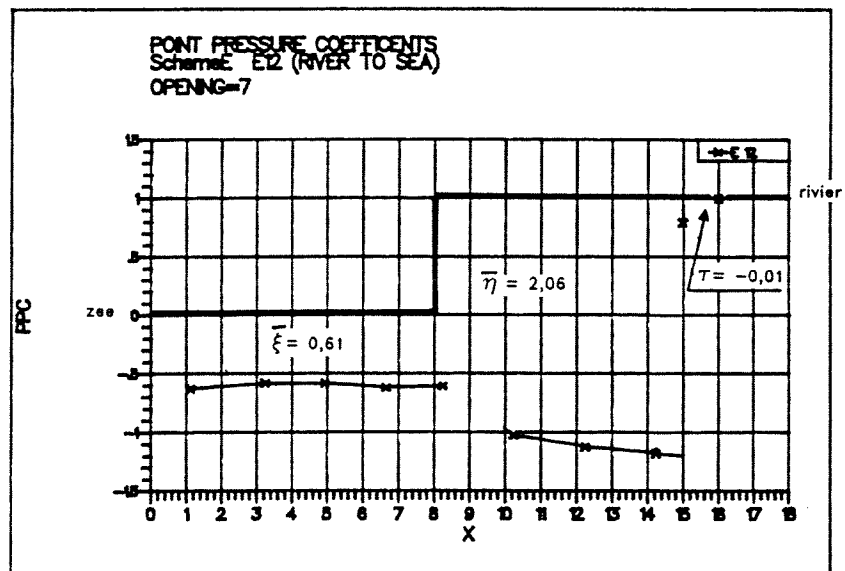
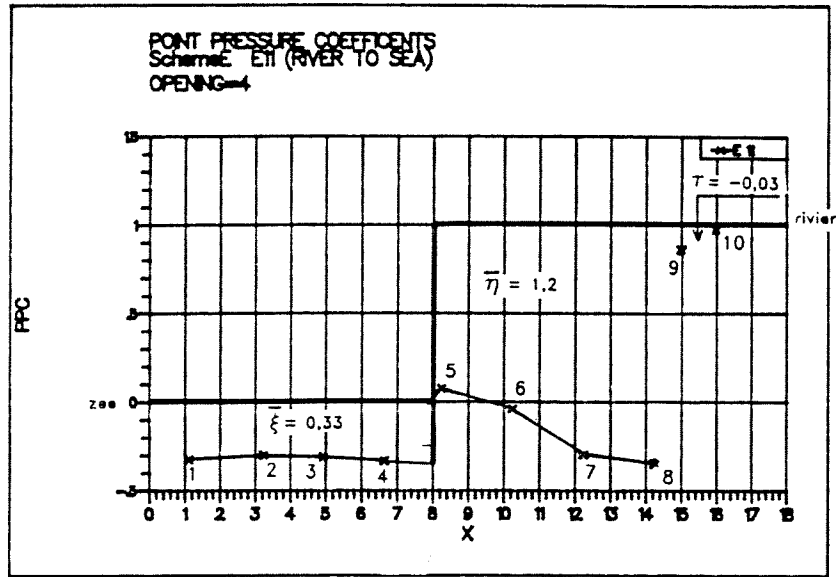
PROEVENSERIE E, d=0,5 EN 2,5m  
 (STROMING ZEE → RIVIER), PROEVENSERIE E,  
 d=1 EN 2,5m (STROMING RIVIER → ZEE)

drukmetingen sectiemodel  
 dimensieloos uitgezet

Q 1271

FIG. 25h





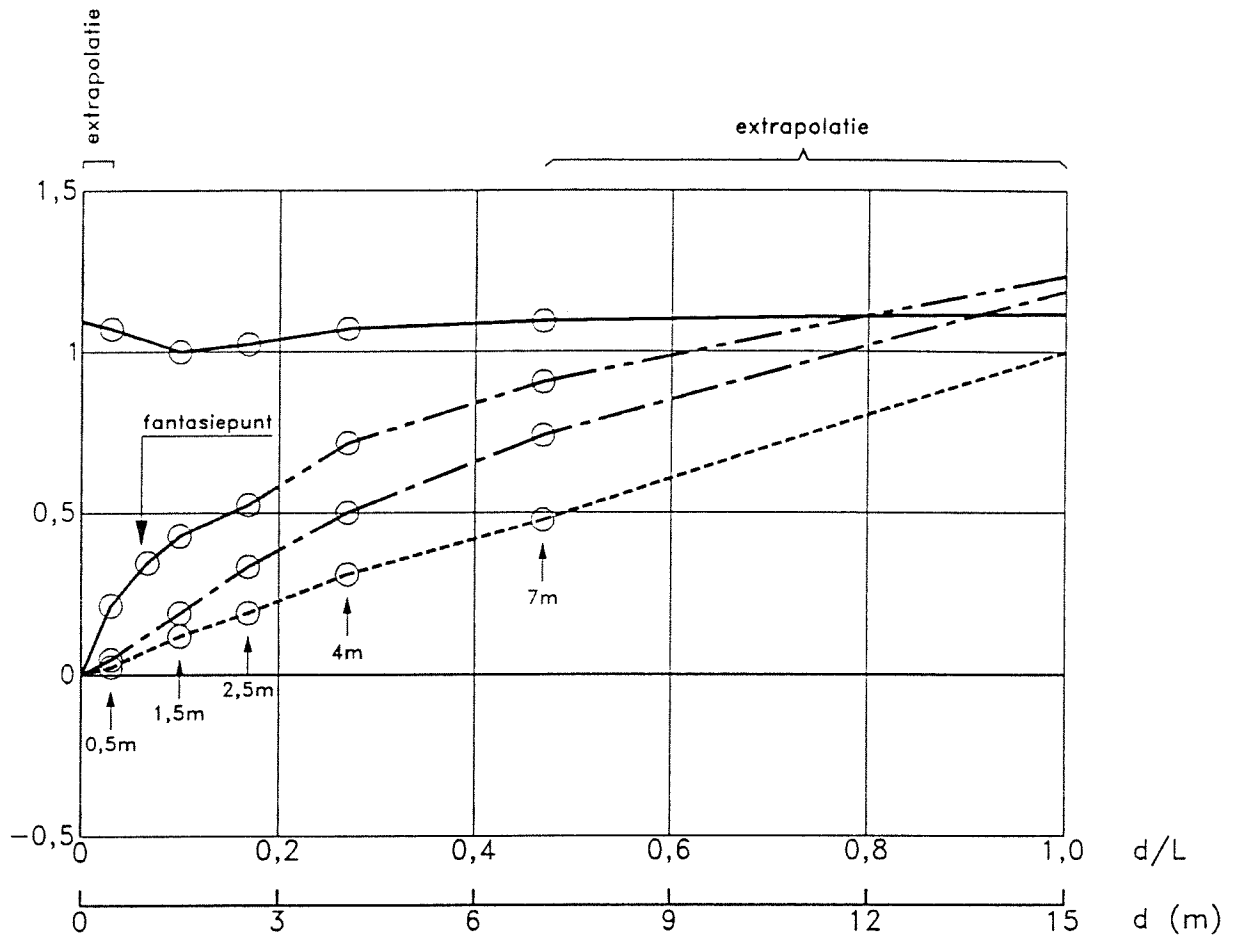
PROEVENSERIE E, d=4 en 7m  
 (STROMING RIVIER → ZEE)

drukmetingen sectiemodel  
 dimensieloos uitgezet

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

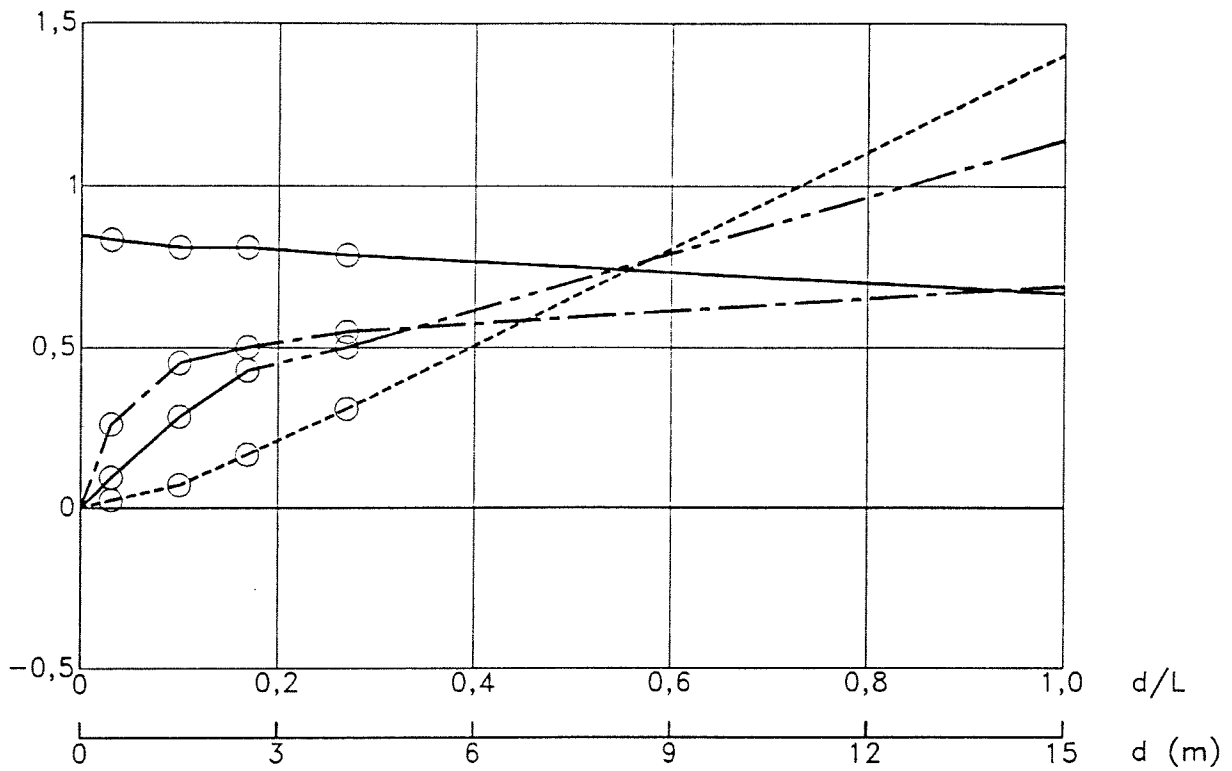
Q 1271

FIG. 25i



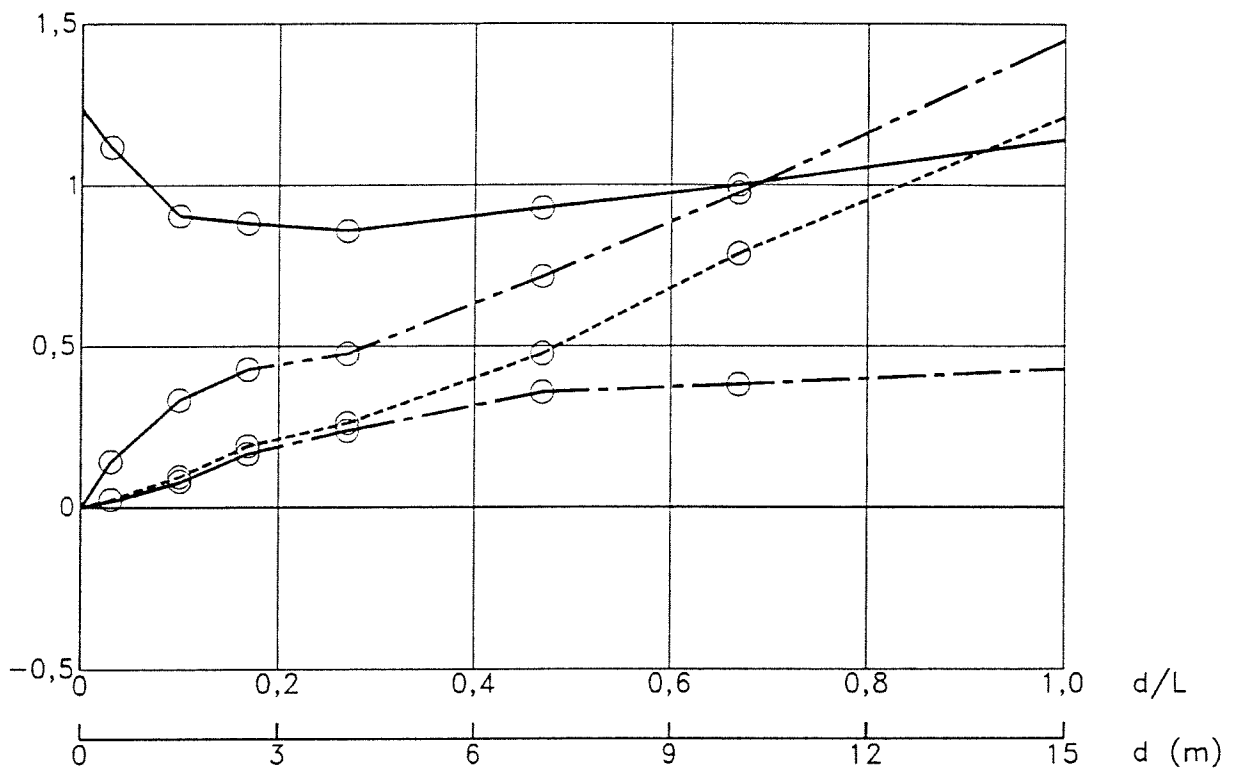
—————  $\mu$  (gecorrigeerd)  
 - - - - -  $\xi$   
 - - - - -  $\eta$   
 - - - - -  $\tau$

COEFFICIENTEN  $\mu$ ,  $\bar{\eta}$ ,  $\xi$  EN  $\tau$ , PROEVENSERIE A,  
STROMING ZEE  $\rightarrow$  RIVIER



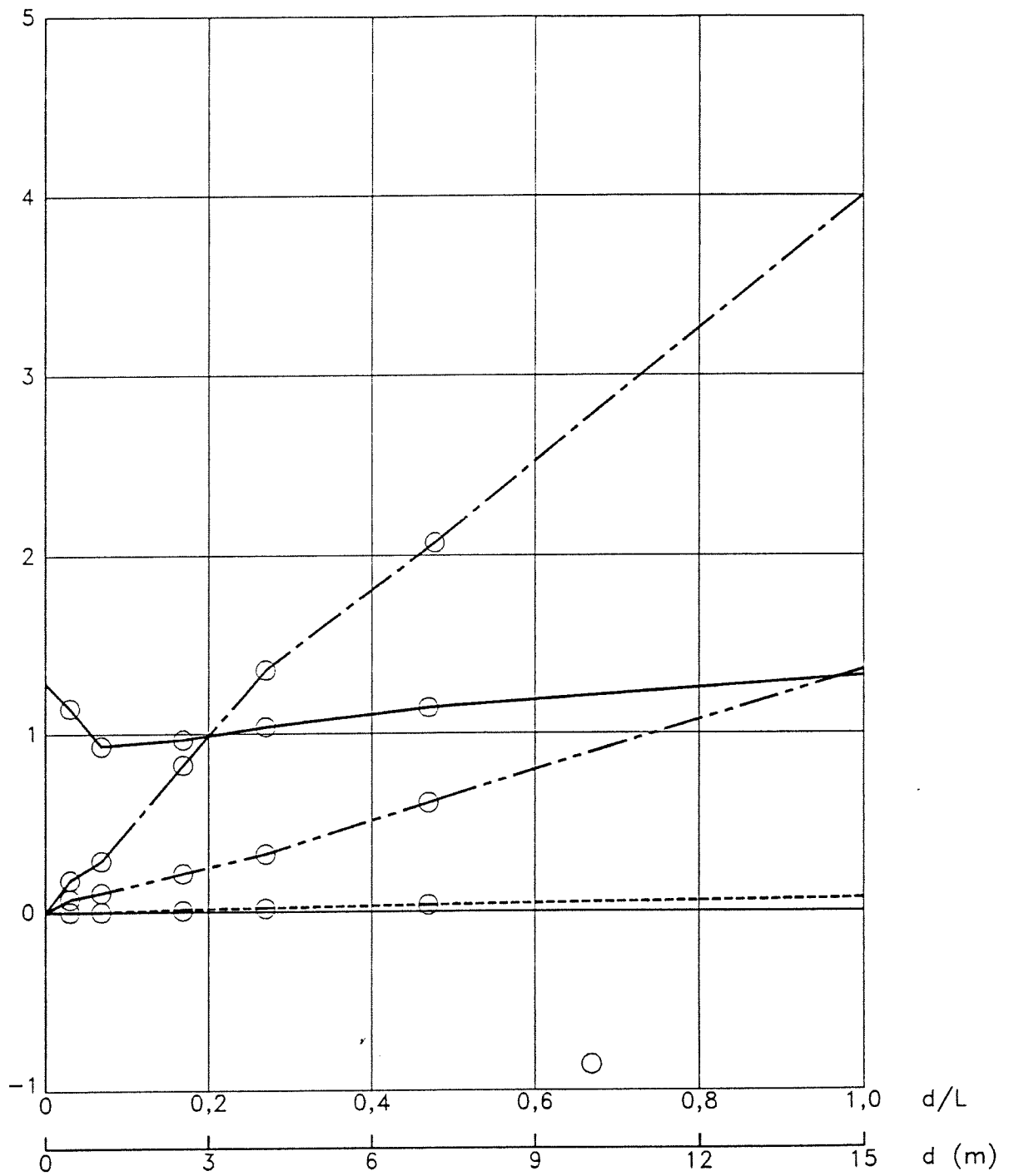
—————  $\mu$  (gecorrigeerd)  
 - - - - -  $\xi$   
 - - - - -  $\eta$   
 .....  $\tau$

COEFFICIENTEN  $\mu$ ,  $\eta$ ,  $\xi$  EN  $\tau$ , PROVENSERIE B,  
 STROMING ZEE  $\rightarrow$  RIVIER

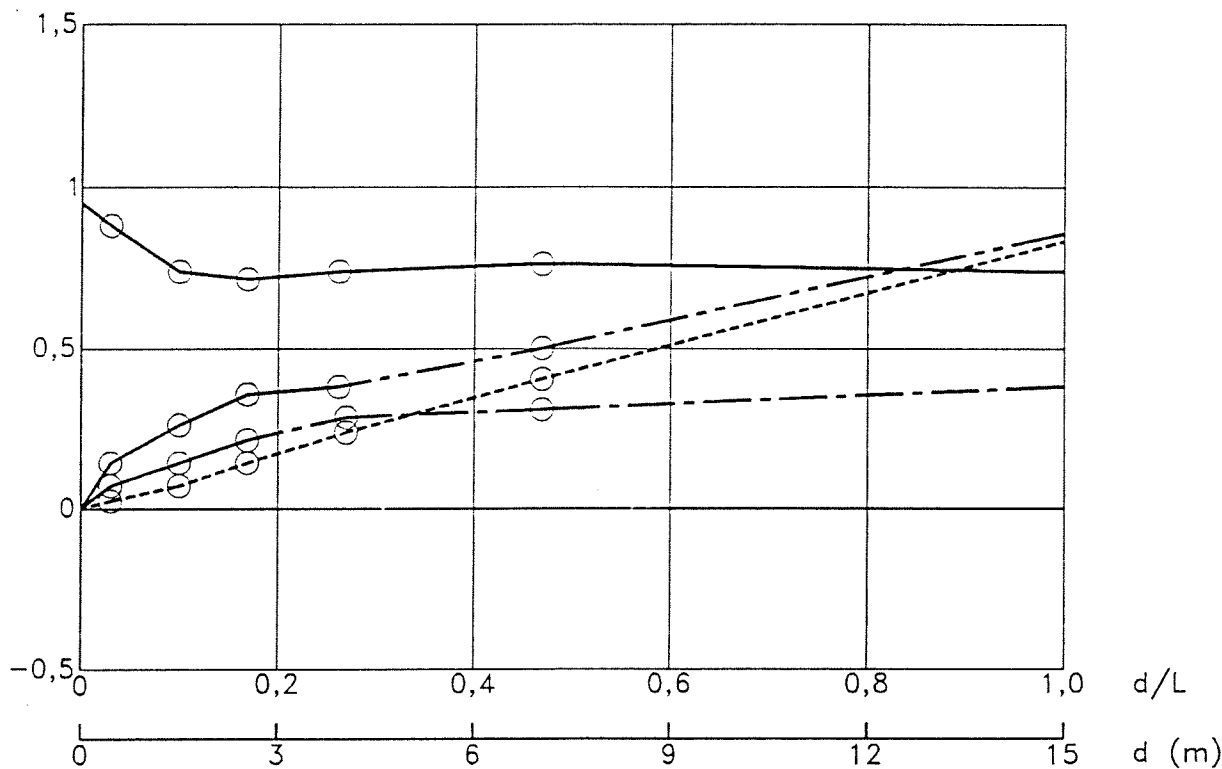


—————  $\mu$  (gecorrigeerd)  
 - - - - -  $\xi$   
 - - - - -  $\eta$   
 .....  $\tau$

COEFFICIENTEN $\mu, \bar{\eta}, \xi$ EN $\tau$ , PROEVENSERIE C, STROMING ZEE $\rightarrow$ RIVIER		
	WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	Q 1271
		FIG. 28

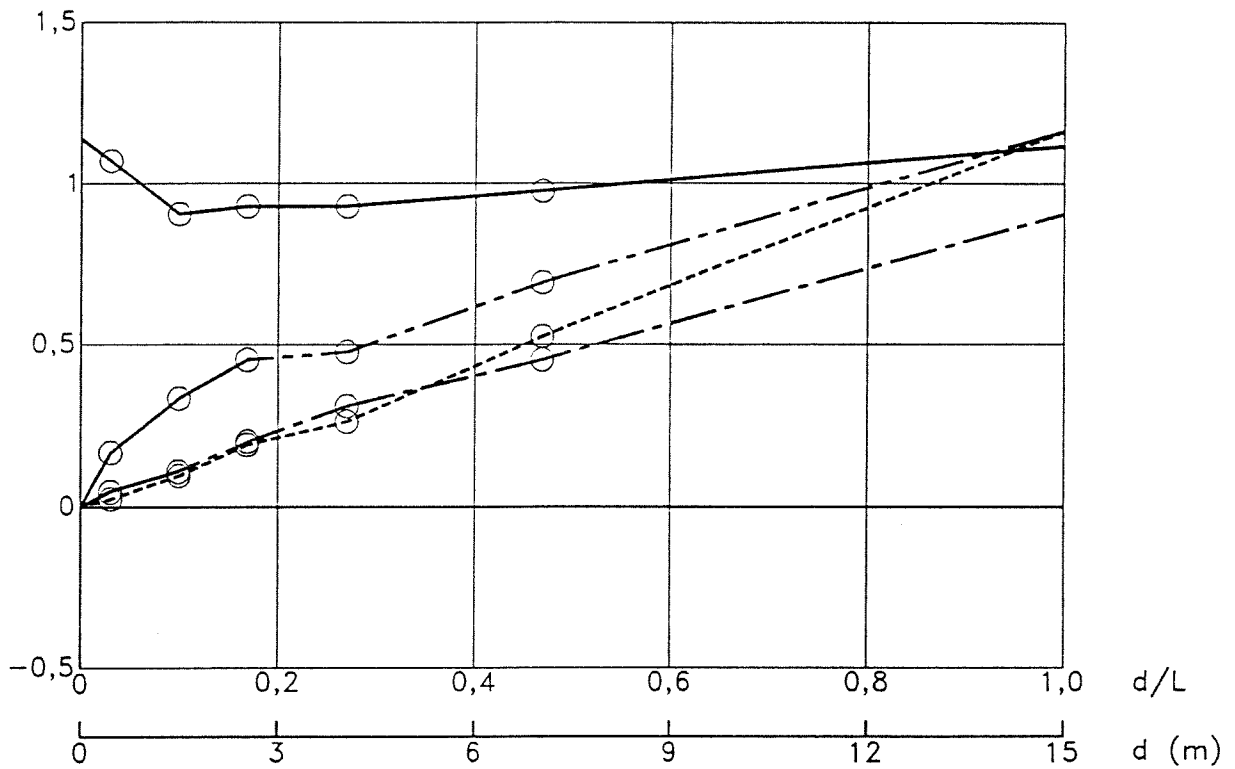


COEFFICIENTEN  $\mu, \bar{\eta}, \xi$  EN  $\tau$ , PROEVENSERIE C,  
STROMING RIVIER  $\rightarrow$  ZEE



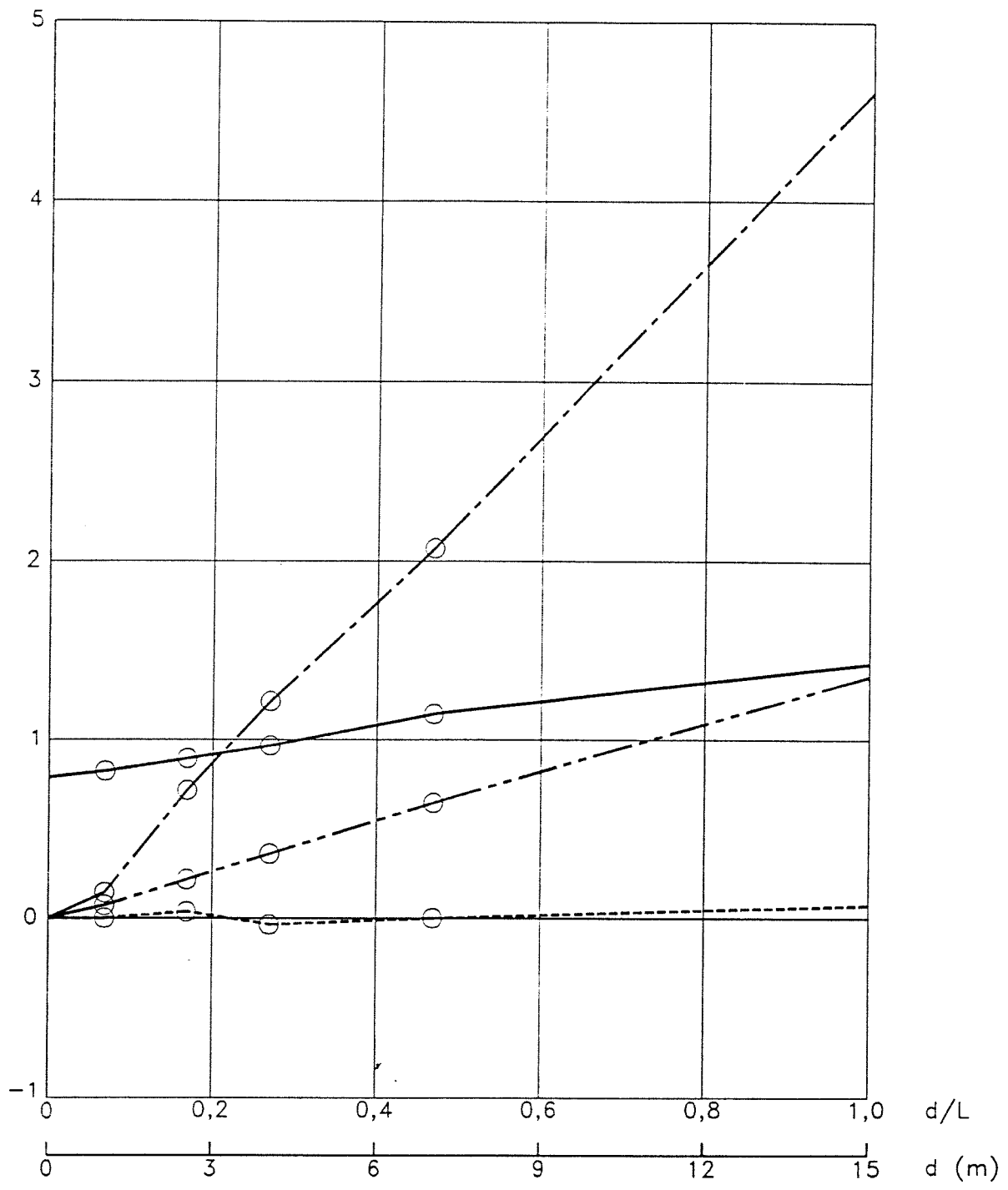
—————  $\mu$  (gecorrigeerd)  
 - - - - -  $\xi$   
 - · - · -  $\eta$   
 ······  $\tau$

COEFFICIENTEN  $\mu, \bar{\eta}, \xi$  EN  $\tau$ , PROEVENSERIE D,  
 STROMING ZEE → RIVIER



———  $\mu$  (gecorrigeerd)  
 - - -  $\xi$   
 - - -  $\bar{\eta}$   
 - - -  $\tau$

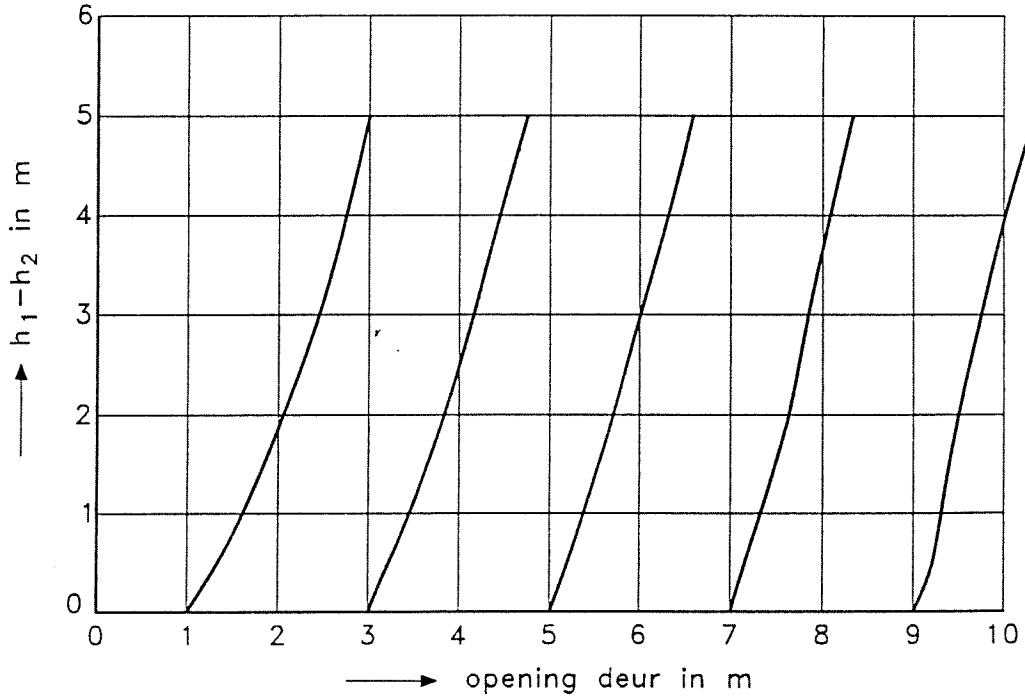
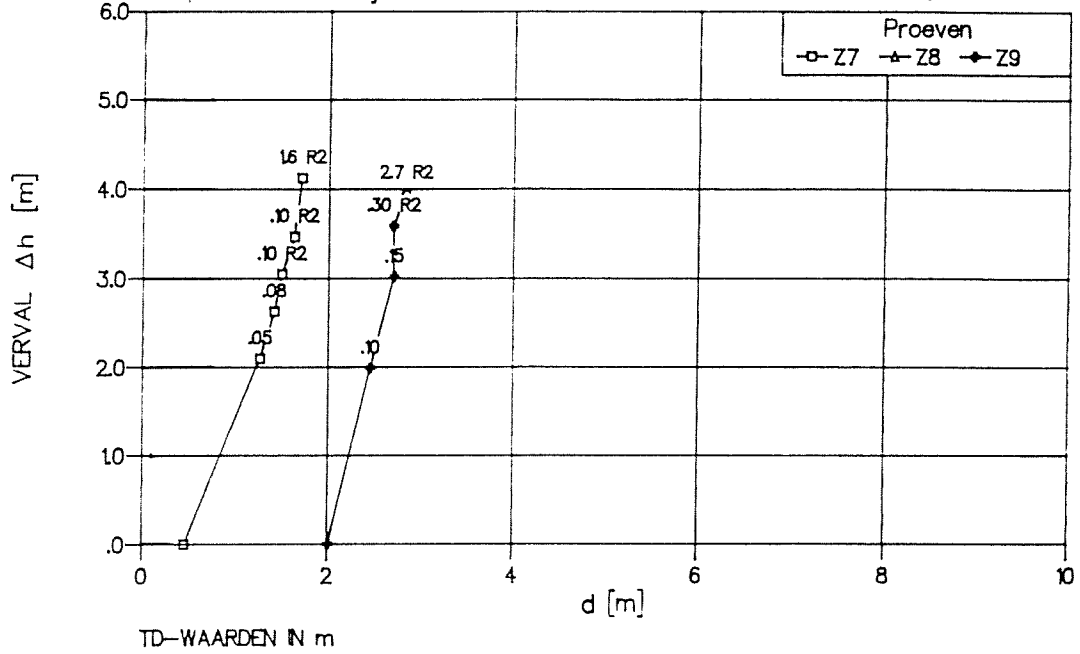
COEFFICIENTEN  $\mu, \bar{\eta}, \xi$  EN  $\tau$ , PROEVENSERIE E,  
 STROMING ZEE → RIVIER



COEFFICIENTEN  $\mu, \bar{\eta}, \xi$  EN  $\tau$ , PROEVENSERIE E,  
 STROMING RIVIER  $\rightarrow$  ZEE

Proeven Z7 t/m Z9  
 Responsie noordelijke deur

GEMETEN IN OVERZICHTSMODEL  
 (VARIANT 5)



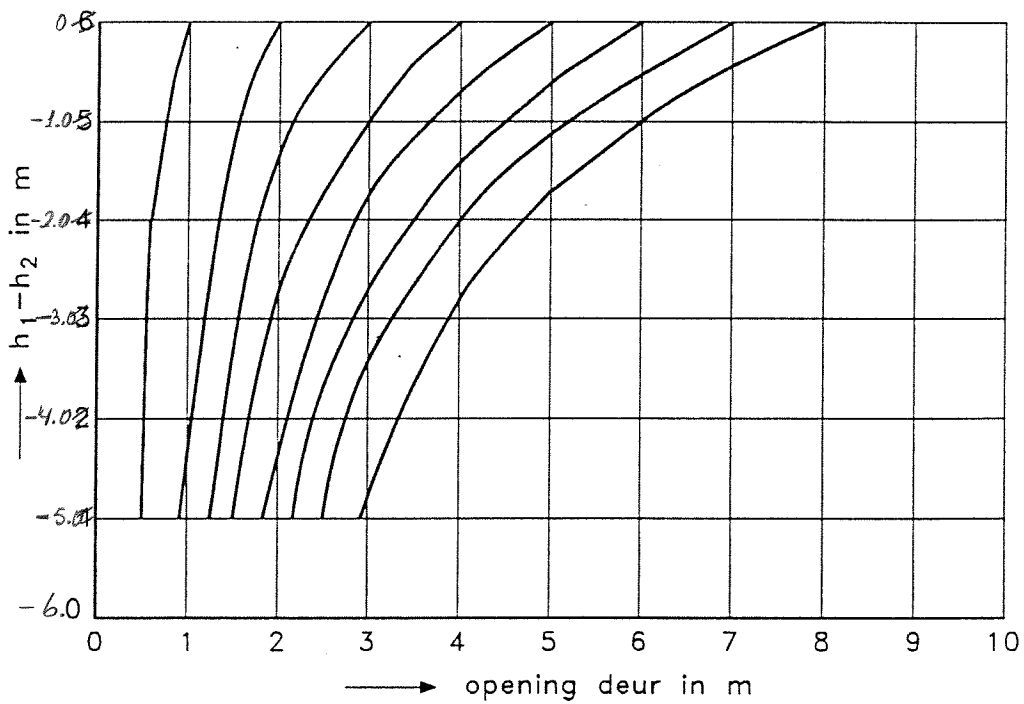
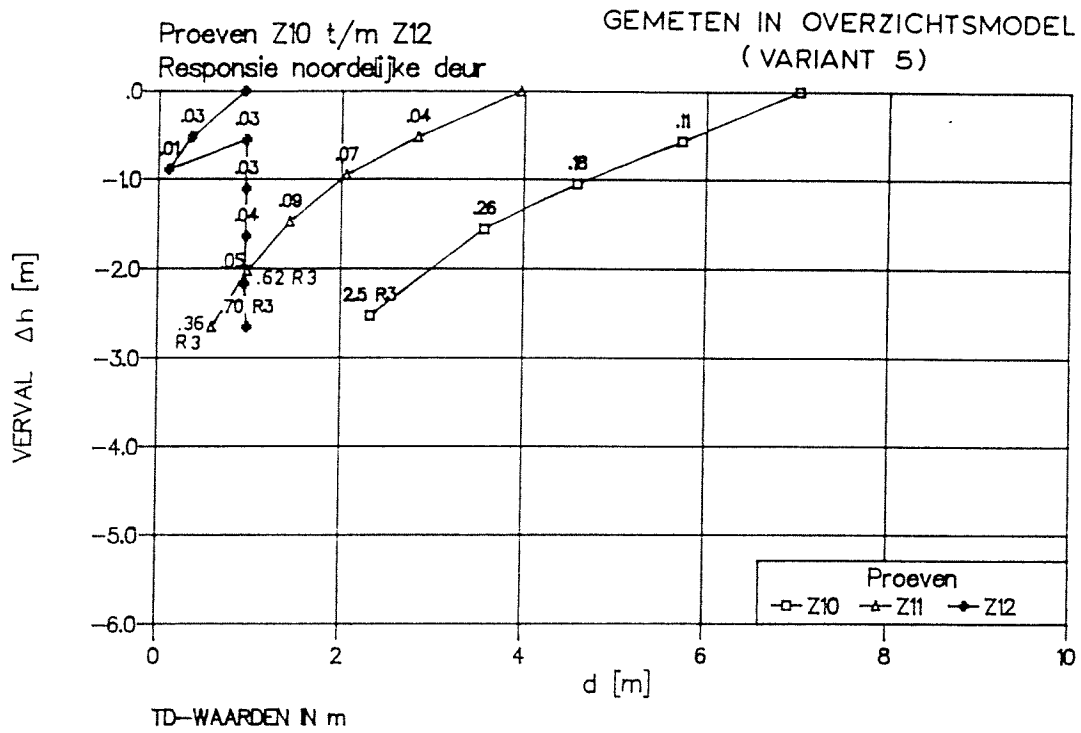
VERANDERING DEURPOSITIE BIJ TOENEMEND VERVAL;  
 VERGELIJKING BEREKENING PROEVENSERIE C,  
 POSITIEF VERVAL, VARIANT 7,  
 MET PROEVEN OVERZICHTSMODEL, VARIANT 5

ZEE → RIVIER

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 33



VERANDERING DEURPOSITIE BIJ TOENEMEND VERVAL;  
 VERGELIJKING BEREKENING PROEVENSERIE C,  
 NEGATIEF VERVAL, VARIANT 7,  
 MET PROEVEN OVERZICHTSMODEL, VARIANT 5

RIVIER → ZEE

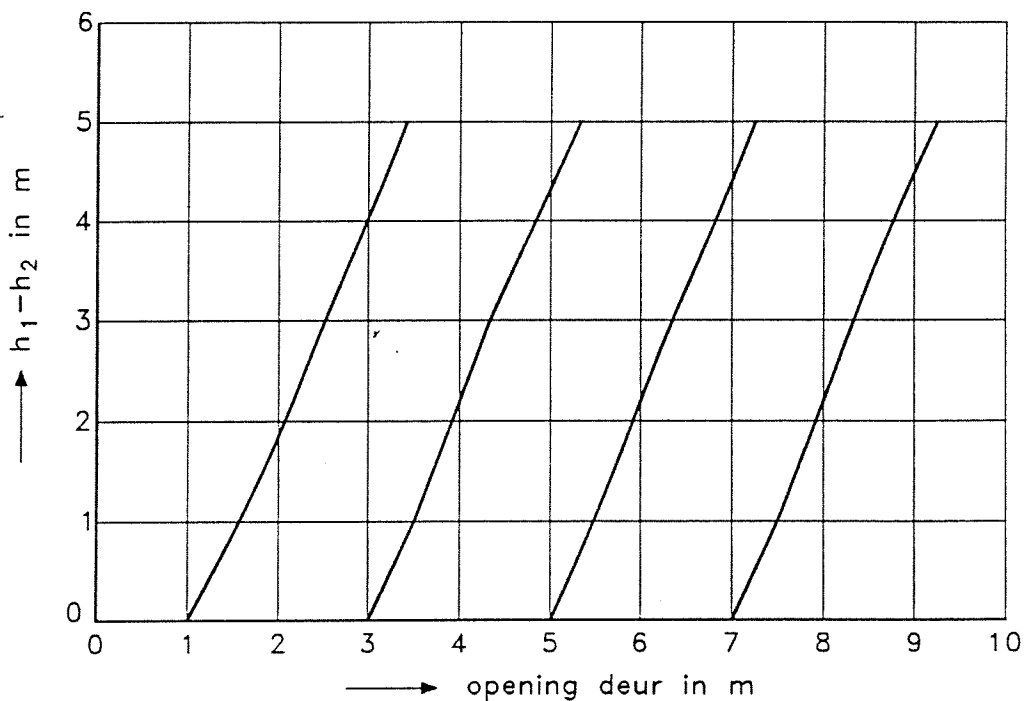
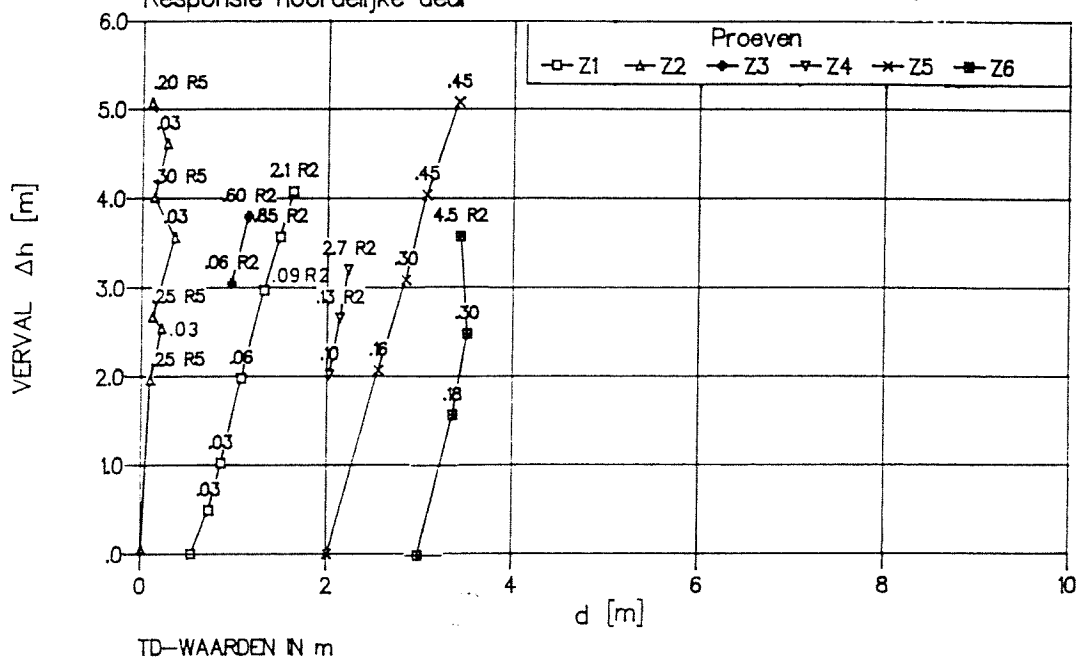
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 34

Proeven Z1 t/m Z6  
 Responsie noordelijke deur

GEMETEN IN OVERZICHTSMODEL  
 (VARIANT 5)



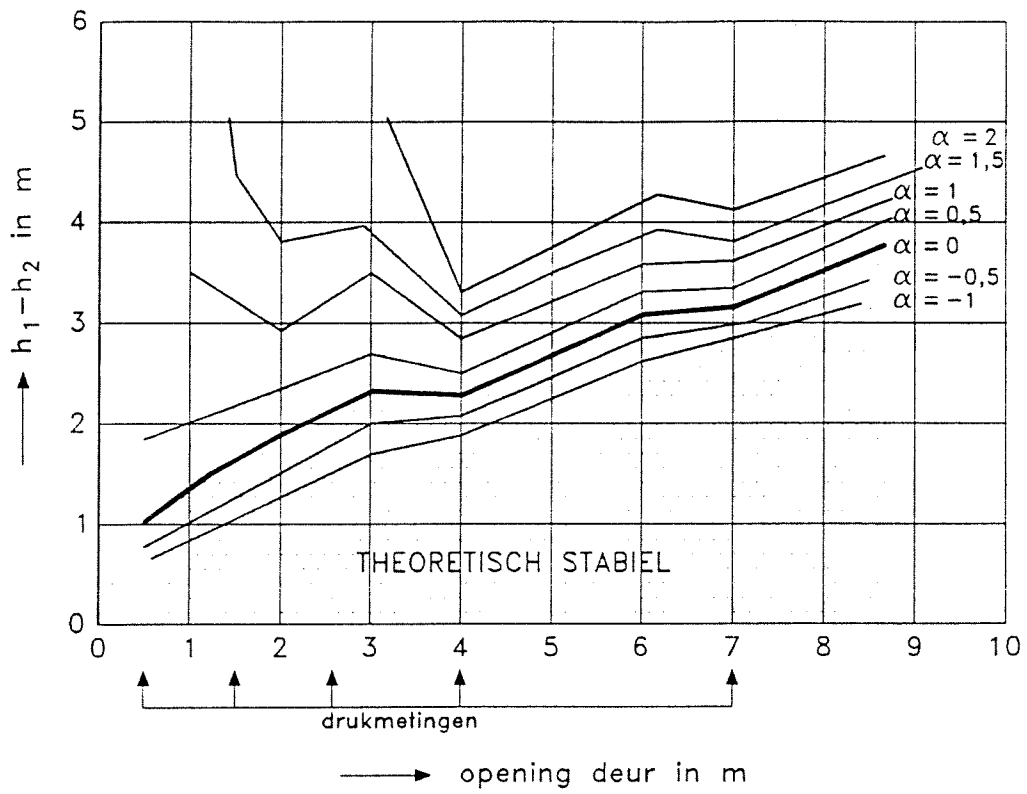
VERANDERING DEURPOSITIE BIJ TOENEMEND VERVAL;  
 VERGELIJKING BEREKENING PROEVENSERIE D,  
 POSITIEF VERVAL, VARIANT 7 MET SEDIMENT  
 MET PROEVEN OVERZICHTSMODEL, VARIANT 5

ZEE → RIVIER

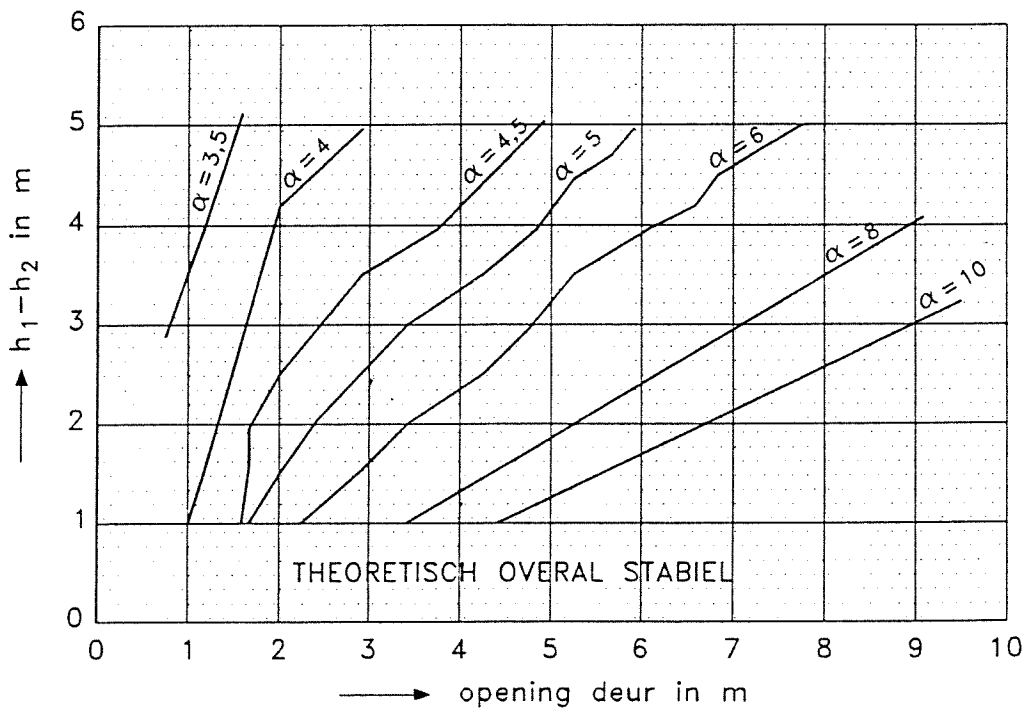
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 35

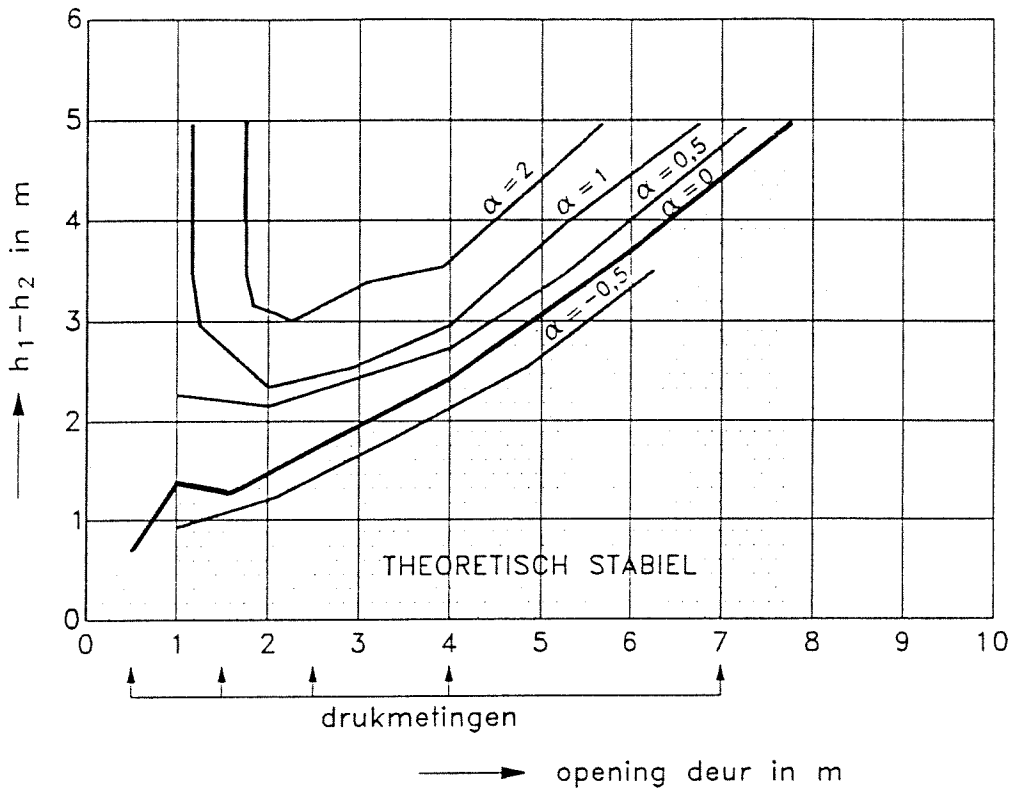


BENEDENSTROOMS

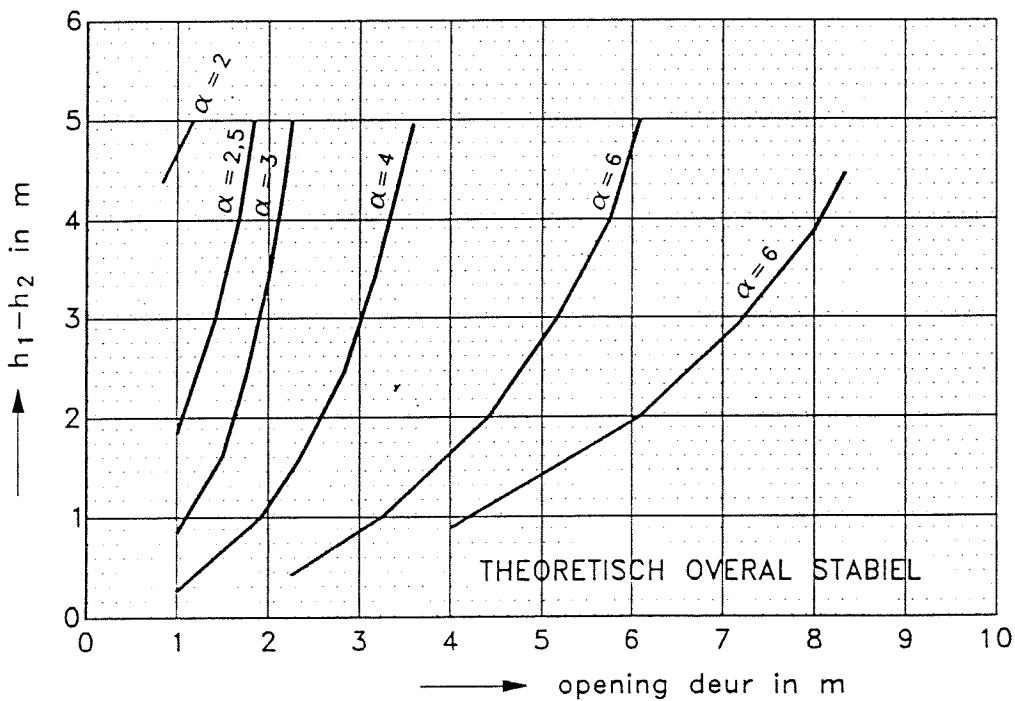


BOVENSTROOMS

BEREKENDE  $\alpha$ -WAARDEN, PROEVENSERIE A,  
 STROMING ZEE  $\rightarrow$  RIVIER, GEEN SEDIMENT

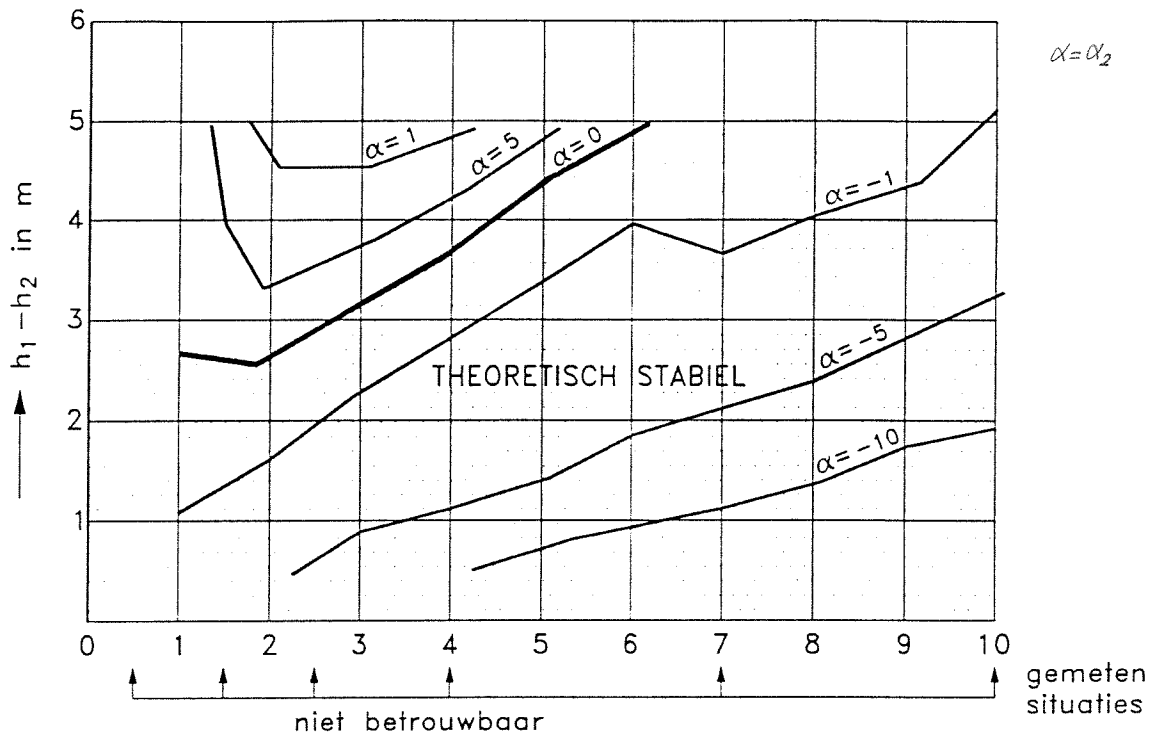


BENEDENSTROOMS



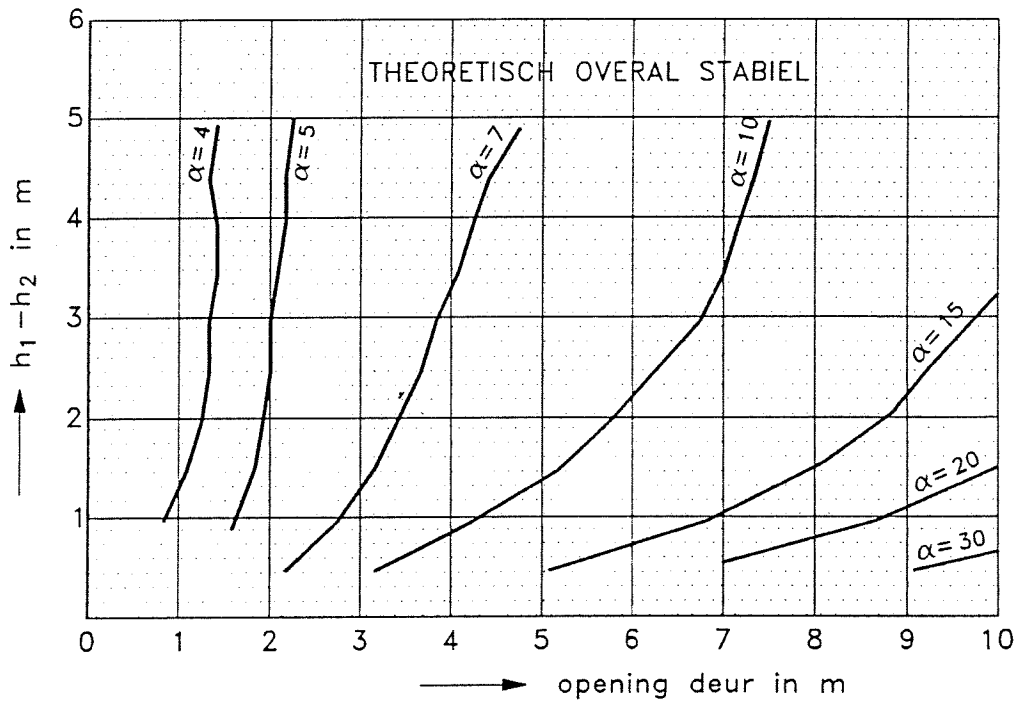
BOVENSTROOMS

BEREKENDE  $\alpha$ -WAARDEN, PROEVENSERIE B,  
STROMING ZEE → RIVIER, MET SEDIMENT



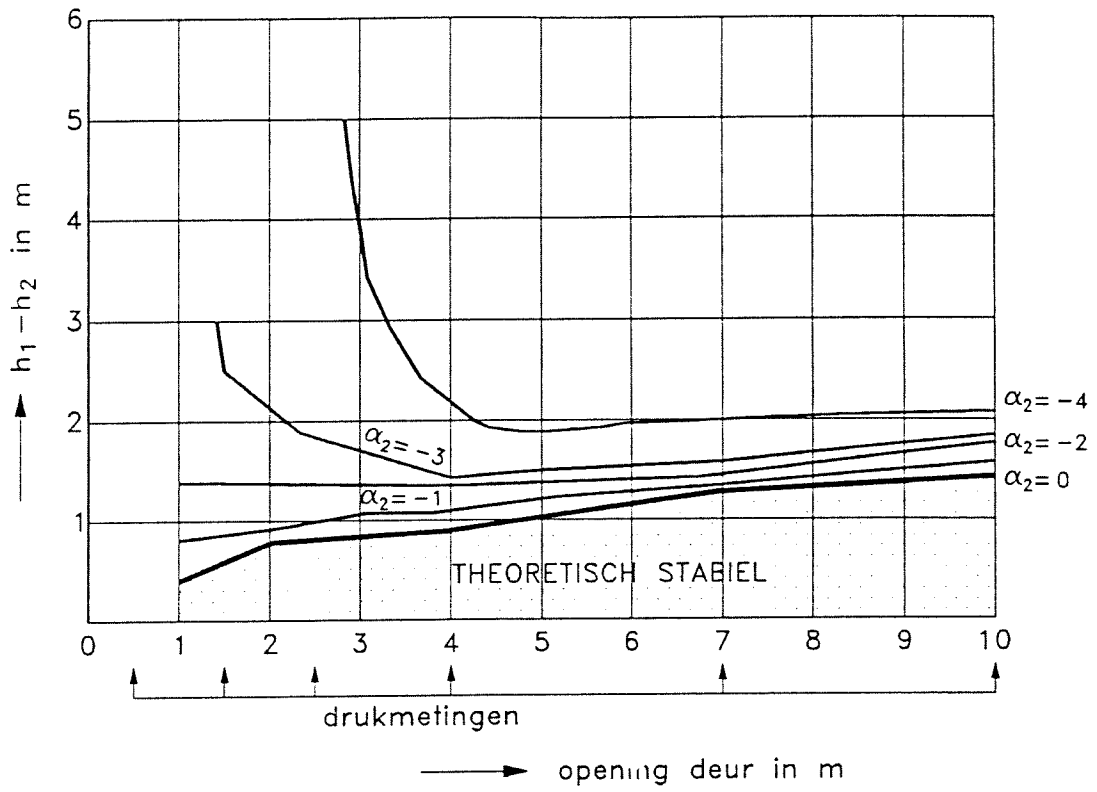
—▶ opening deur in m

BENEDENSTROOMS

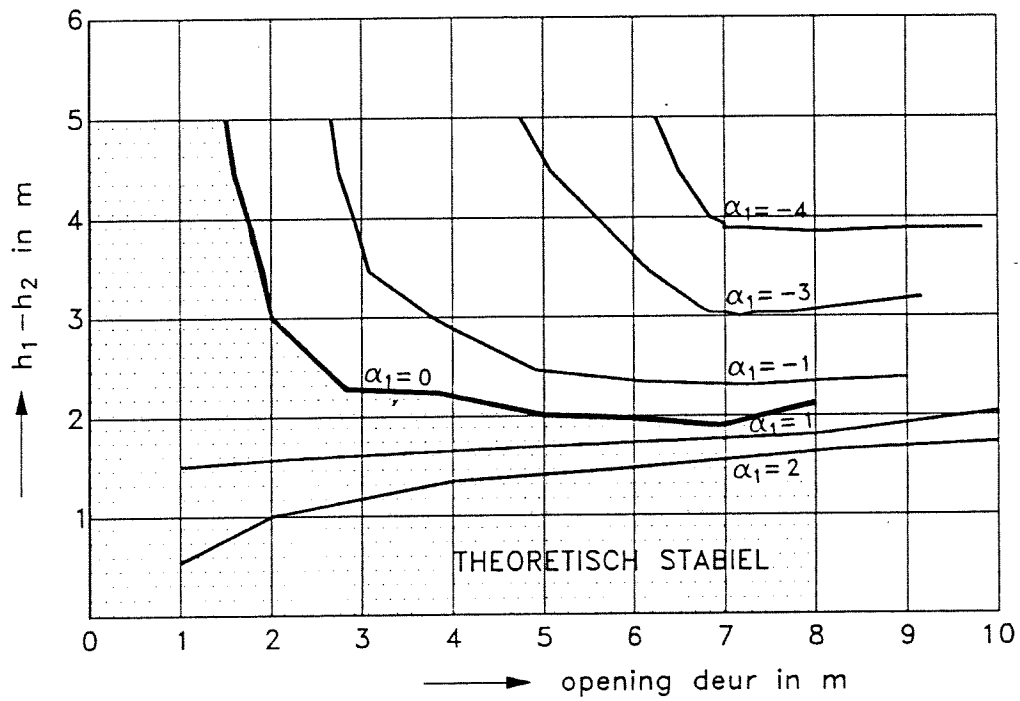


BOVENSTROOMS

BEREKENDE  $\alpha$ -WAARDEN, PROEVENSERIE C,  
STROMING ZEE —▶ RIVIER, GEEN SEDIMENT

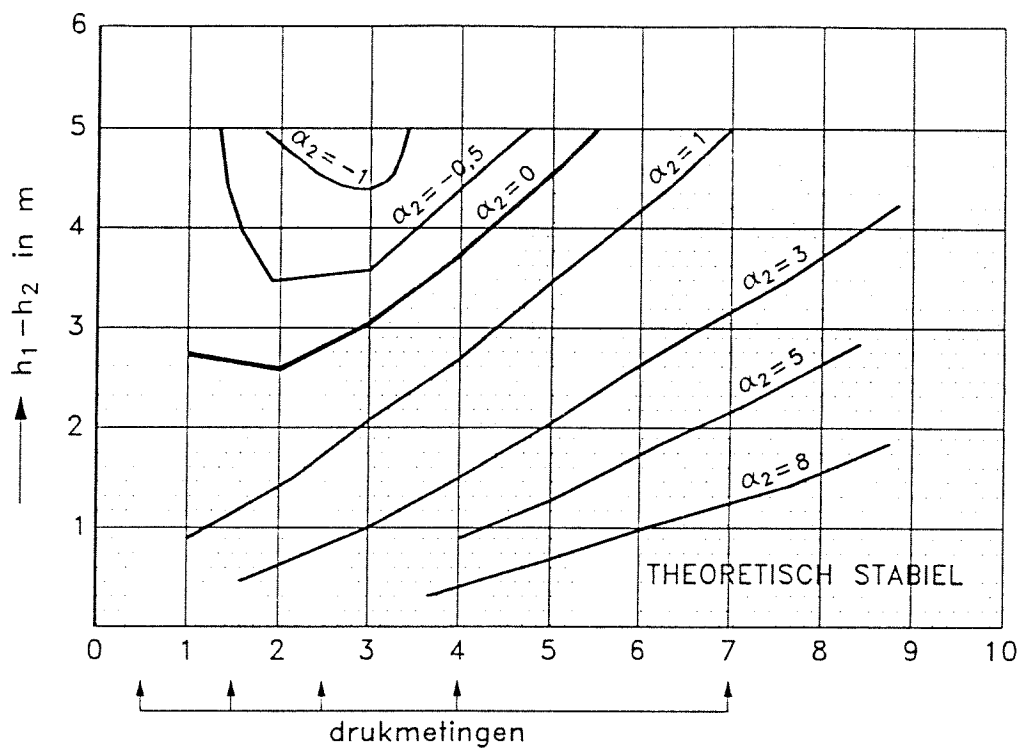


BENEDENSTROOMS



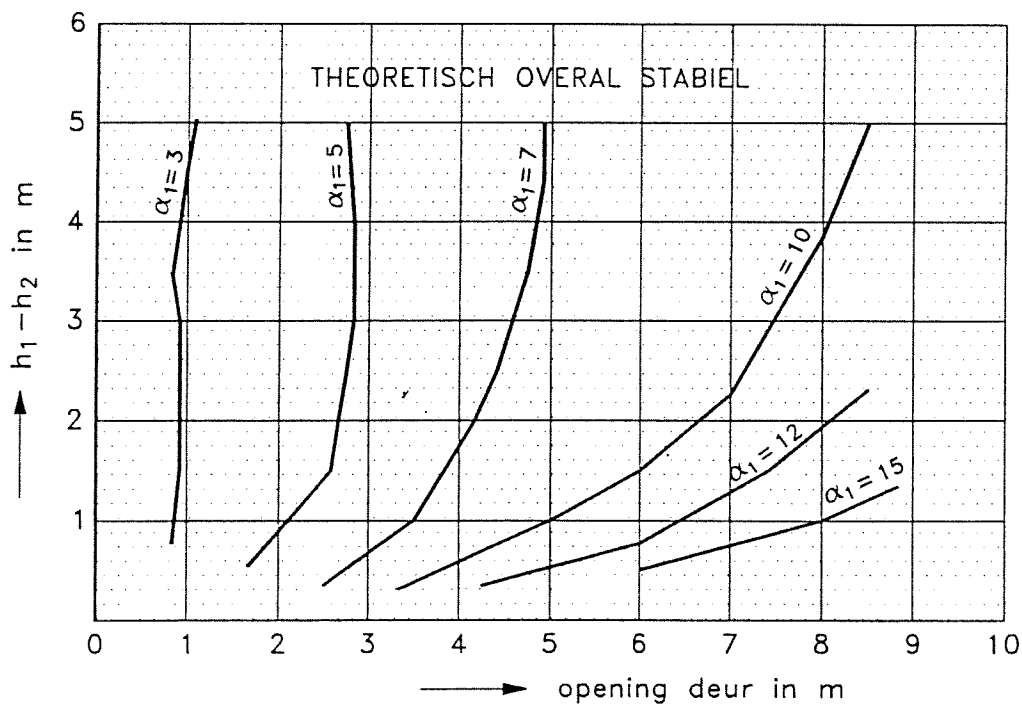
BOVENSTROOMS

BEREKENDE  $\alpha$ -WAARDEN, PROEVENSERIE C,  
STROMING RIVIER  $\rightarrow$  ZEE, GEEN SEDIMENT



opening deur in m

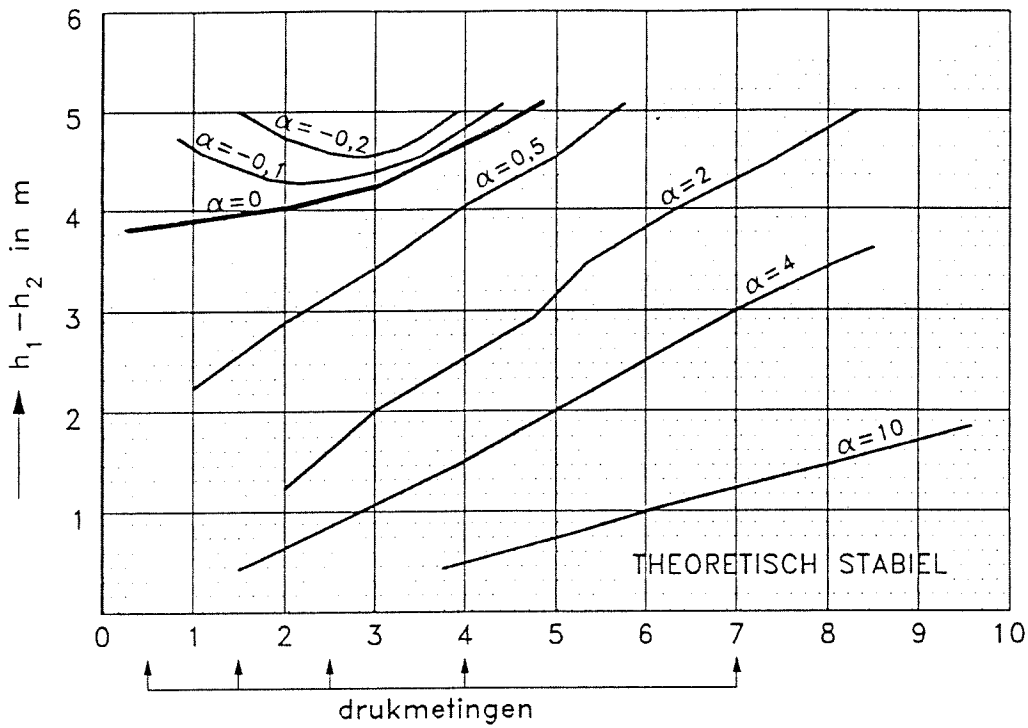
BENEDENSTROOMS



opening deur in m

BOVENSTROOMS

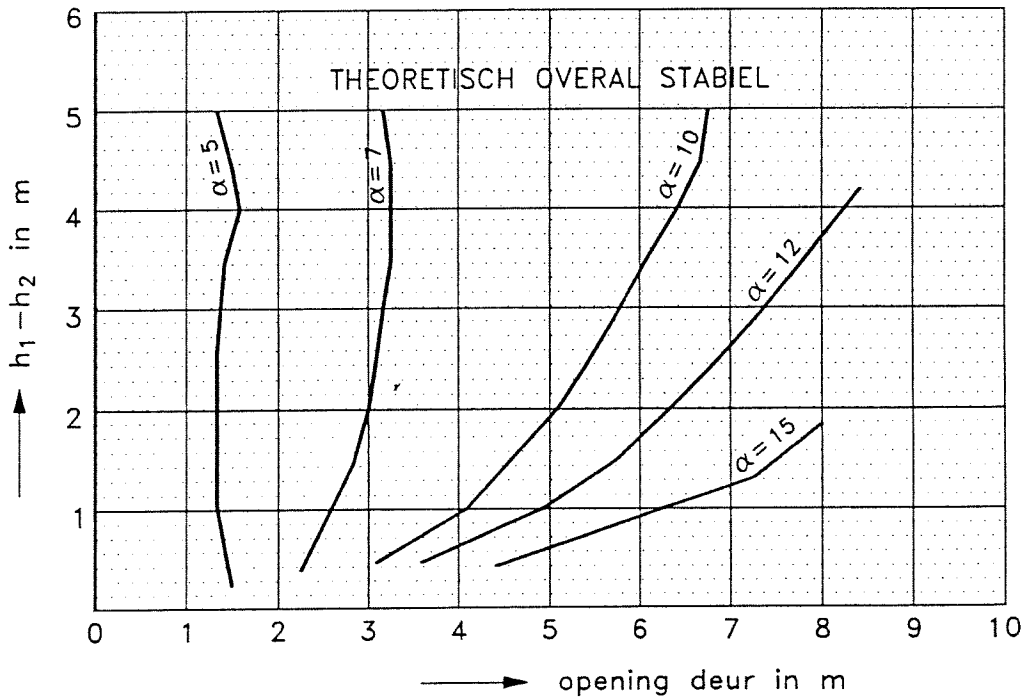
BEREKENDE  $\alpha$ -WAARDEN, PROEVENSERIE D,  
STROMING ZEE  $\rightarrow$  RIVIER, MET SEDIMENT



$\alpha = \alpha_2$

opening deur in m

BENEDENSTROOMS

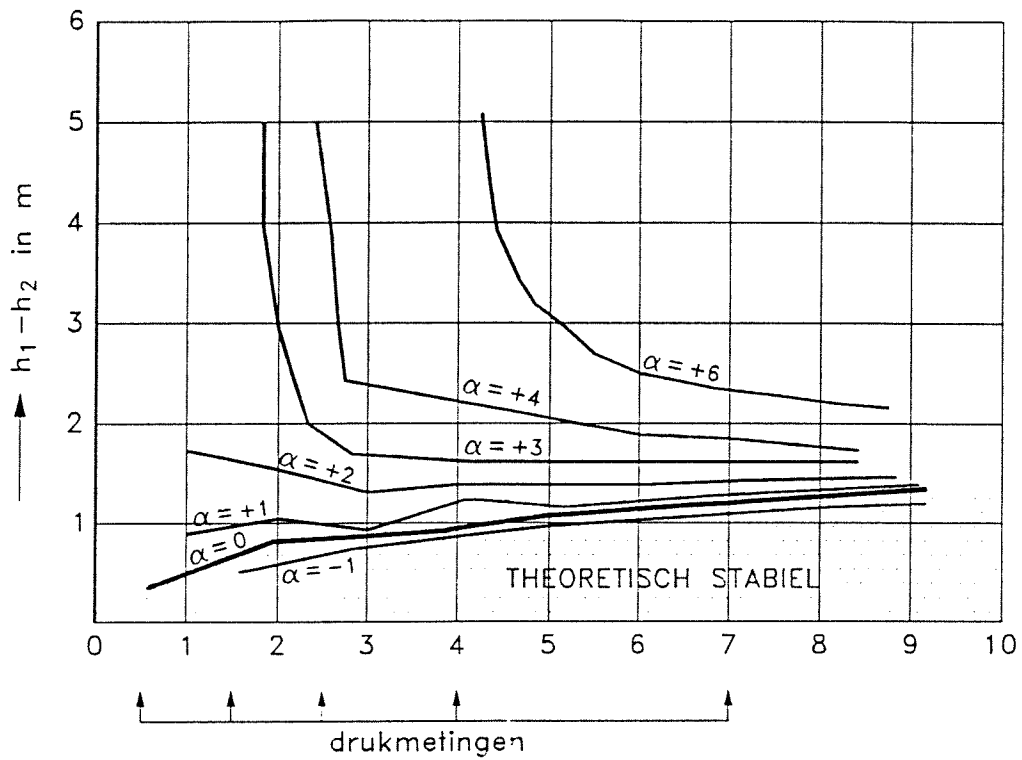


$\alpha = \alpha_1$

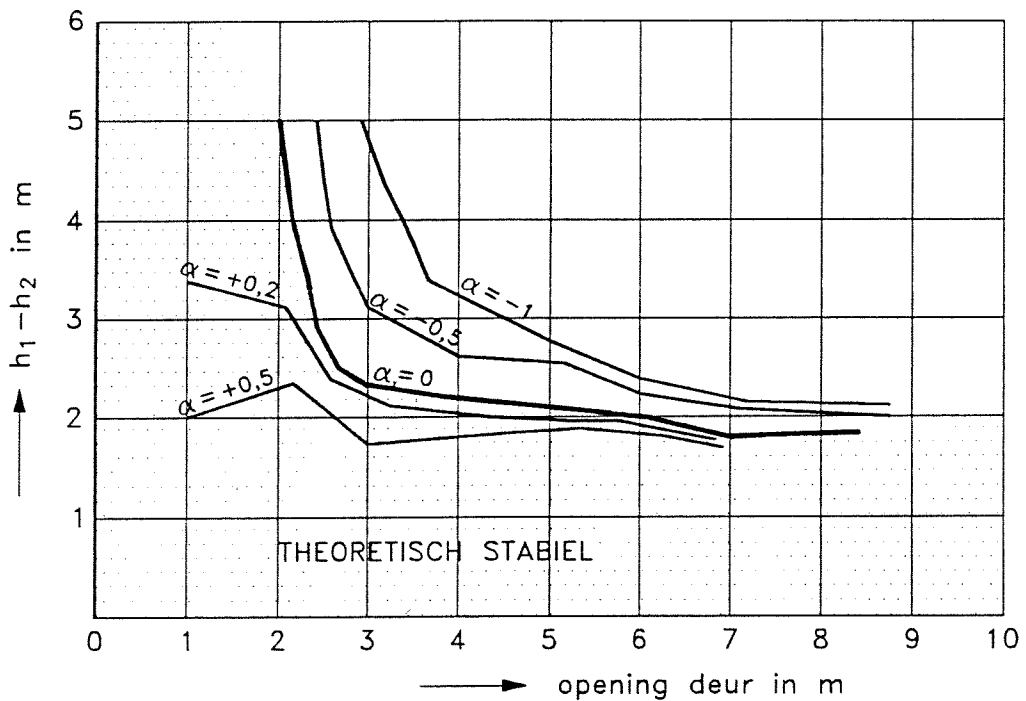
opening deur in m

BOVENSTROOMS

BEREKENDE  $\alpha$ -WAARDEN, PROEVENSERIE E,  
STROMING ZEE  $\rightarrow$  RIVIER, GEEN SEDIMENT



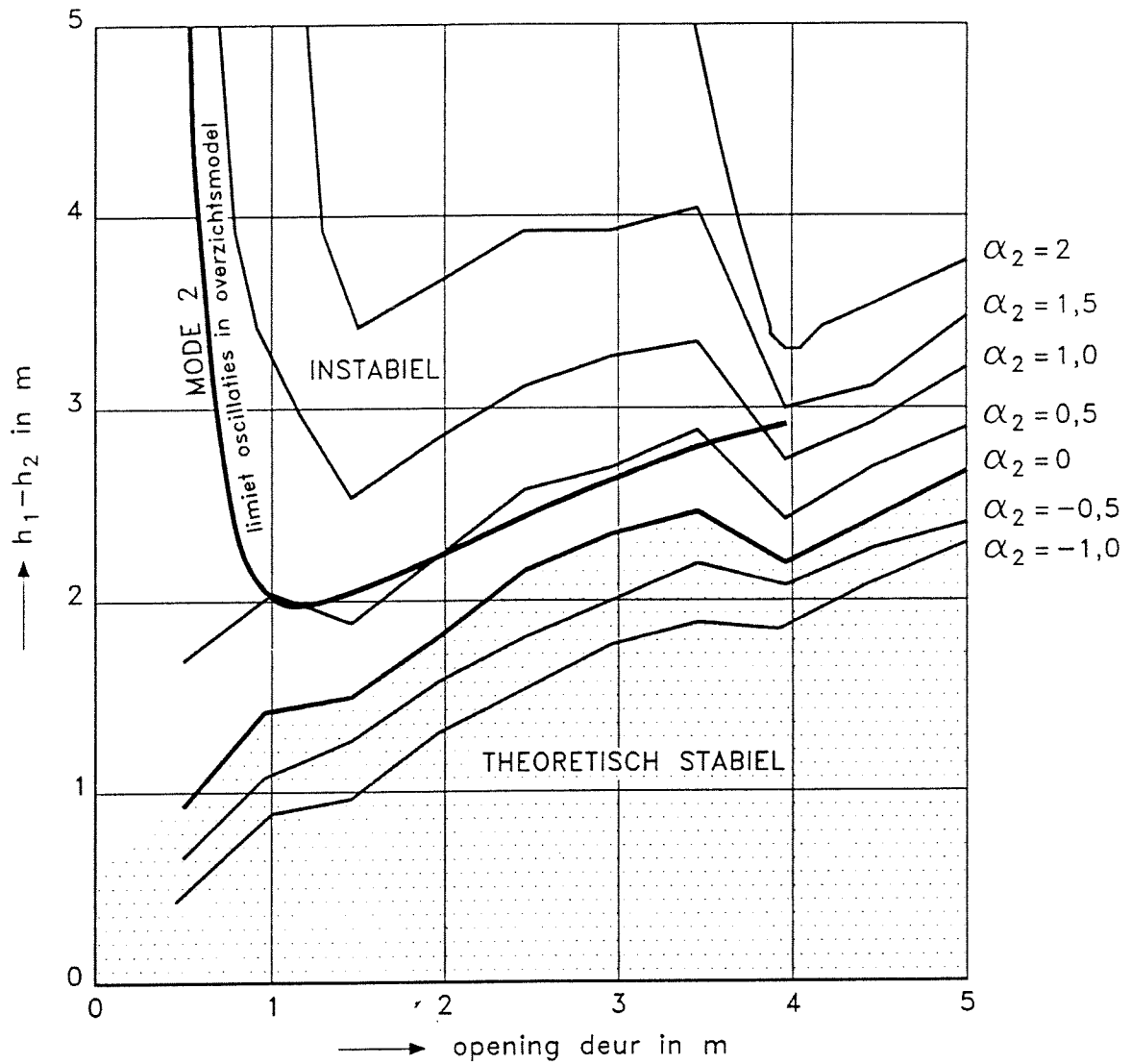
BENEDENSTROOMS



BOVENSTROOMS

BEREKENDE  $\alpha$ -WAARDEN, PROEVENSERIE E,  
 STROMING RIVIER  $\rightarrow$  ZEE, GEEN SEDIMENT

STABILITEIT BENEDENSTROOMS



VERGELIJKING ALPHA-WAARDEN MET BEGIN  
OSCILLATIES OVERZICHTSMODEL "DEFINITIEF" ONTWERP  
Q 1140, POS. VERVAL, GEEN SEDIMENT

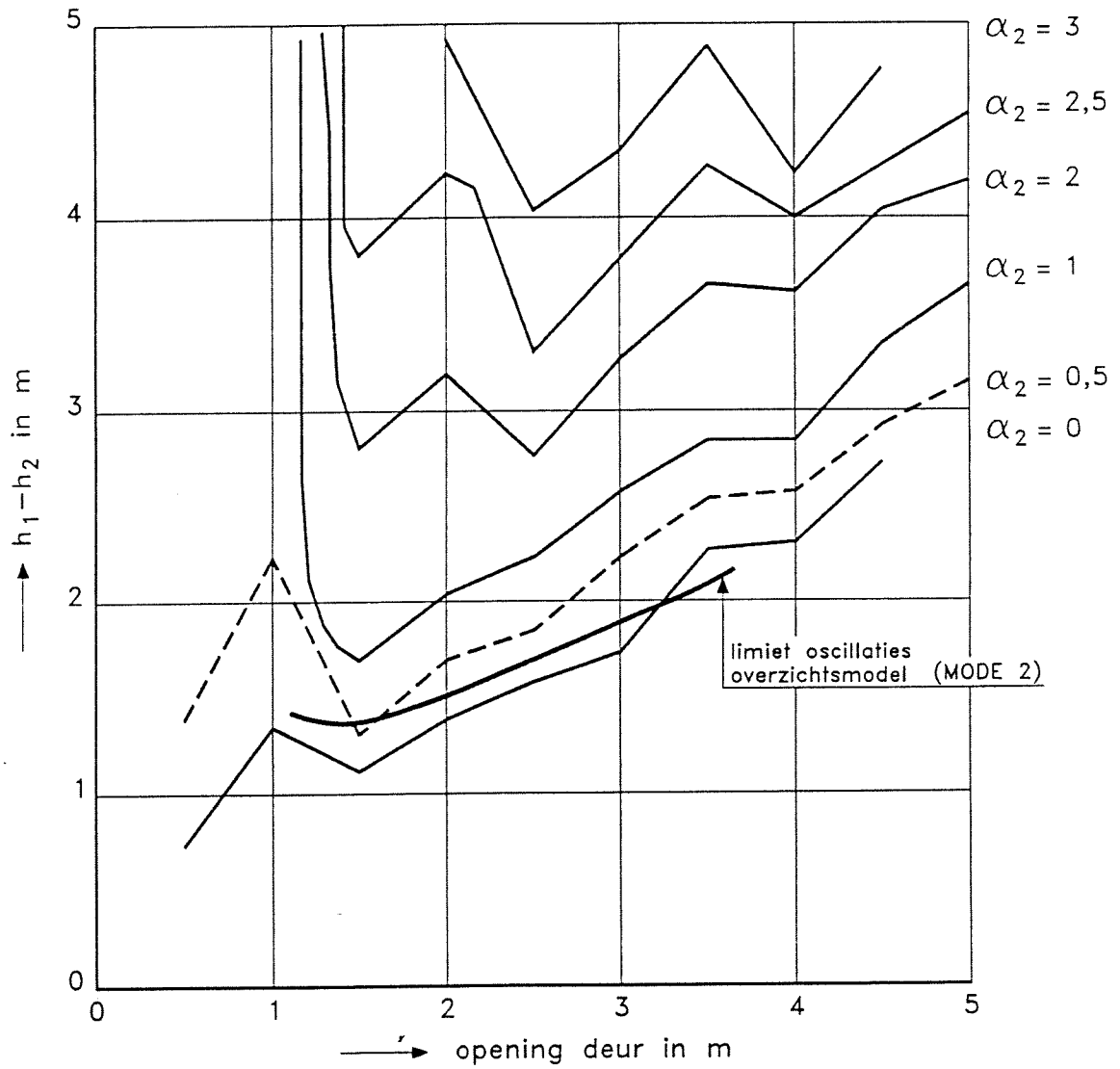
ZEE → RIVIER

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 43a

STABILITEIT BENEDENSTROOMS



VERGELIJKING ALPHA-WAARDEN MET BEGIN  
OSCILLATIES OVERZICHTSMODEL "DEFINITIEF" ONTWERP  
Q 1140, POS. VERVAL, MET SEDIMENT

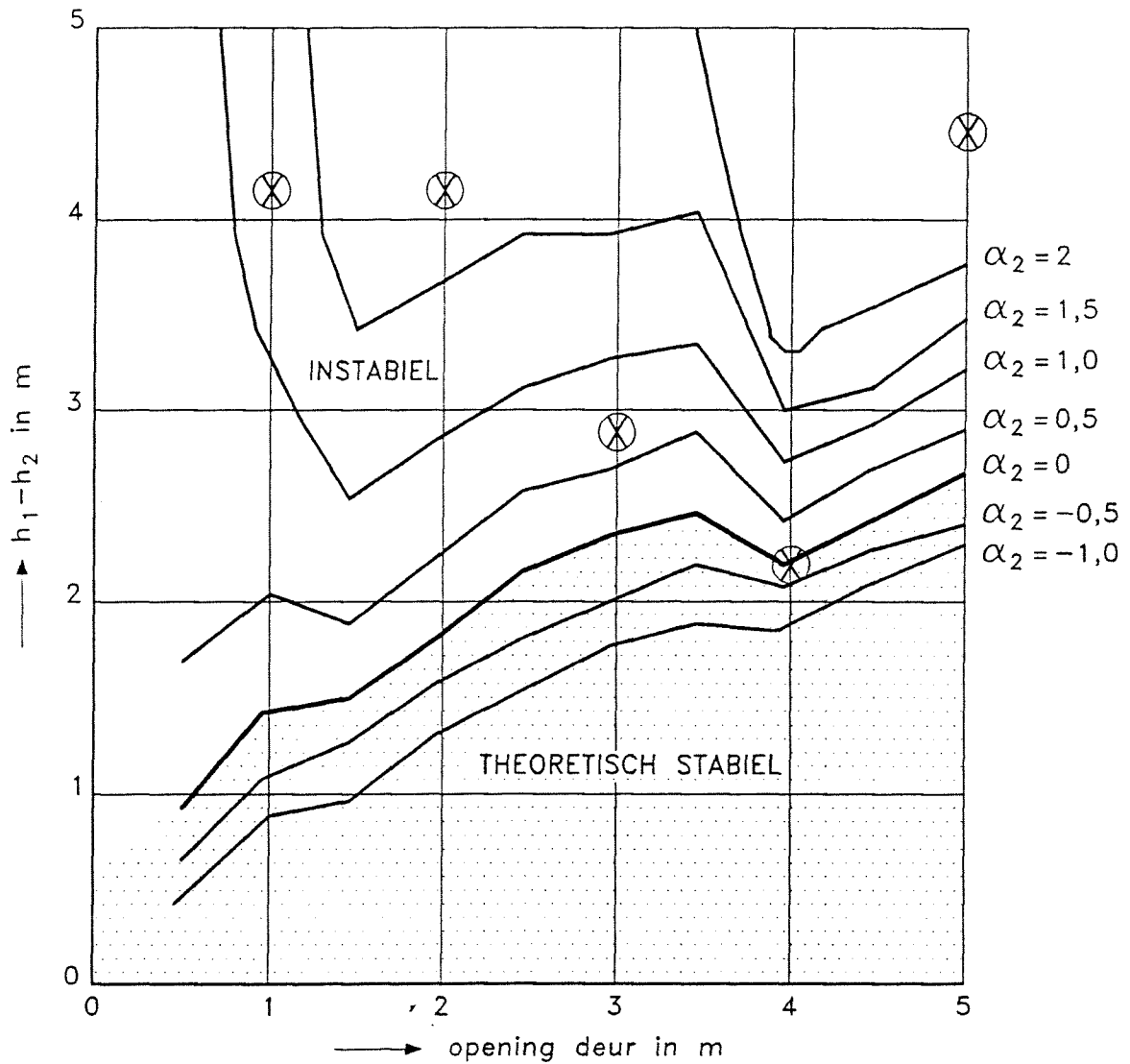
ZEE → RIVIER

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 43b

STABILITEIT BENEDENSTROOMS



⊗ zijn punten waarbij in overzichtsmodel geen oscillaties optraden bij 1 deur op bodem.

(variant op MODE 2)

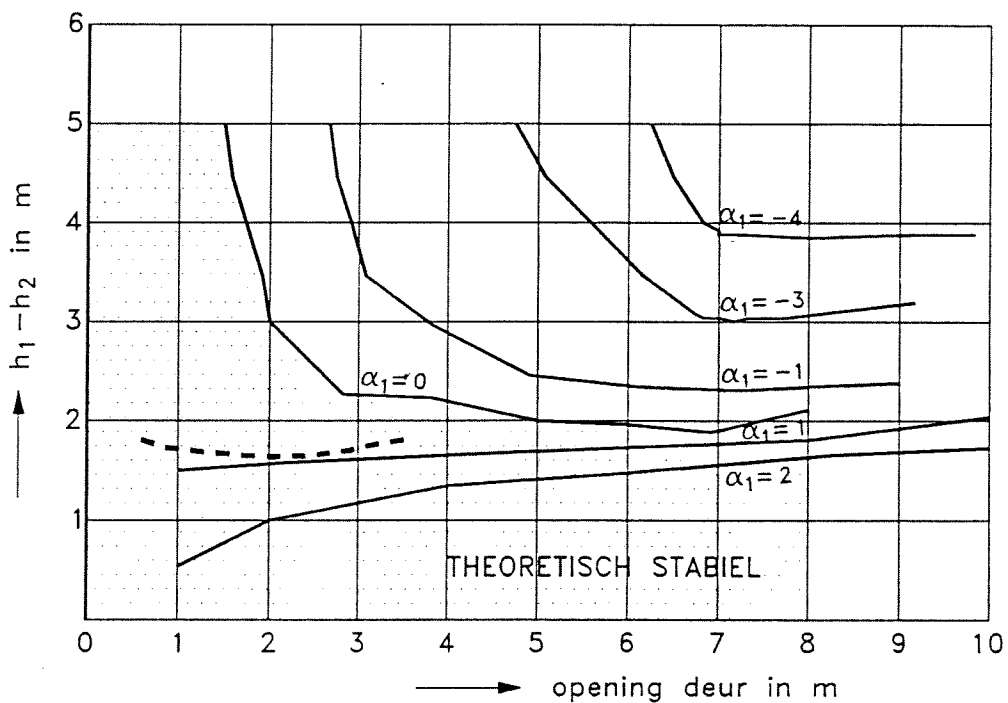
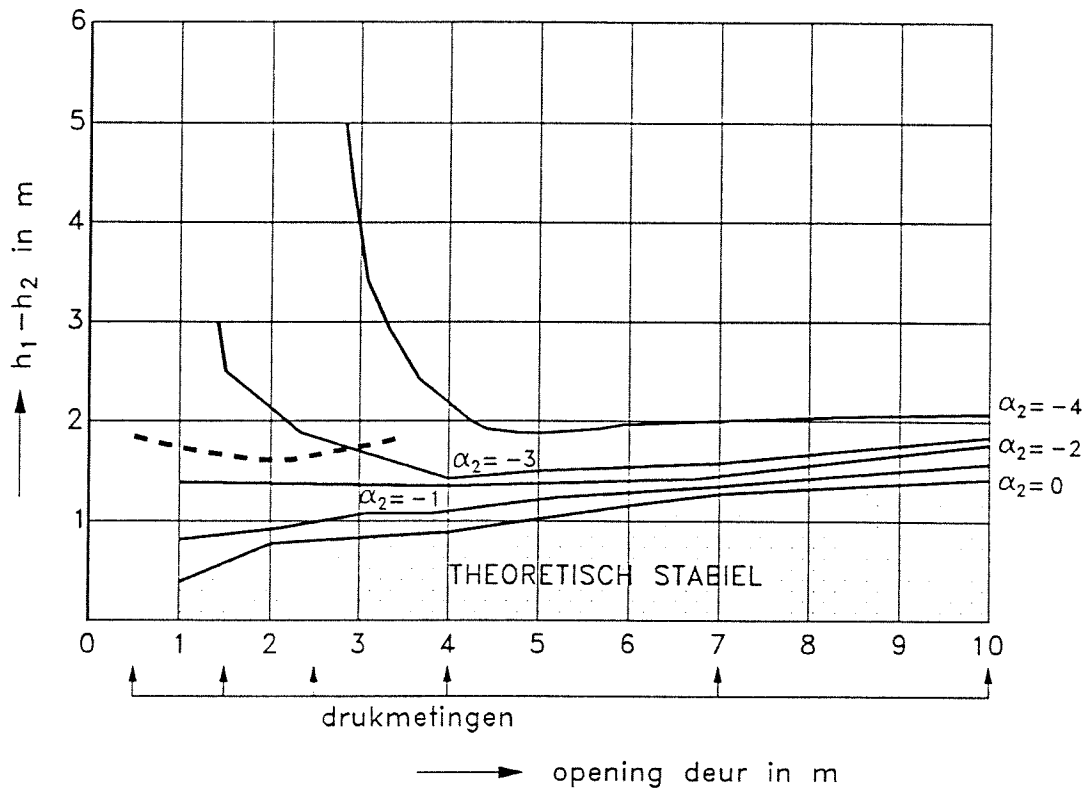
VERGELIJKING ALPHA-WAARDEN MET BEGIN  
OSCILLATIE OVERZICHTSMODEL "DEFINITIEF" ONTWERP  
Q 1140, GEEN SEDIMENT  
BIJZONDERHEID: 1 DEUR OP BODEM

ZEE → RIVIER

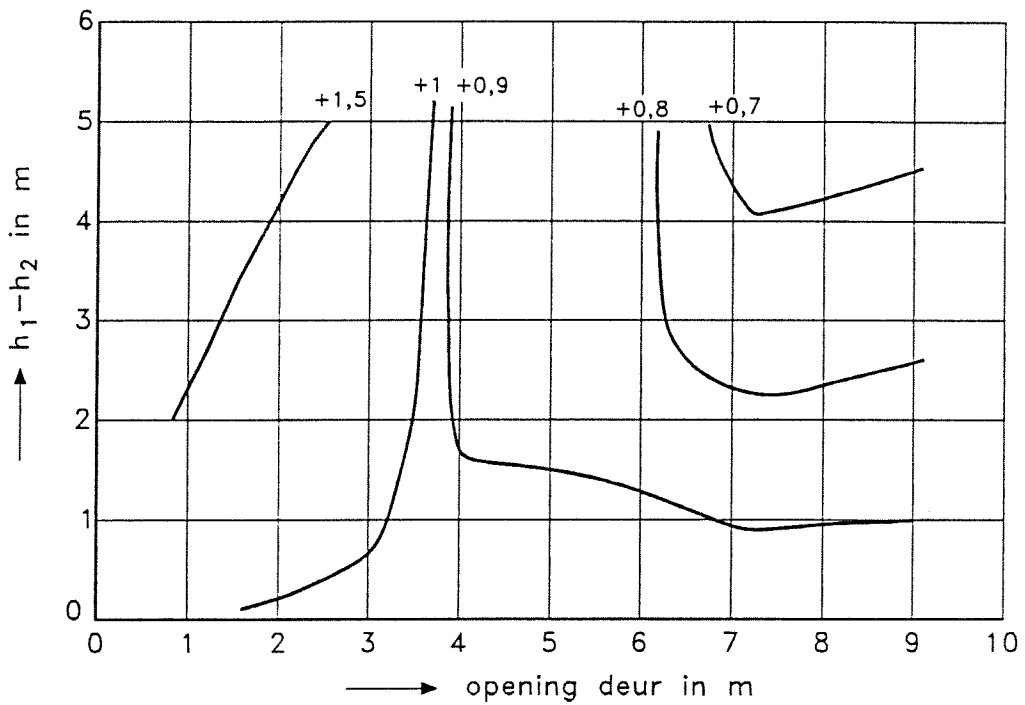
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 44



VERGELIJKING ALPHA-WAARDEN BIJ NEGATIEF VERVAL,  
VAR. 5 (OVERZICHTSMODEL) EN VAR. 7 (SECTIEMODEL)  
BIJ EXPERIMENTELE LIJN MODE 3

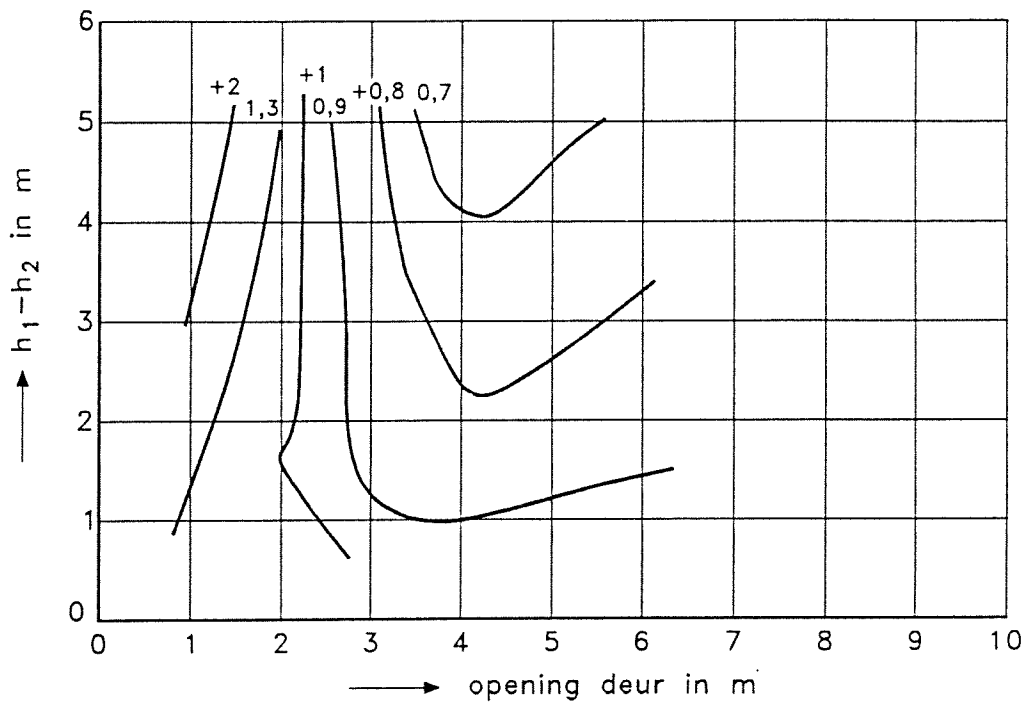


STATISTISCHE STABILITEIT, PROEVENSERIE A,  
 STROMING ZEE → RIVIER, GEEN SEDIMENT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 46



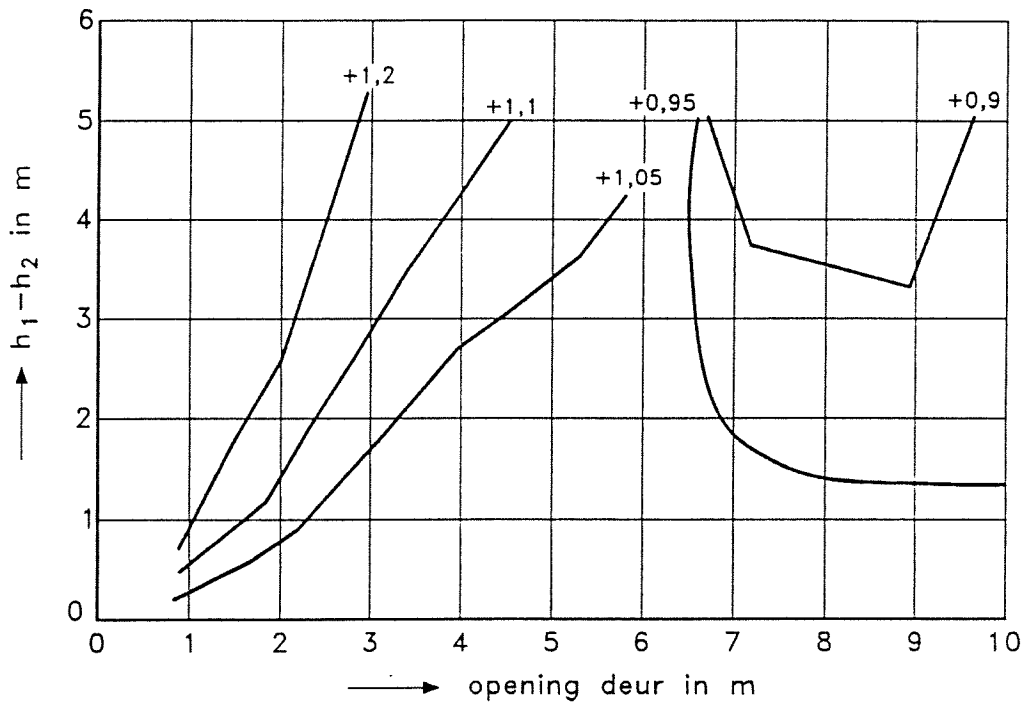
+ = stabiel

STATISTISCHE STABILITEIT, PROEVENSERIE B,  
STROMING ZEE → RIVIER, WEL SEDIMENT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 47



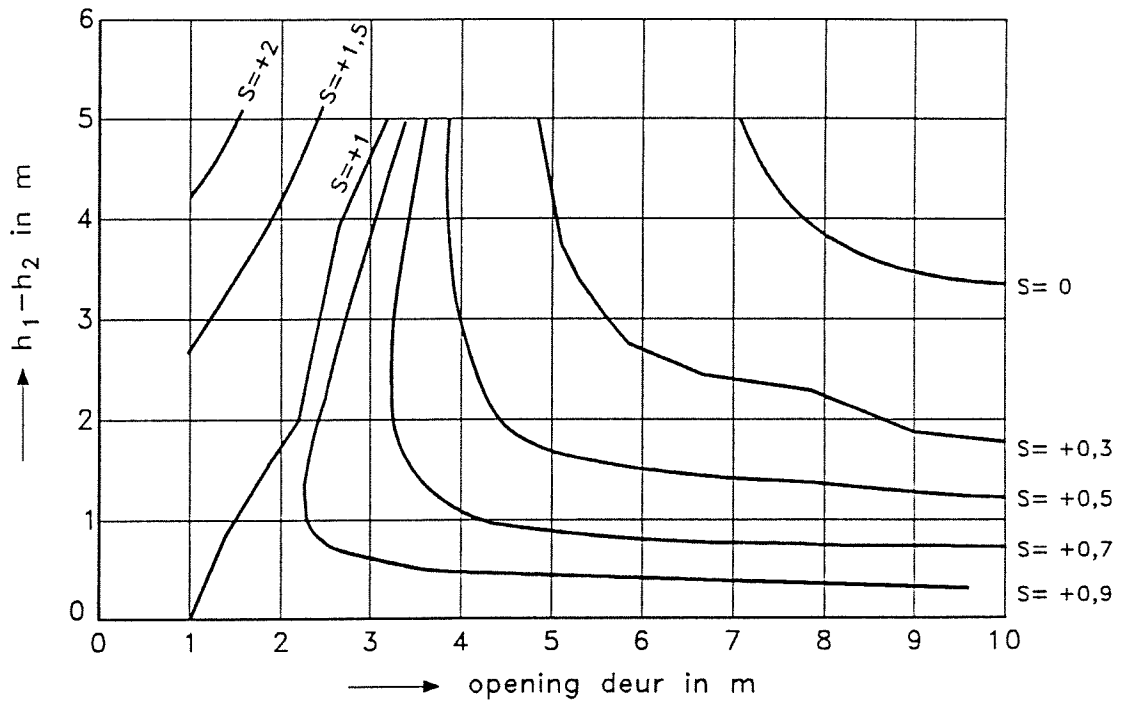
+ = stabiel

STATISTISCHE STABILITEIT, PROEVENSERIE C,  
STROMING ZEE → RIVIER, GEEN SEDIMENT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 48

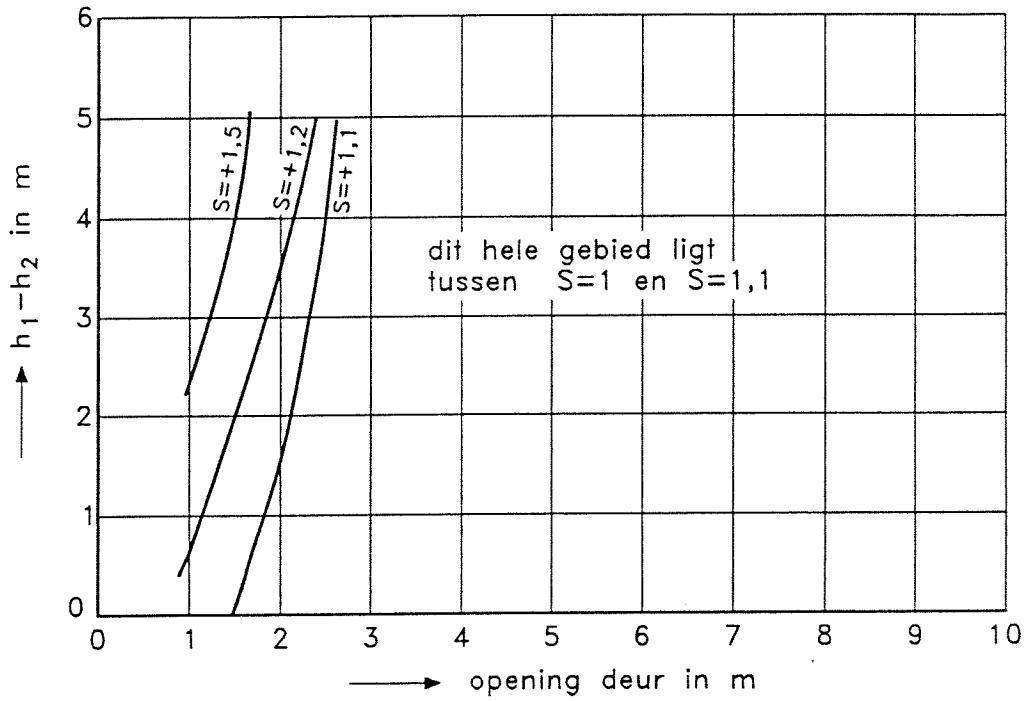


STATISTISCHE STABILITEIT, PROEVENSERIE C,  
 STROMING RIVIER  $\rightarrow$  ZEE, GEEN SEDIMENT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 49



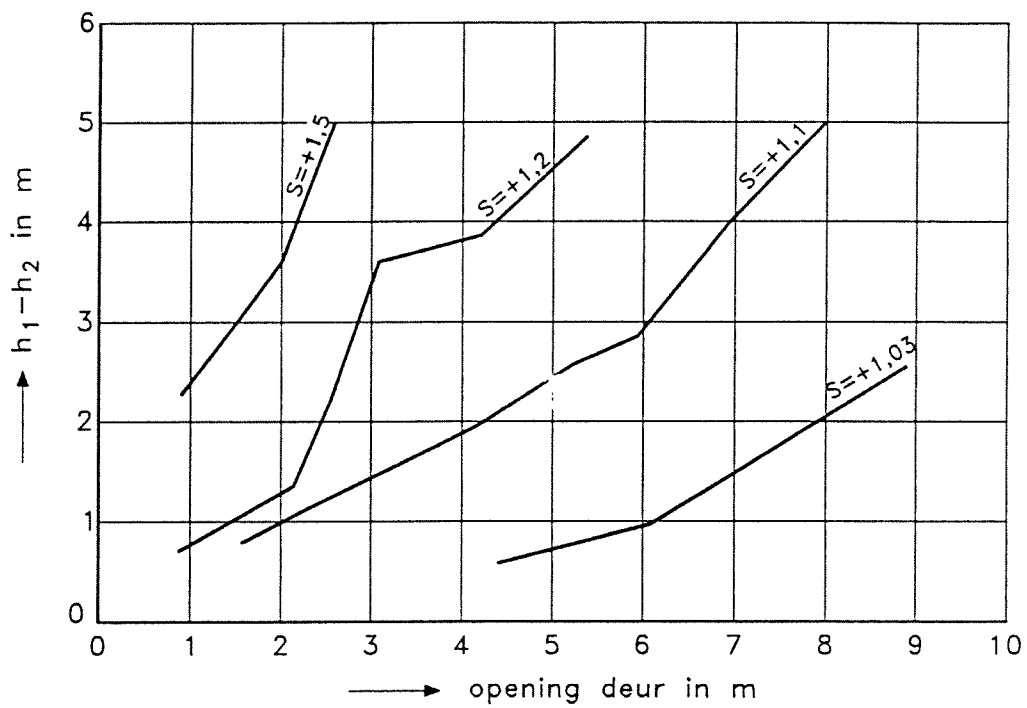
+ = stabiel

STATISTISCHE STABILITEIT, PROEVENSERIE D,  
STROMING ZEE → RIVIER, MET SEDIMENT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 50



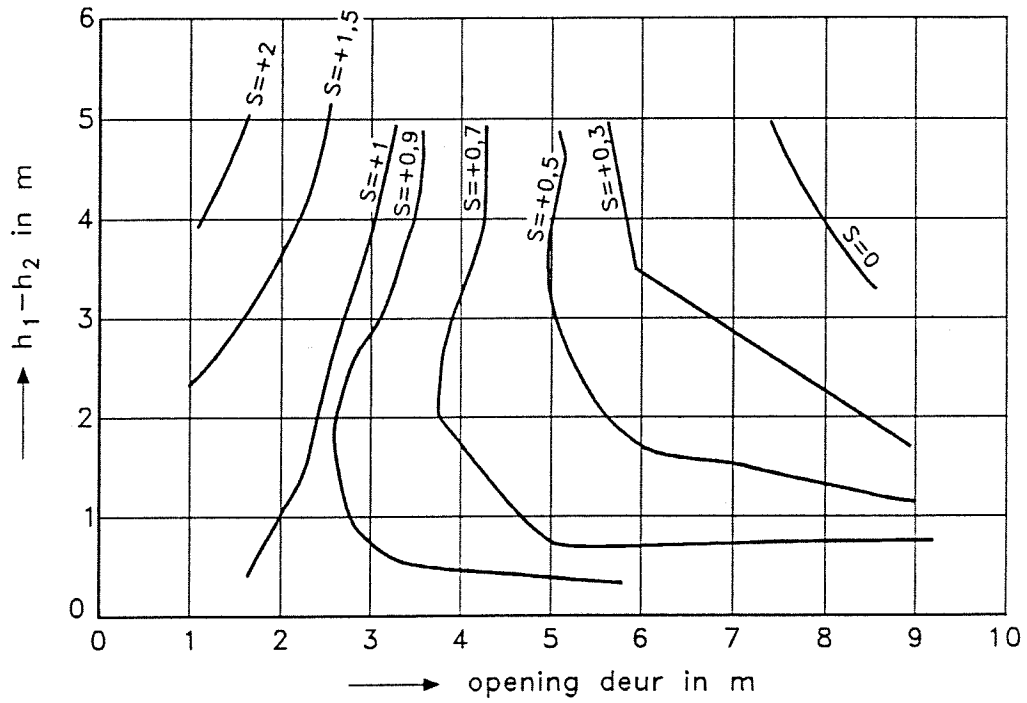
+ = stabiel

STATISTISCHE STABILITEIT, PROEVENSERIE E,  
STROMING ZEE → RIVIER, GEEN SEDIMENT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 51

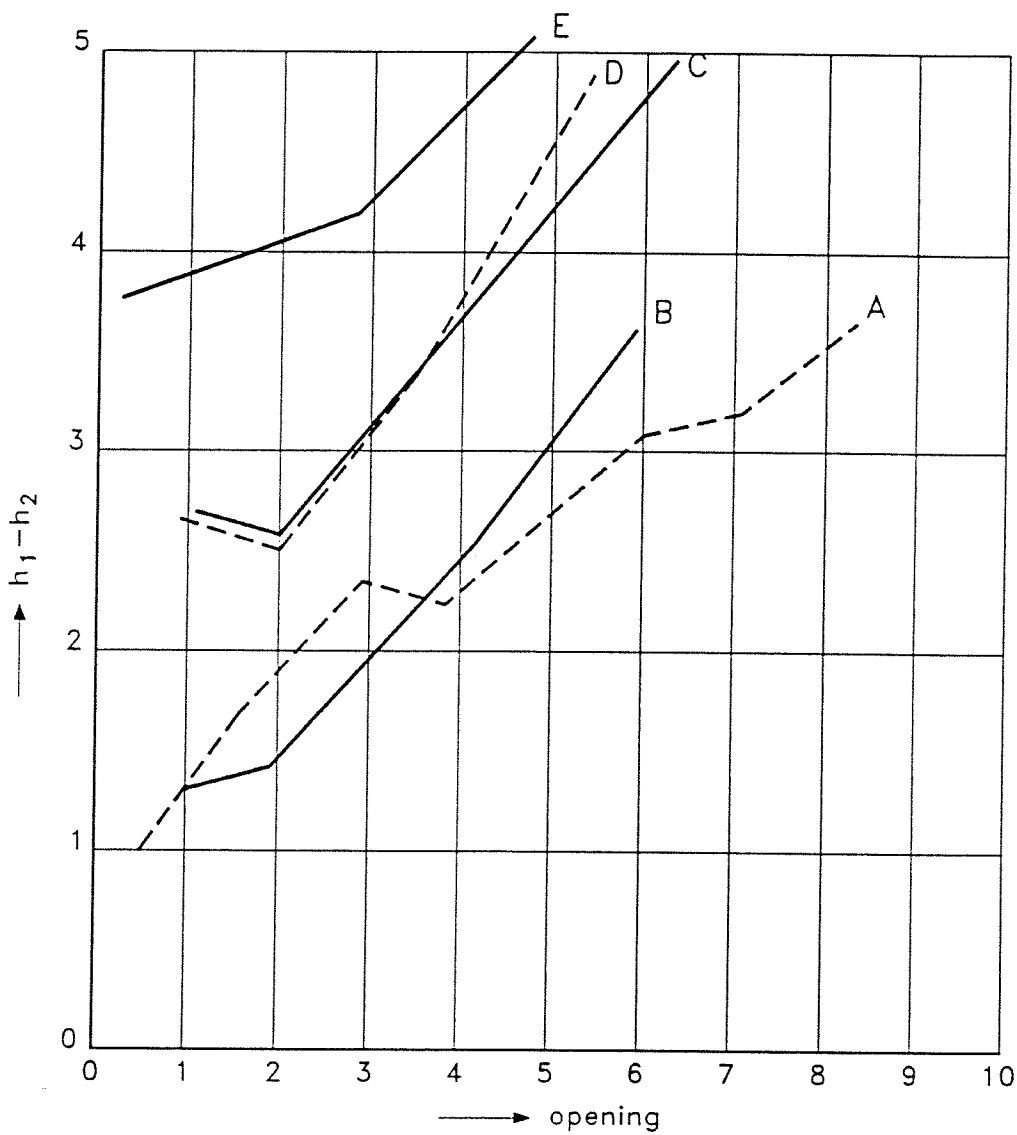


STATISTISCHE STABILITEIT, PROEVENSERIE E,  
STROMING RIVIER → ZEE, GEEN SEDIMENT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

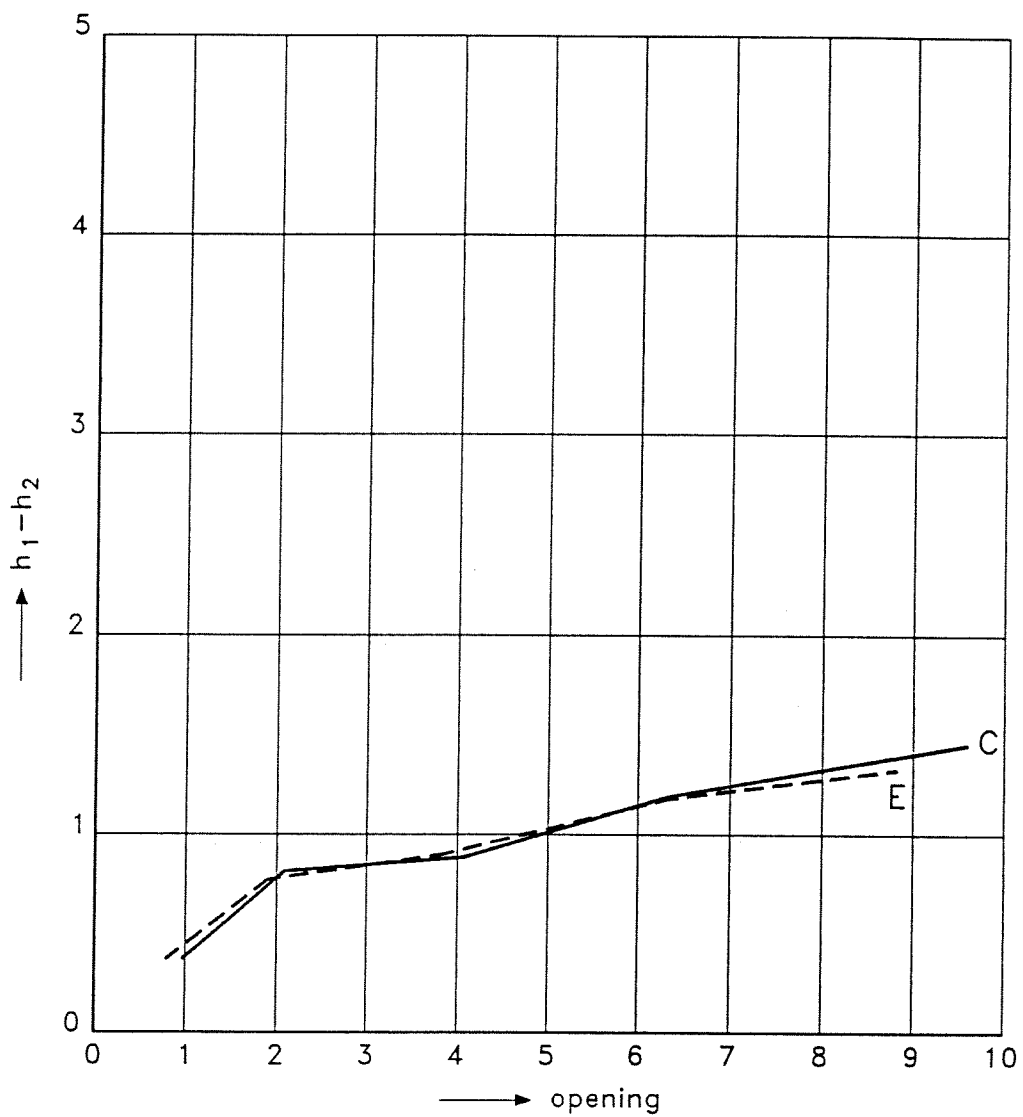
Q 1271

FIG. 52



- A = scherpe rand op knik (0,6m hoog), "definitief" ontwerp Q1140
- B = idem met sediment
- C = 1m brede rand (1,35m hoog), variant 7
- D = idem met sediment
- E = scherpe rand (1,35m hoog) 1m naar rivierzijde verplaatst, variant 8

IN KAART GEBRACHT ALPHA = 0  
 VOOR ALLE PROEVEN STROMING ZEE → RIVIER



C = 1m x 1,35m rand, variant 7

E = scherpe rand (1,35m) 1m naar rivierzijde verplaatst, variant 8

IN KAART GEBRACHT ALPHA = 0  
 VOOR ALLE PROEVEN STROMING RIVIER → ZEE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 54

Bijlage 1: Artikel te presenteren op het congres van <sup>de</sup>International Association  
for Hydraulic Research (IHAR), Sept. '91 in Madrid

SELF-EXCITATED OSCILLATIONS OF A FLOATING GATE  
RELATED TO THE GATE DISCHARGE CHARACTERISTICS

A.D. Bakker, Consultant for the Maeslant-Barrier Contracting Combination  
T.H.G. Jongeling DELFT HYDRAULICS,  
P.A. Kolkman, DELFT HYDRAULICS and  
University of Technology DELFT, The Netherlands  
Yan Shi Wu, Nanjing Hydraulic Research Institute, P.R. of China

Summary

The large-amplitude oscillation that was observed in a scale model of a 360 m wide storm-surge barrier with two floating sector gates, was found to be coupled to transverse (standing-wave) water level oscillations in the downstream (river side) reach. A simplified theoretical model was conceived in which the downstream reach at each of the gates was replaced by a(n) (enclosed) basin with a free-water surface, connected by a conduit to water outside the basin. This basin/conduit system has a resonance frequency equal to the standing long wave. The feeding discharge of the basin (underneath the gate) was supposed to have a linear relation to the water-level variation in the basin. It is shown that if the ratio of these two elements is positive, a self-excitation of the basin may occur; otherwise the oscillation damps out. This criterion for self-excitation has probably a more general applicability.

Introduction

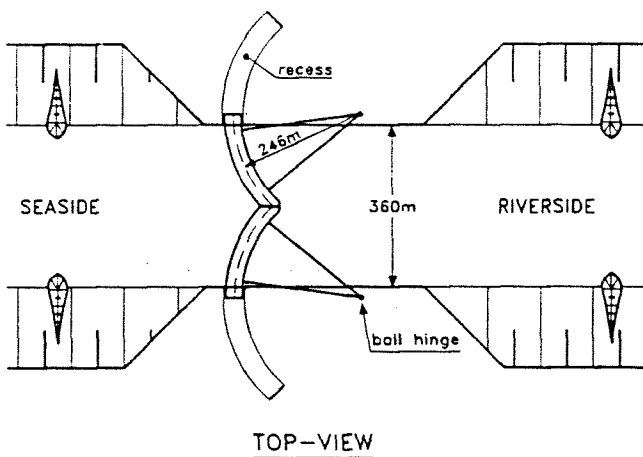
A large-size storm-surge barrier will be constructed in the Nieuwe Waterweg to protect Rotterdam and its hinterland. At closure two floating sector-gates (210 m long, 22 m high, radius 246 m) will be brought into the river whereafter the gates will be immersed by filling with water. They will rest on a flat sill consisting of concrete blocks. Horizontal forces are brought to a ball-hinge in the abutments by 240 m-span arms, (Fig. 1). Lifting occurs when water is pumped out. The design head-difference over the gates is about 4 m "from sea to river" and 0.5 m "from river to sea". In an overall scale model, scale 1:60, and in a 1:50 scale section model the fully controlled lowering and lifting of the gate under flow conditions was studied. The gates have a wide floating box at the lower side (allowing a shallow gate recess) and a smaller body at the upper side (to reduce water volume which has to be pumped out). The studied gate sections were L-shaped (Fig. 2).

The scale models showed several tendencies for instability, depending on the shape of the gate section. These instabilities are:

1. A static instability may occur in the case that the horizontal box of the L-shape is directed against the flow (that is with a flow from river to sea). When closed a little, the gate discharge decreases. Now the head difference over the gate increases because a long translatory wave is produced up- and downstream of the gate. Due to the L-shape, this will result in an enlarged suction which tends to destabilize the gate.

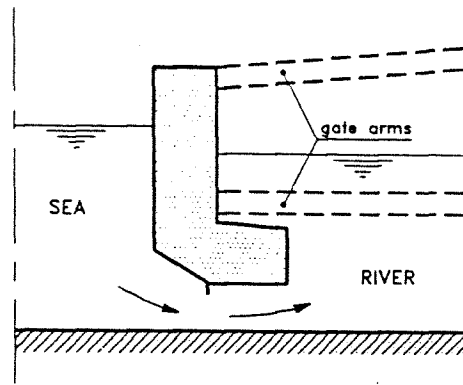
2. A vertical oscillation at a small gate opening can occur in the case of flow from sea to river, having a period of 7-12 s which is the resonance period of the floating gate in still water.
3. A coupled vertical oscillation of the two gates is observed. At the moment that one gate goes up the other gate goes down. The resonance period is about 60 s (flow from sea to river), which corresponds to the period of a standing wave between the abutments and around the gates (Figure 3).
4. A similar oscillation occurs with "river to sea" conditions. The gates now rotate around their mid-gate radius. The period is now 30 s, corresponding to the second harmonic standing wave period at the sea side.

This paper concentrates on instability no. 3 which is an important and new phenomenon and it produces very large gate oscillations, up to 6 m double amplitude.



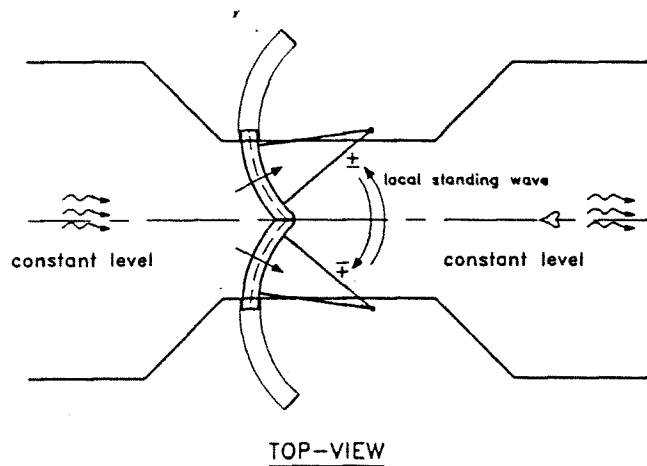
TOP-VIEW

FIG. 1 PLAN



VERTICAL SECTION

FIG. 2 VERTICAL GATE SECTION



TOP-VIEW

FIG. 3 TRANSVERSE TRANSLATORY WAVE

### Detailed description of instability no. 3

This two-gate oscillation was observed in the situation that the gate was lowered because of a rise in sea level. The features were:

- a purely incremental amplitude of the gate oscillation; after 20-100 periods the equilibrium amplitude was reached.
- a strong transverse water-level oscillation at the river-side basin between the abutments,
- a gate movement being synchronous and in phase with the downstream water-level oscillation,
- almost no wave radiation further downstream (obviously the momentary increase in discharge of one gate is compensated by a decrease at the other gate),
- the upstream basin (sea side) showed no wave radiation and no local oscillations.

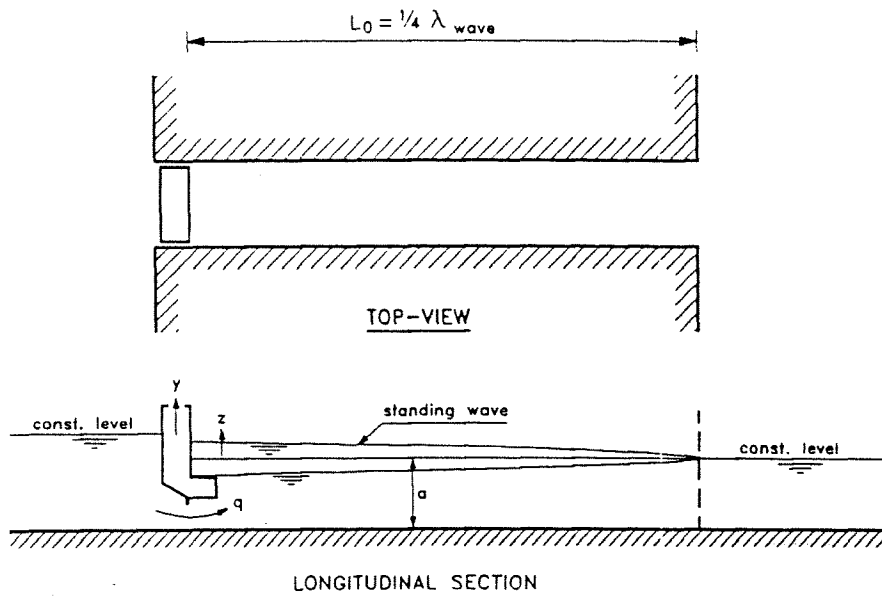


FIG. 4 CONCEPT OF STANDING WAVE MODEL

### Development of a theoretical model

Starting from the conditions which were observed in the scale model it was feasible to schematize the upstream (seaside) basin as a constant water-level basin and the downstream basin as one of limited length, disconnected from the river. In this conceptual model the downstream basin still connects the two gates, and the transverse standing wave between the gates can also occur here. The gate opening of each of the gates forms the connection between the up- and downstream basin. Due to symmetry (no water-level variation in the heart-line of the river) the downstream basin can be split up in two basins, one at each gate. The length of each basin then will be equal to about half the distance between the abutments.

The new conditions are that at one end of such a basin a constant water level can be assumed (that is the place where the forementioned line of symmetry was located) and again upstream of the gate the water level is also constant. Now one obtains the schematisation of Fig. 4. The gate can move up- and downward,

depending on the variation of water levels. The oscillation of the water level near the gate will be periodical and incremental or decremental. The gate displacement is to a more or less degree coupled to the local downstream water level oscillation. Because the oscillation time of a single floating gate at still water (about 10 s) is six times lower than the observed wave oscillation time (about 60 s), there will be theoretically no phase shift between the water level fluctuation and the gate movement.

The downstream basin length ( $L_0$ ) of this theoretical model is one quarter of the full wave length so with a water depth  $a=17$  m and  $T=60$  s the length  $L_0$  becomes

$$L_0 = T\sqrt{ga}/4 \approx 200 \text{ m} \quad (1)$$

This is quite in agreement with half the distance between the abutments (see Fig. 1).

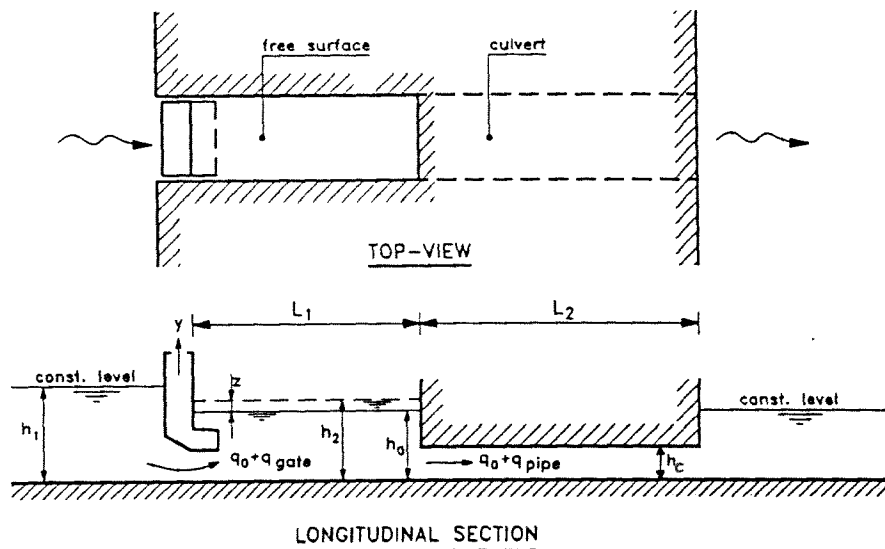


FIG. 5 CONCEPT OF ENCLOSED BASIN WITH CULVERT

Because this model was considered to be less suited for a direct quantitative analysis, a second step of simplification has been made. This enabled a simple analytical solution of the equations.

The standing-wave basin of Fig. 4 is replaced by an enclosed basin connected by a conduit (or a tube) to infinite water (Fig. 5). This is also an oscillating basin wherein, apart from the gate discharge, two equations govern the dynamic behaviour:

1. Continuity equation of the basin (all terms per unit width):

$$\frac{dz}{dt} L_1 = -q_{\text{pipe}} = -v_{\text{pipe}} h_c \quad q_{\text{gate}} = 0 \quad (2)$$

( $z$  = momentary water level elevation,  $q_{\text{pipe}}$  = discharge,  $v_{\text{pipe}}$  = water velocity in the culvert,  $h_c$  = culvert height,  $L_1$  = basin length,  $L_2$  = culvert length).

2. Equation of fluid motion (related to pipe flow inertia and leaving out wall friction and other losses):

$$\rho L_2 \left( \frac{dv}{dt} \right)_{\text{pipe}} = \rho g z \quad (3)$$

If there is no discharge under the gate the two equations (2) and (3) combine to

$$\frac{L_1}{h_c} \frac{d^2 z}{dt^2} + \frac{g}{L_2} z = 0 \quad (4)$$

This equation is classical for a second order dynamical system, such as for a mass-spring system, without damping. Its resonance period equals:

$$T = 2\pi \sqrt{L_1 L_2 / h_c g} \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{mC}} \quad T = \frac{2\pi}{\omega_0} \quad (5)$$

$L_1$  has been chosen such that compared with the condition of Fig. 4 the same volume of water is stored when the water level set-up near the gate is  $z_g$ . This results in:

$$L_1 = L_0 \frac{2}{\pi} \quad (6)$$

$L_0$  follows from eq. 1. When the conduit height is (arbitrary) chosen equal to the downstream water depth (17 m) and introducing the condition of a correct resonance period, one obtains with eq. (5) and (6):

$$L_1 = L_2 = L_0 \frac{2}{\pi} = \frac{T \sqrt{ga}}{2\pi} \quad (7)$$

Now both  $L_1$  and  $L_2$  become about 130 m.

Additional to the basic equations (2) and (3) also the discharge relation of the gate is introduced. The discharge per unit width can be described in terms of:

$$q = m d \sqrt{2g(h_1 - h_2)} = q_0 + q_{\text{gate}} \quad (8)$$

( $m$  = discharge coefficient,  $h_1$  = upstream water depth,  $h_2$  = downstream water depth,  $d$  = gate opening). The upstream water level  $h_1$  is constant; the downstream water level is defined as  $h_2 = h_0 + z$ .

When the gate opening  $d$  of the floating gate is (more or less) coupled to the downstream water level  $h_2$ , a raise  $dz$  of the downstream water level will cause a ~~an~~ <sup>variation</sup> in discharge of  $dq$ :

$$dq = \frac{\partial q}{\partial h_2} dz + \frac{\partial q}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial z} dz + \frac{\partial q}{\partial m} \frac{\partial m}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial z} dz \quad (9)$$

When one supposes that  $m$  is only slightly variable with the gate opening then equations (8) and (9) combine to:

$$dq = -\frac{1}{2} md \frac{\sqrt{2g}}{\sqrt{h_1 - h_2}} dz + m\sqrt{2g(h_1 - h_2)} \frac{\partial d}{\partial z} dz \quad (10)$$

The relation between  $dq$  and  $dz$ , found with equation (10), is now simplified into

$$dq = \alpha dz, \quad \alpha = -\frac{1}{2} md \frac{\sqrt{2g}}{\sqrt{h_1 - h_2}} + m\sqrt{2g(h_1 - h_2)} \frac{\partial d}{\partial z}, \quad h_2 = h_0 + z \quad (11)$$

Assuming small disturbances of the gate opening and of the downstream water level, equation (11) can, using the notation of Fig. 5, be replaced by:

$$q_{\text{gate}} = \alpha z \quad (12)$$

From (10) it can be observed that  $\alpha$  may be positive or negative, depending on the head difference ( $h_1 - h_2$ ) and on the magnitude of the coupling of the gate with the downstream water-level, ( $\partial d / \partial z$ ).

The reformulated equations for the gate-basin-pipe system

The continuity equation (2), the pipe flow equation (3), and the gate equation (12), are now reformulated:

$$q_{\text{pipe}} = q_{\text{gate}} - L_1 dz/dt \quad (13)$$

$$\left(\frac{dq}{dt}\right)_{\text{pipe}} = h_c \left(\frac{\partial v}{\partial t}\right)_{\text{pipe}} = \frac{gh_c}{L_2} z \quad (14)$$

$$q_{\text{gate}} = \alpha z \quad (15)$$

When equations (13) and (15) are introduced in (14) to eliminate  $q_{\text{pipe}}$  and  $q_{\text{gate}}$  one obtains:

$$\frac{L_1}{h_c} \frac{d^2 z}{dt^2} - \frac{\alpha}{h_c} \frac{dz}{dt} + \frac{g}{L_2} z = 0 \quad \text{damping: } \frac{d\alpha}{dt} = 0 \quad (16)$$

This again is the classical second order equation, but now with a damping term. The term  $\alpha/h_c$  determines whether the system is positively or negatively damped.

Negative damping means that the gate is unstable and that self-excitation occurs. This is the case if

$$\alpha > 0 \quad (17)$$

$\alpha$  is directly proportional to the degree of self-excitation.

Because there are in reality energy losses caused by wave dissipation and other losses, there is a certain magnitude of  $\alpha$  necessary to overcome these losses.

Now the following procedure has been followed in the analysis. The uplift force acting on the gate was measured in a two-dimensional model at all relevant combinations of water level and gate position. A part of the uplift force is related to the submerged volume (related to the downstream water level) and a part is proportional to the head difference. Both magnitudes are a function of the gate opening. These functions were introduced in a computer program wherein the gate position can be found when the weight of the gate (the rate of filling) and the two water levels are known.

Now, assuming an initial change of the downstream water-level, the resulting change of gate position is assessed, and knowing the discharge coefficient (also a function of the gate opening) the change in discharge is calculated. All elements are then obtained to calculate  $\alpha$ .

The values of  $\alpha$  are mapped, at a range of head differences and gate openings. In figure 6 a few lines with constant  $\alpha$  values are drawn. Also presented is the line, found in the overall model of the barrier, which presents for the same gate section the experienced onset of vibrations. By comparison of the two results it can be estimated which  $\alpha$  is minimally needed to compensate for the energy losses by dissipation of waves etc. It is found that  $\alpha$  has to be at least greater than about 0.5 before self-excitation starts. Computations were thereafter performed for different gate sections and bottom profiles.

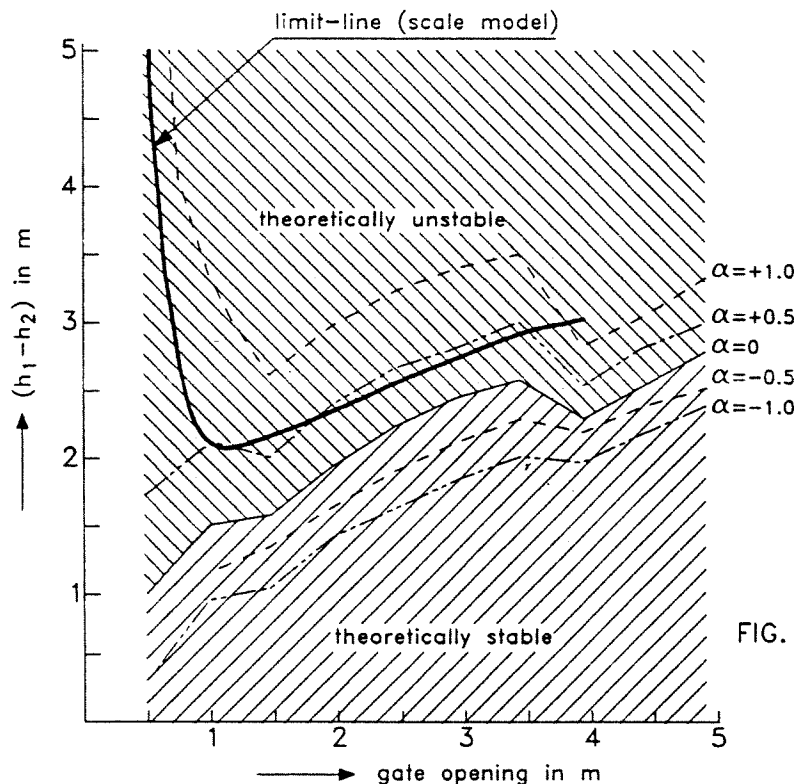


FIG. 6  $\alpha$  VALUES COMPARED WITH EXPERIENCED OSCILLATIONS

#### Computations in the time domain

A proof still had to be found why the upstream basin remained without oscillations, computations have been carried out with a similar system as shown in Fig. 5 but now also with a basin upstream of the gate. This basin had a resonance period of 30 s.

The discharge relation of the gate was now expressed as

$$q_{\text{gate}} = \alpha_1 z_{\text{upstr}} + \alpha_2 z_{\text{downstr}} \quad (18)$$

The rate of amplification is expressed in terms of the dimensionless damping factor  $\gamma$

$$\gamma = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{z_n}{z_{n+1}} \quad (19)$$

The description of the computation model (in the time domain) is out of the scope of this paper. This model, based upon Euler's method (first order accuracy) was first calibrated, because always (related to the chosen time step) an error in  $\gamma$  is produced.

Because all equations are linear, the tested  $\alpha$  factor at one side was simply introduced as +1 or -1, and varied at the other side. Main conclusions are:

- Both basins oscillate, each in their own resonance period.
- If  $\alpha_1 < 1$  the upstream basin always oscillates and if  $\alpha_2 > 1$  the downstream basin oscillates (the latter is also in agreement with eq. (17)).
- If  $\alpha_2 = 1$  the downstream basin oscillates actively but the upstream basin will remain still when  $\alpha_1 > 0.2$ . This result, compared with the real  $\alpha_1$  and  $\alpha_2$  factors, explains completely why the basin upstream of the gate remained always still.

### Conclusion

A new type of instability has been found for underflow type of floating gates. The instability parameter can be expressed in terms of a proportionality factor  $\alpha$  between the gate discharge and downstream water level variation. The instability criterion  $\alpha > 0$  does not only apply to floating gates but potentially also to elastically suspended gates and valves where the gate opening varies by elastic deformation. But also machines like pumps or turbines sometimes show similar characteristics, especially when they turn at low efficiency. Moreover, standing waves in a pipe behave similarly as standing waves in a one-dimensional canal as shown in Fig. 4, so the application of this instability parameter is potentially wide.

Bijlage 2: Listing programma STASTAB (voor de berekening van de statische stabiliteit)

Computer: ACORN BBC-b

Taal: BBC-basic (regelnummers weggelaten) (vrij eenvoudig om te zetten in PASCAL)

```

REM:.....:
REM  program  stastab  :
REM  to determine the static stability  :
REM  :
REM  F.A.Kolkman  5 Oct.'90  :
REM  :
REM:.....:
AUTO
pr$="Static stability"
INPUT"what are celerities c1 and c2", c1, c2
c1$= STR$(c1):  c2$= STR$(c2)
pr$=pr$+ ";          c1= "+ c1$+ "          c2= "+ c2$
PROCinput
PRINT"do you want to print the input?": printinput$=GET$
IF printinput$="Y" OR printinput$="y" THEN VDU2: PRINT pr$: PROCinput: VDU3

DIM statstab_SR(number_head_differences%,10)
DIM statstab_RS(number_head_differences%,10)
DIM matrix_mu_sr(20,2):  DIM matrix_eta_sr(20,2)
DIM matrix_ksi_sr(20,2):  DIM matrix_tau_sr(20,2)
DIM matrix_mu_rs(20,2):  DIM matrix_eta_rs(20,2)
DIM matrix_ksi_rs(20,2):  DIM matrix_tau_rs(20,2)

PROCfillmatrix_mu_sr:  PROCfillmatrix_eta_sr
PROCfillmatrix_ksi_sr:  PROCfillmatrix_tau_sr
PROCfillmatrix_mu_rs:  PROCfillmatrix_eta_rs
PROCfillmatrix_ksi_rs:  PROCfillmatrix_tau_rs
PRINT"do you want to print all computations?": allcompu$=GET$
IF allcompu$="Y" OR allcompu$="y" THEN VDU2: P.'pr$: PRINT code$

FOR M%=1 TO number_head_differences%
  PRINT " "
  h1= (maximal_head_difference*M%/ number_head_differences%)+ h2
  statstab_SR(M%,0)= h1-h2:  ,statstab_RS(M%,0)= h1- h2
  FOR N%=1 TO number_openings%
    d= maximum_opening*N%/number_openings%
    statstab_SR(0,N%)= d:  statstab_RS(0,N%)= d
    PROCanalysis(d,h1,h2,L,p,r,b,alpha,c1,c2)
    statstab_SR(M%,N%)=statstab_SR
    statstab_RS(M%,N%)=statstab_RS
    PRINT "d=";d;" Dh=";(h1-h2); " statstab_SR= ";statstab_SR(M%,N%)
    PRINT " statstab_RS= ";statstab_RS(M%,N%)
  NEXT
NEXT
PROCprintmatrix_SR:  PROCprintmatrix_RS
PRINT "you want to print?": print$=GET$
IF print$="Y" OR print$="y" THEN prmat= TRUE ELSE prmat= FALSE
IF prmat THEN VDU2: PRINT pr$:" ";code$: PROCprintmatrix_SR: PROCprintmatrix_RS
VDU3
END

DEFPROCanalysis(d,h1,h2,L,p,r,b,alpha,c1,c2)
  y= d/100

```

```
Dz= (h1-h2)/100
z1= Dz/ (1+ c1/c2):          z2= -Dz/(1+ c2/c1)
```

REM here starts the computation sea to river

```
O= FNfloat_forceS_R(d,h1,h2,L,p,r,b,alpha)
q= (FNmu_sr(d/L))*d*SQR(2*g*(h1-h2))
```

```
dq_dy= ( (FNmu_sr((d+y)/L))*((d+y)*SQR(2*g*(h1-h2)) -q)/ y
dq_dz1= ( (FNmu_sr(d/L))*d*SQR(2*g*(h1+ z1 -h2)) -q)/ z1
dq_dz2= ( (FNmu_sr(d/L))*d*SQR(2*g*(h1- h2- z2)) -q)/ z2
```

```
DZ= y* dq_dy* (c1+c2)/(-c1*c2- dq_dz1*c2+ dq_dz2*c1)
Z1= DZ/ (1+ c1/c2):          Z2= -DZ/(1+ c2/c1)
dF_dy= (FNfloat_forceS_R((d+y),(h1+Z1),(h2+Z2),L,p,r,b,alpha)- O)/ y
statstab_SR= -dF_dy/(b*rho*g)
```

REM here starts the computation river to sea

```
O= FNfloat_forceR_S(d,h1,h2,L,p,r,b,alpha)
q= (FNmu_rs(d/L))*d*SQR(2*g*(h1-h2))
```

```
dq_dy= ( (FNmu_rs((d+y)/L))*((d+y)*SQR(2*g*(h1-h2)) -q)/ y
dq_dz1= ( (FNmu_rs(d/L))*d*SQR(2*g*(h1+ z1- h2)) -q)/ z1
dq_dz2= ( (FNmu_rs(d/L))*d*SQR(2*g*(h1- h2- z2)) -q)/ z2
```

```
DZ= y* dq_dy* (c1+c2)/ (-c1*c2- dq_dz1*c2+ dq_dz2*c1)
Z1= DZ/ (1+ c1/c2):          Z2= -DZ/(1+ c2/c1)
dF_dy= (FNfloat_forceR_S((d+y),(h1+Z1),(h2+Z2),L,p,r,b,alpha)- O)/ y
statstab_RS= -dF_dy/(b*rho*g)
```

ENDPROC

```
DEFFNfloat_forceS_R(d,h1,h2,L,p,r,b,alpha):  LOCAL Og, Ov1, Ov2,O
Og= rho*g*( p*L- .5*alpha*L*r+ (h2-d-p-s)*b)
Ov1=rho*g*(h1-h2)*(alpha*L- (FNeta_sr(d/L))*alpha*L- (FNksi_sr(d/L))*(1-alpha)*L)
Ov2=rho*g*(h1-h2)*(FNtau_sr(d/L))*(L-b)
O= Og+Ov1+Ov2
=O
```

```
DEFFNmu_sr(d_L)
LOCAL PP%,A,X1,X2,Y1,Y2,Y :REM mu_sr= mu_sr0+ (mu_sr1* d_L) : =mu_sr
PP%=0
REPEAT
  PP%= PP%+1: A=(d_L- matrix_mu_sr(PP%,1))*(d_L- matrix_mu_sr((PP%+1),1))
UNTIL A<=0
X1= matrix_mu_sr(PP%,1):          Y1= matrix_mu_sr(PP%,2)
X2= matrix_mu_sr((PP%+1),1):     Y2= matrix_mu_sr((PP%+1),2)
Y= Y1 + ((d_L-X1)/(X2-X1))*(Y2-Y1)
=Y
```

```
DEFFNeta_sr(d_L) : LOCAL PP%,A,X1,X2,Y1,Y2,Y
PP%=0
REPEAT
  PP%= PP%+1: A=(d_L- matrix_eta_sr(PP%,1))*(d_L- matrix_eta_sr((PP%+1),1))
```

```

UNTIL A:=0
X1= matrix_eta_sr(PP%,1):      Y1= matrix_eta_sr(PP%,2)
X2= matrix_eta_sr((PP%+1),1):  Y2= matrix_eta_sr((PP%+1),2)
Y= Y1 + ((d_L-X1)/(X2-X1))*(Y2-Y1)
=Y

DEFFNksi_sr(d_L) : LOCAL PP%,A,X1,X2,Y1,Y2,Y
PP%=0
REPEAT
  PP%= PP%+1: A=(d_L- matrix_ksi_sr(PP%,1))*(d_L- matrix_ksi_sr((PP%+1),1))
UNTIL A<=0
X1= matrix_ksi_sr(PP%,1):      Y1= matrix_ksi_sr(PP%,2)
X2= matrix_ksi_sr((PP%+1),1):  Y2= matrix_ksi_sr((PP%+1),2)
Y= Y1 + ((d_L-X1)/(X2-X1))*(Y2-Y1)
=Y

DEFFNtau_sr(d_L) : LOCAL PP%,A,X1,X2,Y1,Y2,Y
PP%=0
REPEAT
  PP%= PP%+1: A=(d_L- matrix_tau_sr(PP%,1))*(d_L- matrix_tau_sr((PP%+1),1))
UNTIL A<=0
X1= matrix_tau_sr(PP%,1):      Y1= matrix_tau_sr(PP%,2)
X2= matrix_tau_sr((PP%+1),1):  Y2= matrix_tau_sr((PP%+1),2)
Y= Y1 + ((d_L-X1)/(X2-X1))*(Y2-Y1)
=Y

DEFPROCsearch(p$):RESTORE: REPEAT: READ q$: UNTIL q$=p$: ENDPROC

DEFPROCfillmatrix_mu_sr
PROCsearch("mu_sr"): READ AA%:  matrix_mu_sr(0,1)=AA%
FOR BB%=1 TO AA%
  READ matrix_mu_sr(BB%,1): READ matrix_mu_sr(BB%,2)
NEXT
ENDPROC

DEFPROCfillmatrix_eta_sr
PROCsearch("eta_sr"): READ AA%:  matrix_eta_sr(0,1)=AA%
FOR BB%=1 TO AA%
  READ matrix_eta_sr(BB%,1): READ matrix_eta_sr(BB%,2)
NEXT
ENDPROC

DEFPROCfillmatrix_ksi_sr
PROCsearch("ksi_sr"): READ AA%:  matrix_ksi_sr(0,1)=AA%
FOR BB%=1 TO AA%
  READ matrix_ksi_sr(BB%,1): READ matrix_ksi_sr(BB%,2)
NEXT
ENDPROC

DEFPROCfillmatrix_tau_sr
PROCsearch("tau_sr"): READ AA%:  matrix_tau_sr(0,1)= AA%
FOR BB%=1 TO AA%
  READ matrix_tau_sr(BB%,1): READ matrix_tau_sr(BB%,2)
NEXT

```

amma STASTAB, blz.4

ENDPROC

DEFPROCprintmatrix\_SR

PRINT ""FLOW from SEA to RIVER"

PRINT pr\$

PRINT code\$

@%=&20308

FOR P%= number\_head\_differences% TO 1 STEP -1

head\_difference= statstab\_SR(P%,0)

S1= statstab\_SR(P%,1): S2= statstab\_SR(P%,2)

S3= statstab\_SR(P%,3): S4= statstab\_SR(P%,4)

S5= statstab\_SR(P%,5): S6= statstab\_SR(P%,6)

S7= statstab\_SR(P%,7): S8= statstab\_SR(P%,8)

S9= statstab\_SR(P%,9): S10=statstab\_SR(P%,10)

PRINT 'head\_difference, S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10

NEXT

d1=statstab\_SR(0,1): d2=statstab\_SR(0,2)

d3=statstab\_SR(0,3): d4=statstab\_SR(0,4)

d5=statstab\_SR(0,5): d6=statstab\_SR(0,6)

d7=statstab\_SR(0,7): d8=statstab\_SR(0,8)

d9=statstab\_SR(0,9): d10=statstab\_SR(0,10)

PRINT '0, d1, d2, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9, d10

@%=10

ENDPROC

DEFPROCprintmatrix\_RS

PRINT ""FLOW from RIVER to SEA"

PRINT pr\$

PRINT code\$

@%=&20308

FOR P%= number\_head\_differences% TO 1 STEP -1

head\_difference= statstab\_RS(P%,0)

S1= statstab\_RS(P%,1): S2= statstab\_RS(P%,2)

S3= statstab\_RS(P%,3): S4= statstab\_RS(P%,4)

S5= statstab\_RS(P%,5): S6= statstab\_RS(P%,6)

S7= statstab\_RS(P%,7): S8= statstab\_RS(P%,8)

S9= statstab\_RS(P%,9): S10=statstab\_RS(P%,10)

PRINT 'head\_difference, S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10

NEXT

d1=statstab\_RS(0,1): d2=statstab\_RS(0,2)

d3=statstab\_RS(0,3): d4=statstab\_RS(0,4)

d5=statstab\_RS(0,5): d6=statstab\_RS(0,6)

d7=statstab\_RS(0,7): d8=statstab\_RS(0,8)

d9=statstab\_RS(0,9): d10=statstab\_RS(0,10)

PRINT '0, d1, d2, d3, d4, d5, d6, d7, d8, d9, d10

@%=10

ENDPROC

DEFNfloat\_forceR\_S(d, h1, h2, L, p, r, b, alpha)

LOCAL Og, Ov1, Ov2, O

beta= 1-alpha

amma STASTAB. blz.5

```
Og= rho*g*( p*L- .5*alpha*L*r+ (h2-d-p-s)*b)
Ov1=rho*g*(h1-h2)*(beta*L- (FNeta_rs(d/L))*beta*L- (FNksi_rs(d/L))*(1-beta)*L- (L-b))
Ov2=rho*g*(h1-h2)*(-FNtau_rs(d/L))*(L-b)
O= Og+Ov1+Ov2
=0
```

```
DEFFNmu_rs(d_L)
LOCAL PP%,A,X1,X2,Y1,Y2,Y
PP%=0
REPEAT
  PP%= PP%+1: A=(d_L- matrix_mu_rs(PP%,1))*(d_L- matrix_mu_rs((PP%+1),1))
UNTIL A<=0: X1= matrix_mu_rs(PP%,1): Y1= matrix_mu_rs(PP%,2)
X2= matrix_mu_rs((PP%+1),1): Y2= matrix_mu_rs((PP%+1),2)
Y= Y1 + ((d_L-X1)/(X2-X1))*(Y2-Y1)
=Y
```

```
DEFFNeta_rs(d_L)
LOCAL PP%,A,X1,X2,Y1,Y2,Y
PP%=0
REPEAT
  PP%= PP%+1: A=(d_L- matrix_eta_rs(PP%,1))*(d_L- matrix_eta_rs((PP%+1),1))
UNTIL A<=0: X1= matrix_eta_rs(PP%,1): Y1= matrix_eta_rs(PP%,2)
X2= matrix_eta_rs((PP%+1),1): Y2= matrix_eta_rs((PP%+1),2)
Y= Y1 + ((d_L-X1)/(X2-X1))*(Y2-Y1)
=Y
```

```
DEFFNksi_rs(d_L)
LOCAL PP%,A,X1,X2,Y1,Y2,Y
PP%=0
REPEAT
  PP%= PP%+1: A=(d_L- matrix_ksi_rs(PP%,1))*(d_L- matrix_ksi_rs((PP%+1),1))
UNTIL A<=0
X1= matrix_ksi_rs(PP%,1): Y1= matrix_ksi_rs(PP%,2)
X2= matrix_ksi_rs((PP%+1),1): Y2= matrix_ksi_rs((PP%+1),2)
Y= Y1 + ((d_L-X1)/(X2-X1))*(Y2-Y1)
=Y
```

```
DEFFNtau_rs(d_L)
LOCAL PP%,A,X1,X2,Y1,Y2,Y
PP%=0
REPEAT
  PP%= PP%+1: A=(d_L- matrix_tau_rs(PP%,1))*(d_L- matrix_tau_rs((PP%+1),1))
UNTIL A<=0
X1= matrix_tau_rs(PP%,1): Y1= matrix_tau_rs(PP%,2)
X2= matrix_tau_rs((PP%+1),1): Y2= matrix_tau_rs((PP%+1),2)
Y= Y1 + ((d_L-X1)/(X2-X1))*(Y2-Y1)
=Y
```

```
DEFFPROCfillmatrix_mu_rs
PROCsearch("mu_rs"): READ AA%: matrix_mu_rs(0,1)=AA%
FOR BB%=1 TO AA%
READ matrix_mu_rs(BB%,1): READ matrix_mu_rs(BB%,2)
NEXT
```

amma STASTAB, blz.6

ENDPROC

DEFPROCfillmatrix\_eta\_rs

PROCsearch("eta\_rs"): READ AA%: matrix\_eta\_rs(0,1)=AA%

FOR BB%=1 TO AA%

    READ matrix\_eta\_rs(BB%,1): READ matrix\_eta\_rs(BB%,2)

NEXT

ENDPROC

DEFPROCfillmatrix\_ksi\_rs

PROCsearch("ksi\_rs"): READ AA%: matrix\_ksi\_rs(0,1)=AA%

FOR BB%=1 TO AA%

    READ matrix\_ksi\_rs(BB%,1): READ matrix\_ksi\_rs(BB%,2)

NEXT

ENDPROC

DEFPROCfillmatrix\_tau\_rs

PROCsearch("tau\_rs"): READ AA%: matrix\_tau\_rs(0,1)= AA%

FOR BB%=1 TO AA%

    READ matrix\_tau\_rs(BB%,1): READ matrix\_tau\_rs(BB%,2)

NEXT

ENDPROC

Bijlage 3: Invoergegevens proevenserie A en uitvoer van de rekenmodellen

Opmerking 1:

Bij de invoer is bij dit voorbeeld een extra punt bij de  $\xi$ -waarden ingevoerd om een gladder verloop van de lijn te verkrijgen (er wordt namelijk met een rechte lijnige interpolatie tussen punten gewerkt), zie ook fig. 26.

Opmerking 2:

Alle uitvoer is zodanig qua teken dat "+" altijd betekent "stabiel" en "-" is "instabiel".

# Bijlage 3, blz. 2

BIJLAGE 3: Invoergegevens proevenserie A en uitvoer van de rekenmodellen

```

DEFPROCinput
codes= "test_A1, no sediments, only sea to river! corrected mu" :PRINT'codes
rho= 1000          :REM density of water
g= 9.81           :REM acceleration of gravity
p= 6.19           :PRINT"boxheight          p= ";p
L= 15.0           :PRINT"boslength          L= ";L
alpha=.467        :PRINT"skewness length  alpha= ";alpha
h2= 17            :PRINT"depth downstream  h2= ";h2
b= 8              :PRINT"width floatbody    b= ";b
r= 4.1           :PRINT"skewness height    r= ";r
s= .6            :PRINT"edge height          s= ";s
maximal_head_difference = 5 :PRINT"maximal head_difference = ";maximal_head_difference
number_head_differences% = 5 :PRINT"number head_differences = ";number_head_differences%
maximum_opening= 7 :PRINT"maximum opening = ";maximum_opening
number_openings%= 7 :PRINT"number openings(max.10) = ";number_openings%
  
```

per berekening  
aan te passen

```

mu_sr0 = 1.0      :PRINT"disch.coeff. mu_sr0 = ";mu_sr0
mu_sr1 = 1.05     :PRINT"disch.coeff. mu_sr1 = ";mu_sr1
eta_sr0= 0        :PRINT"upstr.suction eta_sr0 = ";eta_sr0
eta_sr1= 1.6      :PRINT" ,, ,, eta_sr1 = ";eta_sr1
ksi_sr0= 0.3      :PRINT"downstr.suction ksi_sr0 = ";ksi_sr0
ksi_sr1= 2.0      :PRINT" ,, ,, ksi_sr1 = ";ksi_sr1
tau_sr0= 0        :PRINT"water level sink tau_sr0 = ";tau_sr0
tau_sr1= 1.2      :PRINT" ,, ,, tau_sr1 = ";tau_sr1

mu_rs0 = .9       :PRINT"disch.coeff. mu_rs0 = ";mu_rs0
mu_rs1 = 0        :PRINT"disch.coeff. mu_rs1 = ";mu_rs1
eta_rs0= .1       :PRINT"upstr.suction eta_rs0 = ";eta_rs0
eta_rs1= 3.96     :PRINT" ,, ,, eta_rs1 = ";eta_rs1
ksi_rs0= 0.0      :PRINT"downstr.suction ksi_rs0 = ";ksi_rs0
ksi_rs1= 1.06     :PRINT" ,, ,, ksi_rs1 = ";ksi_rs1
tau_rs0= 0        :PRINT"water level sink tau_rs0 = ";tau_rs0
tau_rs1= 0        :PRINT" ,, ,, tau_rs1 = ";tau_rs1
  
```

zee → rivier  
dummy - invoer  
gebruikt bij controle  
rekenprogramma's via  
analytische methode  
(bijlage 4)

```

PROCsearch("mu_sr"): READ p%: PRINT "mu_sr, N = "; p%: FOR q%= 1 TO p%: READ X,Y: PRINT q%," ";X," ";Y: NEXT
PROCsearch("eta_sr"): READ p%: PRINT "eta_sr, N= "; p%: FOR q%= 1 TO p%: READ X,Y: PRINT q%," ";X," ";Y: NEXT
PROCsearch("ksi_sr"): READ p%: PRINT "ksi_sr, N= "; p%: FOR q%= 1 TO p%: READ X,Y: PRINT q%," ";X," ";Y: NEXT
PROCsearch("tau_sr"): READ p%: PRINT "tau_sr, N= "; p%: FOR q%= 1 TO p%: READ X,Y: PRINT q%," ";X," ";Y: NEXT

PROCsearch("mu_rs"): READ p%: PRINT "mu_rs, N = "; p%: FOR q%= 1 TO p%: READ X,Y: PRINT q%," ";X," ";Y: NEXT
PROCsearch("eta_rs"): READ p%: PRINT "eta_rs, N= "; p%: FOR q%= 1 TO p%: READ X,Y: PRINT q%," ";X," ";Y: NEXT
PROCsearch("ksi_rs"): READ p%: PRINT "ksi_rs, N= "; p%: FOR q%= 1 TO p%: READ X,Y: PRINT q%," ";X," ";Y: NEXT
PROCsearch("tau_rs"): READ p%: PRINT "tau_rs, N= "; p%: FOR q%= 1 TO p%: READ X,Y: PRINT q%," ";X," ";Y: NEXT
ENDPROC
  
```

invoergegevens op  
schemer ter controle

fantasiepunt (zie fig. 26)

```

REM DATA "name",number, X1,Y1,.....Xnumber,Ynumber (max.20)
DATA "mu_sr", 7, 0,1.08, .0333,1.054, .0999,1.002, .167,1.018, .266,1.051, .466,1.065, 1,1.105
DATA "eta_sr", 7, 0,0, .0333,.047, .0999,.183, .167,.317, .266,.50, .466,.71, 1,1.2
DATA "ksi_sr", 8, 0,0, .0333,.20, .0667,.325, .0999,.406, .167,.52, .266,.70, .466,.89, 1,1.25
DATA "tau_sr", 7, 0,0, .0333,.03, .0999,.103, .167,.187, .266,.297, .466,.49, 1,1.00
  
```

aantal punten

reële invoer  
(zee → rivier)

REM THE river TO sea value are not yet introduced!!!!

```

DATA "mu_rs", 7, 0,.7, .0333,.755, .0999,.835, .167,.845, .266,.915, .466,.95, 1,.97
DATA "eta_rs", 7, 0,0, .0333,.205, .0999,.47, .167,.71, .266,1.045, .466,1.27, 1,4
DATA "ksi_rs", 7, 0,0, .0333,.03, .0999,.075, .167,.13, .266,.23, .466,.305, 1,1.06
DATA "tau_rs", 7, 0,0, .0333,-.035, .0999,-.035, .167,-.08, .266,-.1, .466,-.125, 1,-.4
  
```

dummy  
gegevens  
(rivier → zee)

shift of gate position test\_A1, no sediments, only sea to river! corrected mu

FLOW from SEA to RIVER  
 shift of gate position  
 test\_A1, no sediments, only sea to river! corrected mu

verval = 2 m	5.000	1.340	0.892	0.441	-0.010	-0.264	-0.519	-0.773	-1.028	0.000	0.000	bij opening = 8m en verval = 2m is opening 0,4/61m kleiner dan bij verval = 0 en gelijke beneden- waterstand
	4.000	1.175	0.784	0.388	-0.008	-0.223	-0.437	-0.652	-0.853	0.000	0.000	
	3.000	0.975	0.653	0.323	-0.006	-0.176	-0.346	-0.517	-0.665	0.000	0.000	
	2.000	0.728	0.489	0.242	-0.004	-0.125	-0.245	-0.365	-0.461	0.000	0.000	
	1.000	0.417	0.278	0.138	-0.002	-0.066	-0.130	-0.194	-0.240	0.000	0.000	
	0.000	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	0.000	0.000	

opening = 8m

FLOW from RIVER to SEA  
 shift of gate position  
 test\_A1, no sediments, only sea to river! corrected mu

5.000	-0.453	-1.057	-1.660	-2.233	-2.786	-3.347	-3.924	-4.501	0.000	0.000
4.000	-0.412	-0.961	-1.511	-2.009	-2.506	-3.027	-3.548	-4.070	0.000	0.000
3.000	-0.358	-0.836	-1.295	-1.720	-2.161	-2.610	-3.060	-3.294	0.000	0.000
2.000	-0.284	-0.663	-1.006	-1.342	-1.695	-2.047	-2.211	-2.363	0.000	0.000
1.000	-0.175	-0.404	-0.602	-0.815	-1.029	-1.114	-1.196	-1.278	0.000	0.000
0.000	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	0.000	0.000

Dit is berekend met dummy waarden!

Weergegeven is de (bij toenemende bovenwaterstand) vergroting van de opening (in m) ten opzichte van de situatie zonder verval.

alpha-coefficient with flow from SEA to RIVER test\_A1, no sediments, only sea to river!

FLOW from SEA to RIVER

Stability downstream

test\_A1, no sediments, only sea to river! corrected mu

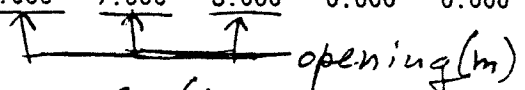
5.000	-1.252	-1.920	-1.936	-3.725	-3.270	-2.816	-3.400	-2.787	0.000	0.000
4.000	-1.127	-1.605	-1.487	-2.775	-2.158	-1.540	-1.735	-0.957	0.000	0.000
3.000	-0.904	-1.095	-0.763	-1.418	-0.567	0.286	0.561	1.575	0.000	0.000
2.000	-0.474	-0.193	0.520	0.712	1.943	3.181	4.074	5.466	0.000	0.000
1.000	0.544	1.787	3.367	4.907	6.950	9.008	10.938	13.140	0.000	0.000
0.000	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	0.000	0.000

FLOW from SEA to RIVER

Stability upstream

test\_A1, no sediments, only sea to river! corrected mu

versvalen (m)	5.000	3.365	3.855	4.008	4.139	4.649	5.165	5.671	6.186	0.000	0.000
	4.000	3.483	4.055	4.352	4.629	5.297	5.971	6.639	7.350	0.000	0.000
	3.000	3.614	4.326	4.844	5.348	6.244	7.148	8.049	9.025	0.000	0.000
	2.000	3.773	4.755	5.655	6.555	7.823	9.101	10.383	11.765	0.000	0.000
	1.000	4.081	5.748	7.492	9.277	11.343	13.425	15.520	17.728	0.000	0.000
	0.000	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	0.000	0.000



Weergegeven zijn stabiliteitswaarden  $S$  (60sec. oscillaties)

benedenstrooms :  $\alpha_2 = -S$

bovenstrooms :  $\alpha_1 = S$

Static stability; c1= 14 c2= 14 test\_A1, no sediments, only sea to river!

FLOW from SEA to RIVER

Static stability; c1= 14 c2= 14  
test\_A1, no sediments, only sea to river! corrected mu

vloed (m)	→ 5.000	2.118	1.575	1.449	0.862	0.839	0.820	0.675	0.678	0.000	0.000
	→ 4.000	1.895	1.445	1.336	0.862	0.845	0.831	0.717	0.721	0.000	0.000
	3.000	1.672	1.318	1.228	0.870	0.859	0.850	0.765	0.770	0.000	0.000
	2.000	1.449	1.197	1.129	0.887	0.882	0.878	0.823	0.829	0.000	0.000
	1.000	1.225	1.083	1.043	0.921	0.921	0.921	0.895	0.900	0.000	0.000
	0.000	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	0.000	0.000
				↑	↑	↑	↑	↑	opening (m)		

~~FLOW from RIVER to SEA~~

~~Static stability; c1= 14 c2= 14  
test\_A1, no sediments, only sea to river! corrected mu~~

5.000	1.708	1.243	1.033	0.067	0.075	0.081	1.671	1.487	0.000	0.000
4.000	1.498	1.120	0.937	0.171	0.185	0.196	1.477	1.326	0.000	0.000
3.000	1.300	1.013	0.862	0.296	0.315	0.331	1.300	1.184	0.000	0.000
2.000	1.122	0.929	0.818	0.450	0.473	0.492	1.147	1.068	0.000	0.000
1.000	0.980	0.888	0.826	0.655	0.677	0.695	1.031	0.990	0.000	0.000
0.000	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	0.000	0.000

Uitgezet zijn de waarden van de statische stabiliteit ("+" betekent stabiel).

C<sub>1</sub> en C<sub>2</sub> zijn loopsoelheids translatiegolven boven- en benedenstroom s

dischargeregelation at constant gate weight test\_A1, no sediments, only sea to river! corrected mu

FLOW from SEA to RIVER  
 dischargeregelation at constant gate weight  
 test\_A1, no sediments, only sea to river! corrected mu

verval (m)	5.000	20.007	29.407	35.406	41.543	49.463	57.437	65.467	73.540	0.000	0.000
	4.000	17.894	25.264	31.143	37.168	44.636	52.156	59.730	67.472	0.000	0.000
	3.000	15.299	20.783	26.416	32.202	39.038	45.923	52.860	60.032	0.000	0.000
	2.000	10.884	15.863	21.006	26.310	32.224	38.187	44.198	50.428	0.000	0.000
	1.000	6.319	10.234	14.346	18.612	23.064	27.554	32.081	36.740	0.000	0.000
	0.000	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	0.000	0.000
										opening (m)	

FLOW from RIVER to SEA  
 dischargeregelation at constant gate weight  
 test\_A1, no sediments, only sea to river! corrected mu

5.000	4.111	7.387	10.912	14.658	18.468	22.388	26.567	30.912	0.000	0.000
4.000	3.969	7.344	11.009	14.817	18.870	22.839	27.203	31.758	0.000	0.000
3.000	3.773	7.219	10.952	14.741	18.751	23.058	27.584	33.338	0.000	0.000
2.000	3.464	6.887	10.493	14.192	18.278	22.612	27.730	32.990	0.000	0.000
1.000	2.853	5.909	8.962	12.375	16.080	20.029	24.064	28.191	0.000	0.000
0.000	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	0.000	0.000

Weergegeven zijn de, bij toenemende boven-  
 waterstand, debieten per eenheid van  
 deurlengte

Bijlage 4: Analytische benadering van de dynamische stabiliteit met gebruikmaking van vereenvoudigde relaties voor debiet en zuigkracht.

*Inleiding*

Deze studie is gebaseerd op de suggestie van ir. A. Bakker (adviseur bij BMK en begeleider van dit onderzoek) dat de gebruikte coëfficiënten (afvoercoëff.),  $\eta$  (onderdruk coëfficiënt voor het gebied bovenstrooms van de onderrand),  $\xi$  (idem benedenstrooms van de onderrand) en  $\tau$  (drukcoëfficiënt bovenop de kist) evenredig toenemen met de opening onder de deur.

$$\mu = \mu_0 + \mu_1 \times (d/L) , \quad \mu_0 = 0 \quad (1)$$

$$\eta = \eta_0 + \eta_1 \times (d/L) , \quad \eta_0 = 0 \quad (2)$$

$$\xi = \xi_0 + \xi_1 \times (d/L) , \quad \xi_0 = 0 \quad (3)$$

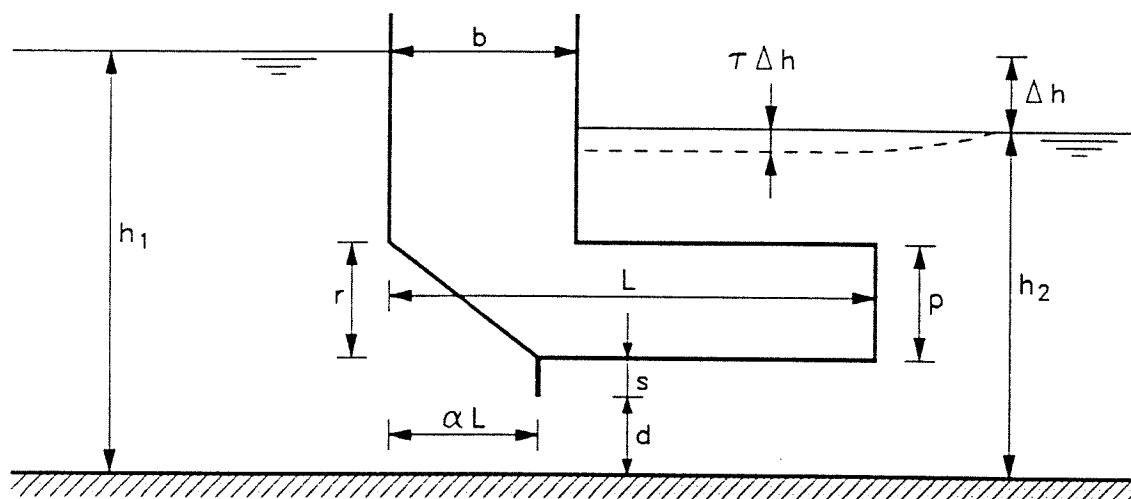
$$\tau = \tau_0 + \tau_1 \times (d/L) , \quad \tau_0 = 0 \quad (4)$$

Hierin is  $d$  de positie van de onderrand boven de bodem en  $L$  de lengte van de drijfkist gemeten in stroomrichting.

Ir. Bakker heeft zijn berekeningen (die qua uitkomst nagenoeg gelijk zijn aan de hieronder gepresenteerde) gebruikt om tot verbetering te komen van de vorm van de dwarsdoorsnede van de deur. In het kader van deze Q1271-studie is de hier gepresenteerde analytische benadering toegepast om het rekenmodel dat beschreven is in hoofdstuk 3 en bijlage 1, te controleren op fouten en nauwkeurigheid.

Evenals bij de rekenmodellen ALPHA-sr en ALPHA-rs wordt in het volgende bepaald de invloed die één verandering van de benedenwaterstand ( $z$ ) heeft op het debiet.

A: Stroming van zee naar rivier



Figuur 1 Stroming van zee naar rivier

De notatie in fig. 1 geeft aan dat de coëfficiënt  $\alpha$  wordt gebruikt om de relatie "bovenstroomse lengte" tot "kistlengte" aan te geven.

Hoewel dit verwarring kan scheppen met de geïntroduceerde  $\alpha$ -waarden die de dynamische stabiliteit bepalen is deze definitie hier gehandhaafd want ook bij de invoergegevens van de rekenmodellen (bijlage 3) wordt namelijk de  $\alpha$  gebruikt als maat voor de bovenstroomse kistlengte.

De gebruikte vergelijkingen zijn:

Debiet:

$$q = \mu d \sqrt{2g (h_1 - h_2)} = \mu d \sqrt{2g \Delta h} \quad (5)$$

(de afvoercoëfficiënt  $\mu$  is alleen een functie van de hefhoogte)

Opdrijvende kracht bij  $h_1 = h_2$  (dus  $\Delta h = 0$ ):

$$O_g = \rho g \left\{ (h_2 - d - s - \frac{1}{2}r) \alpha L + (h_2 - d - s) (1 - \alpha) L - (h_2 - d - s - p) (L - b) \right\} \quad (6a)$$

ofwel

$$O_g = \rho g \left\{ \begin{array}{l} (pL - \frac{1}{2}r\alpha L) \\ \text{volume onderkist} \end{array} + \begin{array}{l} b(h_2 - d - s - p) \\ \text{volumedrijfkist} \end{array} \right\} \quad (6b)$$

Extra oprijvende kracht als de deur gesloten is en  $h_1$  een waarde  $\Delta h$  hoger is dan  $h_2$ :

$$O_{v1} = \rho g \Delta h \alpha L \quad (7)$$

Alleen bovenstrooms van de onderrand werkt de extra druk.

Stroomt het water, dan verlagende de drukhoogten evenredig met  $\Delta h$  en de oprijvende kracht neemt toe met

$$O_{v2} = \rho g \{-\alpha L \eta \Delta h - (1 - \alpha) L \xi \Delta h + \tau (L - b) \Delta h\} \quad (8)$$

Dit volgt uit de gehanteerde definities voor  $\eta$ ,  $\xi$  en  $\tau$  (par. 2.1).

De totale oprijvende kracht wordt verkregen uit

$$O = O_g + O_{v1} + O_{v2} \quad (9)$$

De oprijvende kracht is te schrijven als (opsplitsing in termen die constant zijn, evenredig zijn met  $d$ , met  $h_1$  en met  $h_2$ ):

$$O/\rho g = p_0 + p_1 d + p_2 h_1 + p_3 h_2 + p_4 h_1 d + p_5 h_2 d \quad (10)$$

Dit geeft de volgende  $p$ -waarden (met invoeren van vgl 1 t/m 4):

$$p_0 = pL - \frac{1}{2}\alpha r L - pb - sb \quad (11)$$

$$p_1 = -b \quad (12)$$

$$p_2 = \alpha L - \eta_0 \alpha L - \xi_0 (1-\alpha) L + \tau_0 (L-b) \quad (13)$$

$$p_3 = b - \alpha L + \eta_0 \alpha L + \xi_0 (1-\alpha)L - \tau_0 (L-b) \quad (14)$$

$$p_4 = -\eta_1 \alpha - \xi_1 (1-\alpha) + \tau_1 (L-b)/L \quad (15)$$

$$p_5 = \eta_1 \alpha + \xi_1 (1-\alpha) - \tau_1 (L-b)/L \quad (16)$$

*Berekening positiewijziging van de deur als  $h_2$  een waarde  $\frac{\infty}{2}$  omhoog gaat*

Uitgangspunt is dat bij een bepaalde positie het deurgewicht G evenwicht maakt met de oprijvende kracht 0, en dat dit ook geldt voor de nieuwe deurpositie.

$$\Delta O = 0 = \frac{\partial O}{\partial h_2} z_2 + \frac{\partial O}{\partial d} y \quad (17)$$

(y is de verhoging van de deurpositie)

dus:

$$y = - \frac{(\partial O / \partial h_2)}{(\partial O / \partial d)} z_2 \quad (18)$$

Nu wordt uitgegaan van vergelijking (10):

*De bijbehorende debietvariatie*

$$y = -\frac{p_3 + p_5 d}{p_1 + p_4 h_1 + p_5 h_2} z_2 \quad (19)$$

Nu  $z_2$  en  $y$  bekend zijn is ook de debietvariatie te berekenen:

$$\Delta q = \frac{\partial q}{\partial d} y + \frac{\partial q}{\partial h_2} z_2 \quad (20)$$

Dit wordt gecombineerd met vergelijking (5)

$$q = \mu d \sqrt{2g (h_1 - h_2)} \quad (5)$$

Ter vereenvoudiging wordt nog ingevoerd de (vrij goede) benadering dat  $\mu$  constant is.

$$\Delta q = \mu y \sqrt{2g (h_1 - h_2)} - \frac{\frac{1}{2} \mu d 2g z_2}{\sqrt{2g (h_1 - h_2)}} \quad (21)$$

ofwel

$$\Delta q = q_0 \left( \frac{y}{d} - \frac{z_2}{2\Delta h} \right) \quad (22)$$

*Bepaling van de dynamische deurstabiliteit (laagfrequente oscillaties)*

Zoals in bijlage 1 is afgeleid is de deurstabiliteit positief (stabiel) als  $\alpha_2 < 0$  met:

$$\alpha_2 = \frac{\Delta q}{z_2} \quad (23)$$

Dit kan, omdat  $p_4 = -p_5$ , nog vereenvoudigd worden:

$$\alpha_2 = \frac{\Delta q}{z_2} = \frac{q_0}{d} \left\{ -\frac{p_3 + p_5 d}{p_1 + p_4 h_1 + p_5 h_2} - \frac{1}{2} \frac{d}{\Delta h} \right\} \quad (24a)$$

Omdat  $p_4 = -p_5$  kan dit geschreven worden als:

$$\alpha_2 = \frac{q_0}{d} \left\{ -\frac{p_3 - p_4 d}{p_1 + p_4 \Delta h} - \frac{1}{2} \frac{d}{\Delta h} \right\} \quad (24b)$$

De grenswaarde voor theoretische stabiliteit wordt  $\alpha_2 = 0$ . Hieruit is de relatie verval/deuropening te bepalen.

*Beschouwingen van ir. Bakker*

Ir. Bakker heeft zijn aanvankelijke berekeningen uitgevoerd met:

$$\mu = \mu_0 \quad (25)$$

$$\eta = \eta_1 \times (d/L) \quad (26)$$

$$\xi = \xi_1 \times (d/L) \quad (27)$$

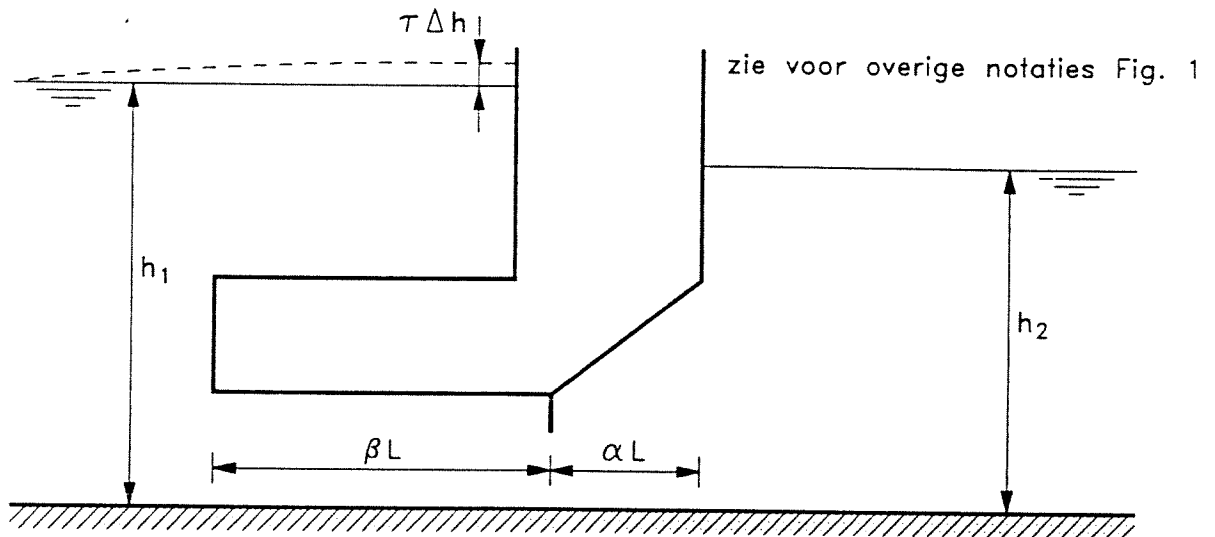
$$\tau = 0. \quad (28)$$

Het bleek dat zowel de rekenmethode van ir. Bakker als vergelijking <sup>24</sup>~~25~~<sup>b</sup> voor de grenswaarde van de theoretische stabiliteit gelijke uitkomsten <sup>F</sup>gaven.

*Controle rekenprogramma*

Het in hoofdstuk 3 behandelde rekenprogramma is gecontroleerd door relaties 25 t/m 28 om te zetten en in te voeren als fictieve meetpunten. De uitkomsten van de rekenprogramma's zijn vervolgens vergeleken met de rekenuitkomsten via vergelijking 24.

B. Stroming van rivier naar zee



Figuur 2 Stroming van rivier naar zee

Nu geldt voor  $\beta$

$$\beta = (1 - \alpha) \quad (29)$$

We voeren weer  $\eta$  in als onderdrukcoëfficiënt bovenstrooms van de onderrand (het mes\*\*) en  $\eta$  idem benedenstrooms.

Nu leiden we de vergelijkingen af voor de oprijvende kracht, analoog aan vergelijking 6 t/m 8.

Oprijvende kracht als  $h_1 - h_2$ :

$$O_g = \rho g \left\{ (pL - \frac{1}{2} r \alpha L) + b(h_2 - d - s - p) \right\} \quad (30)$$

(deze vergelijking is gelijk aan 6<sup>b</sup>)

\*\* Bij een brede balk is het "mes" de plaats waar de stroming loslaat, dus de bovenstroomse zijde van de balk.

Opdrijvende kracht met  $h_1 = h_2 + \Delta h$  en bij gesloten schuif:

$$O_{v1} = \rho g \{(\beta L - (L-b)) \Delta h\} \quad (31)$$

Nu de invloed van de stroming ( $\eta$ ,  $\xi$  en  $\tau$ )

$$O_{v2} = \rho g \{-\beta L \eta \Delta h - (1-\beta) L \xi \Delta h - \tau (L-b) \Delta h\} \quad (32)$$

Ook voor stroming van rivier naar zee geldt weer:

$$0 \stackrel{=} {=} O_g + O_{v1} + O_{v2} \quad (33)$$

Invoeren van (10)

$$O/\rho g = p_0 + p_1 d + p_2 h_1 + p_3 h_2 + p_4 h_1 d + p_5 \frac{h}{2} d$$

leidt, met invoering van vgl. (1) t/m 4 tot:

$$p_0 = pL - \frac{1}{2} r L - p b - s b \quad (34)$$

$$p_1 = -b \quad (35)$$

$$p_2 = \beta L - \eta_0 \beta L - \xi_0 (1-\beta) L - \tau_0 (L-b) - (L-b) \quad (36)$$

$$p_3 = b - \beta L + \eta_0 \beta L + \xi_0 (1-\beta) L + \tau_0 (L-b) + (L-b) \quad (37)$$

$$p_4 = \eta_1 \beta - \xi_1 (1-\beta) - \tau_1 (L-b) / L \quad (38)$$

$$p_5 = \eta_1 \beta + \xi_1 (1-\beta) + \tau_1 (L-b) / L \quad (39)$$

Ook nu geldt weer, onder aanname van een constante  $\mu$  de relatie <sup>24</sup>~~23~~:

$$\alpha = \frac{q_0}{d} \left\{ -\frac{p_3 - p_4 d}{p_1 + p_4 \Delta h} - \frac{1}{2} \frac{d}{\Delta h} \right\} \quad (40)$$

Bijlage 5: Notitie betreffende de invloed van een versmalling of verbreding van de drijfkist, waarbij de wand aan de rivierzijde opschuift.

Vraagstelling:

Op de bespreking <sup>(van)</sup> 1 maart 1991 is verzocht in de bestaande rekenmodellen betreffende de dynamische stabiliteit, ALPHA\_sr en ALPHA\_rs, na te gaan wat de invloed is op de dynamische stabiliteit van de deuren bij verplaatsing van de achterwand (rivierzijde). Gedacht werd daarbij in eerste instantie aan een versmalling. Omdat bij proeven in het overzichtsmodel bleek dat ook de rivierwaterstand bij gelijk verval enige invloed had op het al dan niet voorkomen van oscillaties, is besloten om het drijfvermogen van de vakwerkconstructie te simuleren door een verbreding van de drijfkist. De berekeningen zijn mogelijk doordat de drukken rondom de deur direct volgen uit de metingen die gedaan zijn in het sectiemodel; deze wijzigen niet door het verplaatsen van de achterwand.

Uitgevoerde berekeningen:

Besloten is om uit te gaan van variant 7, zoals onderzocht in tests C en D, omdat deze variant is bekeken zonder en met sediment. Voor C zijn ook nog proeven gedaan met stroming van rivier naar zee ~~naar rivier~~. De volgende situaties zijn doorgerekend:

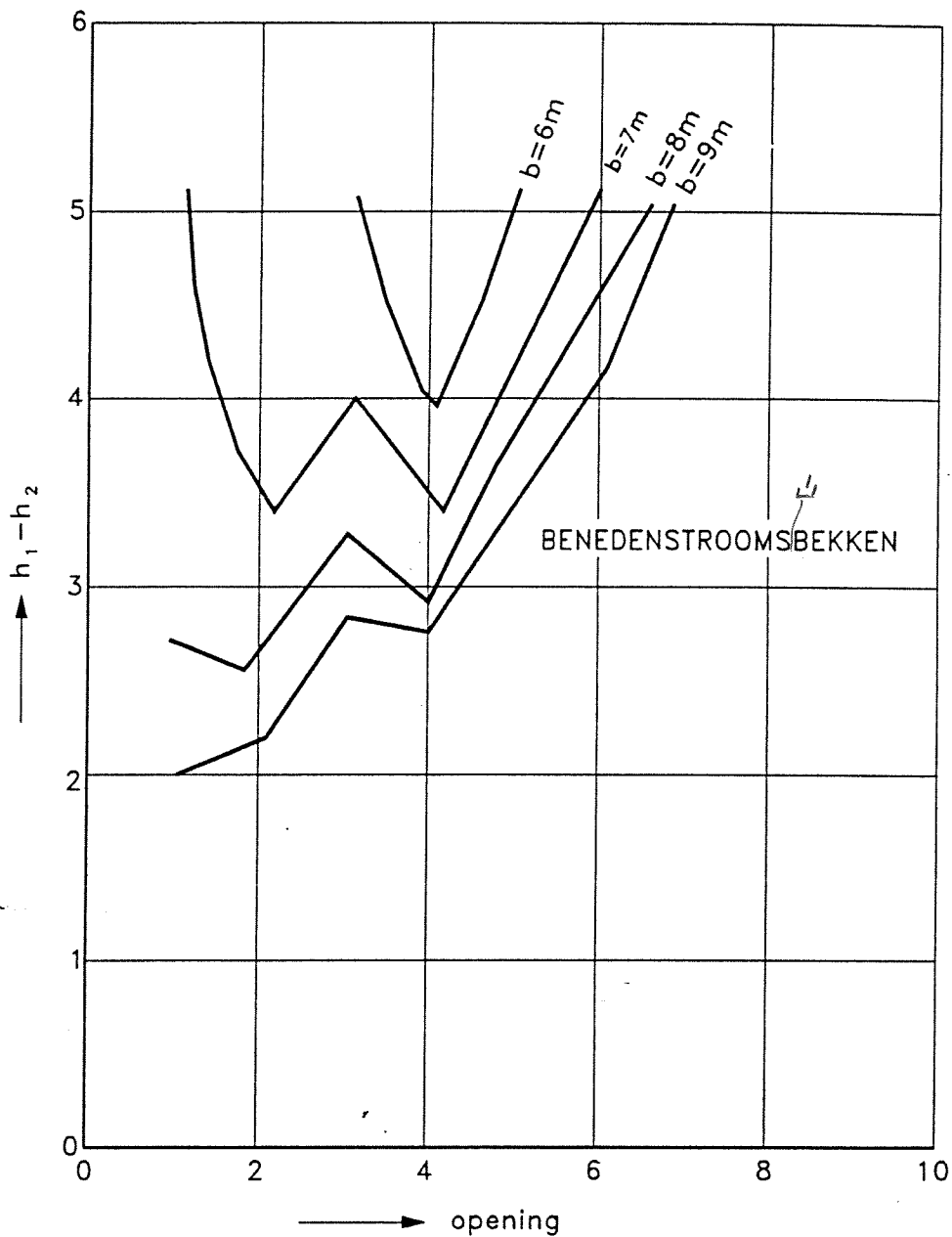
berekening	stromingsrichting	sediment	breedte drijfkist
1	zee-rivier	geen	6 m.
2	rivier-zee	geen	6 m.
3	zee-rivier	wel	6 m.
4	zee-rivier	geen	8 m. referentie
5	rivier-zee	geen	8 m. "
6	zee-rivier	wel	8 m. "
7	zee-rivier	geen	9 m.
8	rivier-zee	geen	9 m.
9	zee-rivier	wel	9 m.
Later is daaraan nog toegevoegd:			
10	zee-rivier	geen	7 m.
11	rivier-zee	geen	7 m.
12	zee-rivier	wel	7 m.

## Resultaten:

De resultaten zijn samengevat in de figuren 1, 2, 2a en 3 van deze bijlage. De theoretische stabiliteitsgrens,  $\alpha=0$ , is aangehouden bij het positieve verval. Aanvankelijk is <sup>dit</sup>ook gedaan voor het negatieve geval maar later is bovendien uitgezet  $\alpha=2$  (zie fig. 2a). De waarde  $\alpha=2$  is een raming voor de werkelijke grens voor het optreden van oscillaties, bepaald in par. 6.2 van het verslag. Voor kwalitatieve vergelijking van vormen van de deur blijkt het niet van groot belang te zijn welke  $\alpha$  wordt gekozen.

Uit de figuren blijkt dat versmallen van de drijfkist gunstig is bij positief verval: bij een versmalling van de kist van 8 naar 7 m wordt het kritieke verval 0,5 to 0,75 m groter. De situatie bij het negatieve verval wordt duidelijk slechter; het kritieke verval neemt met nog eens 20% af en komt nu (voor  $\alpha=2$ ) dicht bij de (op dat moment gestelde) eis van 1 m te liggen. Een versmalling tot 6m is niet meer toelaatbaar.

Gezien de onzekerheden bij negatief verval, en zeker ook omdat in het sectiemodel geen meting (ijking) is uitgevoerd met de rand Q 1140 "definitief", mag zeker geen versmalling van de drijfkist worden toegepast zonder zorgvuldig nader onderzoek.



BOVENSTROOMS BEKKEN STEEDS STABIEL

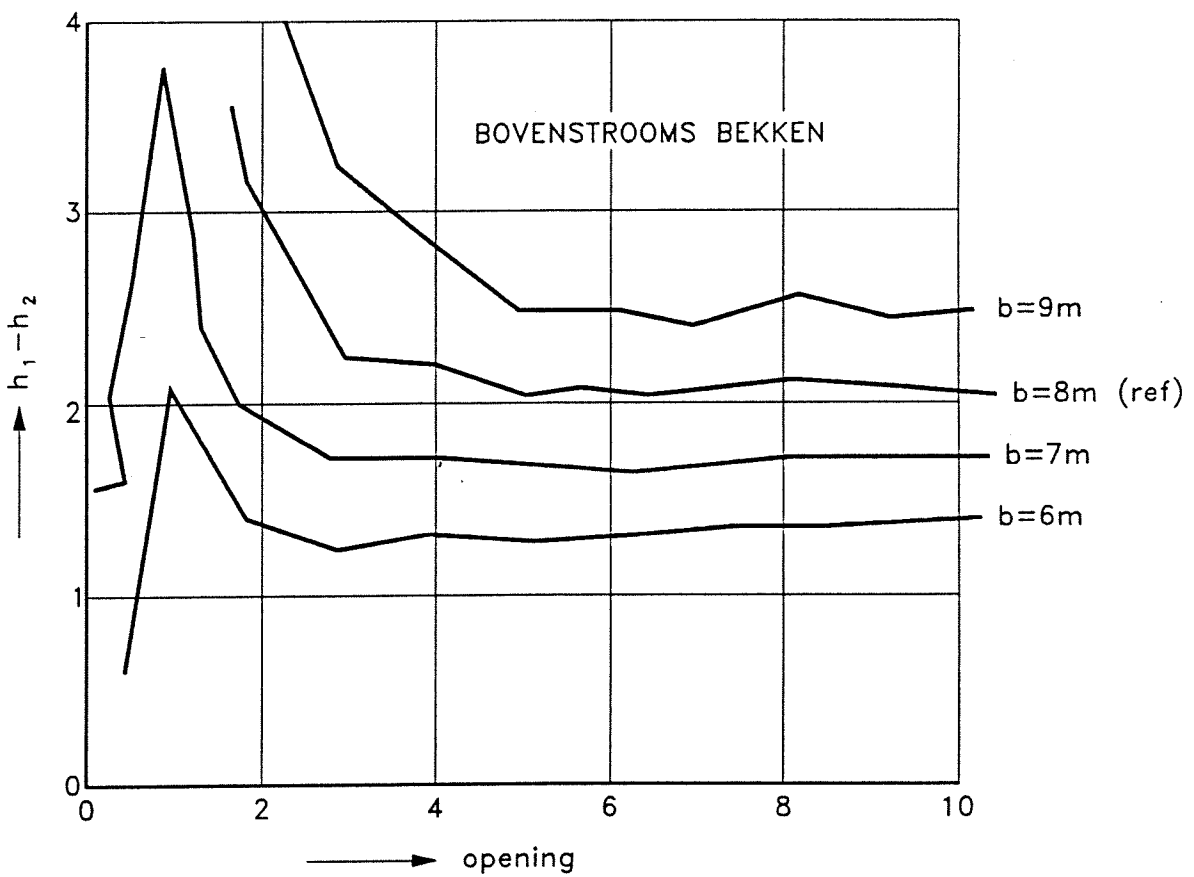
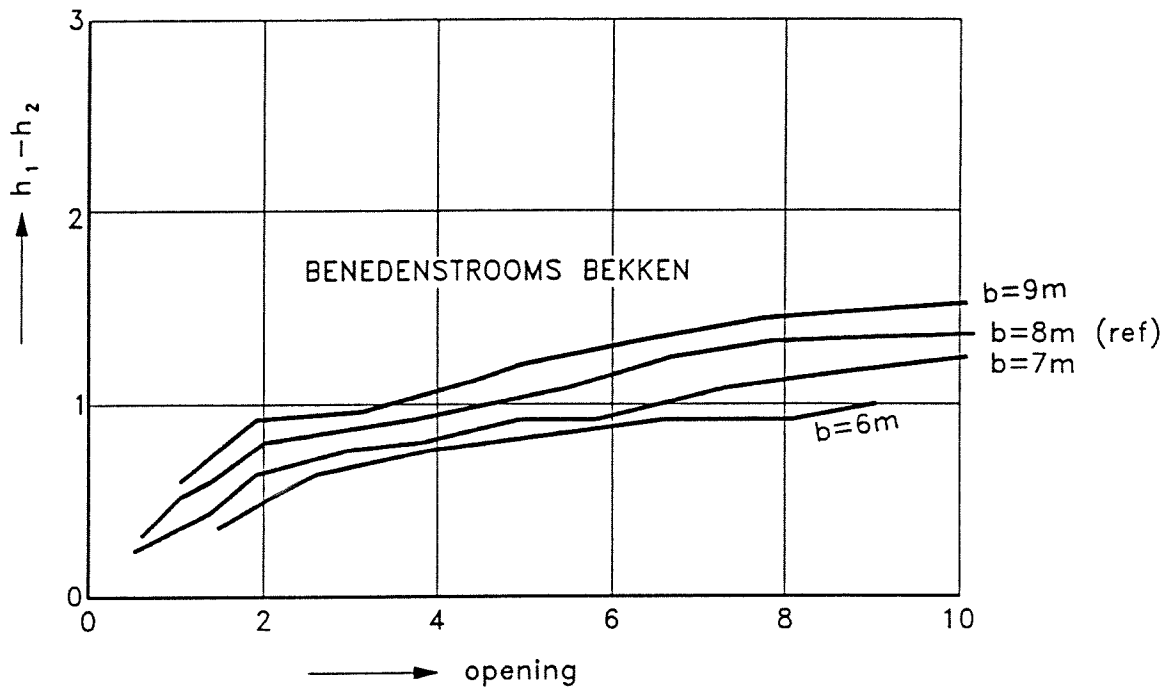
THEORETISCHE STABILITEITSGRENZEN ( $\alpha = 0$ )  
 STROMING ZEE  $\rightarrow$  RIVIER. GEEN SEDIMENT

BIJLAGE 5

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 1



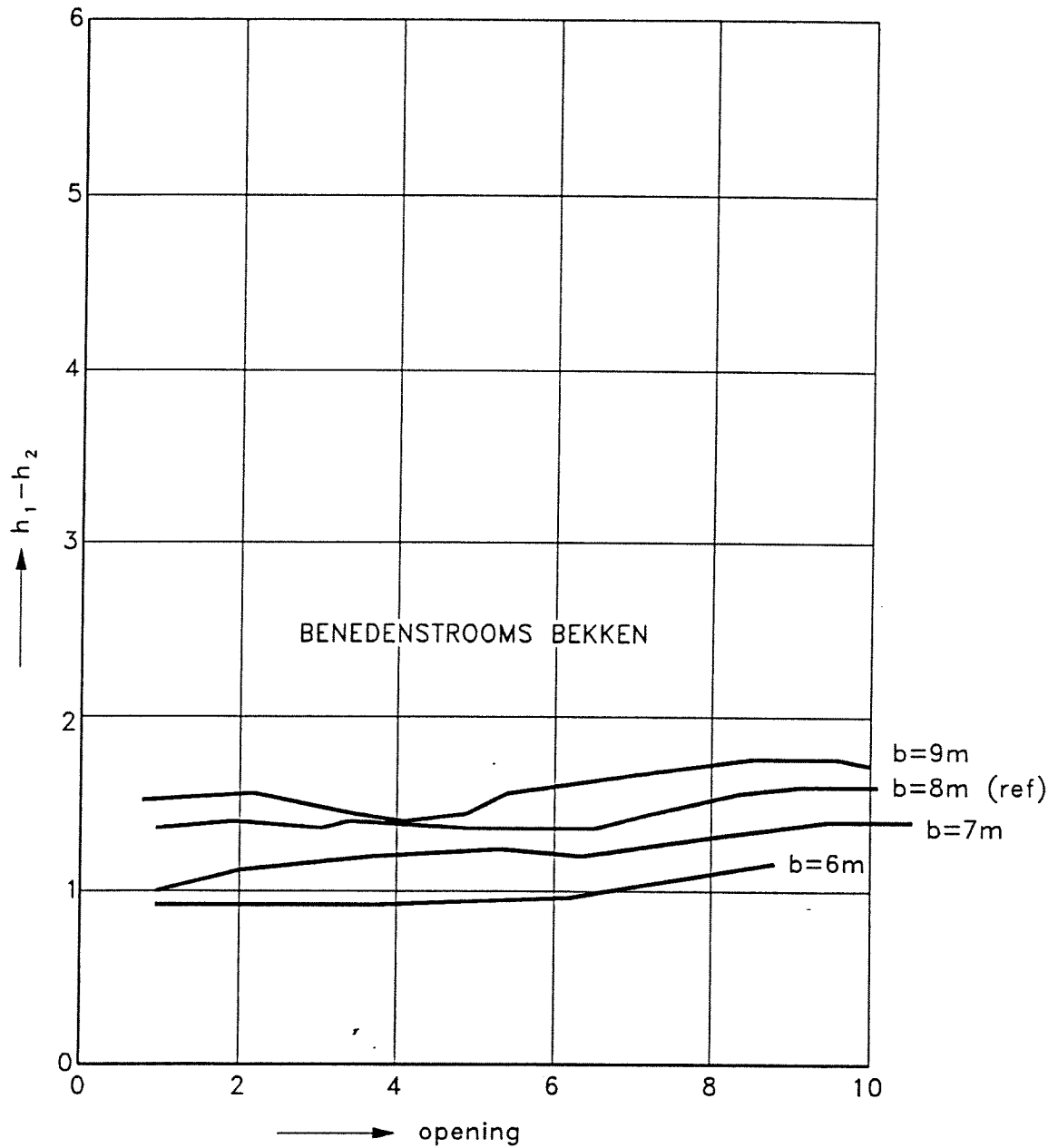
THEORETISCHE STABILITEITSGRENZEN ( $\alpha = 0$ )  
 STROMING RIVIER → ZEE. GEEN SEDIMENT

BIJLAGE 5

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 2



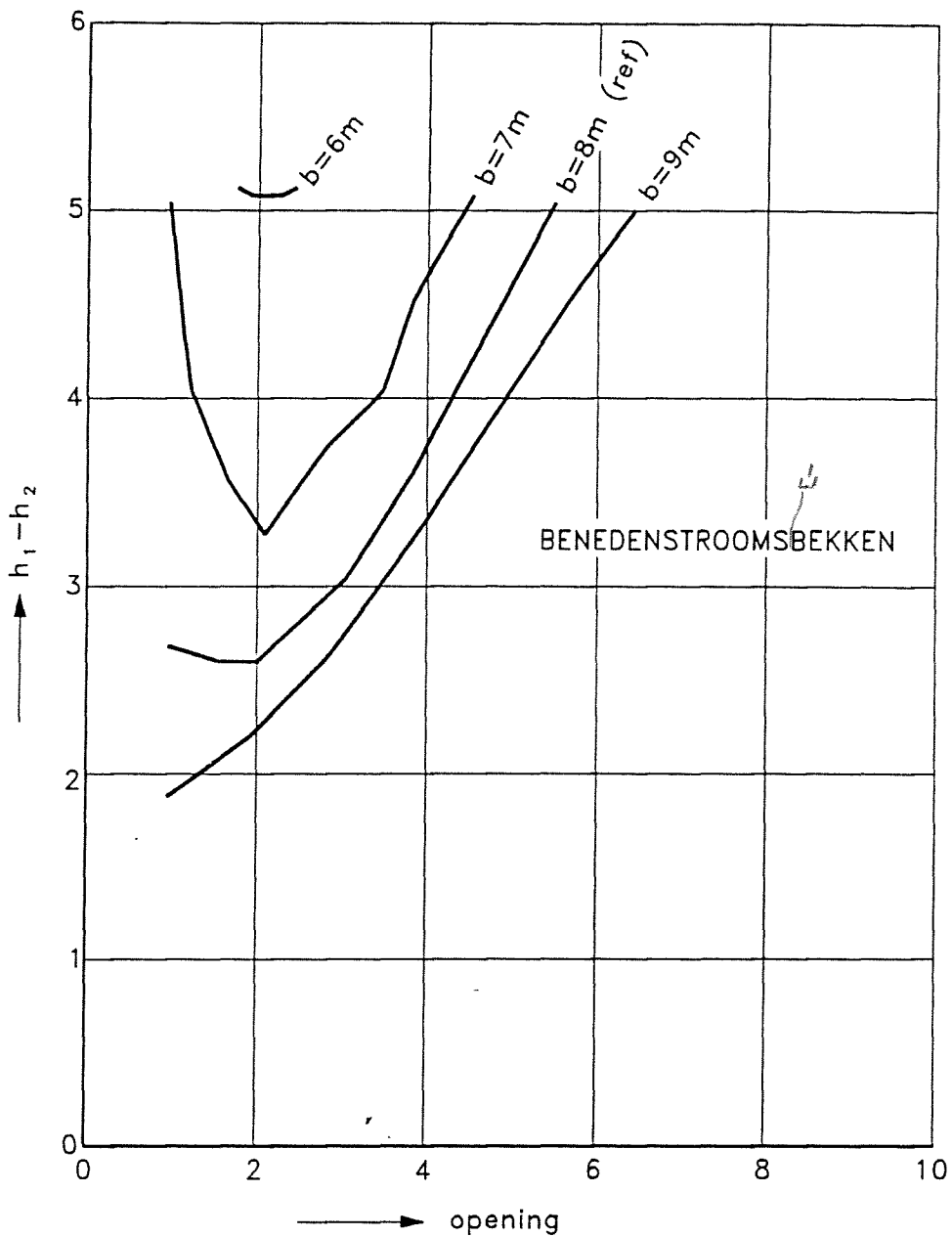
VARIANT: LIJNEN  $\alpha = 2$ , *negatief verval*  
 (UITGAANDE VAN EEN EERSTE INDICATIE UIT PAR. 6.2)

BIJLAGE 5

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 2a



BOVENSTROOMS BEKKEN STEEDS STABIEL

STABILITEITSGRENZEN  
STROMING ZEE → RIVIER. MET SEDIMENT

BIJLAGE 5

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1271

FIG. 3