

Bochtverbetering rivier de Waal bij Nijmegen

23 dec 1988

B.J.H. Pröpper



deel II : Constructieve uitvoering van
de bestorting.

Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek
Vakgroep Waterbouwkunde, k. 2.91
Stevinweg 1
2628 CN DELFT

 **TU Delft**

Faculteit der Civiele Techniek

Technische Universiteit Delft

Bocht in de Waal *bij Nijmegen*

tussen kmr 882.5 en kmr 885.0



VAKGROEP
WATERBOUWKUNDE
Afd. Civiele Techniek
TH Delft

– *bestorting*

student:
B.J.H. Pröpper

Hoogleraar: **Prof. ir. A. Glerum**
Docenten : **Ir. J. Bouwmeester**
Ir. M.H. Lindo

SAMENVATTING, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.

Na in deel 1 (zie referentie 14) te hebben aangetoond dat de bevaarbare breedte door de aanleg van een bestorting zal toenemen is in dit deel de constructieve berekening van de bestorting aangepakt. Allereerst zijn de verschillende belastingssituaties bekeken, rekening houdend met de toepassing van de zesbaksduwvaart.

- De maximale belasting op de bestorting treedt op wanneer een zesbaksduwcombinatie een tegemoed komende tanker ontmoet bij de O.L.R.-waterstand.
- Deze maximale belasting wordt veroorzaakt door de schroefstraalstroom achter de zesbaksdueenheid en heeft een grote van 4.74 m/s.
- De top laag die deze belasting moet opvangen zal, als er geen beweging van de top laagstenen mag optreden een on-economisch, ontoepasbare diameter vereisen.
- Een zekere mate van beweging en dus ontgronding wordt toegestaan en bij een gemiddelde diameter van de top laagstenen van 0.27 m is de maximale ontgronding 0.5 m. Met veiligheidsfactor wordt de dikte van de top laag 0.75 m ($0.27 \cdot 0.50$)
- Daar de ontgronding t.g.v. de schroefstraalstroom afgeleid is uit onderzoek bij stilliggende schepen wordt aanbevolen onderzoek te doen naar ontgrondingen bij varende schepen.

Nu de top laag bekend is (de basis laag lag al vast) moet de filteropbouw tussen deze twee lagen bepaald worden. Hiertoe zijn twee filteropbouw-methoden gebruikt. De eerste de geometrisch dichte methode (G-D methode) levert een filter op waar de onderliggende basisdeeltjes niet doorheen kunnen.

De tweede de hydrodynamische methode (H-D methode) levert een filter op waarin de belasting op de deeltjes kleiner is dan die belasting nodig om de deeltjes te doen bewegen.

- Bij de G-D methode zijn in totaal drie lagen tussen de top laag en de basis laag, met een totale dikte van 1 m nodig terwijl bij de H-D methode maar één laag met een dikte van 0.45 m nodig is. De filteropbouw volgens de H-D methode is dus economischer.
- Bovendien zal bij de aanleg van de lagen volgens de G-D methode de controle veel groter moeten zijn omdat de grind laag, gelijk op de basis laag in beweging langs de bodem zal zijn.
- De filteropbouw zal dus uit een grind laag (met een zeefcurve $10 \text{ mm} < D_{50} < 60 \text{ mm}$) met een dikte van 0.45 m en een top laag (met een zeefcurve $190 \text{ mm} < D_{50} < 320 \text{ mm}$) met een dikte van 0.75 m zijn.
- Bij de H-D methode blijkt de belasting evenwijdig aan de bodem "I//" maatgevend te zijn. Als de schroefstraalstroom-snelheid aan de bodem in een verhang "I//" wordt omgezet door deze schroefstroomsnelheid gelijk te stellen aan de schuifspanningssnelheid blijkt deze weer maatgevend te zijn. Aanbevolen wordt om te onderzoeken in hoeverre dit een juiste weergave geeft.
- Bij de H-D methode blijkt het verhang loodrecht op de bestorting "I_⊥" te klein te zijn om het kritische verhang evenwijdig aan de bestorting "I//cr" te verkleinen.

- Controle op de toplaag zal uitgeoefend moeten worden daar aan de buitenbochttoever de belastingen (retourstroom, zwaartekracht, stroomsnelheid rivier en schroefstraalstroom) op de toplaagstenen in dezelfde richting staan (stroomafwaarts) en er een zekere mate van beweging wordt toegestaan. Aanbevolen wordt om te onderzoeken in welke mate en hoe snel de toplaag stroomafwaarts schuift.

Zoals al in deel 1 (zie referentie 14) volgde zal als de bestorting aan het einde van de bocht wordt afgebroken het zandaanbod hier klein en de transportcapaciteit hier groot zijn. Wat tot grote ontgrondingen achter de bestorting leidt. Ook aan de rand evenwijdig van de rivier bestaat er door ontgrondingen gevaar voor glijdvlakken onder de bestorting en zo verkleining, teniet doen van het effect op de bevaarbare breedte.

- Als de bestorting aan het einde van de bocht wordt afgebroken betekent dit een kritische situatie t.a.v. glijdvlakken. Achter de bestorting moet dus een overgangsconstructie komen.
- O.a. door de turbulentie bij een te steile aanzethelling achter de bestorting zal het doortrekken van de bestorting onder een helling van 1:100 de beste oplossing geven.
- De afstand waarover dit moet gebeuren wordt bepaald door de afstand achter de bestorting die nodig is om de snelheid en dus het zandtransport te herverdelen en hiermee de ontgrondingskuil achter de bestorting en dus het gevaar voor glijdvlakken te verkleinen. Een afstand van 200 m geeft een voldoende veiligheid. Voor de stabiliteit zal het laatste stuk (50 m) weer evenwijdig aan de rivierbodem gelegd worden.
- Aan de rand van de bestorting evenwijdig aan de rivieras zal ook een bescherming tegen glijdvlakken moeten komen, dit daar hier de schroefstraalstroom en rivierstroom evenwijdig aan de rand zijn en dus voor een grote aanzethelling en hiermee een kritische situatie t.a.v. glijdvlakken zorgen. Grindkisten zijn aan deze rand de aangewezen oplossing. Door de kleine ontgroning naast de bestorting zijn deze kisten niet erg groot.
- Daar bij het bekijken van de ontgrondingen de theorie is gebruikt die voor de Oosterschelde werken zijn bepaald (zie referentie 15) wordt aanbevolen onderzoek te doen naar ontgroning achter een betorting in een rivierbocht met zijn specifieke spiraalstroming.

INHOUDSOPGAVE

1. Belastingen op de bestorting	1
1.1. Inleiding	1
1.2. Spiegeldaling en retourstroom	1
1.2.1. Dwarsprofiel van de rivier	2
1.2.2. Dwarsprofiel van de schepen	5
1.2.3. Excentrisch varen van de schepen	7
1.2.4. Inhaalmanoeuvre van twee schepen	9
1.3. Schroefstraal	10
1.3.1. Intreesnelheid	10
1.3.2. De uitstroomsnelheid " U_o "	12
1.3.3. snelheden in de schroefstroom	16
2. Filteropbouw	25
2.1. Inleiding	25
2.2. De top laag	25
2.3. Filteropbouw tussen top laag en basismateriaal	31
2.3.1. Inleiding	31
2.3.2. Geometrisch dicht filter	33
2.3.3. Filter volgens de hydrodynamische methode	38
2.3.3.1. Loodrecht op de lagen	38
2.3.3.2. Stroming evenwijdig aan de lagen	47
3. Ontgrondingen	53
3.1. Ontgrondingen achter de bestorting	53
3.2. Ontgrondingen langs de bestorting	60
SYMBOLENLIJST	61
REFERENTIELIJST	64
Bijlage 1a	Retourstroom en spiegeldaling afhankelijk van de snelheid van het schip en de verhouding tussen het dwarsoppervlak van het schip en de rivier voor $\alpha=1$.
Bijlage 1b	Retourstroom en spiegeldaling afhankelijk van de snelheid van het schip en de verhouding tussen het dwarsoppervlak van het schip en de rivier voor $\alpha=1.1$.
Bijlage 2	Zeefcurve van het basismateriaal in de bocht.

1. BELASTINGEN OP DE BESTORTING

1.1. Inleiding.

Met het gegeven dat de gevonden oplossing van bestorten van de bodem in de buitenbocht uit de vorige hoofdstukken effect heeft op de bevaarbare breedte zal in dit hoofdstuk ingegaan worden op de constructieve aspecten van het bestorten.

Allereerst zullen hiertoe de verschillende belastingen op de bodem beschouwd worden.

Op de bodem zal er geen invloed zijn van een golfbelasting zoals op een talud aan de oever. Wel zullen,

1 - de stroomsnelheid van het water in combinatie met de retourstroom onder een schip

2 - en de schroefstraalstroom in combinatie met de volgstroom een belasting op de bestorting op de bodem geven.

Zoals in de volgende paragrafen zal blijken is voor de bepaling van de schroefstraalstroom achter het schip de grootte van de retourstroom en de spiegeldaling nodig. Deze zullen dan ook eerst bekeken worden.

De spiegeldaling heeft ook een verticale belasting op de bestorting tot gevolg door het waterdruk verschil dat nu ontstaat. Hierdoor willen de deeltjes door de bestorting omhoog gezogen worden wat voorkomen moet worden door een filterconstructie.

1.2. Spiegeldaling en retourstroom.

Zoals bekend zal tijdens het passeren van een schip door een rivier of een kanaal er rond het schip een stroming ontstaan die het aan de boeg weggedrukte water weer terugbrengt naar de plaats waar het vandaan gekomen is. Op deze plaats ontstaat ter plekke van het schip een spiegeldaling. Er bestaat dus naast en onder een schip een stroming tegengesteld aan de vaarrichting van het schip, de zogenaamde retourstroom.

Er zijn verschillende methodes ontwikkeld om de retoursnelheid (U) en de spiegeldaling (Z) te bepalen. Deze methodes zijn onder te verdelen in twee verschillende aanpakken n.l.

- methode met behoud van energie en
- methode met behoud van impuls.

Een veel gebruikte is de door Schijf (zie referentie 1) ontwikkelde methodiek. Deze is gebaseerd op een één-dimensionale beschouwing. Met de bijbehorende grafieken voor $\alpha=1$ en $\alpha=1,1$ (zie bijlage 1a en b) zijn de retourstroom (U) en de spiegeldaling (Z) te bepalen. Om deze twee variabelen te bepalen zijn wel nog de vaarsnelheid (V) en de verhouding tussen het dwarsoppervlak van de rivier (A_c) en het dwarsoppervlak van het schip (A_s), dus " A_s/A_c " nodig. Als de verhouding " A_s/A_c " bekend is kan de maximale snelheid, waarmee in de rivierbocht gevaren kan worden bepaald worden. Met deze maximale snelheid (V_{gr}) zal niet gevaren worden omdat dit een onevenredig grote hoeveelheid brandstof kost. In deze paragraaf wordt daarom gewerkt met een maximale vaarsnelheid van $0.9 \cdot V_{gr}$.

1.2.1. Dwarsprofiel van de rivier (Ac).

Het dwarsprofieloppervlak is afhankelijk van de bodemligging die in hoofdstuk 6 gevonden is en de waterstand, en dus het debiet in de rivier. Het kleinste dwarsprofieloppervlak treedt op bij de O.L.R.-waterstand in de tweede helft van de bocht. In fig.1.1 is de schematisatie hiervan te zien.

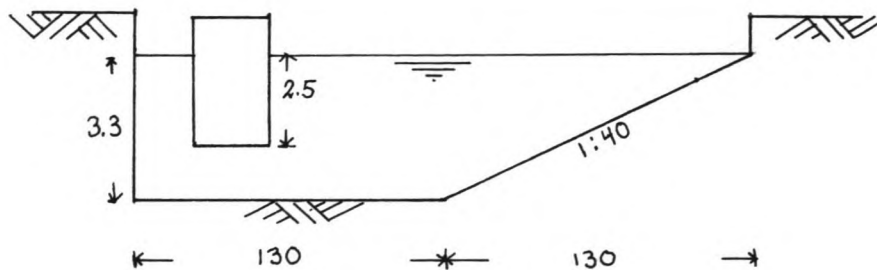


fig.1.1 Kleinste dwarsprofieloppervlak bij de O.L.R.-waterstand

Door de zeer grote breedte (B_o) van 260 meter in de bocht moet wel bekeken worden of de één-dimensionale beschouwing van Schijf toegepast kan worden. Om de één-dimensionale beschouwing toe te passen is het vereist dat er onder het schip sprake is van een beperkte diepte wat hier zeker het geval is.

Bovendien zal, als de lengte van het schip (l) klein is in verhouding tot deze " B_o ", niet het hele dwarsprofiel van de rivierbocht voor de retourstroom gebruikt worden en zal de te gebruiken " Ac " kleiner zijn dan uit het dwarsprofieloppervlak gevonden wordt. Het dwarsprofiel waarover retourstroming optreedt (Ac) is gelijk aan het dwarsprofiel-oppervlak van de rivier als:

$$\frac{B_o}{l} < 1$$

l = lengte van een schip (m)

Als het bovenstaande niet opgaat is de vraag wat dan de breedte is die voor de retourstroom gebruikt wordt. Gesteld wordt:

$$B_v = \alpha \cdot l$$

waarin: α = constante

B_v = de breedte van de waterspiegel
gebruikt voor de retourstroom (m).

Met het voorgaande is het te verdedigen dat deze α ongeveer 1 zal zijn. De fout die hiermee gemaakt wordt is niet erg belangrijk daar de gezochte maatgevende retourstroom en spiegeldaling bepaald zal worden door het ontmoeten of passeren van twee schepen waarbij de beschikbare breedte voor de retourstroom kleiner is dan " l ".

Uit het bovenstaande volgt nu voor " Ac_{max} ":

$$\text{als } B_o < l : Ac_{max} = 130 \cdot 3.3 + 130 \cdot 3.3 \cdot 0.5 = 643.5 \text{ m}^2 \quad 1.1$$

$$\text{als } B_o > l \text{ en } l > 130 : Ac_{max} = 130 \cdot 3.3 + (l - 130) \cdot (3.3 - (l - 130) \cdot 1/80) \quad 1.2$$

$$\text{als } B_o > l \text{ en } l \leq 130 : Ac_{max} = l \cdot 3.3 \quad 1.3$$

In het voorgaande zijn de dwarsoppervlakken van de rivier bepaald uitgaande van het volledig ter beschikking staan van de doorsnede voor één schip, dus geen inhalende en tegemoet komende schepen. Het minimale dwarsoppervlak "Ac" en dus de maximale retourstroom en spiegeldaling zal juist bepaald worden door een combinatie van verkeer in de rivierbocht. Het ontmoeten van twee schepen geeft een verkleining van het beschikbare dwarsoppervlak voor de retourstroom. Dit is te verklaren door het tegenwerken van de twee retourstromen van ontmoetende schepen. In fig.1.2 is het ontmoeten van een geladen zesbaksduweenheid met een ongeladen zesbaksduweenheid en de elkaar tegenwerkende retourstromen te zien. Te zien is dat de ongeladen duwcombinatie in een ander verband vaart dan de geladen. Een ongeladen duwcombinatie heeft natuurlijk een kleinere diepgang en zal dus ook gevoeliger zijn voor de wind. Om te voorkomen dat hierdoor de drifthoek en zo de extra benodigde vaarstrook te groot wordt zijn de ongeladen duwcombinaties twee duwbakken lang en drie breed (zie referentie 2).

Als deze twee retourstromen ongeveer gelijk zijn is er een denkbeeldige lijn midden-tussen de twee schepen te trekken die de scheiding van de twee retourstromen geeft. In werkelijkheid zal de retourstroom van het geladen schip, door het grotere dwarsoppervlak "As" groter zijn dan voor het ongeladen schip en dus ook het beschikbare dwarsoppervlak "Ac".

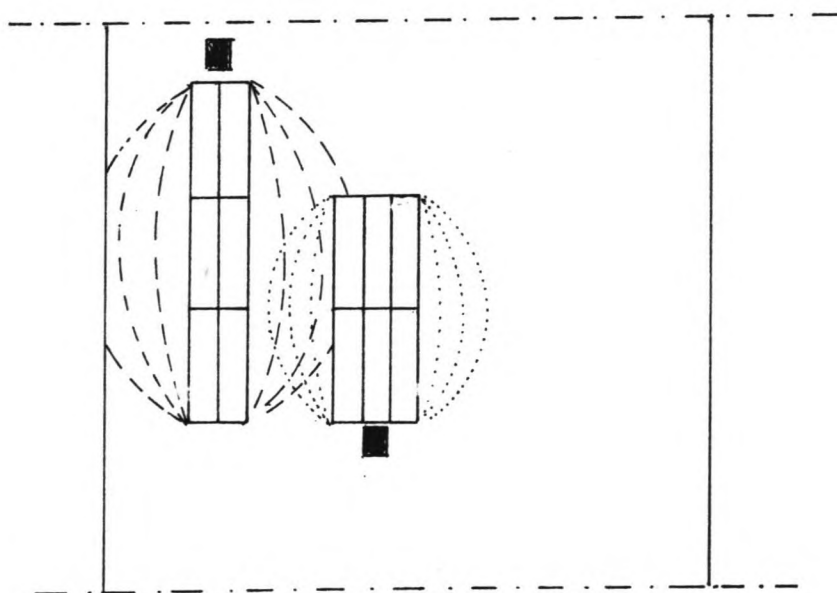


fig.1.2a

BOVENAANZICHT.

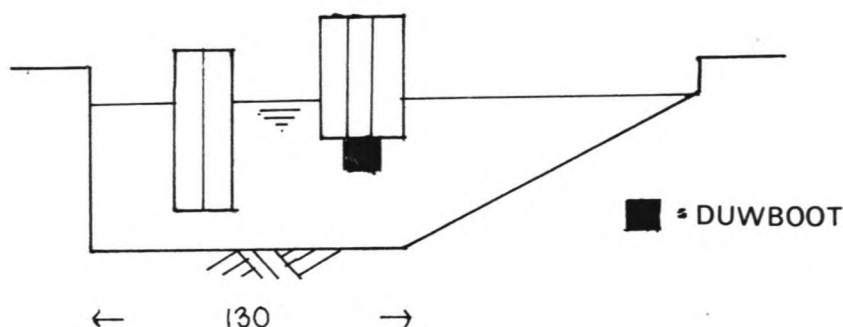


fig.1.2b

DWARSAANZICHT.

■ = DUWBOOT

fig.1.2 a en b Boven- en dwarsaanzicht van een ontmoeting tussen een geladen en ongeladen zesbaksduwcombinatie.

Het minimum van "Ac" zal optreden als twee schepen elkaar op een zo klein mogelijke onderlinge afstand ontmoeten.

Deze minimum afstand moet natuurlijk wel voldoen aan de veiligheidseisen voor scheepvaart in een rivierbocht (zie referentie 1 en 3). Voor de veiligheidsstroken geldt:

- afstand tussen de schepen onderling is 25 meter en de
- afstand tussen de buitenbochttoever en het schip is 25 m.

Bovendien komt hier nog een extra vaarstrook gedeelte bij voor de hoek met de rivieras waarmee het schip in de bocht vaart.

De grootte van deze extra vaarstrook is:

$$B = \alpha \cdot \frac{l^2}{R} = 0.25 \cdot \frac{l^2}{R} \quad 1.4$$

De minimale totale beschikbare breedte voor de retourstrom is dan:

$$Bv_{\min} = 1.5 \cdot 25 + \alpha \cdot \frac{l^2}{R} + b \quad 1.5$$

Het minimale totale dwarsoppervlak (Ac) wordt dan:

$$Ac_{\min} = Bv_{\min} \cdot 3.3 \text{ m}^2 \quad 1.6$$

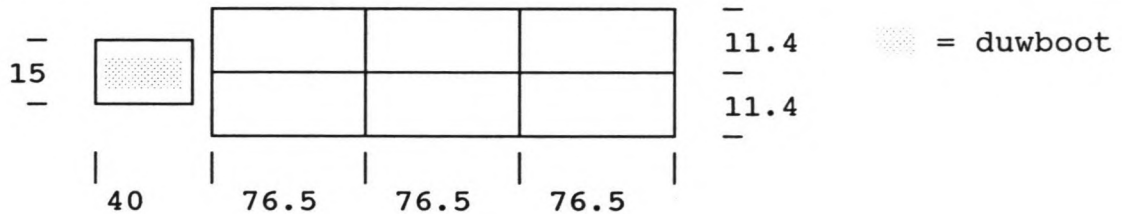
Bv = de waterspiegelbreedte gebruikt voor de retourstroom (m).

Te zien is dat voor de bepaling van het minimum en maximum dwarsoppervlak (As) de maten van het schip nodig zijn. Bovendien moet As bepaald worden om met de verhouding As/Ac de retourstroom en de spiegeldaling te bepalen.

1.2.2. Dwarsprofiel van de schepen.

In de volgende berekeningen zal met een aantal scheepstypen gewerkt worden. Hierbij zal natuurlijk de zesbaksduwcombinatie zitten die mogelijkkerwijs (zie inleiding) ingevoerd zal worden. De gegeven schepen kunnen alleen of in combinatie met de anderen maatgevend zijn voor de belasting van het filter (retourstroom, spiegeldaling en schroefstraal).

Geladen zesbaksduweenheid:



$$l = 40 + 3 \cdot 76.5 = 269.5 \text{ m}$$

$$b = 2 + 11.4 = 22.8 \text{ m}$$

$$d = 2.5 \text{ m}$$

$$As = 2.5 \cdot 22.8 = 57 \text{ m}^2$$

$$\frac{B}{l} < 1 \quad \text{dus volgens vgl. 1.1.1 :} \quad Ac_{\max} = 643.5 \text{ m}^2 \quad \left(\frac{As}{Ac}\right)_{\min} = 0.09$$

$$Ac_{\min} = (1.5 \cdot 25 + 0.25 \cdot \frac{269.5^2}{1000} + 22.8) \cdot 3.3 = 259 \text{ m}^2 \quad \left(\frac{As}{Ac}\right)_{\max} = 0.25$$

Kenmerken duwboot.

$$D_p = 2 \text{ m}$$

$$d = 1.65 \text{ m}$$

$$\text{aantal schroeven} = 3$$

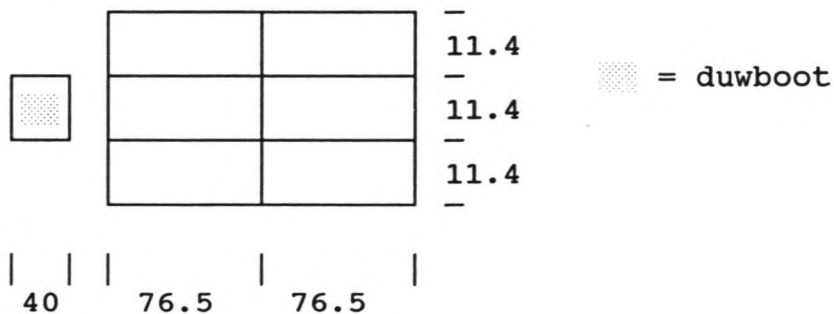
$$\text{vermogen} = 3 \cdot 1320 \text{ kw}$$

$$\text{afstand schroefas-kiel } Z_k = 1.2 \text{ m}$$

$$\text{afstand schroefas-bodem } Z_b = (3.3 - 1.65) + 1.2 - Z = 2.85 - Z \text{ m}$$

$$\text{onderlinge afstand schroeven} = 4.5 \text{ m}$$

Ongeladen zesbaksduweenheid.



$$l = 40 + 76.5 \cdot 2 = 193 \text{ m}$$

$$b = 3 \cdot 11.4 = 34.2 \text{ m}$$

$$d = 0.6 \text{ m}$$

$$As = 34.2 \cdot 0.6 + 15 \cdot (1.65 - 0.6) = 36.27 \text{ m}^2$$

Containerschip.

$$l = 100 \text{ m}$$

$$b = 12 \text{ m}$$

$$d = 2.5 \text{ m}$$

$$A_s = 30 \text{ m}^2$$

$$\frac{B}{l} > 1 \text{ en } l < 130 \text{ dus volgens vgl.1.3 : } A_{c_{\max}} = 643.5 \text{ m}^2 \text{ en}$$

$$\left(\frac{A_s}{A_c}\right)_{\min} = 0.09$$

$$A_{c_{\min}} = (1.5 \cdot 20 + 0.3 \cdot \frac{100^2}{1000} + 12) \cdot 3.3 = 148.5 \text{ m}^2 \text{ en } \left(\frac{A_s}{A_c}\right)_{\max} = 0.2$$

$$D_p = 1.8 \text{ m}$$

aantal schroeven 2

vermogen 2*1140 kw

afstand schroefas-kiel, $Z_k = 1 \text{ m}$

afstand schroefas-bodem, $Z_b = 1.8 - Z \text{ m}$

onderlinge afstand schroefassen = 4 m

Tanker:

$$l = 79 \text{ m}$$

$$b = 9.5 \text{ m}$$

$$d = 2.5 \text{ m}$$

$$A_s = 23.75 \text{ m}^2$$

In de grafieken van Schijf (zie bijlage 1a en b) kunnen nu, met de gevonden maximale en minimale waarde voor de verhouding A_s/A_c de waarden voor $u/\sqrt{gh}$ en Z/h afgelezen worden. Deze zijn ook nog afhankelijk van de snelheid waarmee gevaren wordt. De maximale snelheid is V_{gr} . Om met deze snelheid te varen is een onevenredig grote hoeveelheid brandstof nodig vanwaar dan ook de werkelijke snelheid op 0.85 à $0.9 \cdot V_{gr}$ ligt. In het volgende wordt met $0.9 \cdot V_{gr}$ gewerkt omdat dit een maatgevende belasting geeft en een veel voorkomende snelheid zal zijn.

In bijlage 1 zijn twee grafieken volgens Schijf gegeven voor $\alpha = 1$ en $\alpha = 1.1$. Deze " α " is een correctieterm die de invloed van de snelheidsverdeling op de retourstroom en spiegeldaling geeft. De grootte van " α " is:

$$\alpha = 1.4 - 0.4 \cdot \frac{V_s}{V_{gr}} \quad 1.7$$

Voor " $V_s = 0.9 \cdot V_{gr}$ " geeft dit " $\alpha = 1.05$ ".

Voor het bepalen van de spiegeldaling (Z) is nog de gemiddelde diepte nodig. Deze gemiddelde diepte is weer afhankelijk van de breedte van de rivier die gebruikt wordt voor de retourstroom.

Bij de geladen zesbakduweeheid waar de volledige breedte werd gebruikt (dus $A_{c_{\max}}$) betekent dit:

$B_v = B$ en dus:

$$- \bar{h} = \frac{A_c}{B} = 2.76 \text{ m}$$

Als $B_v < B$ dan geldt als: $-\frac{A_s}{A_c} > 0.133 \left(\frac{57}{(3.3 \cdot 130)} \right)$ dan geldt:

$$\bar{h} = 3.3 \text{ m}$$

- Voor het interval

$$0.09 < A_s/A_c < 0.133$$

geldt voor h :

$$\bar{h} = \frac{A_c}{130 + B_s}$$

Waarin de B_s volgt uit het oplossen van de volgende ongelijkheid:

$$1/80 \cdot B_s^2 + 3.3 \cdot B_s = A_c - 130 \cdot 3.3$$

(Dus als $A_s/A_c = 0.1$ dan $\bar{h} = 3.1 \text{ m}$

of als $A_s/A_c = 0.12$ dan $\bar{h} = 3.28 \text{ m}$)

Voor een schip kleiner dan 130 meter zoals een tanker of containerschip geldt:

$$\bar{h} = h = 3.3 \text{ m}$$

1.2.3. Excentrisch varen van de schepen.

De schepen zullen in de rivier zeker bij een extreem lage waterstand niet aan allebei de zijden van het schip een onbeperkte breedte beschikbaar hebben voor de retourstroom. Deze beperking kan de buitenbochttoever of een tegemoet komend schip zijn. Als dit zo is zal het water door een kleiner dwarsoppervlak moeten stromen wat een grotere retourstroom en een grotere spiegeldaling betekent dan uit de beschouwing van Schijf zou volgen. Via onderzoek (zie referentie 4) zijn er correctie factoren opgesteld om dit zogenaamde excentrische varen in de gevonden waarden uit de tabellen in bijlage 1 te verwerken. Voor de verschillende mogelijke A_s/A_c verhoudingen zijn in tabellen 1.1 en 1.2 de waarden voor de retourstroom en de spiegeldaling te vinden.

Geladen duwboten:

tabel 1.1a: $\alpha = 1$									
As/Ac	Vgr	Ugr	Zgr	0.9Vgr'	U'	V	U	U+V	Z
0.09	3.35	1.45	0.734	3.015	0.72	1.765	1.97	3.74	0.29
0.15	3.13	1.72	0.746	2.82	0.94	1.57	2.19	3.76	0.32
0.2	2.73	1.78	0.7	2.46	1.04	1.21	2.29	3.5	0.32
0.25	2.4	1.87	0.627	2.16	1.12	0.91	2.37	3.28	0.31

tabel 1.1b: $\alpha = 1.1$									
As/Ac	Vgr	Ugr	Zgr	0.9Vgr'	U'	V	U	U+V	Z
0.09	3.35	1.45	0.734	3.015	0.72	1.765	1.97	3.74	0.35
0.15	3.13	1.72	0.746	2.82	0.89	0.94	2.14	3.71	0.36
0.2	2.73	1.78	0.7	2.46	1.0	1.04	2.25	3.46	0.35
0.25	2.4	1.87	0.627	2.16	1.07	1.12	2.32	3.23	0.32

tabel 1.1a en b. Retourstromen en spiegeldalingen voor geladen zesbaksduwboten bij verschillende vaarsnelheden en As/Ac-verhoudingen voor $\alpha=1$ resp. $\alpha=1.1$.

Containerschepen:

tabel 1.2a: $\alpha = 1$									
As/Ac	Vgr	Ugr	Zgr	0.9Vgr'	U'	V	U	U+V	Z
0.09	3.67	1.61	0.88	3.3	0.79	2.05	2.04	4.1	0.35
0.15	3.13	1.72	0.746	2.82	0.94	1.57	2.19	3.76	0.32
0.2	2.73	1.78	0.7	2.46	1.04	1.21	2.29	3.5	0.32
0.25	2.4	1.87	0.627	2.16	1.12	0.91	2.37	3.28	0.31

tabel 1.2b: $\alpha = 1.1$									
As/Ac	Vgr	Ugr	Zgr	0.9Vgr'	U'	V	U	U+V	Z
0.09	3.67	1.61	0.88	3.3	0.79	2.05	2.04	4.1	0.42
0.15	3.13	1.72	0.746	2.82	0.94	1.57	2.14	3.71	0.36
0.2	2.73	1.78	0.7	2.46	1.04	1.21	2.25	3.46	0.35
0.25	2.4	1.87	0.627	2.16	1.12	0.91	2.32	3.23	0.32

tabel 1.2a en b. Retourstromen en spiegeldalingen voor containerschepen bij verschillende vaarsnelheden en As/Ac-verhoudingen voor $\alpha=1$ resp. $\alpha=1.1$.

V en U in m/s
Z in m

1.2.4. Inhaalmanoeuvre van twee schepen.

In het voorgaande is gesproken van het ontmoeten van de verschillende scheepstypen. Te zien was dat de retourstroom tussen de schepen elkaar tegenwerken en dat zo de spiegeldaling tussen de schepen kleiner wordt dan bij een enkel schip.

Bij de inhaalmanoeuvre van twee schepen zullen de retourstromen van beide schepen elkaar accentueren en zal de spiegeldaling toenemen. Wel is het zo dat de schepen een snelheidsverschil van ongeveer 5 km/hr moeten hebben om de inhaalmanoeuvre te laten slagen.

Of dit inhalen bij deze extreem lage waterstand mogelijk is is nog maar de vraag. Het is namelijk goed voor te stellen dat er dan een inhaalverbod geldt. Mocht het wel toegestaan zijn dan betreft het het inhalen van een langzame zeskakel door een tanker. Om te kijken wat de invloed voor de retourstroom en de spiegeldaling is van zo'n inhaalmanoeuvre zal de zeskakelvaart moeten minderen van 11 km/hr naar 7 km/hr ($0.65 \cdot V_{gr}$). Voor de retourstroom en spiegeldaling naast het opgelopen schip geldt dan:

$$\begin{aligned} Z_1 &= 0.05 \text{ m} \\ U_1 &= 0.237 \text{ m/s.} \end{aligned}$$

Voor de tweede overgang geldt:

1.8

$$1 - \left[\frac{As_1}{Ac} + \frac{As_2}{Ac} + \frac{Z_1}{h} \right] + 0.5 \cdot Fr_2^2 - 1.5 \cdot \left[\left[1 - \frac{As_1}{Ac} - \frac{Z_1}{h} \right] \right]^{2/3} = 0$$

$$1 - 0.144 + 0.5 \cdot Fr_2^2 - 1.5 \cdot (Fr_2 \cdot 0.893)^{2/3} = 0$$

oplossen geeft: $Fr_2 = 0.715$

Nu geldt dat: $Fr_2 = (V_{gr2} + U_1) / \sqrt{gh}$

dus : $V_{gr2} = 3.48 \text{ m/s}$

De werkelijke snelheid wordt: $0.9 \cdot 3.48 = 3.14 \text{ m/s}$ (11.3 km/hr).

Al met al geldt voor de retourstroom en spiegeldaling tussen de twee schepen:

$$\begin{aligned} Z_3 &= 0.191 \text{ m} \\ U_3 &= 0.635 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Te zien is als deze waarden met die uit tabel 1.1 worden vergeleken dat door het afnemen van de snelheid van het grote schip naar

7 km/hr de uiteindelijke retourstroom en spiegeldaling niet maatgevend is.

1.3. Schroefstraal.

Behalve de belastingssituatie van de retourstroom en de stroomsnelheid van het water t.o.v. de bodem is het mogelijk dat bij laag water de schroefstraal de bodem zwaarder belast. Bij het bekijken van de belasting van de bodem door de schroefstraalstroom moet deze gecombineerd worden met de volgstroom. Deze zal tegengesteld zijn aan de schroefstroom. De grootste belastingen zullen optreden bij manoeuvrerende schepen. Als de schepen varen moet namelijk om de relatieve snelheid t.o.v. de bodem te krijgen de snelheid van het schip van de schroefstraal-stroom afgetrokken worden. In de situatie van de bocht zal er niet zozeer sprake zijn van stilliggende schepen boven de bestorting. Wel zullen de zesbaksduwcombinaties die tijdens een inhaalmanoeuvre (zie 1.2.4) snelheid minderen van 11 naar 7 km/hr na de inhaalmanoeuvre weer snelheid meerderen tot deze 11 km/hr. Voor de maximale belasting van de bestorte bodem zal dan ook de snelheid van 7 km/hr moeten worden afgetrokken van de gevonden snelheid in de schroefstraal. Voor de bepaling van de schroefstraalstroom is gebruik gemaakt van onderzoek in het W-L (zie referentie 5).

Het berekenen van de schroefstraal gaat in drie stadia namelijk:

- A - berekenen van de intreesnelheid
- B - berekenen van de uitstroomsnelheid
- C - berekenen van de snelheid in de schroefstraal achter het schip

1.3.1. Intreesnelheid.

De intreesnelheid is de snelheid waarmee het water de schroef aanstroomt. En wordt dus bepaald door de som van de snelheid van het schip t.o.v. het water en de retoursnelheid t.o.v. het water dus:

$$U' + V' \text{ ofwel } U + V$$

Deze sommatie is nog niet de werkelijke snelheid daar de invloed van de schroef en het voortstuwingssysteem nog door middel van een faktor verwerkt moet worden. Dit geeft:

$$U_a = (U + V) * (1 - w) \quad 1.9$$

waarin: w = het volgstroomgetal, is
o.a. afhankelijk van het
aantal schroeven.

U_a = de intreesnelheid (m/s)

Uit voortstuwingsproeven zijn de volgende waarden voor dit volgstroomgetal gevonden:

geladen	duweenheid	$w = 0.3 \text{ à } 0.45$
ongeladen	duweenheid	$w = 0.2$
geladen	R.H.K-schip	$w = 0.4 \text{ à } 0.6$
ongeladen	R.H.K-schip	$w = 0.3 \text{ à } 0.35$

Voor de duweenheid met 3 schroeven en het containerschip met 2 zal de grootte van "w" aan de lage kant zitten:

geladen duweenheid	w = 0.3
geladen R.H.K-schip	w = 0.4.

Met de waarden uit tabellen 1.1 en 1.2a en b voor de vaarsnelheid en de retourstroom zijn de grenzen, waartussen de intreesnelheden liggen te bepalen. Ook is in deze tabellen 1.1 te zien dat voor de verschillende "As/Ac" verhoudingen de waarden voor "U+V" niet veel verschillen. Maatgevend voor de benodigde stuwkracht zal de spiegeldaling blijken te zijn (zie par 1.3.2), zodat voor "U+V" geldt:

$$U+V = 3.54 \text{ m/s}$$

Voor de duwbakcombinatie die ingehaald wordt door een tanker is de snelheid en de retourstroom kleiner:

$$U+V = 0.635+1.94 = 2.575 \text{ m/s}$$

Voor de uiteindelijke intreesnelheden geldt nu:

- | | |
|--|--|
| - geladen duweenheid | $1.947 \leq U_a \leq 2.7478 \text{ m/s}$ |
| - geladen duweenheid ingehaald door een tanker | $1.416 \leq U_a \leq 1.8 \text{ m/s}$ |
| - containerschip | $1.5 \leq U_a \leq 2.25 \text{ m/s}$ |

1.3.2. De uitstroomsnelheid "Uo".

De uitstroomsnelheid is de snelheid gelijk achter de schroef. Deze uitstroomsnelheid zal afhankelijk zijn van de intreesnelheid, het toerental van de schroef, de diameter van de schroef en het rendament van het voortstuwingssysteem.

$$U_o = \sqrt{U_a^2 + K_{tp} \frac{8 \cdot n^2 \cdot D_p^2}{\pi}} \quad 1.10$$

waarin: n = het toerental van de schroef (omw/s)
 D_p = de diameter van de schroef (m)
 K_t = de stuwkrachtcoëfficiënt (= $K_{tp} + K_{ts}$)
 K_{tp} = de stuwkrachtscoëfficiënt van de schroef (= $\alpha \cdot K_t$)
 K_{ts} = de stuwkrachtscoëfficiënt van de straalbuis

Als er geen straalbuis aanwezig is geldt dus dat " $K_t = K_{tp}$ ". Voor een schroefstraalbuissysteem, die bij duwbotten toegepast wordt, geldt dat de helft van de voortstuwing geleverd wordt door de schroef en de helft door de straalbuis. Dus " $K_{tp} = 0.5 \cdot K_t$ ".

Voor een containerschip met twee schroeven zal de waarde van " α " liggen tussen 0,5 en 1 dus:

$$0.5 \cdot K_t \leq K_{tp} \leq K_t$$

Voor een containerschip zal genomen worden, $K_{tp} = 0.75 \cdot K_t$.

Bekend is dat de waarde van " K_t " in het volgende interval ligt:

$$0.25 \leq K_t \leq 0.4$$

De reden dat zowel het containerschip als de zesbaksduwcombinatie bekeken wordt op de schroefstraalbelasting is dat een containerschip door het kleinere dwarsoppervlak weliswaar een kleinere stuwkracht nodig heeft, zoals in deze paragraaf zal blijken, maar ook een kleinere afstand tussen de schroefas en de bodem zodat de belasting van de bodem weer groter wordt.

Zoals in vgl.1.10 te zien is moet het aantal omwentelingen per seconde " n " van de schroef bepaald worden om de uitstroomsnelheid te kunnen bepalen. Deze is afhankelijk van de kracht die de schroef moet leveren om het schip met een dwarsoppervlak " A_s " door een kanaaldwarsoppervlak " A_c " met een snelheid " V " ($=0.9 \cdot V_{gr}$) voort te bewegen. De relatie tussen " n " en de stuwkracht " F_s " is als volgt te schrijven:

$$F_s = K_t \cdot n^2 \cdot D_p^4 \cdot f_w \quad 1.11$$

Combinatie van de vergelijkingen 10 en 11 geeft:

$$U_o = \sqrt{U_a^2 + \frac{\alpha \cdot 8 \cdot F_s}{\pi \cdot D_p^2 \cdot f_w}} \quad 1.12$$

De kracht "Fs" is afhankelijk van de spiegeldaling van het schip en de grootte is met een impulsbalans-benadering te bepalen (zie referentie 1). Bij het bepalen van "Fs" moet er onderscheid gemaakt worden tussen een conventioneel schip en een duweenheid. Dit daar bij een duweenheid ter plekke van het achterschip (van de duwbakken) wel een spiegeldaling aanwezig is wat bij een conventioneel schip niet zo is. De vergelijkingen worden voor een

- duweenheid:

$$F_s = \rho_w * g * \left[C_d * \frac{(V_s + U_o)^2}{2 * g} + Z \right] * A_s \quad 1.13$$

- en een containerschip:

$$F_s = \rho_w * g * C_d * b * \left[\frac{(V_s + U_o)^2}{2 * g} \right] * (Z + d) \quad 1.14$$

In deze vergelijkingen geldt voor Cd:

$$C_d = r * \left(\frac{d}{h} \right)^2 \quad \begin{array}{ll} \text{met: } r_{\text{conventioneel}} = 0.9 & 1.15 \\ r_{\text{duweenheid}} = 0.15 & \end{array}$$

Met deze vergelijkingen en de waarden uit tabellen 1.1 en 1.2 is het nu mogelijk om de maximaal benodigde stuwkracht "Fs" te bepalen en dus ook de maximale uitstroomsnelheid "Uo". Gevonden wordt:

- Duweenheid:

$$1000 * 9.81 * \left[0.15 * \left(\frac{2.5}{3.3} \right)^2 * \frac{2.16^2}{2 * 9.81} + 0.43 \right] * 57 = \underline{252} \text{ KN}$$

$$1000 * 9.81 * \left[0.15 * \left(\frac{2.5}{3.3} \right)^2 * \frac{3.00^2}{2 * 9.81} + 0.29 \right] * 57 = 184 \text{ KN}$$

Het maximum per schroef wordt nu dus: $F_{s_{\max}} = 84 \text{ KN}$

- Duweenheid ingehaald door tanker:

$$1000 * 9.81 * \left[0.15 * \left(\frac{2.5}{3.3} \right)^2 * \frac{1.94^2}{2 * 9.81} + 0.2 \right] * 57 = 120 \text{ KN}$$

Het maximum per schroef wordt nu dus: $F_{s_{\max}} = 40 \text{ KN}$

- containerschip:

$$F_s = 1000 \cdot 9.81 \cdot 0.9 \cdot \left(\frac{2.5}{3.3}\right)^2 \cdot 12 \cdot \frac{2.16^2}{2 \cdot 9.81} \cdot (0.45 + 2.5) = 42.7 \text{ KN}$$

$$F_s = 1000 \cdot 9.81 \cdot 0.9 \cdot \left(\frac{2.5}{3.3}\right)^2 \cdot 12 \cdot \frac{3.30^2}{2 \cdot 9.81} \cdot (0.35 + 2.5) = \underline{96.2} \text{ KN}$$

De maximum stuwkracht per schroef is dus: $F_{s_{\max}} = 48 \text{ KN}$

Bij de bepaling van de snelheid in het begin van dit hoofdstuk en in de inleiding is al gesteld dat het varen met de maximaal mogelijke snelheid (V_{gr}) een onevenredig hoog vermogen en dus brandstof vergt. Om dit te controleren wordt in het volgende het benodigde vermogen voor een duweenheid bepaald bij een vaarsnelheid van $0.9 \cdot V_{gr}$ en V_{gr} .

Het verband tussen het benodigde vermogen en de stuwkracht is als volgt te schrijven:

$$P_s = \frac{F_s \cdot (V_s + U_o)}{\eta' t} \quad 1.16$$

$$\begin{aligned} \text{waarin: } \eta' t(\text{duweenheid}) &= 0.45 \\ \eta' t(\text{convent}) &= 0.067d + 0.098d^2 \cdot \\ &\quad (1 - P_s/P_{s\max}) \\ P_{s\max}(\text{duw}) &= 1320 \text{ kw} \end{aligned}$$

Het benodigde vermogen bij een vaarsnelheid van $0.9 \cdot V_{gr}$ wordt dan:

$$P_s = \frac{84 \cdot 2.16}{0.45} = \underline{403} \text{ kw}$$

Als er nu met V_{gr} gevaren wordt dan wordt de benodigde stuwkracht (zie vgl.1.13):

$$F_s = 1000 \cdot 9.81 \cdot \left[0.15 \cdot \left(\frac{2.5}{3.3}\right)^2 \cdot \frac{2.40^2}{2 \cdot 9.81} + 0.9 \right] \cdot 57 = 517 \text{ KN}$$

Het maximum per schroef: $F_{s_{\max}} = 172 \text{ KN}$

Het benodigde vermogen bij een snelheid gelijk aan V_{gr} is:

$$P_s = \frac{172 \cdot 2.4}{0.45} = \underline{919} \text{ kw}$$

Dus een verhoging van de snelheid van $0.9 \cdot V_{gr}$ naar V_{gr} (=11.1%) betekent een toename van het benodigde vermogen van 132 % .

Nu is weer met vgl.1.11 het toerental en met vgl.1.12 de uitstroomsnelheid te bepalen, bij $V = 0.9 \cdot V_{gr}$.

duweenheid:

$$\begin{aligned} 3.6 &\leq n \leq 4.6 \text{ omw/s} \\ 5.52 &\leq U_o \leq 5.74 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ingehaalde duweenheid:

$$\begin{aligned} 2.5 &\leq n \leq 3.16 \text{ omw/s} \\ 3.84 &\leq U_o \leq 4 \text{ m/s} \end{aligned}$$

containerschip:

$$\begin{aligned} 2.74 &\leq n \leq 3.46 \text{ omw/s} \\ 5.1 &\leq U_o \leq 5.29 \text{ m/s} \end{aligned}$$

waarin: n = het toertental (omw/s)

1.3.3. Snelheden in de schroefstroom.

Nu de uittreesnelheid bekend is is het mogelijk om de snelheid in de schroefstraal achter het schip te bepalen. De vergelijking waarmee dit gebeurt ziet er als volgt uit.

$$U_{x,r} = \left(\frac{x}{x'}\right)^b \cdot \exp\left\{-15.4 \cdot \left(\frac{r}{x}\right)^2\right\} \cdot U_0 \quad 1.17$$

$$\text{waarin: } r = \sqrt{(y^2 + z^2)} \quad 1.18$$

$$x' = 2.8 \cdot D_0 \quad 1.19$$

$$\begin{aligned} D_0(\text{duw}) &= D_p \\ D_0(\text{container}) &= 0.85 \cdot D_p \\ U_{x,r} &= \text{de snelheid in de schroefstraal op } x, y, z \end{aligned}$$

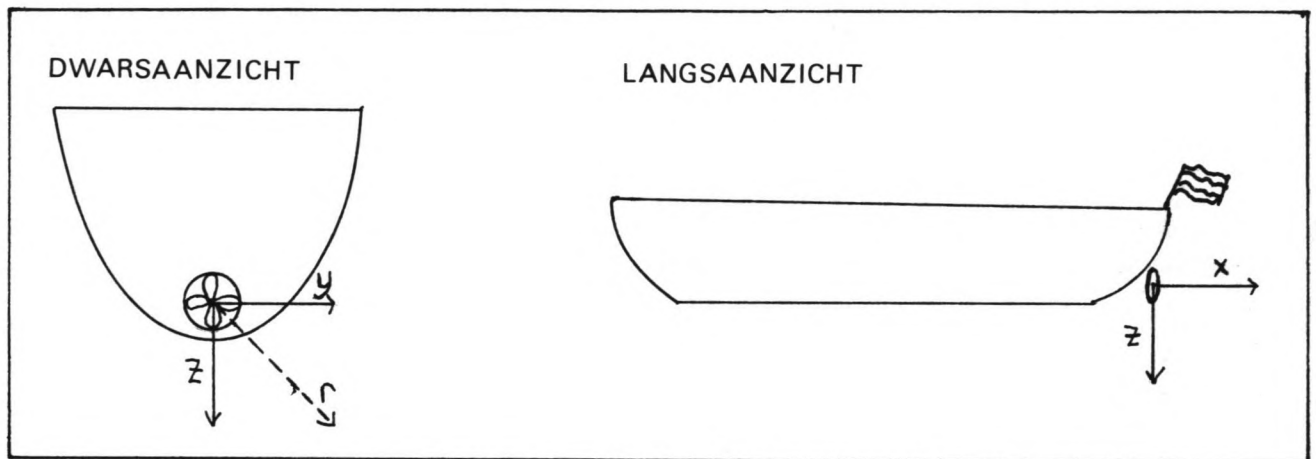


fig.1.3 Het coördinatenstelsel in de schroefstraal

De enige onbekende is nog de variabele "b". Deze is afhankelijk van

- 1) - het aantal en de plaatsing van de roeren
- 2) - afstand van de schroefas tot de waterspiegel.

Hoe minder negatief de waarde van "b" is hoe sneller de snelheid achter het schip afneemt.

ad1) Uit onderzoek in het waterloopkundig laboratorium blijkt:

- zonder roer, $b = -1.0$
- voor een enkel roer, $b = -1.1$.



Deze waarde is groter omdat dit enkele roer voor een snellere verspreiding van het water achter het schip en dus een snellere afname van de snelheid zorgt.

- voor een dubbel roer $b = -0.6$.



Te zien is dat door de tunnelwerking van de twee roeren het water in de schroefstraal minder snel verspreid en de snelheid dus minder snel afneemt. Vandaar de lagere waarde voor "b".

- ad2) Als een schroef dicht tegen het wateroppervlak zit of zelfs boven de waterspiegel uitsteekt, denk aan een straalbuis bij duwbotten, zal dit de stroomsnelheid in de schroefstraal achter het schip beïnvloeden. Aan de bovenzijde van de straal kan er geen water meer toegevoerd worden wat voor een grotere snelheid in de schroefstraal zorgt (zie fig.1.4).

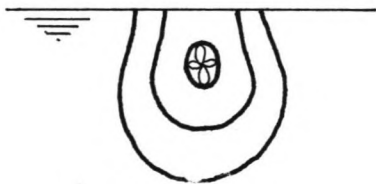


fig.1.4 schroefstraal bij een boven water uitstekende schroef.

De afstand van de schroefas tot de waterspiegel wordt weer in de variabele "b" verwerkt en wel door bij de onder ad1) gevonden waarden 0.25 op te tellen.

Dus voor een enkel roer $b = -1.1 + 0.25 = -0.85$
 en voor dubbel roer $b = -0.6 + 0.25 = -0.35$

Bij de zeskakelduwcombinatie waar er sprake kan zijn van een duwboot met drie schroeven zal met het bovenstaande rekening moeten worden gehouden. Voor de drie schroeven geldt de volgende configuratie.



fig.1.5 Schroevenconfiguratie zeskakelduweenheid.

In fig.1.5 is te zien dat voor de middelste schroef geldt:

$$b = -0.35.$$

Voor de buitenste twee schroeven zal de waarde van "b" liggen tussen:

$$-0.35 \leq b \leq -0.75$$

Aangehouden wordt:

$$b = -0.65$$

De maatgevende belasting aan de bodem moet bepaald worden. De waarde van "z" (uit vgl.1.18) ligt dus vast en is gelijk aan "Zp". Uit het onderzoek in het W-L is ook gebleken dat de snelheid veroorzaakt door meerdere schroeven bepaald kan worden door die van de verschillende schroeven te superponeren. Voor de duwcombinatie met tegenligger zijn de waarden van "U_{x,r}" voor één schroef in tabel 1.3 en voor drie schroeven in tabel 1.4 te vinden (voor U_o=4.6 m/s). Voor de opgelopen duwcombinatie is dit resp. tabel 1.5 en 1.6 (voor U_o=4 m/s). Voor het containerschip zijn de waarden voor één schroef in tabel 1.7 en voor twee schroeven in tabel 1.8 te vinden.

De maximale waarden liggen dan tussen de volgende grenzen:

Duweenheid:	$5.11 \leq U_{x,r} \leq 5.31$ m/s	(zie tabel 1.4)
ingehaalde duweenheid:	$3.6 \leq U_{x,r} \leq 3.7$ m/s	(zie tabel 1.6)
containerschip:	$\leq U_{x,r} \leq 5$ m/s	(zie tabel 1.8)

Te zien is dat de snelheid aan de bodem voor een ingehaalde duweenheid kleiner is dan die voor een passerende duweenheid. De snelheid van de ingehaalde duweenheid is ook kleiner dus de relatieve snelheid t.o.v. de bodem wordt groter in verhouding tot die van een duweenheid met tegenligger. Voordat de totale snelheid wordt bekeken zal eerst de volgstroom (U_v) bekeken worden. Ter plekke van de maximale snelheid aan de bodem blijkt deze een kleine waarde van ongeveer 0.2 m/s te hebben. Totaal geldt dan:

- voor een duweenheid $U_{x,r} = 5.3 - 0.91 - U_{v \max}$
- voor een ingehaalde duweenheid $U_{x,r} = 3.69 - 0.7 - U_{v \max}$

De belasting door een duweenheid is groter dan door een containerschip. Dus de maatgevende belasting wordt:

$$4 \leq U_{x,r} \leq 4.4 \text{ m/s}$$

$U_0 = 5.74 \text{ m/s}$
 $D_0 = 2 \text{ m}$
 $Z_0 = 2.55 \text{ m}$



	y=	4.000	3.000	2.000	1.000	0.000	1.000	2.000	3.000	4.000
x=										
10.000	$U_{x,r}$	0.123	0.362	0.781	1.240	1.447	1.240	0.781	0.362	0.123
11.000		0.211	0.515	0.972	1.424	1.618	1.424	0.972	0.515	0.211
12.000		0.315	0.611	1.138	1.568	1.745	1.568	1.138	0.666	0.315
13.000		0.427	0.808	1.275	1.676	1.836	1.676	1.275	0.808	0.427
14.000		0.540	0.936	1.386	1.755	1.898	1.755	1.386	0.936	0.540
16.000		0.749	1.142	1.542	1.847	1.962	1.847	1.542	1.142	0.749
18.000		0.922	1.286	1.631	1.881	1.973	1.881	1.631	1.286	0.922
20.000		1.055	1.382	1.675	1.880	1.954	1.880	1.675	1.382	1.055
22.000		1.153	1.440	1.689	1.858	1.918	1.858	1.689	1.440	1.153
24.000		1.221	1.473	1.683	1.824	1.873	1.824	1.683	1.473	1.221
26.000		1.267	1.486	1.666	1.784	1.825	1.784	1.666	1.486	1.267
28.000		1.296	1.487	1.641	1.740	1.775	1.740	1.641	1.487	1.296
30.000		1.312	1.479	1.611	1.696	1.725	1.696	1.611	1.479	1.312
32.000		1.318	1.464	1.579	1.652	1.677	1.652	1.579	1.464	1.318
34.000		1.317	1.446	1.545	1.608	1.630	1.608	1.545	1.446	1.317
36.000		1.311	1.424	1.512	1.566	1.585	1.566	1.512	1.424	1.311
38.000		1.301	1.401	1.476	1.526	1.543	1.526	1.476	1.401	1.301
40.000		1.288	1.378	1.445	1.488	1.502	1.488	1.445	1.378	1.288
42.000		1.273	1.353	1.414	1.451	1.464	1.451	1.414	1.353	1.273
44.000		1.257	1.329	1.383	1.416	1.427	1.416	1.383	1.329	1.257
46.000		1.240	1.304	1.353	1.383	1.393	1.383	1.353	1.304	1.240
48.000		1.222	1.281	1.324	1.351	1.360	1.351	1.324	1.281	1.222
50.000		1.204	1.257	1.297	1.321	1.329	1.321	1.297	1.257	1.204
52.000		1.186	1.234	1.270	1.292	1.299	1.292	1.270	1.234	1.186
54.000		1.168	1.212	1.245	1.265	1.271	1.265	1.245	1.212	1.168
56.000		1.151	1.191	1.220	1.239	1.245	1.239	1.220	1.191	1.151

fig.1.3 De snelheid in de schroefstraal voor één schroef van een zeskakelduweenheid met drie schroeven.

$U_0 = 4 \text{ m/s}$
 $D_p = 2 \text{ m}$
 $Z_p = 2.55 \text{ m}$



	y=	4.000	3.000	2.000	1.000	0.000	1.000	2.000	3.000	4.000
x=										
10.000	$U_{x,r}$	0.086	0.252	0.544	0.864	1.008	0.864	0.544	0.252	0.086
11.000		0.147	0.359	0.678	0.993	1.127	0.993	0.678	0.359	0.147
12.000		0.220	0.464	0.793	1.093	1.216	1.093	0.793	0.464	0.220
13.000		0.298	0.563	0.889	1.168	1.279	1.168	0.889	0.563	0.298
14.000		0.376	0.652	0.966	1.223	1.323	1.223	0.966	0.652	0.376
16.000		0.522	0.796	1.075	1.287	1.367	1.287	1.075	0.796	0.522
18.000		0.643	0.896	1.137	1.311	1.375	1.311	1.137	0.896	0.643
20.000		0.735	0.963	1.167	1.310	1.361	1.310	1.167	0.963	0.735
22.000		0.803	1.004	1.177	1.295	1.336	1.295	1.177	1.004	0.803
24.000		0.851	1.026	1.173	1.271	1.305	1.271	1.173	1.026	0.851
26.000		0.883	1.036	1.161	1.243	1.271	1.243	1.161	1.036	0.883
28.000		0.903	1.036	1.143	1.213	1.237	1.213	1.143	1.036	0.903
30.000		0.914	1.031	1.123	1.182	1.202	1.182	1.123	1.031	0.914
32.000		0.918	1.020	1.100	1.151	1.168	1.151	1.100	1.020	0.918
34.000		0.918	1.007	1.077	1.121	1.136	1.121	1.077	1.007	0.918
36.000		0.913	0.993	1.053	1.092	1.105	1.092	1.053	0.993	0.913
38.000		0.906	0.977	1.030	1.064	1.075	1.064	1.030	0.977	0.906
40.000		0.897	0.960	1.007	1.037	1.047	1.037	1.007	0.960	0.897
42.000		0.887	0.943	0.985	1.011	1.020	1.011	0.985	0.943	0.887
44.000		0.876	0.926	0.964	0.987	0.995	0.987	0.964	0.926	0.876
46.000		0.864	0.909	0.943	0.964	0.971	0.964	0.943	0.909	0.864
48.000		0.852	0.892	0.923	0.941	0.948	0.941	0.923	0.892	0.852
50.000		0.839	0.876	0.904	0.920	0.926	0.920	0.904	0.876	0.839
52.000		0.827	0.860	0.885	0.900	0.906	0.900	0.885	0.860	0.827
54.000		0.814	0.845	0.867	0.881	0.886	0.881	0.867	0.845	0.814
56.000		0.802	0.830	0.850	0.863	0.867	0.863	0.850	0.830	0.802

fig. 1.5 De snelheid in de schroefstraal voor één schroef van een ingehaalde zesbakduweenheid (door een tanker) met drie schroeven.

$U_0 = 4 \text{ m/s}$
 $\sigma = 2^\circ$
 $\lambda = 2.55$

$x =$	$y =$	5.500	7.500	6.500	5.500	4.500	3.500	2.500	1.500	0.500	0.000	0.500	1.500	2.500	3.500	4.500	5.500	6.500	7.500	8.500	
10.000	$U_{x,r}$	0.086	0.252	0.545	0.876	1.061	1.046	1.003	1.104	1.262	1.289	1.262	1.292	1.104	1.003	1.046	1.061	0.576	0.545	0.252	0.086
11.000		0.147	0.360	0.584	1.022	1.232	1.263	1.303	1.407	1.531	1.552	1.531	1.571	1.407	1.303	1.263	1.232	1.022	0.584	0.360	0.147
12.000		0.220	0.468	0.809	1.153	1.391	1.506	1.582	1.692	1.792	1.807	1.792	1.792	1.692	1.582	1.506	1.391	1.153	0.809	0.468	0.220
13.000		0.300	0.573	0.924	1.277	1.540	1.711	1.835	1.953	2.039	2.051	2.039	2.039	1.953	1.835	1.711	1.540	1.277	0.924	0.573	0.300
14.000		0.382	0.673	1.029	1.365	1.680	1.897	2.040	2.190	2.269	2.280	2.269	2.269	2.190	2.040	1.897	1.680	1.365	1.029	0.673	0.382
15.000		0.465	0.859	1.223	1.594	1.932	2.213	2.433	2.589	2.671	2.682	2.671	2.671	2.589	2.433	2.213	1.932	1.594	1.223	0.859	0.465
16.000		0.545	1.032	1.403	1.766	2.149	2.467	2.721	2.998	2.990	3.002	2.990	2.990	2.998	2.721	2.467	2.149	1.766	1.403	1.032	0.545
17.000		0.611	1.197	1.572	1.961	2.336	2.670	2.941	3.132	3.231	3.243	3.231	3.231	3.132	2.941	2.670	2.336	1.961	1.572	1.197	0.611
18.000		0.676	1.354	1.730	2.120	2.495	2.833	3.109	3.304	3.405	3.418	3.405	3.405	3.304	3.109	2.833	2.495	2.120	1.730	1.354	0.676
19.000		0.739	1.503	1.877	2.261	2.631	2.963	3.234	3.427	3.527	3.539	3.527	3.527	3.427	3.234	2.963	2.631	2.261	1.877	1.503	0.739
20.000		0.799	1.643	2.011	2.385	2.743	3.063	3.325	3.510	3.606	3.619	3.606	3.606	3.510	3.325	3.063	2.743	2.385	2.011	1.643	0.799
21.000		1.433	1.773	2.132	2.492	2.835	3.140	3.388	3.564	3.654	3.666	3.654	3.654	3.564	3.388	3.140	2.835	2.492	2.132	1.773	1.433
22.000		1.559	1.892	2.239	2.584	2.909	3.197	3.429	3.594	3.678	3.689	3.678	3.678	3.594	3.429	3.197	2.909	2.584	2.239	1.892	1.559
23.000		1.675	2.000	2.333	2.661	2.957	3.236	3.453	3.606	3.684	3.693	3.684	3.684	3.606	3.453	3.236	2.957	2.661	2.333	2.000	1.675
24.000		1.783	2.097	2.415	2.724	3.012	3.262	3.463	3.604	3.676	3.686	3.676	3.676	3.604	3.463	3.262	3.012	2.724	2.415	2.097	1.783
25.000		1.880	2.182	2.484	2.776	3.044	3.277	3.463	3.592	3.659	3.667	3.659	3.659	3.592	3.463	3.277	3.044	2.776	2.484	2.182	1.880
26.000		1.967	2.256	2.543	2.815	3.067	3.282	3.454	3.573	3.634	3.642	3.634	3.634	3.573	3.454	3.282	3.067	2.815	2.543	2.256	1.967
27.000		2.045	2.320	2.591	2.848	3.081	3.280	3.438	3.548	3.604	3.611	3.604	3.604	3.548	3.438	3.280	3.081	2.848	2.591	2.320	2.045
28.000		2.114	2.376	2.631	2.871	3.087	3.272	3.418	3.519	3.570	3.576	3.570	3.570	3.519	3.418	3.272	3.087	2.871	2.631	2.376	2.114
29.000		2.174	2.422	2.663	2.887	3.088	3.259	3.394	3.486	3.534	3.539	3.534	3.534	3.486	3.394	3.259	3.088	2.887	2.663	2.422	2.174
30.000		2.227	2.462	2.687	2.897	3.084	3.243	3.367	3.452	3.495	3.501	3.495	3.495	3.452	3.367	3.243	3.084	2.897	2.687	2.462	2.227
31.000		2.272	2.494	2.706	2.902	3.076	3.223	3.338	3.416	3.456	3.461	3.456	3.456	3.416	3.338	3.223	3.076	2.902	2.706	2.494	2.272
32.000		2.311	2.521	2.720	2.903	3.065	3.201	3.307	3.380	3.416	3.421	3.416	3.416	3.380	3.307	3.201	3.065	2.903	2.720	2.521	2.311
33.000		2.343	2.542	2.729	2.900	3.051	3.177	3.275	3.342	3.377	3.381	3.377	3.377	3.342	3.275	3.177	3.051	2.900	2.729	2.542	2.343
34.000		2.371	2.558	2.734	2.894	3.035	3.152	3.243	3.305	3.337	3.341	3.337	3.337	3.305	3.243	3.152	3.035	2.894	2.734	2.558	2.371
35.000		2.394	2.570	2.736	2.886	3.017	3.126	3.211	3.268	3.297	3.301	3.297	3.297	3.268	3.211	3.126	3.017	2.886	2.736	2.570	2.394

fig. 1.6 De snelheid in de schroefstraal van een ingehaalde zeskaktsduweenheid met drie schroeven.

$U_0 = 5.29 \text{ m/s}$
 $D_p = 1.8 \text{ m}$
 $Z_p = 1.5 \text{ m}$

$b = 0.35$



	y =	4.000	3.000	2.000	1.000	0.000	1.000	2.000	3.000	4.000
x =										
10.000	$U_{x,r}$	0.237	0.695	1.502	2.384	2.780	2.384	1.502	0.695	0.237
11.000		0.373	0.908	1.717	2.515	2.856	2.515	1.717	0.908	0.373
12.000		0.524	1.108	1.891	2.606	2.900	2.606	1.891	1.108	0.524
13.000		0.680	1.287	2.029	2.668	2.922	2.668	2.029	1.287	0.680
14.000		0.833	1.444	2.139	2.707	2.929	2.707	2.139	1.444	0.833
16.000		1.113	1.695	2.290	2.743	2.913	2.743	2.290	1.695	1.113
18.000		1.344	1.875	2.378	2.743	2.876	2.743	2.378	1.875	1.344
20.000		1.528	2.001	2.425	2.722	2.829	2.722	2.425	2.001	1.528
22.000		1.669	2.086	2.446	2.691	2.778	2.691	2.446	2.086	1.669
24.000		1.777	2.142	2.449	2.653	2.725	2.653	2.449	2.142	1.777
26.000		1.857	2.178	2.441	2.613	2.674	2.613	2.441	2.178	1.857
28.000		1.916	2.198	2.425	2.573	2.624	2.573	2.425	2.198	1.916
30.000		1.959	2.208	2.405	2.532	2.576	2.532	2.405	2.208	1.959
32.000		1.989	2.210	2.382	2.492	2.530	2.492	2.382	2.210	1.989
34.000		2.009	2.205	2.357	2.453	2.486	2.453	2.357	2.205	2.009
36.000		2.022	2.197	2.332	2.416	2.445	2.416	2.332	2.197	2.022
38.000		2.028	2.186	2.305	2.380	2.406	2.380	2.305	2.186	2.028
40.000		2.030	2.172	2.279	2.346	2.369	2.346	2.279	2.172	2.030
42.000		2.029	2.157	2.253	2.313	2.333	2.313	2.253	2.157	2.029
44.000		2.025	2.141	2.227	2.281	2.299	2.281	2.227	2.141	2.025
46.000		2.018	2.124	2.202	2.251	2.267	2.251	2.202	2.124	2.018
48.000		2.010	2.106	2.178	2.222	2.237	2.222	2.178	2.106	2.010
50.000		2.001	2.089	2.154	2.194	2.208	2.194	2.154	2.089	2.001
52.000		1.990	2.071	2.131	2.168	2.180	2.168	2.131	2.071	1.990
54.000		1.979	2.053	2.108	2.142	2.153	2.142	2.108	2.053	1.979
56.000		1.967	2.036	2.086	2.117	2.128	2.117	2.086	2.036	1.967

fig.1.7 De snelheid in de schroefstraal voor één schroef van een containerschip met twee schroeven.

$U_0 = 3.29 \text{ m/s}$
 $D_0 = 1.8 \text{ m}$
 $Z_0 = 1.5 \text{ m}$

$b = 0.35$

x =	y =																																
		6.000	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0.000	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000																	
10.000	$u_{x,r}$	0.237	0.697	1.513	2.443	3.017	3.079	3.003	3.079	3.017	2.443	1.513	0.697	0.237	0.059	0.011																	
11.000		0.374	0.914	1.746	2.633	3.229	3.423	3.433	3.423	3.229	2.633	1.746	0.914	0.374	0.119	0.029																	
12.000		0.527	1.123	1.952	2.806	3.424	3.713	3.781	3.713	3.424	2.806	1.952	1.123	0.527	0.201	0.062																	
13.000		0.689	1.320	2.139	2.967	3.602	3.954	4.059	3.954	3.602	2.967	2.139	1.320	0.689	0.301	0.110																	
14.000		0.852	1.506	2.312	3.118	3.762	4.151	4.278	4.151	3.762	3.118	2.312	1.506	0.852	0.416	0.174																	
16.000		1.175	1.848	2.624	3.391	4.026	4.438	4.580	4.438	4.026	3.391	2.624	1.848	1.175	0.670	0.341																	
18.000		1.482	2.155	2.898	3.619	4.221	4.618	4.756	4.618	4.221	3.619	2.898	2.155	1.482	0.938	0.544																	
20.000		1.769	2.429	3.133	3.803	4.357	4.723	4.850	4.723	4.357	3.803	3.133	2.429	1.769	1.206	0.768																	
22.000		2.032	2.670	3.329	3.944	4.447	4.776	4.891	4.776	4.447	3.944	3.329	2.670	2.032	1.465	0.999																	
24.000		2.269	2.878	3.490	4.050	4.502	4.796	<u>4.898</u>	4.796	4.502	4.050	3.490	2.878	2.269	1.709	1.229																	
26.000		2.479	3.054	3.618	4.126	4.531	4.791	4.882	4.791	4.531	4.126	3.618	3.054	2.479	1.935	1.451																	
28.000		2.662	3.201	3.719	4.178	4.540	4.771	4.851	4.771	4.540	4.178	3.719	3.201	2.662	2.140	1.662																	
30.000		2.820	3.322	3.796	4.211	4.534	4.740	4.811	4.740	4.534	4.211	3.796	3.322	2.820	2.323	1.856																	
32.000		2.955	3.420	3.854	4.229	4.519	4.702	4.764	4.702	4.519	4.229	3.854	3.420	2.955	2.485	2.035																	
34.000		3.069	3.500	3.897	4.236	4.495	4.659	4.715	4.659	4.495	4.236	3.897	3.500	3.069	2.627	2.195																	
36.000		3.165	3.563	3.926	4.233	4.467	4.613	4.663	4.613	4.467	4.233	3.926	3.563	3.165	2.750	2.339																	
38.000		3.244	3.612	3.944	4.223	4.434	4.566	4.611	4.566	4.434	4.223	3.944	3.612	3.244	2.857	2.467																	
40.000		3.310	3.650	3.954	4.208	4.399	4.518	4.558	4.518	4.399	4.208	3.954	3.650	3.310	2.948	2.580																	
42.000		3.363	3.678	3.957	4.188	4.362	4.470	4.506	4.470	4.362	4.188	3.957	3.678	3.363	3.026	2.678																	
44.000		3.407	3.698	3.954	4.166	4.324	4.422	4.455	4.422	4.324	4.166	3.954	3.698	3.407	3.092	2.765																	
46.000		3.441	3.711	3.947	4.141	4.286	4.375	4.405	4.375	4.286	4.141	3.947	3.711	3.441	3.148	2.840																	
48.000		3.468	3.718	3.936	4.115	4.247	4.328	4.356	4.328	4.247	4.115	3.936	3.718	3.468	3.194	2.905																	
50.000		3.489	3.721	3.923	4.087	4.208	4.283	4.308	4.283	4.208	4.087	3.923	3.721	3.489	3.233	2.961																	
52.000		3.504	3.720	3.907	4.058	4.170	4.238	4.262	4.238	4.170	4.058	3.907	3.720	3.504	3.265	3.009																	
54.000		3.515	3.716	3.889	4.029	4.132	4.195	4.217	4.195	4.132	4.029	3.889	3.716	3.515	3.291	3.050																	
56.000		3.521	3.709	3.869	3.999	4.095	4.153	4.173	4.153	4.095	3.999	3.869	3.709	3.521	3.312	3.085																	

fig.1.8 De snelheid in de schroefstraal van een containerschip met twee schroeven.

2. FILTEROPBOUW

2.1. Inleiding.

Zoals in de algemene inleiding al gezegd is zal de filterconstructie moeten zorgen dat de diepte ter plekke van de bestorting in de buitenbocht gehandhaaft blijft. Deeltjes mogen dus niet door het filter wegstromen en ook het filter zelf moet stabiel zijn. De bovenste laag van het filter de zogenaamde top laag heeft als functie de belastingen, die in de vorige paragrafen 1.2 en 1.3 bepaald zijn te weerstaan. De lagen tussen de top laag en de basislaag, de zogenaamde filterlagen moeten zorgen dat er geen basisdeeltjes door de top laag wegstromen. De zeefcurve van een filterlaag moet zo zijn dat er geen deeltjes uit de laag zelf wegstromen.

Er zijn twee methoden te ontdekken in de filteropbouw namelijk:

- de geometrisch dichte filtermethode (par.2.3.2.) en
- de hydrodynamische methode (par. 2.3.3).

Bij alle twee de methoden zal de top laag hetzelfde zijn daar deze bepaald wordt door de uitwendige belastingen als de schroefstraal, de watersnelheid en retourstroom. De bepaling van de top laag volgt in de volgende paragraaf 2.2.

2.2. De top laag.

Om de buitenbocht te beschermen tegen ontgrondingen moet er op de aangevulde grond een filterconstructie gemaakt worden. De top laag van deze constructie moet bestand zijn tegen de gevonden belastingen uit de vorige paragraaf. De top laag wordt dus bepaald door de uitwendige belastingen. De basislaag zelf ligt vast en is gevonden door bodemonderzoek in de bocht zelf, hier wordt nog op terug gekomen.

De eerste belastingscombinatie uit par.1.1 , dus de combinatie van stroomsnelheid en retourstroom, is ongeveer 2.5 m/s. Deze belasting moet door de top laag opgevangen worden omdat deze, door het zeer drukke scheepvaartverkeer op de Waal, bijna constant aanwezig is. Met Izbash (zie referentie 6) is de benodigde diameter van de top laag te berekenen. Izbash heeft zijn relaties afgeleid voor constante "h/D" verhoudingen. Voor variabele "h/D" verhoudingen is een verband afgeleid waaruit blijkt dat voor grotere "h/D" verhoudingen de kritische snelheid "U_{cr}" groter is dan uit Izbash volgt (zie fig.2.6). Als met Izbash de top laag wordt bepaald zal deze dus overgedimensioneerd worden.

In fig.2.6 zal daar het hier een vlakke bodem en niet een dam betreft lijn c) genomen moeten worden.

De vergelijking die hier bij hoort, ziet er als volgt uit :

$$\bar{U}_{cr} = \sqrt{(g \Delta D) * 1.4 * \log(5.5 * \frac{h}{D})} \quad 2.20$$

Voor de gevonden snelheid van 2.5 m/s geldt dan om beweging te voorkomen:

$$D_{50} = 25 \text{ mm}$$

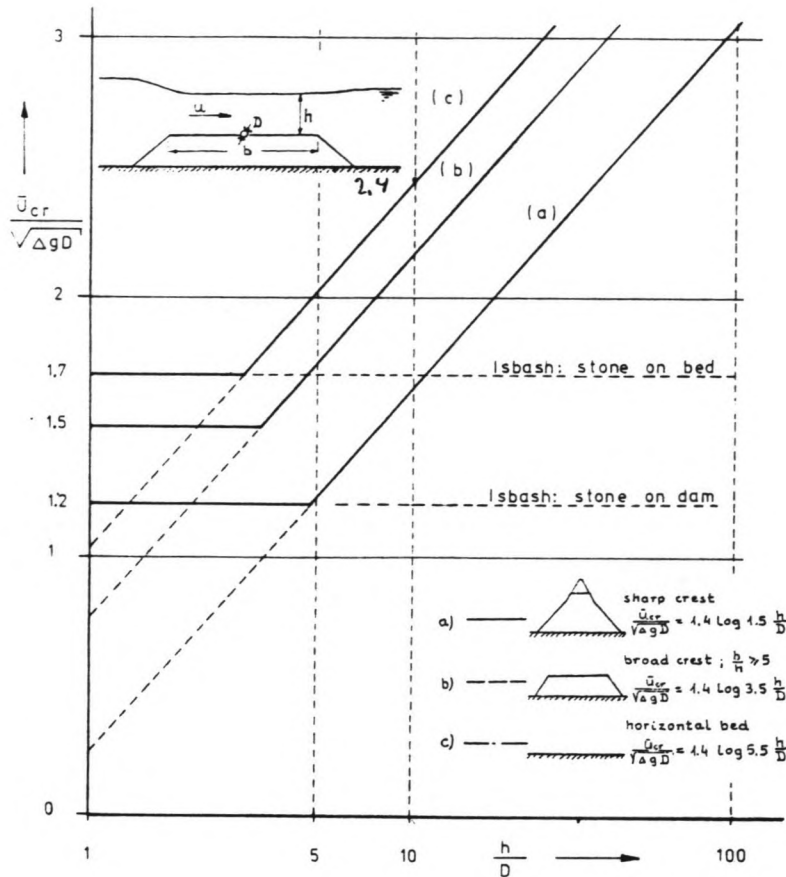


fig.2.6 Stabiliteit van stortsteen op een dam en op een bestorting.

In de vorige paragraaf was te zien dat de schroefstraalbelasting groter is dan 2.5 m/s. Om de onderliggende lagen nu te beschermen tegen de schroefstraalstroomsnelheid van 4.2 m/s moet voorkomen worden dat de toplaag plaatselijk zo veel verwijderd wordt dat de onderliggende lagen bloot komen te liggen.

Een manier om dit te bewerkstelligen is de diameter van de toplaag zo groot maken dat ook bij deze schroefstraalstroom de stenen blijven liggen. De eis die dan aan de diameter van de toplaag gesteld wordt volgt uit volgende relatie die uit onderzoek in het W-L (zie referentie 5) gevonden is:

$$\frac{U_{x,r}}{\sqrt{(g \cdot \Delta \cdot D_{50})}} \leq \beta \quad 2.21$$

$U_{x,r}$ = de snelheid aan de bodem t.g.v. de schroefstraal.

Als: $\beta \leq 0.55$ zo goed als geen transport
 $\beta = 0.7$ zo nu en dan transport

Als nu de vereiste diameter wordt bepaald bij een belasting van: $U_{x,r} = 4.2$ m/s en $\beta = 0.7$, dan moet D_{50} gelijk zijn aan 2.2 m.

Problemen bij een zo grote diameter zijn:

- De beschikbaarheid en daarmee in verband de kosten van een top laag met zulke stenen.
- De dikte van de filterconstructie zal erg groot worden. Niet alleen door de grote diameter van de top laag zelf maar ook door de extra lagen eronder die nodig zijn om een geometrisch dicht filter te construeren.
- Het aanbrengen van een laag met zo'n diameter zal extra kosten meebrengen.

De diameter zal dus kleiner genomen worden wat tot gevolg heeft dat er enige mate van transport en dus uitschuring van de top laag geaccepteerd wordt. Deze ontgrondingskuilen mogen natuurlijk niet dieper worden dan de dikte van de top laag zelf.

Ook naar de ontgroning tengevolge van schroeven is onderzoek gedaan in het W-L (zie referentie 5). Dit onderzoek is echter beperkt gebleven tot een onderzoek met:

- een stilliggend schip en
- een schip met een enkele schroef.

De relatie die voor de maximale ontgrondingen achter scheepsschroeven is gevonden ziet er als volgt uit:

$$\frac{d_{\max}}{Z_b} = 4 \cdot 10^{-3} \left[\frac{F_o}{Z_b/D_o} \right]^{2.9} \quad 2.22$$

waarin: $d_{\max}$ = maximale diepte
ontgrondingskuil

$$F_o = \frac{U_o}{\sqrt{(g \Delta D_{50})}}$$

Te zien is dat in deze vergelijking 2.22 een eenduidige uitstroomsnelheid nodig is. In het geval van drie schroeven is er sprake van drie uitstroomsnelheden. De vraag is nu met welke uitstroomsnelheid gewerkt kan worden om de ontgroning te bepalen.

Enkele mogelijkheden hiertoe zijn:

- A) Het gevonden snelheidsprofiel voor drie schroeven beschrijven als ware het veroorzaakt door één met dus één uitstroomsnelheid,
- B) Sommatie van de geleverde vermogens door de drie schroeven en hiermee de uitstroomsnelheid bepalen,
- C) De verhouding tussen de uitstroomsnelheid van één schroef en de maximale snelheid aan de bodem t.g.v. deze schroef ($U_{x,r}$) gebruiken om met de bekende maximale snelheid aan de bodem t.g.v. drie schroeven de uitstroomsnelheid te bepalen, dus:

2.23

$$\left[\frac{U_o}{U_{x,r_{\max}}} \right] (\text{één schroef}) = \left[\frac{U_o}{U_{x,r_{\max}}} \right] (\text{drie schroeven})$$

AdA) Moeilijkheid bij deze oplossing is het bepalen van een vergelijking die het snelheidsprofiel goed beschrijft. De

vorm van de schroefstraal stroom bij drie schroeven zal afwijken van die bij een enkele schroef. Twee in tabel 1.3 en 1.4 te constateren verschillen zijn:

- de straal wordt sneller verspreid, dus de snelheid neemt in dwarsrichting (y) langzamer af,
- en de snelheid in langsrichting (x) neemt langzamer af.

Als nu vergelijking 1.17 als basis wordt aangehouden maar alleen de verschillende coëfficiënten variabel worden gesteld dan geldt:

$$U_{x,r} = \left[\frac{x}{2.8D_o} \right]^b * \exp\left(A * \left[\frac{r^d}{x^c} \right]\right) * U_o \quad 2.24$$

A, b, c en d zijn de variabelen die met behulp van de snelheden in tabel 1.4 te bepalen zijn.

Betreffende deze variabelen kan wel het volgende gezegd worden, namelijk dat:

- "b" groter zal zijn dan de normaal toe te passen waarde van -0.35. Dit door het langzamere afnemen van de snelheid in x-richting.
- "d" kleiner zal zijn dan de gebruikelijke waarde van 2. Dit door het langzamere afnemen van de snelheid in y-richting.

Uit de snelheidsverdeling in tabel 1.4 is te halen op welke "x" het maximum van "U_{x,r}" ligt. Hier zal de afgeleide van vgl. 2.24 nul moeten zijn dus:

$$\frac{dU_{x,r}}{dx} = 0$$



VAKGROEP
WATERBOUWKUNDE
Afd. Civiele Techniek
TH Delft

$$\left[\frac{b}{2.8 * D_o} * \left(\frac{x}{2.8 * D_o} \right)^{b-1} * \exp\left(A * \frac{r^d}{x^c}\right) + \left(\frac{x}{2.8 * D_o} \right)^b * \exp\left(A * \frac{r^d}{x^c}\right) * A * r^d * -c * x^{(-c-1)} \right] * U_o = 0$$

$$\left(\frac{x}{2.8 * D_o} \right)^b * \exp\left(A * \frac{r^d}{x^c}\right) * U_o * \left[\left(\frac{x}{2.8 * D_o} \right)^{-1} * \frac{b}{2.8 * D_o} + A * r^d * -c * x^{(-c-1)} \right] = 0$$

$$\frac{b}{x} + A * r^d * -c * x^{(-c-1)} = 0 \quad 2.25$$

Bekend is dat: $b > -0.35$
 $d < 2$

Voor verschillende combinaties van "b en d", die rond de oude waarden liggen, is de vgl.2.25 opgelost. Met de gevonden variabelen is de overeenkomst tussen de vergelijking en de waarden van $U_{x,r}$ uit tabel 1.4 bekeken. De beste combinatie die na deze trial and error methode overbleef was:

$$\begin{aligned} b &= -0.3 \\ d &= -1.6 \\ c &= 2.0 \\ A &= -32 \end{aligned}$$

De combinatie van deze variabelen geeft dat de uitstrooomsnelheid gelijk moet zijn aan, $U_o = 10.5$ m/s. Opgemerkt moet worden dat de gevonden vergelijking niet is gecontroleerd voor andere drie schroevige belastingen en dat de vergelijking redelijk overeenkomt met de waarden. De gevonden waarde van 10.5 m/s is dus een grove indicatie en zal in combinatie met het gevondene onder adC) en adB) een te hanteren waarde voor de uitstrooomsnelheid geven.

AdB) Voor één schroef was een vermogen van 400 KW gevonden. Het totale vermogen is dus: $P_t = 1200$ KW. De uitstrooomsnelheid volgt dan uit:

$$U_o = 1.15 * \left(\frac{P}{\rho * D_o^2} \right)^{1.333} \quad P = P_1 + P_2 + P_3$$

Dit geeft: $U_o = 8$ m/s.

AdC) Met de vergelijking 2.23 volgt met de gegeven waarden uit tabel 1.4 :

$$\frac{5.75}{2.9} : \frac{U_o}{5.31} = 1:1 \quad \text{voor } b = -0.35$$

Dit geeft: $U_o = 10.5$ m/s.

Onder adA) was al te zien dat "b" ongeveer -0.3 zal zijn en dus zal de waarde van 10.5 m/s iets te groot zijn.

Als nu een combinatie van "A, B en C" wordt bekeken dan volgt dat de uitstrooomsnelheid nodig voor de bepaling van de mogelijke ontgrondingen ligt in het volgende interval:

$$8 \leq U_o \leq 10.5 \text{ m/s.}$$

Met vgl.2.22 kan nu de ontgroning t.g.v. de schroefstraalstroom bekeken worden voor deze uitstrooomsnelheden (zie tabel 2.9).

	Uo=8 m/s	Uo=9m/s	Uo=10.5 m/s
D (mm) 50	d (m) max	d (m) max	d (m) max
0.15	0.58	0.82	1.27
0.2	0.38	0.53	0.84
0.25	0.276	0.39	0.6
0.3	0.21	0.3	0.46
0.4	0.139	0.19	0.308
0.5	0.1	0.114	0.22

tabel 2.9 Diepten ontgrondingskuilen voor verschillende diameters en uitstroomsnelheden.

Deze waarden in tabel 2.9 zijn gevonden voor stilliggende schepen en de werkelijke waarden zullen dan ook kleiner zijn dan de gevonden waarden. Dit komt doordat een ontgrondingskuil ten eerste tijd nodig heeft om zijn maximum te bereiken. In deze tijd zal een varend schip al gepasseerd zijn zodat het maximum niet bereikt wordt. Ten tweede zal een ontgroning veroorzaakt door een varend schip door dat zelfde schip weer gedeeltelijk teniet gedaan worden.

Gevaar bestaat dat vooral aan de buitenbochttoever deze opvulling wegvalt en de ontgrondingskuil zich kan ontwikkelen tot het maximum. Er zal dus voor een gemiddelde diameter van 0.25-0.3 m gekozen moeten worden. De dikte van de laag moet dan, met veiligheidsfaktor van 1.5, 0.75 m worden.

Gevaar bestaat er wel dat door het niet plaatsvast zijn van de top laag deze langzaam één richting opstroomt en zo de onderliggende lagen bloot komen te liggen. Deze indruk wordt gegeven doordat de volgende belastingen in de buitenbocht dezelfde stroomafwaartse richting hebben:

- de stroomsnelheid van het water,
- de gravitatiecomponent op de top laag door de helling van de bodem,
- en de schroefstraalbelasting, dit door het in de buitenbocht stroomopwaarts varen van de geladen duwbakken.

Door nauwkeurige controle zal het mogelijke stroomafwaartse verdwijnen van de top laag in de gaten moeten worden gehouden. De top laag krijgt nu de volgende karakteristieken.

$$D_{90} = 320 \text{ mm}$$

$$D_{50} = 270 \text{ mm}$$

$$D_{10} = 190 \text{ mm}$$

2.3. Filteropbouw tussen top laag en basismateriaal.

2.3.1. Inleiding.

Om het filter aan te kunnen leggen moet eerst de bodem op dezelfde diepte gebracht worden. Dit betekent dat de binnenbocht gebaggerd en de buitenbocht aangestort moet worden. Dit aanstorten van de buitenbocht kan met de grovere deeltjes van het weggebaggerde materiaal uit de binnenbocht gebeuren. Het grind heeft een verdeling van 2 - 60 mm. Dit grind moet in elk geval de stroomsnelheid van de rivier kunnen weerstaan. Daar de aanvulling van de gedeeltes in de buitenbocht bij kleine debieten gebeurt zal de stroomsnelheid ongeveer 1 à 1.2 m/s zijn.

Dit betekent met vgl. 2.21 een benodigde diameter van:

$$D = 3 \text{ à } 4 \text{ mm}$$

Het grovere materiaal (grind) uit de binnenbocht kan dus als opvulmateriaal in de buitenbocht gebruikt worden.

Nu dus de ondergrond waarop het filter geconstrueerd moet worden en de top laag vastliggen is er nog het probleem te voorkomen dat de kleine deeltjes van het basismateriaal door de top laag met een grote diameter gezogen worden.

De basislaag bestaat voornamelijk uit zand. In bijlage 2 is een grondboring te zien uitgevoerd door het laboratorium voor grondmechanica. Deze grondboring laat de bodem zien op de hoogte waarop het filter aangelegd moet worden. In de buitenbocht blijkt uit andere boringen dat de gemiddelde diameter van het grind daar groter is, wat zoals in deel 1 (zie ref. 14) volgt logisch is door de grotere zwaartekrachtcomponent in dwarsrichting. Bovendien zal dit grovere materiaal nog afgedekt worden met het grind uit de binnenbocht om op de gewenste aanleghoogte te komen, zodat het deel waar gebaggerd is qua basismateriaal maatgevend zal zijn.

Bij het bepalen van de filteropbouw is gebruik gemaakt van onderzoek t.b.v. de stormvloedkering in de Oosterschelde (zie referentie 7).

De twee algemene mogelijkheden om een filter op te bouwen zijn:

- A) - een geometrisch dicht filter.
Door het filter op te bouwen uit verschillende laagjes is het mogelijk te voorkomen dat een onderliggende laag door die er boven gezogen wordt. Dit betekent dat hoe groot de krachten ook zijn een onderliggende laag niet door die er boven kan wegstromen. Wel kan een hele (top)laag omhoog weggedrukt worden als de kracht erop groot en de doorlatendheid klein genoeg is.
- B) - een filter berekend met de hydrodynamische methode.
Bij deze methode wordt voorkomen dat de deeltjes een grotere belasting krijgen dan de maximaal mogelijke, de zogenaamde kritische. Dit kan bewerkstelligd worden door de filteropbouw op het basismateriaal van voldoende dikte en/of lage waterdoorlatendheid (zonder drukopbouw) te ontwerpen zodat de uittreesnelheid van het basismateriaal kleiner is dan de kritische.

De materialen die voor een geometrisch dicht filter gebruikt kunnen worden zijn:

- 1) zand
- 2) grind
- 3) stortsteen
- 4) filtermatten en
- 5) asfalt.

De eerste drie materialen vormen de basis voor een zogenaamd granulair filter.

In plaats van stortsteen als toplaag kan ook al dan niet waterdicht asfalt genomen worden. Er moet dan wel opgepast worden dat bij een waterdichte laag niet een te grote druk optreedt die de asfaltlaag van de onderliggende, wel doorlatende lagen afdrukt.

De totale belasting t.o.v. de spiegeldaling zal nu opgevangen moeten worden door de asfaltlaag die voldoende dik genomen moet worden.

Een voordeel van een toplaag van asfalt zal zijn, als het mogelijk is om onder water een gladde asfaltlaag te construeren, dat de ruwheid klein en dus de Chezy-faktor groot zal zijn en dus zoals in deel 1 (zie referentie 14) blijkt voordelen biedt t.a.v. de snelheidsverdeling in de bocht en de stuweffekten bij het splitsingspunt bij Pannerden.

Probleem is echter dat de aanleg van asfalt net als filtermatten een grote hinder betekent voor de scheepvaart. En een eis is dat de scheepvaart niet gehinderd wordt bij de aanleg van de bodemconstructie. Ook is een eis dat er milieu-vriendelijke materialen gebruikt worden daar de bocht in een waterwingebied ligt. De twee materialen (4 en 5) vallen als constructie materiaal af.

2.3.2. Geometrisch dicht filter.

De eisen die aan een geometrisch dicht filter worden gesteld zijn als volgt onder te verdelen:

1) zanddichtheid:

a) stabiliteit van het basismateriaal.

Er moet voorkomen worden dat er migratie van de basiskorrels door de filterlaag optreedt. Er is stabiliteit als:

$$\log \left[\frac{D_{10}}{d_{10}} - 2 \right] < \frac{1.9}{\log(d_{10} - 0.001) + 3} \quad 2.25'$$

In fig.2.7 is dit uitgezet.

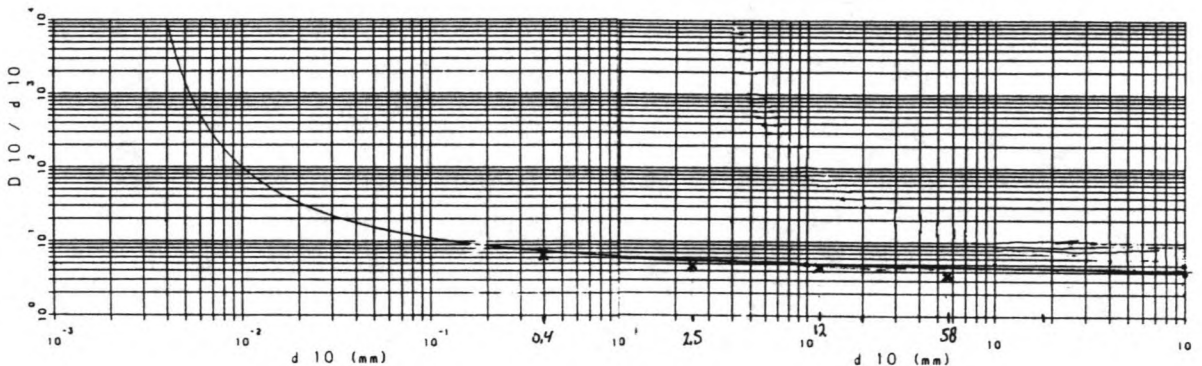


fig.2.7 Absoluut stabiliteitscriterium van Kawakami en Esashi.

b) interne stabiliteit.

Ook de deeltjes uit een laag zelf mogen niet uitspoelen. Dit zou namelijk de zeefcurve van zo een laag veranderen en hiermee de stabiliteit van het filter in zijn geheel. Bovendien is het verspillend om een diameter in een filterlaag op te nemen die toch uitspoelt. Het kenmerk van een laag die bepalend is voor de interne stabiliteit is de uniformiteit "Un". Met de criteria volgens Kenney en Lau (zie referentie 8) is te controleren of de laag intern stabiel is (zie fig.2.8).

Het basismateriaal hoeft niet gecontroleerd te worden omdat deze laag qua korrelverdeling vaststaat.

In fig.2.8 zal voor D_{10} , D_{20} , D_{30} en D_{45} gecontroleerd worden of aan de criteria voor interne stabiliteit is voldaan. Uit fig.2.8 is te halen dat dan aan de volgende 4 eisen moet zijn voldaan om absolute stabiliteit te garanderen.

- a minder dan 78% van de deeltjes groter mag zijn dan $4 \cdot D_{10}$
- b minder dan 56% van de deeltjes groter mag zijn dan $4 \cdot D_{20}$
- c minder dan 34% van de deeltjes groter mag zijn dan $4 \cdot D_{30}$
- d geen van de deeltjes groter mag zijn dan $4 \cdot D_{45}$

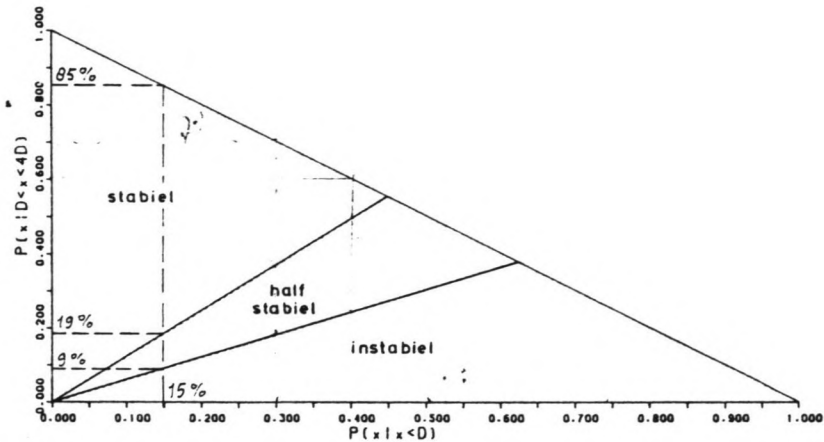


fig. 2.8 Criteria voor interne stabiliteit.

2) waterdoorlatendheid.

Er moet voor gezorgd worden dat het water door de lagen kan worden afgevoerd. Dit op zo'n manier dat interne drukopbouw voorkomen wordt. Deze eis is in de hierna genoemde samenvattende criteria opgenomen.

3) samenvattende criteria.

Deze criteria, ontwikkeld door Thanikachalam en Shakthivadivel (zie referentie 9) gaan er van uit dat aan de eisen onder 1) voldaan is. Met de samenvattende criteria kunnen de eisen aan de diameters en de uniformiteit bepaald worden. De samenvattende criteria zien er als volgt uit:

$$\frac{d_{60}}{d_{10}} > 0.4 * \frac{D_{10}}{d_{10}} - 2.0 \quad 7.26$$

$$\frac{D_{60}}{D_{10}} > 0.415 * \frac{D_{50}}{d_{50}} - 3.32 \quad 2.27$$

$$\frac{D_{60}}{D_{10}} > 0.941 * \frac{D_{10}}{d_{10}} - 5.65 \quad 2.28$$

In fig.2.9 zijn deze criteria uitgezet.

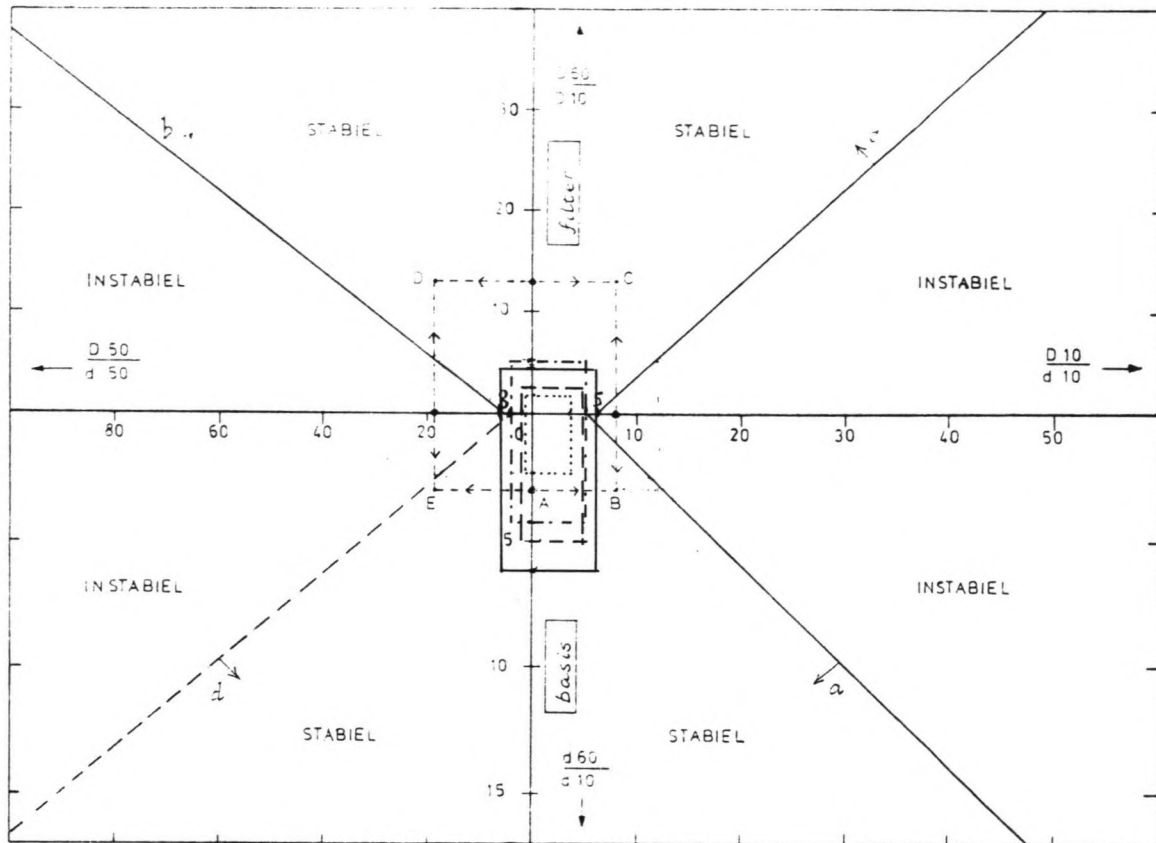


fig.2.9 Ontwerpnomogram volgens Thanikachalam en Shakthivadival.

De combinatie van de criteria onder 1,2 en 3 levert een filteropbouw op van drie lagen tussen de toplaag en het basismateriaal en de bijbehorende diameters zijn te zien in tabel 2.10 en fig.2.10.

	D_{10}	D_{50}	D_{60}	D_{90}	U_n
basislaag	0.4	2	2.5	4	6.1
1de filterlaag	2.5	10	12.5	25	5
2de filterlaag	12	40	50	80	4.2
3de filterlaag	58	120	150	200	3
toplaag	190	260	275	320	1.5

tabel 2.10 Verdeling van de diameters (in mm) voor de verschillende lagen bij een geometrisch dicht filter.

Controle of aan de eisen 1a) (absolute stabiliteit) en 2,3 (samenvattende criteria) is voldaan is te zien in resp. figuren 2.7 en 2.9. De controle van eis 1b) (interne stabiliteit) is in

de volgende tabel 2.11 te zien. Te zien is dat aan alle eisen voldaan is behalve voor de eerste filterlaag waarvoor aan eis d) van de interne stabiliteit 1b) niet wordt voldaan (4 % > 0 %). Dit punt valt in het half stabiele gebied. Het is echter een minieme afwijking en zal dan ook gewoon uitgevoerd kunnen worden.

	> D ₁₀	> D ₂₀	> D ₃₀	> D ₄₅
EIS:	78 %	56 %	34 %	0 %
1ste filterlaag	48 %	25 %	12 %	4 %
2de filterlaag	40 %	15 %	4 %	0 %
3de filterlaag	10 %	0 %	0 %	0 %
4de filterlaag	0 %	0 %	0 %	0 %

tabel 2.11 Controle van de interne stabiliteit.

Op te merken valt dat voor kleine d diameters de samenvattende
10
criteria maatgevend zijn en voor grotere het absolute stabiliteitscriterium.

De minimale laagdikte van een zandlaag is 10 cm en van een grindlaag 20 cm. Probleem echter bij het aanleggen van dit geometrisch dichte filter is dat de 1ste laag met de kleinere deeltjes in de stromende rivier moet gebeuren. Te zien in vorige paragrafen was dat bij de minimale belasting op de deeltjes al een diameter van 4 mm nodig is. Dit betekent dat t.g.v. de stroomsnelheid al 20% van de deeltjes uit de 1ste filterlaag kan uitspoelen. De uitstroming van deze kleinere deeltjes zal ervoor zorgen dat niet meer aan het absolute stabiliteitscriterium voldaan zal worden en dat ook de interne stabiliteit in gevaar komt.

Bij een combinatie met de schroefstraalstroom van een vierbaksduwboot is al een diameter van 25 mm nodig. Nu bestaat er ook het gevaar dat de onderliggende basislaag bloot komt te liggen. De 1ste filterlaag zal dan ook veel dikker dan de minimale 20 cm gemaakt moeten worden om te voorkomen dat de basislaag bloot komt te liggen. Dit geldt voor de 2de filterlaag in mindere mate ook. Duidelijk is dat de uitvoer van een geometrisch dicht filter een qua dikte overgedimensioneerd filter oplevert en bij de uitvoer een zeer nauw toezicht vereist.

Om de dikte van de lagen te bepalen is het belangrijk te weten hoe lang het duurt voordat de laag afgedekt wordt door een volgende. Dit is sterk afhankelijk van de uitvoeringsmethode en mogelijke problemen die tegengekomen worden. Met Paintal (zie referentie 10) is dan de mate van transport te bepalen waarmee de hoeveelheid extra materiaal is te bepalen en daarmee de overdikte van de laag. Vanwege het storten in stromend water zal de bedekking van de bodem vrij ongelijk zijn wat ertoe leidt dat de dikte nog groter moet worden genomen. Een exacte berekening zal hier niet volgen maar zal in de orde van grootte van ≈ 0.6 m liggen voor de eerste filterlaag. De tweede laag zal weer iets kleiner worden ≈ 0.45 m. De derde filterlaag ≈ 0.4 m.

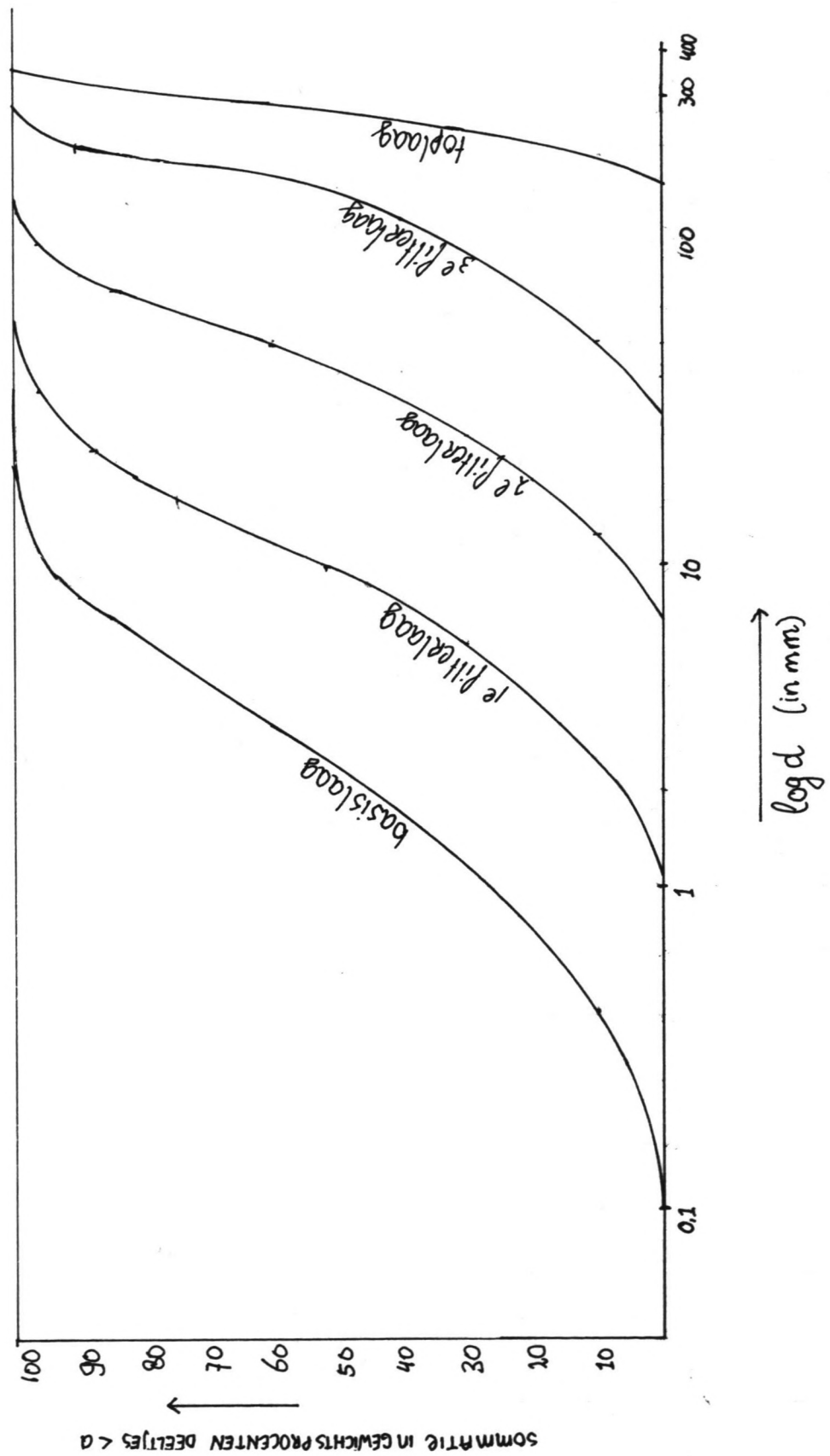


fig. 2.10 Opbouw filterconstructie voor geometrisch dicht filter

2.3.3. Filter volgens de hydrodynamische methode.

In de vorige paragraaf was te zien dat de eerste filterlagen dik uitgevoerd moeten worden. Het is nu dus niet alleen zo dat de uitvoer van een geometrisch dicht filter moeilijker is dan het filter bepaald via de methode in deze paragraaf maar het is ook mogelijk dat de hoeveelheid te gebruiken materiaal groter is.

Ook is het een voordeel dat bij het ontwerpen van een filter via de hydrodynamische methode materiaal kan worden genomen dat makkelijk in de omstreken te verkrijgen is en dus goedkoop is.

Maasgrind is zo'n grind en heeft een diameter verdeling van 10-60 mm. Dit materiaal is dus al duidelijk beter bestand tegen de belastingen terplekke en hoeft dus uit dit oogpunt niet veel dikker dan de minimale dikte van 20 cm genomen te worden.

De dikte van de grindlaag zal nu bepaald worden door de stromings-belasting op de deeltjes. Voorkomen moet namelijk worden dat het verhang dat in een laag, zowel loodrecht " I " als evenwijdig " $I//$ " moet worden opgenomen groter is dan het kritische verhang " I_{cr} ". Dan zullen namelijk door het niet geometrisch dicht zijn van het filter de deeltjes uitspoelen en de constructie bezwijken.

De krachten die optreden zijn:

- A) In dwarsrichting, loodrecht op de laag door de spiegeldaling van het schip en mogelijke grondwaterspiegeldaling naast de damwand in de buitenbocht.
- B) En in langsrichting door de helling van de waterspiegel en de schroefstraalstroom.

Er moet echter wel nog rekening gehouden worden met het feit dat het kritische verhang evenwijdig aan het grensvlak beïnvloed wordt door het verhang dat loodrecht op het grensvlak staat. Het blijkt dat voor kleine verhangen loodrecht op het vlak (<0.6) het kritische verhang niet beïnvloed wordt. Als $I_{\perp}$ van 0.6 het

kritische verhang $I_{\perp cr}=1$ bereikt neemt het kritische verhang $I//cr$ af tot nul.

2.3.3.1. Loodrecht op de lagen.

Voordat de belastingen bekeken worden zal eerst gekeken worden wat de maximale belasting kan zijn, dus het kritische verhang wordt bepaald. Het kritische verhang " I_{cr} " in een laag is afhankelijk van de verhouding tussen de diameters van de betreffende laag en die er boven. In fig.2.11 is te zien dat het kritische verhang kleiner wordt als de lagen een groter verschil in diameter hebben. Dit verschil in diameter wordt uitgedrukt in de faktor:

$$\epsilon f \cdot D_{15}/d_{50}$$



VAKGROEP
WATERBOUWKUNDE
Afd. Civiele Techniek
TH Delft

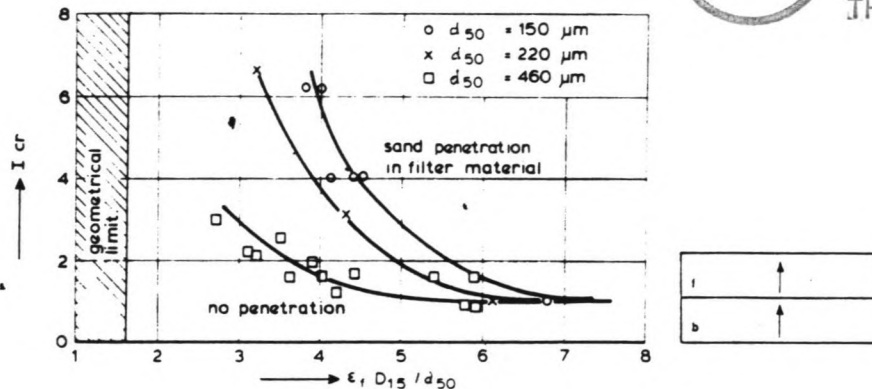


fig.2.11 kritisch verhang in een filter bij loodrechte stroming

Als verondersteld wordt dat er geen grindlaag tussen de top laag en de basislaag komt geldt:

$$\frac{\epsilon_f \cdot D_{15} \text{ (toplaag)}}{d_{50} \text{ (basis)}} = 50$$

In fig.2.11 is dan te zien dat geldt dat: $I_{cr} = 1$ (voor de basislaag).

Als het maasgrind ($d_{50} = 35 \text{ mm}$ en $D_{15} = 15 \text{ mm}$) als tussenlaag wordt gebruikt geldt:

$$\frac{\epsilon_f \cdot D_{15} \text{ (maasgrind)}}{d_{50} \text{ (basis)}} = 7.5$$

Ook hier geldt met fig.2.11 dat $I_{cr}(\text{basis}) = 1$. Dus met of zonder tussenlaag zal het verhang in de basislaag niet groter mogen worden dan 1.

In de rivier zullen drie belastingssituaties t.g.v. de spiegeldaling van een schip bekeken worden n.l.

- 1) - een schip varend in een rivier met aan twee zijden een damwand
- 2) - een schip varend dicht langs de oever en
- 3) - een schip varend in het midden van de rivier.

1) Aan twee zijden een damwand.

Deze situatie lijkt het meest op een sluis die aan twee zijden een damwand heeft en een waterspiegeldaling die over de hele breedte gelijk is, zie fig.2.12.

In werkelijkheid zal alleen aan de buitenbochttoever een damwand aanwezig zijn. De verhangen die nu in de lagen optreden zijn afhankelijk van de dikte van de lagen, de hoeveelheid lagen en de doorlatendheid van de lagen. Als er n-lagen worden voorgesteld gelden de volgende vergelijkingen:

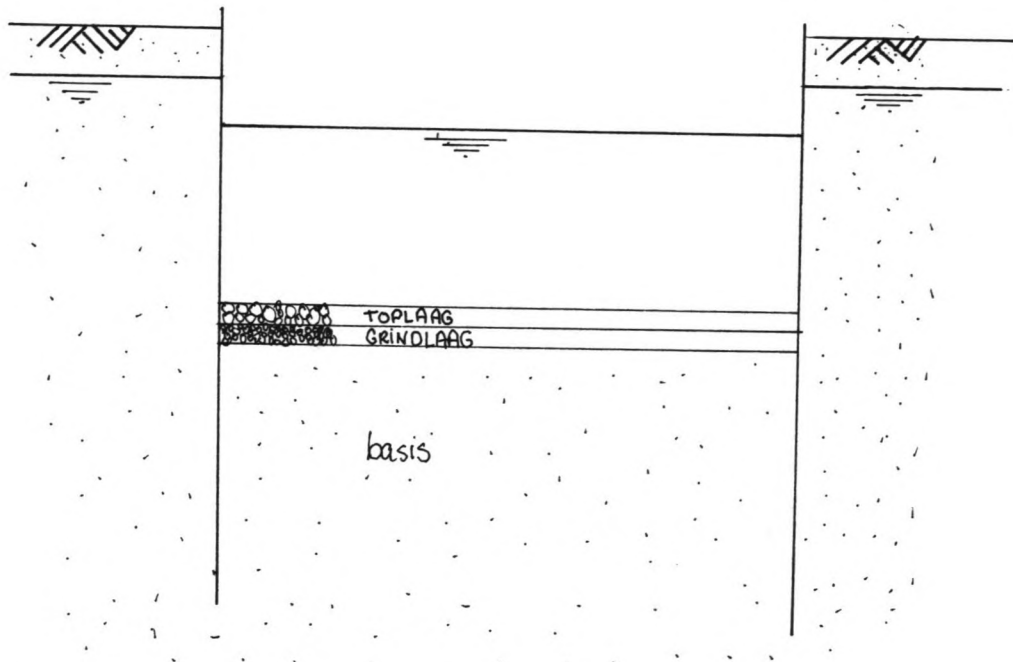


fig.2.12 Waterspiegeldaling in een sluis.

De vergelijkingen worden dan:

$$Z = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n \quad 2.26$$

n = aantal lagen. (-)

Z_x = waterstandsverschil over laag x (m)

$$k_1 \cdot \frac{Z_1}{d_1} = k_2 \cdot \frac{Z_2}{d_2} + \dots = k_n \cdot \frac{Z_n}{d_n} \quad 2.27$$

Meer dan drie lagen zal het filter niet hebben als deze via de hydrodynamische methode wordt bepaald. Dus "n=3", zie fig.2.14.

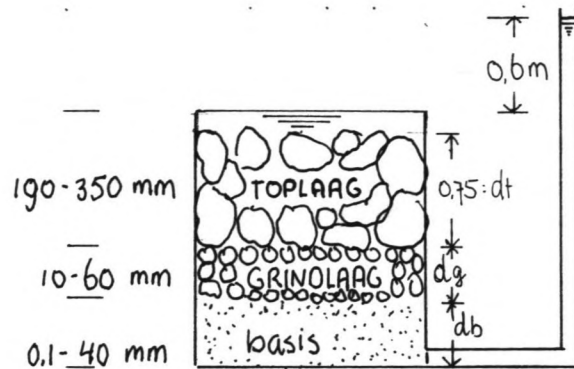


fig.2.14 Mogelijke opbouw filter met drielagen.

Samenvoegen van vgl'en 2.26 en 2.27 geeft:

$$\frac{d_1}{d_3} \cdot \frac{k_3}{k_1} \cdot Z_3 + \frac{d_2}{d_3} \cdot \frac{k_3}{k_2} \cdot Z_3 + Z_3 = Z \quad 2.28$$

k = doorlatendheid (m/s)

d = dikte van de laag (m)

1 = t = de top laag

2 = g = de grind laag (tussenliggend)

3 = b = de basis laag

$$\frac{Z_b}{d_b} = \frac{Z}{\frac{k_b}{k_t} \cdot d_t + \frac{k_b}{k_g} \cdot d_g + d_b} \quad 2.29$$

De doorlatendheid " k " die nodig is om vgl.2.29 op te lossen is te halen uit (zie referentie 11), voor de doorlatendheid van de top laag, de grind laag en de basis laag volgt dan:

$$k_t = 0.35 \text{ m/s}$$

$$k_g = 0.1 \text{ m/s}$$

$$k_b = 0.015 \text{ m/s}$$

Met vergelijking 2.29 is nu voor verschillende dikten van de grind- en basis laag het verhang in de drie lagen te bepalen. In tabel 2.12 zijn de waarden uitgezet.

db (m)		0.0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	2.0
dg (m)	I								
0.0	Ib	0.0	4.54	2.58	1.39	0.95	0.72	0.58	0.295
	Ig	0000	000	0000	000	00000	0000	00000	00000
	It	0.8	0.19	0.11	0.06	0.04	0.031	0.025	0.0442
0.1	Ib	000	4.08	2.43	1.34	0.93	0.71	0.57	0.293
	Ig	1.91	0.611	0.364	0.2	0.14	0.106	0.086	0.044
	It	0.55	0.175	0.104	0.057	0.04	0.030	0.025	0.0126
0.2	Ib	0.00	3.74	2.29	1.30	0.906	0.70	0.565	0.290
	Ig	1.45	0.556	0.343	0.195	0.136	0.104	0.085	0.0436
	It	0.41	0.159	0.098	0.056	0.038	0.030	0.024	0.0125
0.3	Ib	0.00	3.387	2.165	1.26	0.886	0.684	0.557	0.289
	Ig	1.17	0.508	0.325	0.189	0.133	0.103	0.084	0.043
	It	0.33	0.145	0.093	0.054	0.038	0.03	0.024	0.0123
0.4	Ib	0.00	3.122	2.054	1.22	0.867	0.673	0.55	0.2875
	Ig	0.98	0.466	0.308	0.183	0.13	0.1	0.082	0.043
	It	0.28	0.133	0.088	0.052	0.037	0.029	0.024	0.012
0.5	Ib	0.00	2.897	1.953	1.183	0.848	0.661	0.542	0.285
	Ig	0.84	0.434	0.293	0.177	0.127	0.099	0.081	0.043
	It	0.24	0.124	0.084	0.05	0.036	0.028	0.023	0.012

tabel 2.12 De verhangen evenwijdig aan de bodem in de drie lagen afhankelijk van de dikte van de basis- en grindlaag.

In de tabel 2.12 is te zien dat als het waterstandsverschil geheel door de top laag en de grind laag moet worden opgevangen dat dan de grind laag 0.4 m dik moet zijn. Als er geen grind laag tussen de basis laag en top laag zit moet de meewerkende dikte van de basis laag (om uitspoeling te voorkomen) 0.58 m zijn. Als er wel een grind laag is (van stel 0.4 m) is deze dikte 0.52 m. De invloed van de dikte van de grind laag op het verhang in de basis laag is dus erg klein, dit door de veel kleinere doorlatendheid van deze basis laag. Als het verhang in de basis laag dus groter dan de kritische is zal er eerder een extra grind laag met kleinere diameter en dus kleinere doorlatendheid tussengelegd worden dan dat de bestaande grind laagdikte vergroot zal worden.

2) Een schip varend dicht langs de oever

Verskil tussen de situatie in een sluis uit fig.2.12 en die in de rivier als een schip dicht langs de buitenbochttoever vaart, waar een damwand aanwezig is (zie fig.2.13) is dat de waterspiegel niet gelijk over de breedte zakt maar dat de waterspiegel een hellend verloop heeft. Dit betekent dat er niet alleen van onder de damwand water toestroomt maar er ook in dwarsrichting stroming optreedt, zie fig.2.13.

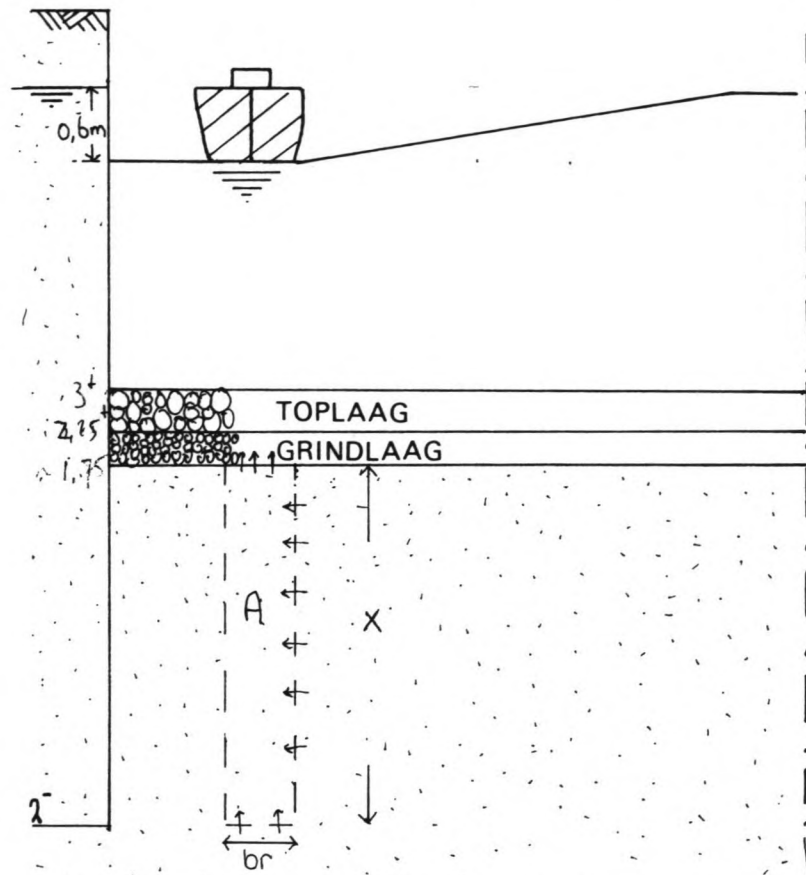


fig.2.13 Schip met spiegeldaling dicht bij de buitenbochttoever.

De grootte van het dwarsverhang is afhankelijk van de spiegeldaling en de breedte van de kuil waarin spiegeldaling plaatsvindt "Bv". In paragraaf 2.3 is al gesteld dat "Bv=1". Met een spiegeldaling van 0.6 m (geldt bij een grote diepte van 8m in de rivier) en een lengte van het schip $l=100$ m volgt een gemiddeld verhang van $0.6/50=0.012$. Er zal dus in het balansgebied in fig.2.13 niet alleen water vanonder toestromen maar ook vanuit het rechter zijvlak.

Van onder de damwand zal door de waterspiegeldaling "Z" van 0.6 m water toestromen met een snelheid afhankelijk van de doorlatendheden van de lagen waardoorheen het water moet stromen. De snelheid door de drie lagen moet gelijk zijn en het waterstandsverschil "Z" moet verdeeld worden over de lagen.

Als nu het balanshokje "A" uit fig.2.13 wordt bekeken en de continuïteitsvergelijking opgesteld dan volgt:

$$\frac{Z_b}{\delta b} * k_b * b_r + 0.012 * k_b * x = b_r * I_{\perp} * k_b \quad 2.30$$

b_r = de breedte van het balanshokje (≈ 20 m)

x = de lengte van het balanshokje ($= 3$ m)

Uit deze vgl.2.30 volgt:

$$I_{\perp} = 0.2$$

En dus:

$$I_{\perp} < I_{\perp cr} (=1)$$

In het bovenstaande is er van uitgegaan dat het verhang t.g.v. de spiegeldaling gelijk is over de hele diepte van de basislaag tot aan het uiteinde van de damwand. Dit is juist als de waterstandsdaling zoals in fig.2.12 constant over de breedte is.

In dit geval echter kan door de plotselinge waterspiegeldaling een grotere belasting van de filterconstructie optreden.

Als tussen de top laag en de basislaag een grindlaag wordt gelegd zal " Z_b " afnemen en hiermee ook het verhang " I ". Om de invloed van deze grindlaag op dit verhang te bepalen wordt een grindlaag van 0.4 m dikte (nodig in verband met uitvoer) tussen de top laag en de basislaag (3m dik) gedacht. Met vergelijking 2.29 volgt dan:

$$\frac{Z_b}{\delta b} = 0.194$$

Een verkleining van 4% . Door de grote dikte van de basislaag en de kleinere doorlatendheid van de basislaag blijkt de verkleining verwaarloosbaar klein.

3) Een schip varend in het midden van de rivier.

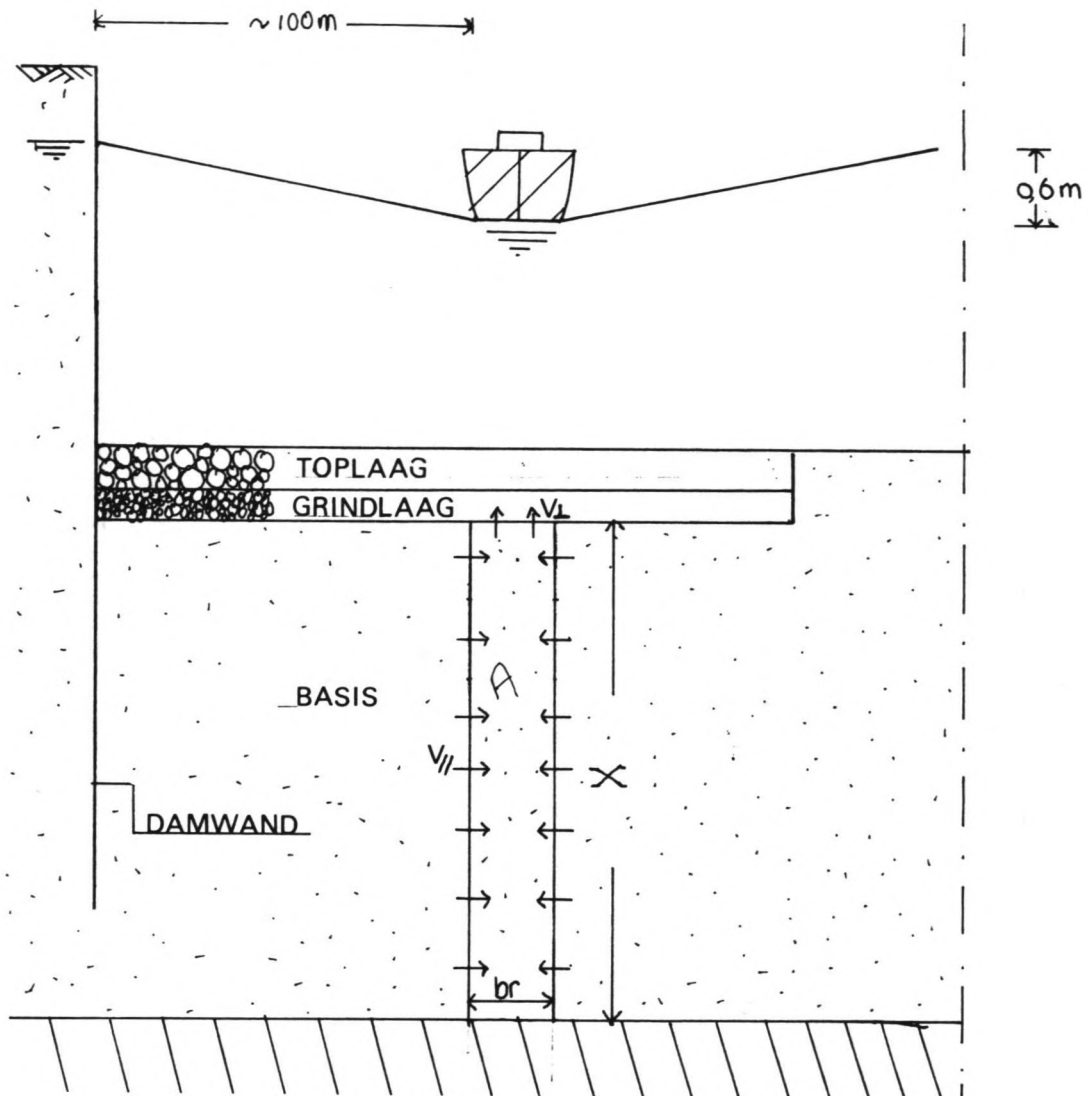


fig.2.15 Schip in het midden van de rivier met spiegeldaling.

Het verschil met AD1) is dat er nu geen water onder de damwand doorstroomt. Er zal nu wel in twee richtingen water naar de as onder het schip, waar de spiegeldaling optreedt stromen.

De situatie uit fig.2.15 kan vergeleken worden met het pompen van water uit een naar twee zijden uitstekkend grondlichaam, zie fig.2.16.

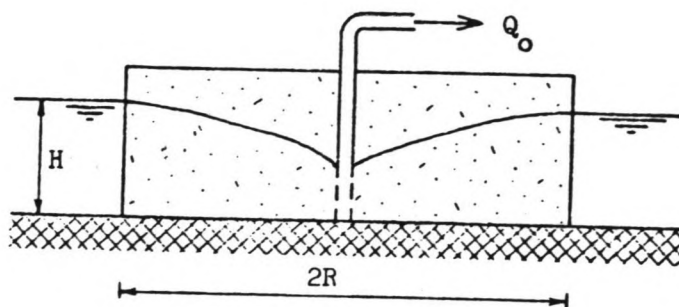


fig.2.16 Toestromen van water bij het pompen van water.

- De verschillen zijn 1) - In de situatie in de bocht wordt het drukverschil opgewekt door de spiegel daling in plaats van pompen.
 2) - In de bocht is de grondwaterspiegel gelijk aan de waterspiegel en zal dus over de hele laag water toestromen.

Als vgl.2.30 nu voor het balanshokje in fig.2.15 wordt aangepast volgt:

$$2 \cdot 0.012 \cdot k_b \cdot x = b_r \cdot I_{\perp} \cdot k_b \quad 2.31$$

Voor "x" moet de diepte tot de eerste ondoorlatende laag genomen worden. Mede door het onder AD1) al gemelde zal de diepte die meedoet tijdens de kortstondige belasting niet veel groter zijn dan 10 m.

En de breedte "br" zal ongeveer 10 m zijn. Vgl.2.31 geeft dan:

$$I_{\perp} = 0.025$$

en dus $I_{\perp} \ll 1$

Al met al blijkt uit de schematiseringen dat ten aanzien van de belasting loodrecht op de filterconstructie geen tussenliggende grindlaag nodig is. Zelfs als de belasting verdubbeld zou worden blijkt het kritische verhang nog niet bereikt.

2.3.3.2. Stroming evenwijdig aan de lagen.

Het verschil met het verhang in loodrechte richting op de lagen onder AdA) is dat daar de snelheid in de laag zelf van belang was voor het al dan niet uitspoelen en voor het uitspoelen evenwijdig aan de lagen is de snelheid in de laag boven de beschouwde van belang. Als de snelheid in de grindlaag te groot wordt zullen de gelijk eronder liggende basisdeeltjes uitspoelen. De grinddeeltjes zullen weer uitspoelen als de langssnelheid in de top laag te groot wordt. De snelheid in een laag is volgens Darcy evenredig met het verhang en de doorlatendheid:

$$u_{t,g,b} = k_{t,g,b} \cdot I_s$$

t = top laag
g = grindlaag
b = basislaag.

2.32

Voor de opbouw van het filter, afnemende doorlatendheid van waterspiegel richting basislaag zal de snelheid in elke bovenliggende laag groter zijn dan in die eronder. Dit door het verhang "Is" constant is over de drie lagen. Als het bovenstaande strikt zou worden aangehouden betekent dit dat bij elke grens tussen de lagen de snelheid naar beneden toe met een sprong afneemt. In werkelijkheid zal juist de snelheid even toe nemen om dan weer af te nemen tot de snelheid die volgt uit vgl. 2.32. De laag moet dan wel een zekere dikte hebben om de evenwichtssnelheid te bereiken namelijk $1.5 \cdot D$. In fig. 2.16 is dit nog eens grafisch te zien.

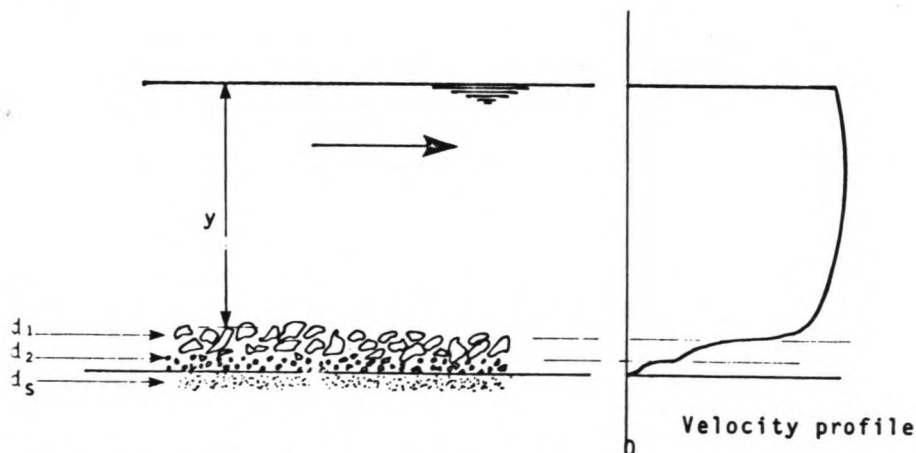


fig. 2.16 Snelheidsverdeling in een filter.

Het verhang in een rivier met een waterspiegel evenwijdig aan de bodem is gelijk aan $1.2 \cdot E^{-4}$. In de bocht zullen echter, zoals in deell al bleek t.g.v. het ruwheidsverschil en de profielverkleining stuweffekten optreden zodat de waterspiegel een groter verhang heeft van $1 \cdot E^{-3}$. Dit is nog steeds een vrij klein verhang. Er moet echter rekening worden gehouden met de extra belasting t.g.v. de spiegeldaling en de schroefstraal van een schip. Bij de schroefstraal is geen direct verhang vergroting waar te nemen in tegenstelling tot de spiegeldaling.

Hoe groot het verhang t.g.v. de spiegeldaling is zal af hankelijk zijn van de vorm van de spiegeldalingskuil waarin het schip vaart en de grootte van de maximale spiegeldaling. Deze combinatie komt het best tot uitdrukking in de haalgolf (zie referentie 1b) waar onderzoek naar is gedaan. De vergelijkingen die gevonden zijn voor de haalgolf steilheid zijn:

$$\frac{Z_{\max}}{h} = 2360 \cdot \left(\frac{A_s}{A_c}\right)^{2.42} \cdot \left(\frac{V_s}{\sqrt{g \cdot h}}\right)^6 \cdot (0.67 + y/60) \quad 2.33$$

$$I_{\max} = \{Z_{\max} / (5.1 - 0.158 \cdot y)\}^2 \quad 2.34$$

waarin: $Z_{\max}$ = de maximale spiegeldaling (m)
 y = de afstand van het schip tot de rivieras (m)

$Z_{\max}$ blijkt in de praktijk ongeveer 1.5 à 2* de spiegeldalingt tussen de oever en het schip te zijn. Dit geeft voor het optredende verhang in de haalgolf waar ook de bestorting mee wordt belast bij een lage rivierwaterstand:

$$I// = 0.04$$

Als de gemiddelde waterhelling in de spiegeldalingskuil genomen zou worden volgt net als bij Ada) :

$$I// = 0.012$$

Om de invloed van de schroefstraal te bekijken zal de snelheid aan de bodem t.g.v. de schroefstraalstroom omgezet worden in een langshelling "I//". De gevonden snelheid van 4.8 m/s wordt gelijk gesteld aan de riviersnelheid (gemiddelde). Voor I// volgt:

$$I// = 0.0045 \quad (I = U^2 / (C^2 \cdot h))$$

Dit is de waarde voor een gemiddelde riviersnelheid van 4.8 m/s in werkelijkheid zal de snelheid t.g.v. de schroef veel dichterbij de bodem zitten dan de gemiddelde en zal de waarde van I// groter worden. Als nu gesteld wordt dat de schroefstroemsnelheid aan de bodem de schuifspanningssnelheid is volgt:

$$I// = 0.5 \quad (I = U_{x,r} \cdot \sqrt{g/C})$$

Deze waarde zal veel dichterbij de werkelijke waarde liggen dan 0.0045.

Van belang is het nu nog te bepalen wat de maximale belasting kan zijn dus "Icr//" te bepalen. Hiertoe zijn twee verschillende methoden gebruikt namelijk:

- 1) de resultaten uit onderzoek t.b.v. de afsluiting van de Oosterschelde (zie referentie 7)
- 2) en hoofdstuk7 "Rocklining" uit (zie referentie 13).

Ad1) In dit onderzoek zijn laboratorium testen gedaan waarbij gekeken is bij welk verhang evenwijdig aan het grensvlak deeltjes uit een tussen liggende filterlaag spoelen. Dit verhang is weer het kritische verhang "I//cr. De resultaten uit dit onderzoek zijn in fig.2.18 weergegeven. De lijnen in deze fig.2.18 zijn rechte lijnen met op de x-en y-as resp. I//cr en $\epsilon f \cdot D_{15}/d_{50}$ logaritmische uitgezet. Alleen bij erg kleine waarden voor "Icr" kan in werkelijkheid de waarde van de faktor $\epsilon f \cdot D_{15}/d_{50}$ groter genomen worden dan uit een rechte lijn volgt. Een rechte lijn zal dan ook een veilige weergave zijn van de werkelijkheid. Lijn 2 uit fig.2.18 zal gebruikt moeten worden om het kritische verhang te bepalen voor het basismateriaal (d50=2 mm).

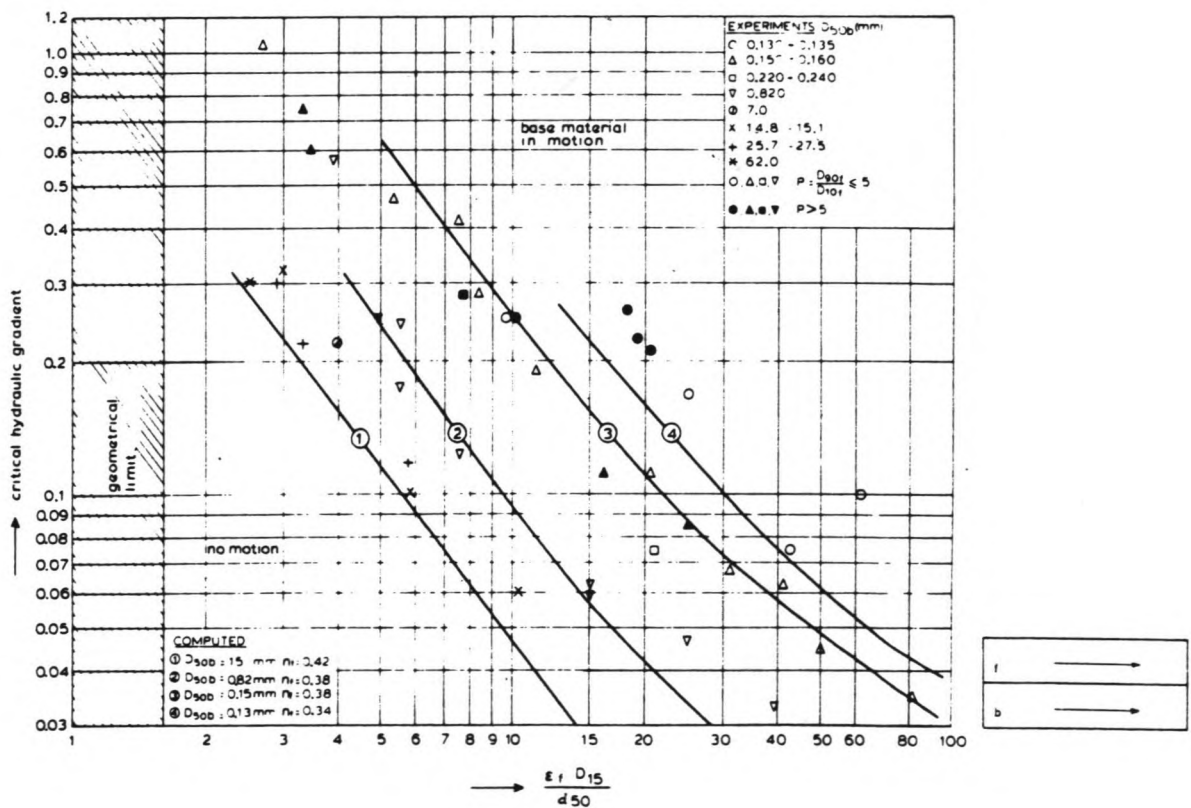


fig.2.18 Kritiek verhang (in het filtermateriaal) bij stationaire stroming evenwijdig aan het grensvlak.

Een lijn uit fig.2.18 is als volgt te schrijven:

$$\log(I_{cr}/\sigma') = \log A + B \cdot \log\left(\frac{\epsilon_f \cdot D_{15}}{d_{50}}\right) \quad 2.35$$

A en B zijn te bepalen variabelen.

Na herschrijven van vgl.2.35 volgt:

$$\log(I_{cr//}) = \log A * \left[\frac{\epsilon f * D_{15}}{d_{50}} \right]^B$$

Uiteindelijk volgt voor $I_{cr//}$:

$$I_{cr//} = A * \left[\frac{\epsilon f * D_{15}}{d_{50}} \right]^B \quad 2.36$$

Als nu twee punten van lijn 2 uit fig.2.18 in vgl.2.36 ingevuld worden zijn de twee constanten uit deze vergelijking te bepalen. Twee punten zijn:

$$1) \quad I_{cr//} = 0.09 \quad \text{met} \quad \epsilon f * D_{15} / d_{50} = 10$$

geeft met vgl.2.36:

$$0.09 = A * 10^B \quad 2.37$$

$$2) \quad I_{cr//} = 0.5 \quad \text{met} \quad \epsilon f * D_{15} / d_{50} = 3$$

geeft met vgl.2.36:

$$0.5 = A * 3^B \quad \text{dus:} \quad A = \frac{0.09}{10^B} \quad 2.38$$

Combinatie van vergelijkingen 2.37 en 2.38 geeft.

$$0.5 = \frac{0.09}{10^B} * 3^B \quad \text{dus:} \quad \frac{0.5}{0.09} = \left(\frac{3}{10} \right)^B \quad \text{dus:}$$

$$\log\left(\frac{0.5}{0.09}\right) = B * \log(0.3) \quad \begin{array}{l} B = -1.4243 \\ A = 2.3907 \end{array}$$

Uiteindelijk volgt voor $I_{cr//}$ (lijn 2 fig.2.17)

$$I_{cr//} = 2.3907 \left[\frac{\epsilon f * D_{15}}{d_{50}} \right]^{-1.4243} \quad 2.39$$

Als het bovenstaande ook voor lijn 1 uit fig 2.18 wordt gedaan volgt:

$$I_{cr//} = 1.0250 * \left[\frac{\epsilon f * D_{15}}{d_{50}} \right]^{-1.3578} \quad 2.40$$

Eerst zal nu naar de stabiliteit van het basismateriaal gekeken worden. Er wordt weer, net als bij de stroming loodrecht op de laag verondersteld dat er geen tussenlaag zit tussen de toplaag en de basislaag. Voor de basislaag zal met vgl.2.39 gerekend moeten worden daar d_{50} (basis) = 2 mm. na invullen van de D_{15} van de toplaag en de d_{50} van de basislaag in vgl.2.39 volgt voor $I_{cr//}$:

$$I_{cr//} = 0.009 \quad (0.04 < I_{optr} < 0.5)$$

Nu is dus het optredende verhang groter dan het kritische en zal dus een grind tussenlaag toegepast moeten worden. Voor de hand ligt het om hiervoor het maasgrind te nemen (10-60 mm).

Als nu met de grindlaag opnieuw het kritische verhang wordt bepaald volgt:

$$I_{cr//}(\text{basis met tussenlaag}) = 0.6 \quad (0.04 < I_{optr} < 0.5)$$

De basislaag is nu dus stabiel.

Ook moet dan getest worden of deze grindlaag stabiel is. Dit zal met vgl.2.40 moeten daar $d_{50}(\text{grind}) = 30$ mm. Daar 30 groter is dan de 15 mm die bij lijn 1 hoort zal met lijn 1 een iets te gunstige situatie ontstaan. Met vergelijking 2.40 volgt voor $I_{cr//}$:

$$I_{cr//}(\text{grind}) = 0.4$$

Ook de grindlaag is stabiel zodat een stabiel geheel ontstaan is.

Ad2) Hier wordt uitgegaan van een theoretische aanpak. Gebruik gemaakt wordt van het begin van beweging volgens Shields. Hiertoe moet eerst de belasting op de deeltjes bepaald worden. Karakteristiek voor deze belasting is de schuifspanning (τ).

$$\tau = \int w * g * I // * R \quad 2.41$$

R = natte omtrek (m)

Enige onbekende in deze vgl. 2.42 is de natte omtrek (R) die voor een brede rivier (kleine h/D-verhouding) gelijk aan de diepte h is. In dit geval echter zal "R" afhankelijk zijn van de diameter van de laag en het poriëngehalte. In de beschouwde theorie wordt gesteld dat:

$$R = 0.125 * D$$

Dit zou betekenen dat alle lagen met verschillende diameters en uniformiteit (poriëngehalte) dezelfde schuifspanning op de onderliggende laag geven. De ruwheid van de verschillende lagen wordt constant genomen wat met de Chezyfactor is te laten zien.

$$C = 18 * \log\left(\frac{12 * R}{3 * D}\right) \quad \text{met } R = 0.125 * D$$

$$C = 18 * \log\left(\frac{12 * 0.125}{3}\right) = 27 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

Dit is niet juist en deze theorie zal dan ook niet de juiste waarden geven. Op dit moment is een afstudeerder bezig met onderzoek naar de bepaling van het kritische verhang in een filter bij stroming in langsrichting.

3. ONTGRONDINGEN.

3.1. Ontgrondingen achter de bestorting.

In deel 1 (zie referentie 14) is al aangetoond dat aan het einde van de bestorting, wanneer deze ophoudt aan het einde van de bocht, grote ontgrondingen ontstaan. Dit komt door het kleine zandtransport, aan de buitenbochttoever nul en grote transportcapaciteit aan het einde van de buitenbochtbocht.

Als de bestorting aan het einde van de bocht ophoudt en op dezelfde diepte ligt als de rest van bestorting, dus evengrote waterdiepte dan blijkt de ontgronding ≈ 5 m te bedragen.

In fig.3.19 is de theoretische situatie te zien als de ontgrondingskuil ontwikkeld is.

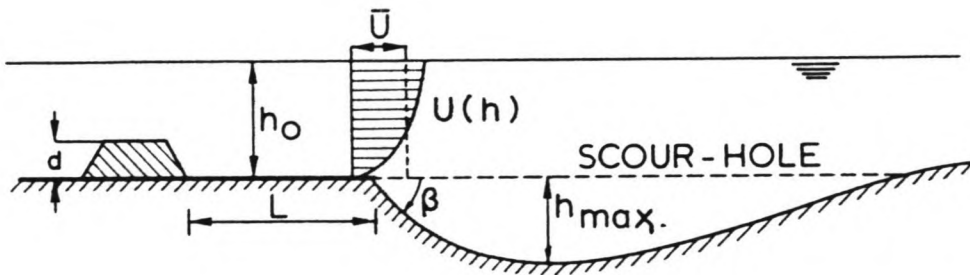


fig.3.19 Ontgrondingskuil met zijn kenmerkende variabelen.

Doordat de stroming in één richting is zal de kuil een permanent karakter hebben en zal de diepte van de ontgrondingskuil veranderen met het veranderen van het debiet. De diepte van de kuil zal schommelen om de gevonden diepte bij het bedvormende debiet (zie deel 1). Uit onderzoek van Pylarczyk (zie referentie 15) volgt dat de maximale ontgrondingsdiepte "Hmax" ongeveer de volgende waarde zal hebben:

$$H_{max} \approx 1.25 \cdot h$$

waarin: H_{max} = de maximale ontgrondingsdiepte (m)

h = de gemiddelde diepte in de rivier (m).

Dit geeft bij de bedvormende afvoer een H_{max} van:

$$H_{max} \approx 7 \text{ m.}$$

Of de bestorting zal bezwijken is niet alleen afhankelijk van de ontgronding achter de bestorting maar ook van de aanzethelling

" β " (zie fig.3.19).

Het bezwijken van de bestorting kan op twee manieren gebeuren namelijk:

- Door het ontstaan van een glijdvlak. Door een combinatie van een steil talud " β ", een grote ontgronding " H_{max} " en een kleine cohesie is de wrijving op een glijdvlak kleiner dan de belasting daarop (zie fig.3.20).

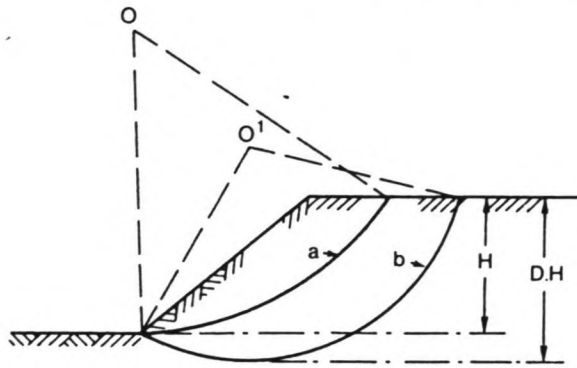


fig. 3.20 Glijdvlak onder de bestorting.

- Door zettingsvloeiing. Door een combinatie van een steil talud " β ", een grote ontgronding " H_{max} " und het wegvallen van de korrelspanning onstaat een zettingsvloeiing. Gebeurt alleen bij zand und vooral bei het plotseling toebrengen van einer großen obenbelasting.

Zoals uit het bovenstaande blijkt is die aanzethelling " β " wichtig für das ob oder nicht bezwijken von der constructie. Die relatie die für diese aanzethelling is gefunden (zie referentie 15) ziet er als folgt uit:

$$\frac{1}{\tan \beta} = 5.5 \cdot \frac{w}{D_{50}} \cdot \left(\frac{\sqrt{\Delta^2 g^2}}{\Delta^2 g^2} \right)^{0.333} \cdot \left(2.5 + \frac{0.75}{\alpha - 1.32} \right) \quad 3.42$$

$$w = \sqrt{(g \cdot D_{50} \cdot \Delta)} \quad (\text{daar } Re > 150) \quad 3.43$$

waarin: w = de valsnelheid van een deeltje (m/s)
 α = coëfficient afhankelijk van de geometrie van de aanzethelling " β ".

Die bepaling van " α " gaat aan de hand von fig.3.21 (für $d/h_0=0$). Mit dieser figuur is α_{10} te bepalen (α_{10} is die waarde für α für $L=10 \cdot h_0$).

Mit de in fig.3.21 af te lezen waarde für α_{10} is mit der volgende relatie α zelf te bepalen:

$$\alpha = 1.5 + (1.57 \cdot \alpha_{10} - 2.35) \cdot e^{-0.045 \cdot L/h_0} \quad \text{für } L/h_0 > 5 \quad 3.44$$

L = lengte bestorting (m)
 h_0 = die waterdiepte (m)

In het geval van de bestorting is de waarde van L/h_0 erg groot (≈ 200) wat betekent dat de rechter helft van vgl.3.44 verwaarloosbaar klein is en dat voor α de minimale waarde geldt n.1:

$$\alpha = 1.5$$

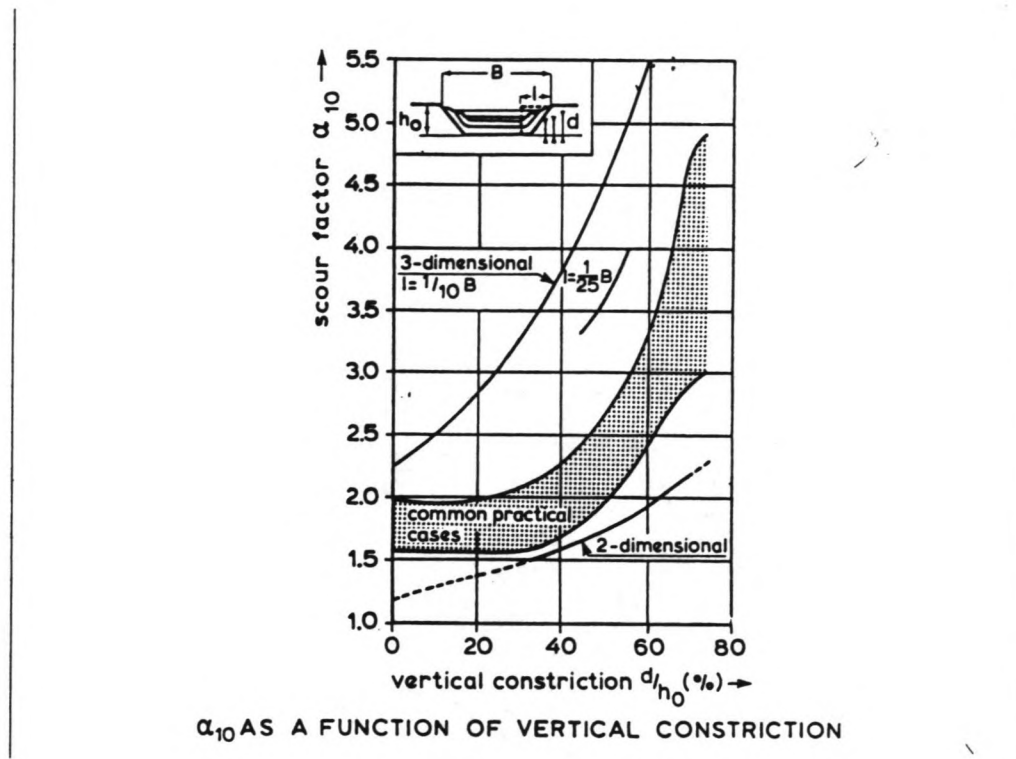


fig.3.21 bepaling van de ontgrondinscoëfficiënt.

Kanttekening bij de bepaling van " α " is dat de gebruikte theorie voor een rechte rivier is bepaald en daarom zal ook een hogere gebruikelijke waarde van " $\alpha=0.2$ " voor de bepaling van " β " gebruikt worden. Met vgl.3.43 volgt dan:

$$\begin{aligned}\tan\beta(\alpha=1.5) &= 1/5 \\ \tan\beta(\alpha=2) &= 1/2.77\end{aligned}$$

Er zal bij de bestorting geen sprake zijn van zettingsvloeiing daar het materiaal onder de bestorting uit de grovere deeltjes, uit de gebaggerde binnenbocht bestaat (2-60 mm) en hier altijd een korrelspanning zal blijven bestaan. Bovendien zal er ook niet een plotselinge erg grote bovenbelasting plaatsvinden zoals bij de plaatsing van b.v. een caisson.

Blijft dus over het gevaar voor een glijdvlak afschuiving. De belastingscombinatie, waarbij de situatie kritiek is, is:

HELLING: 1:2	en	ONTGRONDING: ≥ 5 m
1:4	en	10 à 15 m

De gevonden waarden van:

HELLING: 1:1.27 à 5 ONTGRONDING: 7 m

zitten dus aan deze kritische grens.

Het bovenstaande is zonder veiligheidscoëfficiënt bepaald en dus zal er achter de constructie een bescherming moeten plaatsvinden.

Punten waar, behalve het optreden van glijdvlakken, rekening mee moet worden gehouden zijn:

- 1) - dat wanneer er een grote ontgrondingskuil achter de bestorting zit het water voor het einde van de bestorting al meer in de buitenbocht zal gaan stromen. Dit heeft tot gevolg dat de snelheid in de binnenbocht zal gaan afnemen en dus de ontgronding daar toe gaat nemen. Dit heeft weer tot gevolg dat de bevaarbare breedte aan het einde van de bocht afneemt. En in deell (zie referentie 14) bleek dat nu juist hier de bevaarbare breedte het kleinst was. Een grote ontgrondingskuil achter de bestorting is dus zeer ongewenst en kan het beoogde effect van vergroting van de bevaarbare breedte teniet doen.
- 2) - de bestorting is een onderdeel van de rivier waar geen uitschuring kan optreden. Hij is dus een niet alluviaal gedeelte in een alluviale rivier. in de rivier kunnen dus veranderingen in de bodem optreden die door de bestorting niet gevolgd kan worden. Gevaar bestaat dat de rivierbodem gaat zakken, b.v. door een toename van het debiet in de Waal, en zo de de bestorting zal gaan uitsteken. In fig.3.22 is te zien dat dan de waterspiegel vlak achter de bestorting zal gaan toenemen wat een toename van de snelheid betekend. Er ontstaat dus een stroomversnelling die, vooral bij lage waterstanden, zeer hinderlijk is voor de scheepvaart en bij een groot genoeg zakking van de bodem zelfs het scheepvaartverkeer stroomopwaarts onmogelijk maakt door de grote stroomsnelheid en de verkleinde diepte op de rand van de bestorting. Deze situatie is dan te vergelijken met die in de Rijn bij Bingen in West-Duitsland waar een uitstekende rots voor de stroomversnelling zorgt (zie referentie 16). Dit zakken van de rivierbodem aan de benedenstroomse zijde van de bestorting zal een mogelijke oorzaak niet vinden in een regiem verandering daar dit een randvoorwaarde is maar meer in het schommelen van de bodem om die bij de bedvormende afvoer gevonden waarde. Bij hogere debieten dan de bedvormende afvoer zal volgens de de Vries (zie referentie 17) de helling van de rivierbodem afnemen:

$$\frac{\Delta h_1}{\Delta h_0} = \left(\frac{S_1}{S_0}\right)^{3/n} * \left(\frac{Q_0}{Q_1}\right)$$

3.45

* Te zien is dat inderdaad geldt:

$$\Delta h_1 < \Delta h_0 \text{ als } Q_0 < Q_1$$

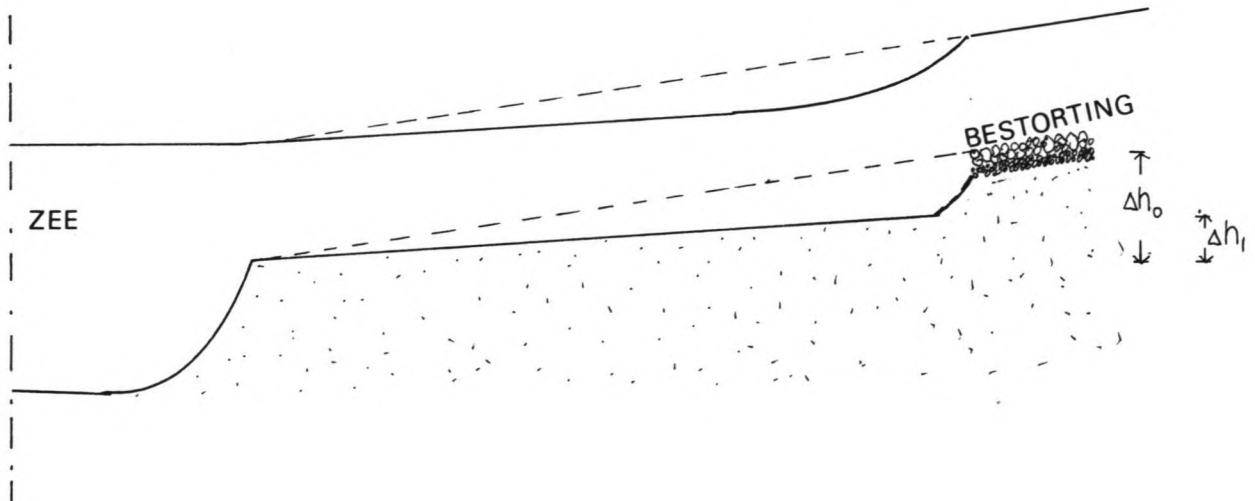


fig. 3.22 Waterspiegelverandering tengevolge van het zakken van de bodem aan benedenstroomse zijde van de bestorting.

Dit zakken van de bodem is een erg langzaam proces. Uit regiem proeven (zie referentie 18) blijkt dat vooral een nat seizoen gevolgd door een droog seizoen schommelingen van de bodem geeft. Bepalend voor de snelheid van de bodemveranderingen zijn de afstand van de bocht tot de zee en de tijd dat het regiemverschil optreedt. De Vries heeft voor rivieren de tijd bepaald die het duurt om op een afstand van $X=200$ km. van de zee een bodemzakking van dz aan zee voor de helft ($0.5 \cdot dz$) te volgen (zie referentie 19). Dit blijkt in de Rijn (Zaltbommel wat dichterbij zee ligt dan Nijmegen) 20 eeuwen te zijn. Duidelijk mag nu zijn dat de fluktuaties in de bodemligging t.g.v. het regiem erg klein zijn.

Ook moet opgemerkt worden dat in de toekomst een stijging van de zeewaterspiegel te verwachten is wat tot een rivierbodestijging zal leiden.

- 3) - Vlak achter de bestorting zal de ontgrondingskuil optreden. Te zien was al dat de diepte en de aanzethelling van de kuil groot zijn. Dit zal gelijk achter de bestorting wervels (turbulentie) geven, zie fig. 3.23 wat in combinatie met 1) en 2) een nog groter probleem voor de scheepvaart betekent.

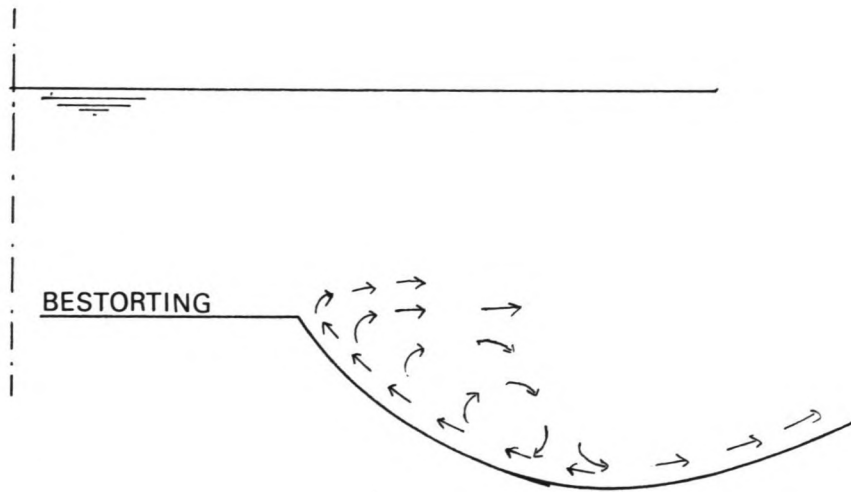


fig.3.23 Wervels achter de bestorting t.g.v. de ontgrondingskuil.

Met 1), 2) en 3) en het feit dat er gevaar bestaat voor het optreden van een glijdvlak volgt dat het beëindigen van de bestorting aan het eind van de bocht, zodat er direkt achter de bestorting grote ontgroningen optreden, niet mogelijk is.

Manieren om een glijdvlak onder de bestorting te voorkomen zijn:

- a) zogenaamde grindkist.
Bij deze methode wordt de aanzethelling die ontstaat bij ontgroning direkt afgedekt met stortsteen die aan het einde van de bestorting opgestapeld ligt. Door het gewicht van deze stenen zal het glijdvlak dan niet optreden.
- b) van tevoren aanleggen en beschermen van de aanzethelling.
Nu kan de gewenste aanzethelling van de kuil zelf bepaald worden en zal dus het bovengenoemde nadelige punt van het verkleinen van de bevaarbare breedte aan het einde van de bestorting voorkomen kunnen worden.
- c) een keermuur.
deze oplossing valt hier meteen af door het niet flexibele karakter.

Het is gezien het bovenstaande duidelijk dat een aanzethelling van $\approx 1:5$ er voor zorgt dat de ontgrondingskuil vlak achter de bestorting komt te liggen en hiermee de bevaarbare breedte aan het einde van de bestorting en dus van de hele rivier nadelig beïnvloedt. Oplossing b) zal gebruikt moeten worden en de vraag is dan alleen nog onder welke helling en hoe ver de verdediging doorgetrokken wordt.

Om een indruk te krijgen van de vereiste lengte van de bestorting is het nodig te weten hoeveel afstand de rivier nodig heeft om de spiraalstroming kwijt te raken. Als dan Rozovskii (zie referentie 20) gebruikt wordt:

$$x = 1.15 \cdot \frac{C^2 \cdot h}{g} \cdot \log\left(\frac{k}{p}\right) \quad 3.46$$

$$k = \frac{u_e}{u_o} - 1$$

u_e = stroomsnelheid einde bocht (m/s)

u_o = stroomsnelheid voor de bocht

$$p = \frac{u}{u_o} - 1$$

u = stroomsnelheid achter de bocht

Met de vgl. 3.46 volgt dan voor de snelheid op een afstand "x" achter de bocht de volgende tabel 3.13:

	u m/s
x = 100 m	1.46
x = 200 m	1.36
x = 300 m	1.29
x = 400 m	1.22
x = 500 m	1.17
x = 1000 m	1.05

tabel 3.13 De snelheid "u" in de buitenbocht "x m" achter de bocht.

Achter de bocht zal het sediment zich gaan herverdelen over de breedte. De afstand waarover dit gebeurt hangt af van de afstand die de stroming nodig heeft om zijn spiraalstroming kwijt te raken (zie tabel 3.12) en de dwarshelling van de bodem. Door het onder een grotere helling dan de bodemhelling leggen van de overgangsconstructie zal het sediment zich dus sneller herverdelen. Deze helling mag weer niet te groot worden omdat dan de problemen onder 1), 2) en 3) weer opduiken. Een helling van 1:100 zal voldoen.

Hoe verder de overgangsconstructie wordt doorgetrokken hoe verder de rand onder de normale (bij de bedvormende afvoer behorende) bodemligging komt te liggen. De kosten worden natuurlijk ook steeds hoger. Om de problemen onder 1), 2), 3) en t.a.v. glijdvlakken te voorkomen is een lengte van 200 m voldoende zodat een kunstmatige ontgrondingskuil van 2 m diep is ontstaan. Achter de overgangsconstructie zal nog een kleine ontgroning plaatsvinden die t.a.v. de bovengenoemde punten geen problemen meer zal geven. In het bovenstaande zijn de problemen t.g.v. ontgrondingen globaal besproken. De gebruikte theorie is voor een heel ander geval afgeleid en zal dus een indicatie geven van de problemen. Bij Rijkswaterstaat wacht men op iemand die op ontgrondingen achter bestortingen gaat promoveren om zo meer te kunnen zeggen over de invloed van de overgangsconstructie op de stroming en het sedimenttransport achter een bestorting.

3.2. Ontgronding langs de bestorting.

Aan de zijanten van de bestorting, dus evenwijdig aan de rivieras treedt er een veel kleinere ontgronding op. Bij de breedte van de bestorting waarbij een bevaarbare breedte van 150 m ontstaat blijkt de maximale ontgronding 0.3 m (≈ 0.5 m) te zijn. Daar het zakken van de rand, t.g.v. een glijdvlak aan deze zijanten ten koste gaat van de bevaarbare breedte moeten glijdvlakken en ontgrondingen onder de bestorting voorkomen worden. Daar de stroming aan deze zijanten bijna evenwijdig is aan de rand zodat er een zeer steile aanzethelling ontstaat zal het gevaar voor een glijdvlak of uitschuring onder de bestorting groot zijn. Deze rand moet beschermd worden. Door de kleine ontgronding hoeft dit maar een zeer lichte constructie te zijn en zal één van de volgende twee methoden de aangewezen zijn.

- A) De al genoemde grindkisten. Bij de ontgrondingen wordt direkt de aanzethelling verkleind en afgedekt door het materiaal uit de grindkist.
- B) Een filterdoek verzwaard aan het uiteinde. Opgepast moet worden bij ongelijke zettingen daar het gevaar bestaat dat de verzwaring gaat hangen tussen twee niet zakkende punten en zo ontgronding onder de constructie mogelijk maakt. Bovendien zal het aanbrengen van het filterdoek een hinder van de scheepvaart geven, zeker daar het aanbrengen van het doek dicht aan de as van de rivier plaatsvindt wat ongewensd is.

Gezien het bovenstaande is een grindkist de aangewezen oplossing. De vulling zal met het toplaagmateriaal gebeuren. De maatgevende ontgronding zal bepaald worden door de schroefstraal-belasting daar die door de stroming minimaal bleek te zijn. Een combinatie van schroefstraalstroom en rivierstroming zal een maximale ontgronding van 1.5 m geven. De constructie uit fig.3.24 vangt deze ontgronding op.

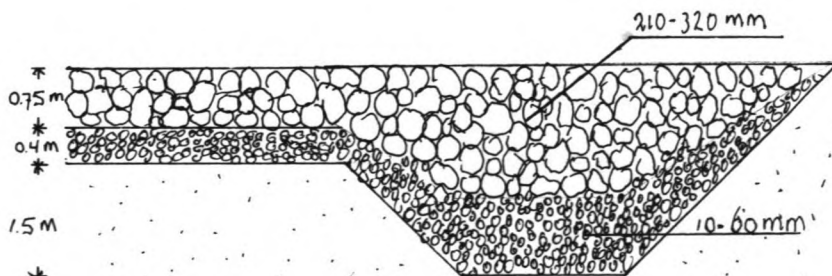


fig.3.24 Grindkist aan de rand van de bestorting evenwijdig aan de rivieras.

SYMBOLENLIJST.

symbool	eenheid	omschrijving
Ac	m ²	oppervlak rivierdwarsdoorsnede
As	m ²	oppervlak schipswarsdoorsnede
b	m	breedte van een schip
Bo	m	breedte van de rivier aan het wateroppervlak
Bs	m	Bv - 0.5*Bo
Bv	m	breedte van de retourstroom van een schip
C	m ^{1/2} /s	chezy's ruwheidsfactor
Cd	-	weerstandscoefficient
d	m	diepgang van een schip
d _{max}	m	maximale diepte van de ontgrondingskuil
dx	m	dikte van laag x
Do	m	effektieve diameter van de schroef
Dp	m	diameter van de schroef
Dx	m	diameter sediment dat voor x% door een zeef met diameter D gaat
Fs	N	stuwkracht
Fr	-	Froudegetal
g	m/s ²	gravitatieversnelling
h	m	diepte van de rivier
I _{cr}	-	verhang in de rivier evenwijdig aan de rivieras
I _s	-	het kritieke verhang van een filter
I//	-	verhang evenwijdig aan het filter
I _⊥	-	verhang loodrecht op het filter
k	m/s	doorlatendheid materiaal
kx	m/s	doorlatendheid laag x

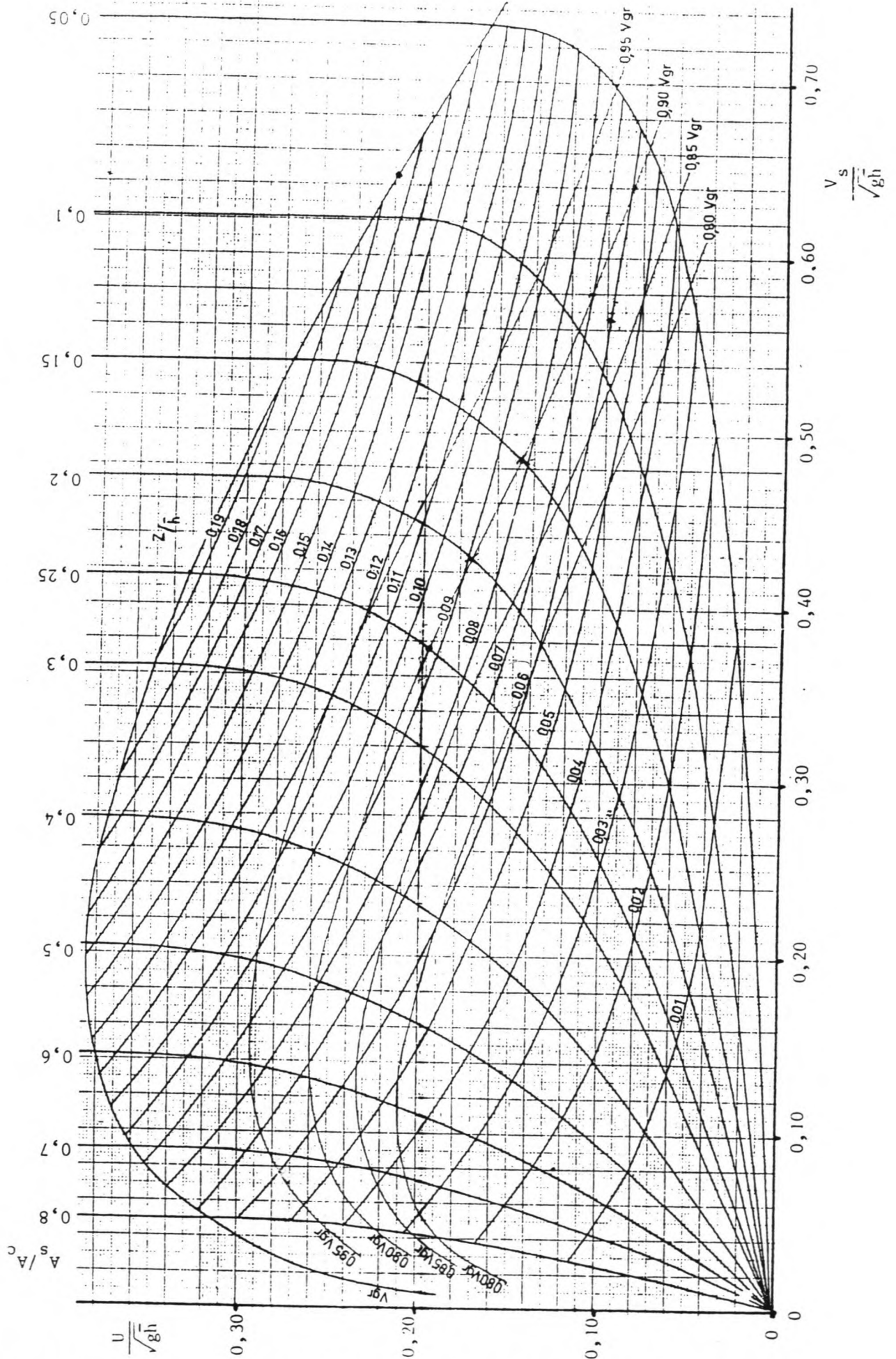
symbool	eenheid	omschrijving
kt	-	stuwkrachtscoefficient van een voortstuwingssysteem (ktp + kts)
ktp	-	stuwkrachtscoefficient van een schroef
kts	-	stuwkrachtscoefficient van een straalbuis
l	m	lengte van een schip
n	omw/s	toerental van een schroef
Psmax	W	maximaalgeinstaleerd vermogen
Px	W	vermogen van een schroef x
R	m	straal van de bocht
u	m/s	snelheid in de rivier evenwijdig aan de rivieras
U	m/s	retourtsroom
Ua	m/s	intreesnelheid
Un	m/s	uniformiteit
Uo	m/s	uitstroomsnelheid
Ux,r	m/s	snelheid in de schroefstraal
U'	m/s	retourstroom t.o.v. het water
Ucr	m/s	kritische gemiddelde snelheid in de rivier
V	m/s	snelheid van een schip
V'	m/s	snelheid van een schip t.o.v. het water
Vgr	m/s	grenssnelheid van een schip
w	-	volgstroomgetal
x	m	coördinaat evenwijdig aan de scheepsas
y	m	coördinaat loodrecht op de scheepsas evenwijdig aan de waterspiegel
z	m	coördinaat loodrecht op de waterspiegel
Z	m	spiegeldaling
Zb	m	afstand schroefas tot de bodem
Zk	m	afstand schroefas tot de kiel

symbool	eenheid	omschrijving
ρ_w	kg/m ³	soortelijk gewicht water
τ	-	vormcoefficient
β	°	aanzethelling
ϵ_f	-	poriengehalte
$n't$	-	coefficient voor het totale rendement van de voortstuwing

REFERENTIELIJST

- 1 - Schijf, J.B. (1949). Rapport voor 17-th. International Navigation Congress, Lisbon, S1:-C2. of Bouwmeester, J. (1987) Waterbouwkunde, Kollegediktaat F12. Vakgroep Waterbouwkunde. T-H Delft.
- 2 - K.I.V.I. (Koninklijk Instituut voor Ingenieurs) en N.I.V.N. (Nederlands Instituut voor Navigatie) (8 dec 1987) Symposium zeskaksduwvaart. Technische Universiteit Delft.
- 3 - Bouwmeester, J. (1986) Waterbouwkunde, Kollegediktaat F13, Weerstand van scheepvaartwegen. Vakgroep Waterbouwkunde. T-H Delft.
- 4 - Kaa, E.J. (1979) Waterloopkundige aantasting van Oeververdedigingen, Kust- en Oeverwerken in praktijk en theorie.
- 5 - W-L (1985) Aantasting van dwarsprofielen in vaarwegen, schroefstralen en de stabiliteit van bodem en oevers onder de invloed van stroomsnelheden in de schroefstraal, M1115 deel 7 en 10a.
- 6 - Izbash, S.V. (1936) Construction of dams by depositing rock in running water. Transaction Second Congress on Large Dams.
- 7 - Pilarczyk, I.L. (1983) Filters. The Closure of Tidal Basins, p.p. 467-489. Delft University Press.
- 8 - Kenney, T.C. and Lau, P. (1985) Internal stability of granular filters. Canadian Technical Journal pg. 215-225 vol.22.
- 9 - Thanikachalam, V. and Shakthivadivel, P. (1974) Criteria for protective filters and enquiry soils and foundations, Vol. 14 no.4. Japanese Society of Soil Mechanics and Foundations.
- 10 - Paintal, A.S. (1971) Concept of critical shear stress in loose boundary open channels. Journal of Hydraulic Research, Vol.9 no.1 pg.91-113.
- 11 - Burgh, J.C. and Nieuwenhuis, J.K. (1984) Groudwaterflow, Closure of Tidal Basins, pg.447-466. Delft University Press.
- 12 - Bouwmeester, J. (1987) Waterbouwkunde, Kollegediktaat F12. Vakgroep Waterbouwkunde. T-H Delft.
- 13 - Stephanson, D. (1979) Rockfill in Hydraulic Engineering, Elsevier scientific publishing company.

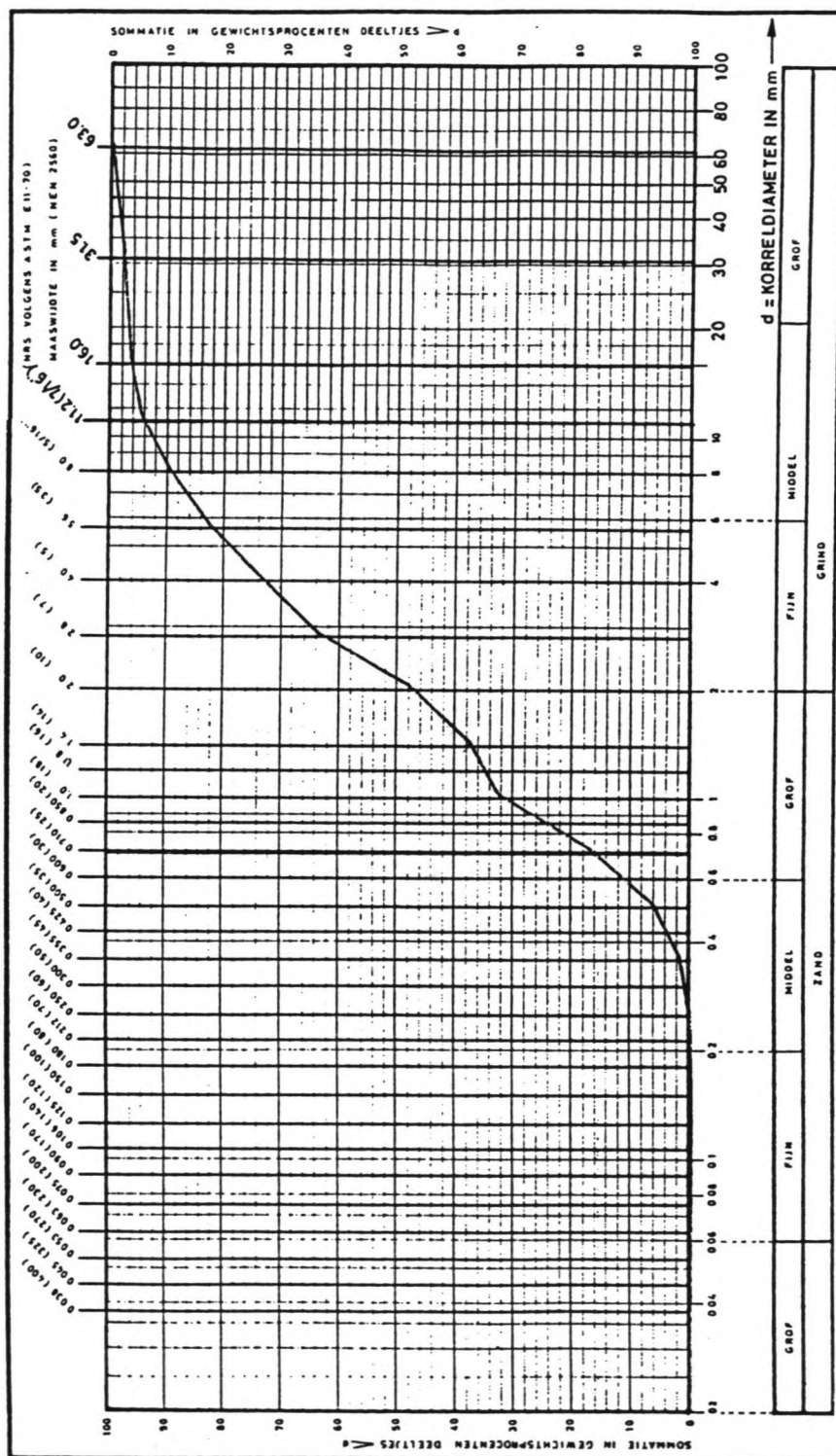
- 14 - Pröpper, B.J.H. (1988) Bocht in de Waal bij Nijmegen, deel 1 theoretisch onderzoek naar de toepassing van grondkribben en bestorting. T-U Delft
- 15 - Pilarczyk, I.L. (1984) Local scour. The Closure of Tidal Basins, p.p. 387-405. Delft University Press.
- 16 - Ausbau des Rheins, Bingen st. Goar. pg. 10-21
- 17 - Vries, M de (1986) Waterbouwkunde, kollegediktaat f13b, Vakgroep Waterbouwkunde. T-H Delft.
- 18 - W-L (Waterloopkundig laboratorium) (1984) Waalbocht Nijmegen, Regiem onderzoek, verslag modelonderzoek, M1278 deel 2.
- 19 - Vries, M de (1986) Waterbouwkunde, kollegediktaat f10a, Vakgroep Waterbouwkunde. T-H Delft.
- 20 - Rozovsski, I.L. (1957) Flow in river bends of open channels, University of Technology Ukrainien (S.S.R)



Bijlage 1a

Retourstroom en spiegeldaling afhankelijk van de snelheid van het schip en de verhouding tussen het dwarsoppervlak van het schip en de rivier voor $\alpha=1$.

Retourstroom en spiegeldaling afhankelijk van de snelheid van het schip en de verhouding tussen het dwarsoppervlak van het schip en de rivier voor $\alpha=1.1$.



Bijlage 2

Zeeffcurve van het basismateriaal in de bocht.

