

waterloopkundig laboratorium delft hydraulics laboratory

Bergsche Diepsluis

Varianten B, C en D

Voorstudie betreffende enkele hydraulische aspecten

notitie R 1518 A

R 1518

februari 1983

Bergsche Diepsluis

Varianten B, C en D

Voorstudie betreffende enkele hydraulische aspecten

notitie R 1518 A

R 1518

februari 1983

INHOUD

	blz.
<u>1</u> <u>Inleiding</u>	1
<u>2</u> <u>Gegevens</u>	1
<u>3</u> <u>Vormgeving vul/ledigsysteem</u>	3
<u>4</u> <u>Langskrachten op in de kolk liggende schepen</u>	5
4.1 Langskrachten ten gevolge van translatiegolf	5
4.2 Langskrachten ten gevolge van dichtheidsverschillen	8
4.3 Langskrachten ten gevolge van direkte straalwerking en waterspiegeldaling ter plaatse van de gekoncentreerde straal..	10
4.4 Combinatie van langskrachten	14
<u>5</u> <u>Ledigen van de kolk door de Zoommeer deur</u>	15
<u>6</u> <u>Bodembescherming</u>	17
6.1 Zoommeerzijde	17
6.2 Oosterscheldezijde	21
<u>7</u> <u>Konklusies</u>	23

Referenties

Figuren

1 Inleiding

Door de aanleg van de Oesterdam wordt het Zoommeer gescheiden van de Oosterschelde. Teneinde in de toekomst een direkte scheepvaartverbinding in stand te houden tussen het zoete Zoommeer en de zoute Oosterschelde, is er het plan ontwikkeld om een schutsluis te bouwen in de dam.

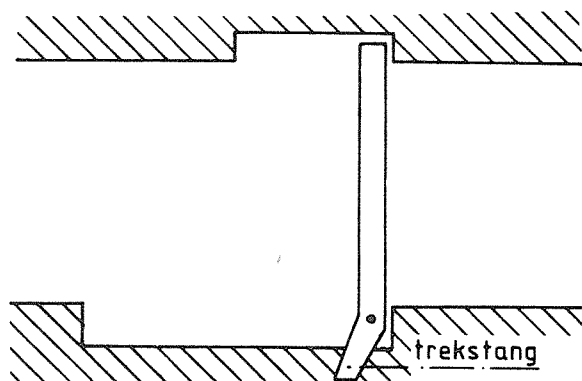
Een ontwerp voor een sluis geschikt voor grotere schepen en met een zout-zoet scheidingsstelsel volgens het liftsluisprincipe is inmiddels op grond van kostenoverwegingen verlaten. In plaats daarvan wordt er een ontwerp gemaakt voor een kleine sluis, welke geschikt is voor jachten.

In deze notitie worden een aantal hydraulische aspecten van 3 varianten van deze sluis (varianten B, C en D), te weten het ontwerp van vul- en ledigstelsel, langskrachten op in de kolk liggende schepen en bodembescherming nabij de sluis behandeld. De studie heeft een globaal karakter en is bedoeld om een keuze uit één van de drie varianten mogelijk te maken.

Opdracht voor de studie is verleend in de vergadering d.d. 13 januari 1983 door de vertegenwoordiger van de Deltadienst van de Rijkswaterstaat, ir. F.C. Hamer. De studie is uitgevoerd door ir. T.H.G. Jongeling.

2 Gegevens

Beschouwd worden de varianten B, C en D, zoals aangegeven in de tekeningen SO 328, SO 330A en SO 329A van de Directie Sluizen en Stuwen van de Rijkswaterstaat. Bij alle drie de varianten worden enkelvoudige draaideuren toegepast volgens onderstaand principe.



Bij variant B bevindt de kolkbodem zich op NAP - 4.00 m en de aansluitende vloeren van beide sluishoofden bevinden zich op NAP - 4.70 m. Beide deuren draaien van de kolk weg. Aan de Zoommeerzijde is een drempelbalk in het ontwerp opgenomen (facultatief), welke reikt tot een hoogte van NAP - 2.50 m.

Vullen en ledigen van de kolk gebeurt door middel van openingen in de deuren. In fig. 1 is variant B schematisch weergegeven.

Variant C is weergegeven in fig. 2. De kolkbodem bevindt zich op NAP - 4.00 m. Het Oosterschelde-hoofd is identiek aan dat van variant B. De vloer van het hoofd aan Zoommeerzijde bevindt zich op NAP - 3.20 m. De deur ter plaatse heeft een aanslag tegen een lage drempel, welke tot NAP - 2.50 m reikt. Voor het vullen en ledigen van de kolk wordt aan Zoommeerzijde gebruik gemaakt van korte omloopriolen. Beide deuren draaien van de kolk weg.

Variant D is schematisch getekend in fig. 3. Ook bij deze variant bevindt de kolkbodem zich op NAP - 4.00 m en is het Oosterschelde-hoofd identiek aan dat van variant B. De vloer van het hoofd aan Zoommeerzijde is op een niveau van NAP - 2.50 m geprojecteerd, en vormt aldus een drempel waar de deur tegen aansluit. Deze deur draait naar de kolk toe open. Vullen en ledigen gebeurt door openingen in de deuren.

Voor alle 3 varianten gelden de volgende maten:

nuttige lengte kolk (tussen de stopstrepen)	: 30 m
breedte kolk	: 5.55 m
vloer kolk	: NAP - 4.00 m
drempel aan Zoommeerzijde	: NAP - 2.50 m

Waterstanden

Bij deze studie wordt uitgegaan van de volgende hydraulische randvoorwaarden (bron Deltadienst):

- Oosterschelde met funktionerende stormvloedkering

gemiddeld tij : HW NAP + 1.45 m

LW NAP - 1.49 m

overschrijding 1 x per jaar : HW NAP + 2.50 m

LW NAP - 2.40 m

- Zoommeer

normaal : HW NAP + 0.25 m

LW NAP - 0.25 m

extreem : HW NAP + 0.75 m
LW NAP - 1.25 m

- Dichtheidsverschil : uitgegaan wordt van een maximaal dichtheidsverschil
 $\Delta\rho = 20 \text{ kg/m}^2$.

Schip

Er wordt in deze globale studie uitgegaan van een bak met lengte 25 m, breedte 5 m en maximale diepgang 2.1 m. Een schip met dergelijke afmetingen is ongunstig, omdat er relatief grote langskrachten op het schip ontstaan tijdens vullen/ledigen van de kolk. De waterverplaatsing van het geladen schip bedraagt : $25 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 2.1 \text{ m} \times 1000 \text{ kg/m}^3 = 262.500 \text{ kg}$. (200 t - bak). Als criterium wordt het 2,5^o/oo criterium gehanteerd, dat wil zeggen de totale langskracht tijdens het vullen en ledigen van de kolk mag niet groter zijn dan 2,5^o/oo van de waterverplaatsing van het geladen schip.

3 Vormgeving vul/ledigstelsel

Om overlast aan de in de kolk liggende schepen te voorkomen is het zaak om directe straalwerking tegen ~~het~~^{een} schip tijdens het vullen van de kolk te beperken, om de vulstralen zoveel mogelijk over de dwarsdoorsnede van de kolk te spreiden en om het opwekken van hoge translatiegolven tegen te gaan. Het vul- en ledigstelsel van de varianten B, C en D is met deze gedachte als uitgangspunt ontworpen.

In verband met een zo kort mogelijke vultijd van de kolk zou het wenselijk zijn om de vulopeningen zo groot mogelijk te maken. De krachten op de schepen mogen echter niet te groot worden; dit geeft een beperking in het dimensioneren van de vulopeningen.

Uitgegaan wordt van 2 openingen van $0,5 \times 0,75 \text{ m}^2$; bij een afvoercoëfficiënt $m = 0,6$ is de maximale netto doorstroomopening dan:

$$m A = 0,6 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot 0,75 = 0,45 \text{ m}^2.$$

Zoals in hoofdstuk 4 zal blijken, zijn bij deze opening de krachten op de in de kolk liggende schepen toelaatbaar en is de vultijd van de kolk in het extreme geval orde 6 minuten.

De openingen in de deuren worden ontworpen op een zo probleemloos mogelijk vullen van de kolk. Het ledigen van de kolk gebeurt door dezelfde openingen; de vormgeving van de openingen is daarom voor het ledigen niet optimaal. De vormgeving van de openingen wordt hieronder voor de drie varianten besproken.

Variant B (fig. 1)

Door middel van spreiding van de vulstraal in hoogte- en breedterichting wordt bereikt dat krachten op schepen beperkt blijven. Om dit te realiseren zijn de openingen in de deur divergerend gemaakt. In horizontale zin wordt de straal naar het midden van de kolk gericht. In verticale zin wordt de straal omhoog gericht en door middel van een breekbalk in tweeën gedeeld. Dit komt spreiding in verticale zin ten goede. De breekbalk zorgt voor een reductie van de stromingsenergie.

De deuren zijn identiek en zijn dus uitwisselbaar. Aan de Zoommeerzijde botst de vulstraal tegen de drempel (die daar eventueel aangebracht wordt), waardoor de straal over een flinke breedte wordt gespreid. Bij lage kolkwaterstanden werkt de drempel als een soort overlaat; de vulstraal wordt daardoor zeer goed over de breedte van de kolk gespreid, maar heeft ook de neiging (zoet op zout!) om aan de oppervlakte te blijven. Tijdens het vullen van de kolk wordt het water flink opgemengd, zodat er ondanks de drempelbalk zoutverlies c.q. zoetverlies optreedt. De drempelbalk zal tijdens het openstaan van de Zoommeerdeur een reductie geven van het verlies van zout water naar het zoete Zoommeer.

Variant C (fig. 2)

De vulopeningen aan Oosterscheldezijde zijn identiek aan die bij variant B. Aan de Zoommeerzijde is een omloopriool aangegeven, met een doorsnede van $0,5 \times 0,75 \text{ m}^2$. De in- en uitstroomopeningen zijn afgerond; ook de bochten van het riool kunnen worden afgerond. Het omloopriool is zo laag mogelijk gehouden om te voorkomen dat ongewenste lucht in het riool wordt aangezogen. De openingen van het riool kunnen naar de deur worden gericht, waardoor de spreiding van het water over de breedte en hoogte van de kolk wordt verbeterd. (Ook de opening aan de Zoommeerzijde).

In plaats van een rechthoekig riool kan ook een cirkelvormige doorsnede worden gekozen, zoals is aangegeven op tekening SO 330A van Directie Sluizen en Stuwen. Dit riool moet echter zo laag mogelijk worden gehouden. In- en uitstroomzijde afronden. De schacht waarin de afsluitende schuif wordt geplaatst,

heeft een opening naar de kolk toe. Deze opening groter maken dan de buisdoorsnede en de hoeken afronden.

Variant D (fig. 3)

Bij deze variant draait de deur aan Zoommeerzijde naar de kolk toe. De vulopeningen in de deur bevinden zich, vanwege de hoge bodemligging van het sluishoofd aan Zoommeerzijde, relatief hoog ten opzichte van de bodem van de kolk. Bij laag water in de kolk ontstaat er daardoor (zonder maatregelen) een gekoncentreerde oppervlaktestraal.

Om dit te voorkomen is de opening, welk licht divergerend is, naar beneden gericht en is er een afschermkap aangebracht. Door deze kap wordt de straal naar beneden gericht; de straal botst tegen de kolkbodem en spreidt zich in breedterichting en hoogterichting.

De opening aan de onderzijde van de kap is groter gekozen dan de doorsnede van de opening in de deur.

Benodigde lengte tussen de deuren

De nuttige lengte tussen de stopstrepen bedraagt 30 m. De totale lengte tussen de deuren wordt bij:

variant B : 30 m + 2 m (O.S. zijde) + ~ 3 m (Z.M. zijde) = 35 m.

variant C : 30 m + 2 m (O.S. zijde) + ~ 4 m (Z.M. zijde) = 36 m.

variant D : 30 m + 2 m (O.S. zijde) + ~ 8 m (Z.M. zijde) = 40 m.

4 Langskrachten op in de kolk liggende schepen

Wanneer de kolk gevuld wordt, ontstaan er langskrachten op het in de kolk liggende schip. Deze krachten zijn voornamelijk het gevolg van translatiegolven, straalwerking tegen de boeg van het schip, waterspiegeldaling boven de gekoncentreerde stralen en dichtheidsverschillen. Bij het ledigen van de kolk zijn de langskrachten voornamelijk toe te schrijven aan golfverschijnselen.

4.1 Langskrachten ten gevolge van translatiegolf

Eerste globale schatting: de dimensieloze langskracht F_t^* ten gevolge van een translatiegolf is gelijk aan de langshelling van het water in de kolk.

De maximale langshelling is te berekenen met de formule [1]:

$$\left(\frac{dz}{dx}\right)_{\max} = \frac{m A \sqrt{2g z_0}}{b_k t_h c^2}$$

$$\text{Nu is: } F_t^* = \frac{F_t}{\rho g b_s l_s d_{s_{\max}}} = \left(\frac{dz}{dx}\right)_{\max}$$

In deze formules is:

$m A$ = effectieve vul-/ledigopening

z_0 = begin verval

b_k = breedte kolk = 5,55 m

t_h = heftijd schuiven

c = voortplantingssnelheid translatiegolf

$$c = \sqrt{g \frac{(A_k - A_s)}{b_k}} \quad \text{volgens de flexibel schip theorie [2]}$$

A_k = kolkdoorsnede = $b_k \cdot h_k$

h_k = waterdiepte in kolk

A_s = schip doorsnede = $b_s \cdot d_s$

d_s = diepgang schip

$d_{s_{\max}}$ = diepgang geladen schip

b_s^{\max} = breedte schip

l_s = lengte schip

De effectieve opening $m A$ wordt gesteld op:

$$m A = 0,6 \cdot 0,5 \times 0,75 \text{ m}^2 \cdot 2 = 0,45 \text{ m}^2$$

De hefsnelheid van de schuiven wordt op 5 mm/s gekozen.

Dit geeft een heftijd:

$$t_h = \frac{500 \text{ mm}}{5 \text{ mm/s}} = 100 \text{ s.}$$

De breedte b_s van het maatgevend gestelde schip bedraagt 5 m (bak 25 m lang, 5 m breed). De diepgang d_s van het schip wordt gelijk gesteld aan de kleinste waterdiepte h_{\min} boven één der drempels, verminderd met 0,5 m. De maximale diepgang is 2,1 m.

Voor een aantal combinaties van waterstanden is in onderstaande tabel de maximale langshelling $(\frac{dz}{dx})_{\max}$ uitgerekend.

Tevens is de vultijd T aangegeven. Deze is berekend met de formule [2]:

$$T = \frac{1}{2} t_h + \frac{2 b_k l_k z_o}{m A \sqrt{2g z_o}}$$

met l_k = lengte kolk ≈ 35 m (bij variant D wat langer).

O.S.	Z.M.	z_o (m)	h_{\min} (m)	schip		kolk		c (m/s)	$(\frac{dz}{dx})_{\max} = F_t^*$ (‰)	T (s)
				d_s (m)	A_s (m ²)	h_k (m)	A_k (m ²)			
2,40 ⁻	1,25 ⁻	1,15	1,25	0,75	3,75	1,6	8,88	3,04	0,42	257
	NAP	2,40	1,60	1,10	5,5	1,6	8,88	2,47	0,92	349
	0,75 ⁺	3,15	1,60	1,10	5,5	1,6	8,88	2,47	1,05	392
NAP	1,25 ⁻	1,25	1,25	0,75	3,75	2,75	15,15	4,55	0,20	266
	0,75 ⁺	0,75	3,25	2,10	10,50	4,00	22,20	4,59	0,15	217
2,50 ⁺	1,25 ⁻	3,75	1,25	0,75	3,75	2,75	15,25	4,55	0,34	424
	NAP	2,50	2,50	2,00	10,00	4,00	22,20	4,69	0,26	355
	0,75 ⁺	1,75	3,25	2,10	10,50	4,75	26,36	5,35	0,17	305

In deze tabel is:

O.S. = Oosterschelde w.s.

Z.M. = Zoommeer w.s.

h_{\min} = kleinste waterdiepte boven drempels (O.S. of Z.M.)

d_s = diepgang schip = $h_{\min} - 0,5$ m. Echter grootste diepgang 2,10 m

h_k = begin waterstand in kolk

Drempels op NAP - 2,50 m (Z.M.) en NAP - 4,00 m (O.S.).

Hefnelheid schuiven 5 mm/s → heftijd 100 s.

$m A = 0,6 \cdot 0,5 \times 0,75 \text{ m}^2 \times 2 = 0,45 \text{ m}^2$

De vultijd T is bij variant D wat groter.

Ten opzichte van een langskracht criterium van 2,5‰ zijn de uitgereken-
de promillages gering. De langskracht ten gevolge van translatiegolven moet
echter nog worden gekombineerd met langskrachten ten gevolge van dichtheids-
verschillen, straalwerking tegen het schip en waterspiegelafzinking.

4.2 Langskrachten ten gevolge van dichtheidsverschillen

Ten gevolge van dichtheidsverschillen ontstaan er extra langskrachten op het
schip.

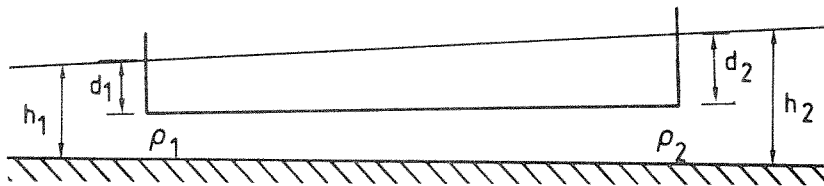
Deze kunnen globaal worden berekend.

Aannames:

- In een vertikaal zijn geen dichtheidsverschillen.
- In langsricting verloopt de dichtheid lineair van ρ_1 naar ρ_2 .
- Strooming wordt verwaarloosd.
- Breed schip (d.w.z. geen 3-dimensionale verschijnselen).

De langskracht ten gevolge van het dichtheidsverschil ($\rho_1 - \rho_2$) gedeeld door
de waterverplaatsing van het geladen schip is nu [3]:

$$F_{\Delta\rho}^* = \frac{F_{\Delta\rho}}{\rho_2 g b_s l_s d_s} = - \frac{(\frac{1}{2}(\frac{\rho_2}{\rho_1} - 1)d_2 + h_2 - h_1)}{l_s} \cdot \frac{d_2}{d_{s_{\max}}}$$



met

- b_s = breedte schip
- d_1 = diepgang schip ter plaatse van dichtheid ρ_1
- d_2 = diepgang schip ter plaatse van dichtheid ρ_2
- l_s = lengte schip
- h_1 = waterdiepte ter plaatse van boeg schip
- h_2 = waterdiepte ter plaatse van hek schip
- $d_{s_{\max}}$ = diepgang geladen schip

Tussen d_1 en d_2 geldt de relatie:

$$\rho_1 d_1 = \rho_2 d_2$$

Wanneer d_2 en h_2 , ρ_2 en ρ_1 gegeven zijn, kunnen d_1 en h_1 worden berekend. (h_1 volgt uit een 2e graadsvergelijking). En vervolgens $F_{\Delta\rho}^*$.

In onderstaande tabellen is voor een aantal situaties $F_{\Delta\rho}^*$ uitgerekend. Ingevoerd zijn ρ_1 , ρ_2 , d_2 en h_2 . De kracht $F_{\Delta\rho}^*$ is positief wanneer deze naar het benedenhoofd gericht is.

Als schip is ingevoerd een bak met lengte 25 m, breedte 5 m en een diepgang d_2 van resp. 1,1 m en 2,1 m bij vullen zoet in zout en een diepgang van resp. 0,75 m en 1,50 m bij vullen zout in zoet.

De berekende kracht is geldig zolang de zouttong (of de zoete tong) zich nog onder het schip bevindt. Daarna neemt de kracht ten gevolge van het dichtheidsverschil af.

Er wordt vanuit gegaan, dat het debiet door de vulopeningen een maximum heeft bereikt, vóórdat de tong het einde van het schip heeft bereikt. Aangenomen wordt dat het verval dan teruggelopen is tot ca. $\frac{2}{3}$ van de beginwaarde z_0 . Het maximale debiet is dan globaal (schuiven geheel open):

$$Q_{\max} = m A \sqrt{2g \cdot \frac{2}{3} z_0}$$

De snelheid van de tong is globaal [3]:

$$v_{\text{tong}} = 0,45 \sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho} \cdot g \cdot d}$$

waarbij d de ruimte is onder het schip en 0,45 een faktor.

De dikte van de tong volgt daarna uit:

$$d_{\text{tong}} = \frac{Q_{\max}}{b_k \cdot v_{\text{tong}}}$$

Als $d > d_{\text{tong}}$ gaat de berekening van de langskracht als gevolg van dichtheidsverschillen niet meer op. (De langskracht is in deze situatie ook van minder belang). Op grond van het bovenstaande wordt in onderstaande tabellen daarom aangehouden dat de maximale relevante h_2 gelijk is aan

$$h_2 = d_2 + d_{\text{tong}}$$

Zoute kolk vullen met zoet water

Z.M.	w.s kolk	d ₂ (m)	d _{tong} (m)	h ₂ (m)	ρ ₁ (kg/m ³)	ρ ₂ (kg/m ³)	h ₁ (m)	d ₁ (m)	F _{Δρ} [*] (‰)
0,75 ⁺	2,40 ⁻	1,1	1,9	1,60	1000	1020	1,63	1,12	+ 0,33
	1,70 ⁻			2,30			2,33		+ 0,48
	1,00 ⁻			3,00			3,04		+ 0,63
0,75 ⁺	1,40 ⁻	2,1	1,6	2,60	1000	1020	2,65	2,14	+ 1,04
	0,85 ⁻			3,15			3,20		+ 1,26
	0,30 ⁻			3,70			3,76		+ 1,48

Zoete kolk vullen met zout water

O.S.	w.s. kolk	d ₂ (m)	d _{tong} (m)	h ₂ (m)	ρ ₁ (kg/m ³)	ρ ₂ (kg/m ³)	h ₁ (m)	d ₁ (m)	F _{Δρ} [*] (‰)
2,50 ⁺	1,25 ⁻	0,75	2,0	2,75	1020	1000	2,72	0,74	- 0,39
2,50 ⁺	0,60 ⁻	1,50	1,9	3,40	1020	1000	3,35	1,47	- 0,96

De waarden van F_{Δρ}^{*} zijn relatief hoog (vergeleken met een langskracht-kriterium van 2,5%).

De beschouwde situaties zijn echter extreem, terwijl ook met een zeer breed schip is gerekend, dat vrijwel de gehele kolk vult. De langskrachten ten gevolge van dichtheidsverschillen zullen in normale gebruikssituaties daarom kleiner zijn.

4.3 Langskrachten ten gevolge van directe straalwerking en waterspiegel-daling ter plaatse van de gekoncentreerde straal

De langskrachten ten gevolge van straalwerking en lokale waterspiegeldaling zijn het belangrijkste wanneer de kolk gevuld wordt door de deur aan Oosterscheldezijde. (De bijzondere vormgeving van de vulopeningen en omgevende konstruktie aan Zoommeerzijde van de varianten B, C en D belemmert grotendeels directe straalwerking; bovendien is het extreme verval aan die kant kleiner).

Wanneer bij variant B de drempelbalk niet wordt aangebracht, levert deze variant bij vullen door de Zoommeerdeur ook belangwekkende situaties op.

Voor de volgende 4 situaties wordt nagegaan hoe groot de langskrachten ten gevolge van straalwerking en waterspiegeldaling kunnen zijn.

Vullen door de Oosterschelde deur:

situatie 1 Oosterschelde w.s. NAP + 2,50 m } beginverval $z_o = 3,75$ m
 Zoommeer w.s. NAP - 1,25 m }
 schip lang 25 m, breed 5 m, diepgang 0,75 m

situatie 2 Oosterschelde w.s. NAP + 2,50 m } beginverval $z_o = 2,4$ m
 Zoommeer w.s. NAP + 0,10 m }
 schip lang 25 m, breed 5 m, diepgang 2,1 m

Vullen door de Zoommeer deur (variant B zonder drempelbalk):

situatie 3 Oosterschelde w.s. NAP - 2,40 m } beginverval $z_o = 3,15$ m
 Zoommeer w.s. NAP + 0,75 m }
 schip lang 25 m, breed 5 m, diepgang 1,1 m

situatie 4 Oosterschelde w.s. NAP - 1,40 m } beginverval $z_o = 2,15$ m
 Zoommeer w.s. NAP + 0,75 m }
 schip lang 25 m, breed 5 m, diepgang 2,1 m

Uitgegaan wordt van de situatie dat de schuiven geheel geheven zijn en dat het maximale debiet is bereikt.

Q_{\max} wordt berekend met:

$$Q_{\max} = m A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \frac{2}{3} z_o} \quad (m A = 0,45 \text{ m}^2)$$

4.3.1 Straalwerking

Vullen door de Oosterschelde deur

Situatie 1. Het maximale debiet is: $Q_{\max} = 0,45 \cdot \sqrt{2 \cdot 10 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3,75} = 3,2 \text{ m}^3/\text{s}$.

De waterdiepte in de kolk is dan globaal:

$$(\text{Nap} - 1,25 \text{ m}) - (\text{NAP} - 4,00) + \frac{1}{3} \cdot 3,75 \text{ m} = 4,0 \text{ m}.$$

Bij een diepgang van het schip van 0,75 m is hierbij geen directe straalwerking van enige importantie te verwachten. (De straal gaat onder het schip door).

Situatie 2. Het maximale debiet is: $Q_{\max} = 0,45 \sqrt{2 \cdot 10 \cdot \frac{2}{3} \cdot 2,40} = 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$

De waterdiepte in de kolk is globaal:

$$(\text{NAP} + 0,10 \text{ m}) - (\text{NAP} - 4,00 \text{ m}) + \frac{1}{3} \cdot 2,40 \text{ m} = 4,9 \text{ m}.$$

Bij een diepgang van het schip van 2,1 m is ook hier geen belangrijke direkte straalwerking te verwachten.

De situatie wordt ongunstiger wanneer - in geval van variant B - de drempelbalk aan Zoommeerzijde niet wordt aangebracht. In dat geval kan bij een extreem lage Zoommeer waterstand van NAP - 1,25 m (situatie 1) ook een schip met een diepgang van 2,1 m binnenvaren. De ruimte onder het schip bedraagt dan bij maximaal debiet: $4,0 \text{ m} - 2,1 \text{ m} = 1,9 \text{ m}$.

Aangenomen wordt nu dat de helft van het debiet in de stralen een direkte impuls geeft op het schip; de andere helft gaat onder het schip door.

Het door de stralen getroffen oppervlak wordt gesteld op:

$$2 \times 0,7 \times 0,7 \text{ m}^2 = 1,0 \text{ m}^2.$$

De gemiddelde snelheid in deze stralen is:

$$v_{\text{gem}} = \frac{3,2/2}{1} = 1,6 \text{ m/s}$$

De kracht ten gevolge van deze stralen wordt berekend volgens:

$$F_{\text{str}} = c_{\text{str}} \cdot \frac{1}{2} \rho v_{\text{gem}}^2 \cdot A$$

met c_{str} = koëfficiënt, welke op 1 wordt gesteld

A = getroffen oppervlak = 1 m^2

ρ = 1020 kg/m^3 (zoute straal)

$$\text{Dus } F_{\text{str}} = 1 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1020 \cdot 1,6^2 \cdot 1 = 1305 \text{ N}$$

Deze kracht gedeeld door de waterverplaatsing van het geladen schip bedraagt:

$$F_{\text{str}}^* = \frac{F_{\text{str}}}{\rho g b_s l_s d_{s_{\max}}} = \frac{1305}{1010 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 25 \cdot 2,1} = 0,5 \text{ ‰}$$

$d_{s_{\max}}$ = diepgang geladen schip

b_s = breedte schip

l_s = lengte schip

Vullen door de Zoommeer deur (variant B zonder drempelbalk)

Situatie 3. Het maximale debiet is: $Q_{\max} = 0,45 \sqrt{2 \cdot 10 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3,15} = 2,9 \text{ m}^3/\text{s}$.

De waterdiepte in de kolk is dan:

$$(\text{NAP} - 2,40 \text{ m}) - (\text{NAP} - 4,00 \text{ m}) + \frac{1}{3} \cdot 3,15 \text{ m} = 2,65 \text{ m}.$$

Bij een diepgang van het schip van 1,1 m is de ruimte onder het schip dus 1,55 m.

Aangenomen wordt hierbij dat de helft van het debiet in de stralen een impuls geeft op het schip.

De gemiddelde snelheid in de stralen is bij een getroffen oppervlak van $2 \times 0,5 \text{ m}^2 = 1 \text{ m}^2$:

$$v_{\text{gem}} = \frac{2,9/2}{1} = 1,45 \text{ m/s}$$

De dimensieloze kracht ten gevolge van deze stralen is nu:

$$F_{\text{str}}^* = \frac{c_{\text{str}} \cdot \frac{1}{2} \rho v_{\text{gem}}^2 \cdot A}{\rho \cdot g \cdot b_s \cdot l_s \cdot d_{s_{\max}}} = \frac{1 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 1,45^2 \cdot 1}{1010 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 25 \cdot 2,1} = 0,4 \text{ ‰}$$

Situatie 4. Het maximale debiet is: $Q_{\max} = 0,45 \sqrt{2 \cdot 10 \cdot \frac{2}{3} \cdot 2,15} = 2,4 \text{ m}^3/\text{s}$

De waterdiepte in de kolk is dan:

$$(\text{NAP} - 1,40 \text{ m}) - (\text{NAP} - 4,00 \text{ m}) + \frac{1}{3} \cdot 2,15 \text{ m} = 3,32 \text{ m}.$$

Bij een diepgang van het schip van 2,1 m is de ruimte onder het schip 1,42 m.

Ook hier kan aangenomen worden dat ongeveer de helft van het debiet in de stralen een impuls geeft op het schip. Bij een getroffen oppervlak van $2 \times 0,5 \text{ m}^2 = 1 \text{ m}^2$ en een gemiddelde snelheid in de straal van $\frac{2,4/2}{1} = 1,2 \text{ m/s}$ bedraagt de dimensieloze langskracht:

$$F_{\text{str}}^* = \frac{c_{\text{str}} \cdot \frac{1}{2} \rho v_{\text{gem}}^2 \cdot A}{\rho \cdot g \cdot b_s \cdot l_s \cdot d_{s_{\max}}} = \frac{1 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 1,2^2 \cdot 1}{1010 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 25 \cdot 2,1} = 0,3 \text{ ‰}$$

4.3.2 Waterspiegelafzinking

Met behulp van een impulsvergelijking kan de dimensieloze kracht F_{wsp}^* op het schip als gevolg van waterspiegelafzinking worden berekend.

De impulsvergelijking wordt opgesteld voor de horizontale waterbeweging in de kolk.

F_{wsp}^* volgt uit [1]:

$$F_{\text{wsp}}^* = - \frac{Q_h^2}{m \cdot A \cdot t / \text{th.g.} \cdot (h_{\text{gem}} \cdot b_k \cdot l_s - b_s \cdot l_s \cdot d_s)} \cdot \frac{d_s}{d_{s_{\max}}}$$

met Q_h = debiet in horizontale richting (langsricting)

h_{gem} = gemiddelde waterstand in de kolk.

Er wordt vanuit gegaan dat het maximale debiet Q_{max} wordt bereikt op het moment dat de schuiven juist volledig geheven zijn. (Dus bij $t/t_h = 1$). Gesteld wordt nu dat slechts de helft van het maximale debiet bijdraagt aan de impuls in horizontale richting. (Er gaat impuls verloren door turbulenties, door verwijding van de stralen en door wrijving en een deel van de impuls is in verticale richting werkzaam).

Vullen door de Oosterschelde deur

Situatie 1. $Q_{max} = 3,2 \text{ m}^3/\text{s}$, $h_{gem} = 4,0 \text{ m}$, $d_s = 0,75 \text{ m}$

$$F_{wsp}^* = - \frac{(3,2/2)^2}{0,45 \cdot 1 \cdot 10 \cdot (4 \cdot 5,55 \cdot 25 - 5 \cdot 0,75 \cdot 25)} \cdot \frac{0,75}{2,1} = - 0,4 \text{ ‰}$$

Situatie 2. $Q_{max} = 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$, $h_{gem} = 4,9 \text{ m}$, $d_s = 2,1 \text{ m}$

$$F_{wsp}^* = - \frac{(2,5/2)^2}{0,45 \cdot 1 \cdot 10 \cdot (4,9 \cdot 5,55 \cdot 25 - 5 \cdot 2,1 \cdot 25)} \cdot \frac{2,1}{2,1} = - 0,8 \text{ ‰}$$

Wanneer bij variant B geen drempelbalk wordt aangebracht kunnen diepere schepen vanaf het Zoommeer invaren. Situatie 1 wordt dan ongunstiger. Bij een diepgang van het schip van 2,1 m ontstaat dan:

$$F_{wsp}^* = - \frac{(3,2/2)^2}{0,45 \cdot 1 \cdot 10 \cdot (4 \cdot 5,55 \cdot 25 - 5 \cdot 2,1 \cdot 25)} \cdot \frac{2,1}{2,1} = - 1,9 \text{ ‰}$$

Vullen door de Zoommeer deur (variant B zonder drempelbalk)

Situatie 3. $Q_{max} = 2,9 \text{ m}^3/\text{s}$, $h_{gem} = 2,65 \text{ m}$, $d_s = 1,10 \text{ m}$

$$F_{wsp}^* = - \frac{(2,9/2)^2}{0,45 \cdot 1 \cdot 10 \cdot (2,65 \cdot 5,55 \cdot 25 - 5 \cdot 1,1 \cdot 25)} \cdot \frac{1,1}{2,1} = - 1,1 \text{ ‰}$$

Situatie 4. $Q_{max} = 2,4 \text{ m}^3/\text{s}$, $h_{gem} = 3,32 \text{ m}$, $d_s = 2,1 \text{ m}$

$$F_{wsp}^* = - \frac{(2,4/2)^2}{0,45 \cdot 1 \cdot 10 \cdot (3,32 \cdot 5,55 \cdot 25 - 5 \cdot 2,1 \cdot 25)} \cdot \frac{2,1}{2,1} = - 1,6 \text{ ‰}$$

4.4 Combinatie van langskrachten

In het onderstaande overzicht worden de ongunstigste langskracht-komponenten op een schip $25 \times 5 \times 2,1 \text{ m}^3$ gegeven.

Omdat er faseverschillen zijn tussen de verschillende langskracht-komponenten en omdat de situaties waarbij deze componenten zijn berekend niet steeds over-

eenkomstig zijn, kunnen deze krachten niet worden opgeteld.

De waarden tussen haakjes hebben betrekking op variant B zonder drempelbalk.

Vullen van de kolk door de Oosterschelde deur

Langskracht-komponent ten gevolge van:

translatiegolf	F_t^*	+ 0,3 ‰	- 0,3 ‰
dichtheidsverschil	$F_{\Delta\rho}^*$	- -	- 1,0 ‰
straalwerking	F_{str}^*	- - (+ 0,5 ‰)	- -
waterspiegeldaling	F_{wsp}^*	- -	- 0,8 ‰ (- 1,9 ‰)

Vullen van de kolk door de Zoommeer deur

Langskracht-komponent ten gevolge van:

translatiegolf	F_t^*	+ 1,0 ‰	- 1,0 ‰
dichtheidsverschil	$F_{\Delta\rho}^*$	+ 1,5 ‰	- -
straalwerking	F_{str}^*	- - (+ 0,4 ‰)	- -
waterspiegeldaling	F_{wsp}^*	- -	- - (- 1,6 ‰)

Wanneer faseverschillen in rekening worden gebracht en de overeenkomstige situaties bij elkaar worden gezocht blijkt, dat de som van de langskracht-komponenten voldoet aan het langskrachtkriterium van 2,5 ‰. (Uitgaande van een netto instroomopening $m A = 0,6 \times 0,5 \times 0,75 \times 2 = 0,45 m^2$ en een hefsnelheid van de schuiven van 5 mm/s).

Bij het ledigen van de kolk zijn het voornamelijk translatiegolven, welke krachten op de in de kolk liggende schepen veroorzaken. Bij de gekozen vormgeving van de vul-/ledigopeningen en een hefsnelheid van de schuiven van 5 mm/s, zal ook bij ledigen van de kolk steeds aan het langskrachtkriterium van 2,5 ‰ worden voldaan.

5 Ledigen van de kolk door de Zoommeer deur

Voor het ledigen van de kolk door de Zoommeer deur is variant D het ongunstigste alternatief.

In een extreme situatie is de waterdiepte boven de betonnen vloer van het

sluishoofd 1,25 m, terwijl het verval over de deur 3,75 m kan bedragen:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Oosterschelde w.s.} = \text{kolk w.s.} = \text{NAP} + 2,50 \text{ m} \\ \text{Zoommeer w.s.} = \text{NAP} - 1,25 \text{ m} \end{array} \right\} \text{beginverval } z_0 = 3,75 \text{ m.}$$

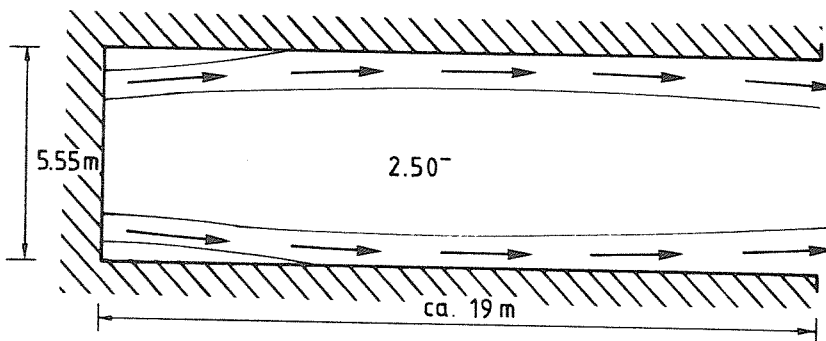
Het maximale debiet wordt gesteld op (schuiven geheel open):

$$Q_{\max} = m A \sqrt{2g \frac{2}{3} z_0} = 0,45 \sqrt{2 \cdot 10 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3,75} = 3,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

Bij variant D zijn de ledigstralen omhoog gericht.

Doordat de dichtheid van de ledigstraal groter is dan die van het omringende water, zal de straal weer naar beneden willen. Er bestaat dus de neiging om in hoogterichting te spreiden.

In breedterichting zal de straal waarschijnlijk minder snel willen spreiden. (De straal plakt aan één zijde tegen de betonnen wand).



Aangenomen wordt dat de 2 stralen zich aan het einde van de betonnen vloer over een breedte van $\frac{1}{2} \times 5,55 = 2,77 \text{ m}$ en over de volle hoogte hebben gespreid. Het debiet q per m' is dan:

$$q = \frac{Q_{\max}}{2,77} = \frac{3,2}{2,77} = 1,16 \text{ m}^3/\text{sm}'$$

De grensdiepte bij dit debiet is:

$$h_g = \sqrt[3]{\frac{2q}{g}} = \sqrt[3]{\frac{1,16^2}{10}} = 0,51 \text{ m}$$

De aanwezige waterdiepte is 1,25 m, zodat schietend water met watersprong niet optreedt. Toch is de reserve niet zo groot. De varianten B en C zijn door de diepere bodemligging gunstiger.

De gemiddelde snelheid aan het begin van de bodembescherming is bij het boven aangenomen stroombeeld: $v_{\text{gem}} = \frac{1,16 \text{ m}^3/\text{sm}}{1,25 \text{ m}} = 0,93 \text{ m/s}$.

6 Bodembescherming

In dit hoofdstuk wordt een globale berekening van de benodigde bodembescherming gemaakt.

De bodembescherming wordt berekend op:

- ledigstraal
- retourstroom
- schroefstraal

6.1 Zoommeerzijde

Ledigstraal

Variant D is het ongunstigste voor wat betreft ledigen door de Zoommeer deur. Extreme situatie:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Kolkwaterstand NAP} + 2,50 \text{ m} \\ \text{Zoommeer w.s. NAP} - 1,25 \text{ m} \end{array} \right\} \text{begininterval } z_0 = 3,75 \text{ m.}$$

Bij het in de vorige paragraaf aangenomen stroombeeld is de gemiddelde snelheid in de straal aan het eind van het sluishoofd:

$$v_{\text{gem}} = 0,93 \text{ m/s}$$

Bij een pyramide-vormig snelheidsprofiel is de relatie tussen maximale snelheid en gemiddelde snelheid:

$$v_{\text{gem}} = \frac{1}{4} v_{\text{max}}$$

Wanneer deze relatie hier wordt toegepast wordt als maximale snelheid in de straal gevonden:

$$v_{\text{max}} = 4 \cdot 0,93 = 3,7 \text{ m/s}$$

Rekening houdend met een turbulentie-intensiteit r van 20% en een reductie in snelheid vlak boven de bodem van orde 30% wordt de maximale bodemsnelheid:

$$v = (1 + 3r) \cdot 0,7 \cdot 3,7 \text{ m/s} = 4,1 \text{ m/s}$$

Retourstroom

Retourstroomsnelheden langs een invarend of uitvarend schip kunnen globaal worden bepaald met de methode zoals aangegeven door Schijf [4]. Uitgangspunten zijn:

het schip vaart met eenparige snelheid in een prismatisch kanaal; het water dat bij het voorschip verdrongen wordt stroomt langs het schip af naar achteren. Er ontstaat daardoor een retourstroom en een waterspiegeldaling. In figuur 4 kan als functie van de scheepssnelheid de retourstroomsnelheid worden afgelezen. De grafiek is berekend uitgaande van een turbulentie-intensiteit $r = 10\%$.

De retoursnelheid is groot als de blokkering van het kanaal groot is, dat wil zeggen als de verhouding f/F groot is. (f = doorsnede schip ter plaatse van grootspant, F = Kanaaldoorsnede).

Uitgaande van de geometrie bij variant D (bodem op NAP - 2,50 m), een Zoommeer waterstand van NAP + 0,10 m en een bak $5 \times 25 \text{ m}^2$ met een diepgang van 2,1 m is de verhouding f/F :

$$f/F = \frac{2,1 \times 5}{2,6 \times 5,55} = 0,73$$

Wanneer de bak met de grenssnelheid in- c.q. uitvaart, dan is (zie fig. 4):

$$\frac{u}{\sqrt{gh'}} = 0,33$$

met $h' = \frac{F}{b_s} = \frac{2,6 \times 5,55}{5} = 2,86 \text{ m}$

Dus : $u = \text{retourstroomsnelheid} = 0,33 \cdot \sqrt{10 \cdot 2,86} = 1,76 \text{ m/s}$

De snelheid van het schip bedraagt dan:

$$\frac{v}{\sqrt{gh'}} = 0,07 \quad \rightarrow \quad v = 0,07 \sqrt{10 \cdot 2,86} = 0,37 \text{ m/s}$$

Bij een Zoommeer waterstand van NAP - 1,25 m en een diepgang van de bak $5 \times 25 \text{ m}^2$ van 0,75 m is de verhouding f/F :

$$\frac{f}{F} = \frac{0,75 \times 5}{1,25 \times 5,55} = 0,55$$

Bij een vaarsnelheid gelijk aan de grenssnelheid is de retourstroomsnelheid:

$$\frac{u}{\sqrt{gh'}} = 0,37 \quad \rightarrow \quad u = 0,37 \sqrt{\frac{10 \times 1,25 \times 5,55}{5}} = 1,27 \text{ m/s}$$

en de sloopssnelheid:

$$\frac{v}{\sqrt{gh'}} = 0,17 \quad \rightarrow \quad v = 0,17 \sqrt{\frac{10 \times 1,25 \times 5,55}{5}} = 0,63 \text{ m/s}$$

Het eerste geval is maatgevend.

Schroefstraal

Volgens een opgave verstrekt door de Dienst Verkeerskunde van de Rijkswaterstaat is een geïnstalleerd vermogen van 600 PK (\cong 440 kW) op schepen met een lengte van ca. 30 m mogelijk. Bij het invaren en uitvaren van de sluis wordt echter niet op vol vermogen gedraaid.

Aangenomen wordt dat een vermogen van 440 kW op een schip van 25 m lengte, 5 m breedte en een diepgang van 2,1 m is geïnstalleerd. Bij het in- c.q. uitvaren wordt op half vermogen gedraaid.

De maximale schroefstraalsnelheid nabij de bodem kan dan worden berekend met de formule [5]:

$$v_{\text{schr}} = 0,47 \cdot \frac{(P d_s)^{1/3}}{z}$$

met P = vermogen schip (kW)

d_s = diepgang schip

z = afstand schroefas-bodem

De formule is gebaseerd op een turbulentie-intensiteit $r = 30\%$ en een schroefdiameter D die de helft van de diepgang van het schip bedraagt. De diameter D_0 van de schroefstraal juist achter de schroef bedraagt ongeveer $0,7 D$. De berekende snelheid v_{schr} treedt op op een afstand van ca. $5,6 z$ vanaf de sloopsschroef.

Uitgaande van de geometrie bij variant D (bodem op NAP - 2,50 m), een waterstand van NAP + 0,10 m, een diepgang van het schip van 2,1 m en een afstand z tussen schroefas en bodem van 1,05 m bedraagt de maximale schroefstraalsnelheid nabij de bodem:

$$v_{\text{schr}} = \frac{0,47 (220 \cdot 2,1)^{1/3}}{10,5} = 3,5 \text{ m/s}$$

Benodigde steendiameter bodembescherming

Volgens Shields moet de D_{50} van de bodembescherming voldoen aan:

$$D_{50} \geq \frac{C_F}{\Delta \cdot \psi_{\text{crit}}} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

met D_{50} = kenmerkende steendiameter, die door 50% van de stenen wordt over- c.q. onderschreden

c_F = schuifspanningscoëfficiënt welke bij stralen gewoonlijk op 0,025 wordt gesteld

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \quad \text{met } \rho_s = \text{dichtheid steen} = 2650 \text{ kg/m}^3 \\ \rho = \text{dichtheid water} = 1000 \text{ kg/m}^3 \\ \rightarrow \Delta = 1,65.$$

ψ_{crit} = schadecriterium voor de bodembescherming.

Voor stortsteen wordt als redelijke waarde gekozen $\psi_{\text{crit}} = 0,04$

v = bodemsnelheid

- ledigstraal $v = 4,1 \text{ m/s}$

$$D_{50} = \frac{0,025}{1,65 \cdot 0,04} \cdot \frac{4,1^2}{2 \cdot 10} = 0,32 \text{ m}$$

- retourstroom $v = 1,76 \text{ m/s}$

$$D_{50} = \frac{0,025}{1,65 \cdot 0,04} \cdot \frac{1,76^2}{2 \cdot 10} = 0,06 \text{ m}$$

- schroefstraal $v = 3,5 \text{ m/s}$

$$D_{50} = \frac{0,025}{1,65 \cdot 0,04} \cdot \frac{3,5^2}{2 \cdot 10} = 0,23 \text{ m}$$

Bovenstaande waarden gelden voor variant D (extreme situaties). Variant B met een bodem op NAP - 4,70 m en in mindere mate variant C met een bodem op NAP - 3,20 m zijn voor wat betreft schroefstraal, retourstroom en ledigstraal

gunstiger (grotere waterdiepte, andere vormgeving ledig-openingen).

6.2 Oosterscheldezijde

Retourstroomsnelheden en schroefstraalsnelheden zullen aan Oosterscheldezijde niet groter zijn dan hierboven voor de Zoommeerzijde is uitgerekend.

Nagegaan wordt hoe groot de snelheid in de ledigstraal kan zijn in de meest ongunstige situatie.

Deze situatie is:

Oosterschelde waterstand NAP - 2,40 m }
 kolkwaterstand NAP + 0,75 m } beginverval $z_0 = 3,15$ m.

De stroomsnelheid in de ledigopeningen bij maximaal debiet wordt gesteld op:

$$v = \sqrt{2g \frac{2}{3} z_0} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3,15} = 6,5 \text{ m/s}$$

Alle 3 varianten B, C en D zijn aan de Oosterscheldezijde aan elkaar gelijk. De ledig-straal wordt vanwege de vormgeving van de openingen in de deuren min of meer naar de bodem gericht. Doordat het omringende water echter een grotere dichtheid heeft, wil de straal naar boven afbuigen.

Volgens Rajaratnam [6] wordt het verloop van de maximale snelheid in een straal, welke vanuit een rechthoekige opening vrij kan uitstromen, gegeven door de formule:

$$\frac{u_{mo}}{u_0} = \frac{C}{x/\sqrt{A}}$$

met u_0 = maximale snelheid in de uitstroomopening
 u_{mo} = maximale snelheid in de straal op afstand x
 A = oppervlak opening
 C = constante

In dit geval is : A = 0,6 (0,5 x 0,75) = 0,225 m²; 0,6 = afvoercoëfficiënt
 $u_0 = 6,5$ m/s
 x = 16,5 m (begin steenbestorting)

Nu is:

$$\frac{x}{\sqrt{A}} = \frac{16,5}{\sqrt{0,225}} = 34,8$$

Volgens [6], grafiek 13-12 geldt dan (zie fig. 5):

$$\frac{u_{m0}}{u_0} = 0,185$$

Dus $u_{m0} = 0,185 \cdot 6,5 = 1,2 \text{ m/s.}$

De snelheidsafname in een straal, welke juist boven een vlakke bodem uitstroomt, is geringer dan bij een vrij uitstromende straal.

Bij dezelfde verhouding

$$\frac{x}{\sqrt{A}} = 34,8$$

geldt nu volgens [6], grafiek 13-26 (zie fig. 5):

$$\frac{u_{m0}}{u_0} = 0,24$$

Dus $u_{m0} = 0,24 \cdot 6,5 = 1,6 \text{ m/s}$

Omdat de bodeminvloed in het geval van de Bergsche Diep sluis niet zo sterk zal zijn (de uitstroomopening ligt op enige hoogte boven de bodem) wordt als maximale snelheid in de straal aan het begin van de bodembescherming aangehouden:

$$v = 1,4 \text{ m/s}$$

Rekening houdend met een turbulentie-intensiteit $r = 20\%$ en een afname van de snelheid nabij de bodem met 30% wordt de maatgevende bodemsnelheid dus:

$$v = (1 + 3 \cdot 0,2) \cdot 0,7 \cdot 1,4 = 1,6 \text{ m/s}$$

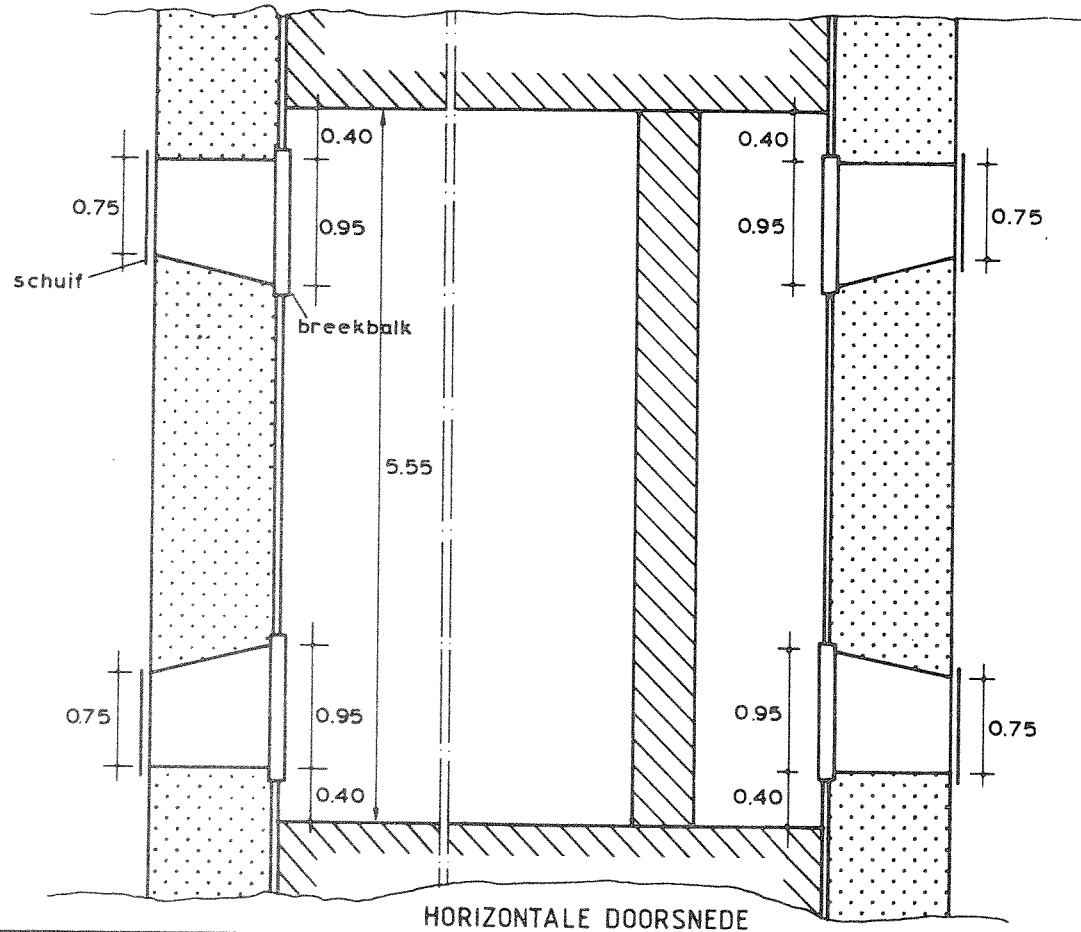
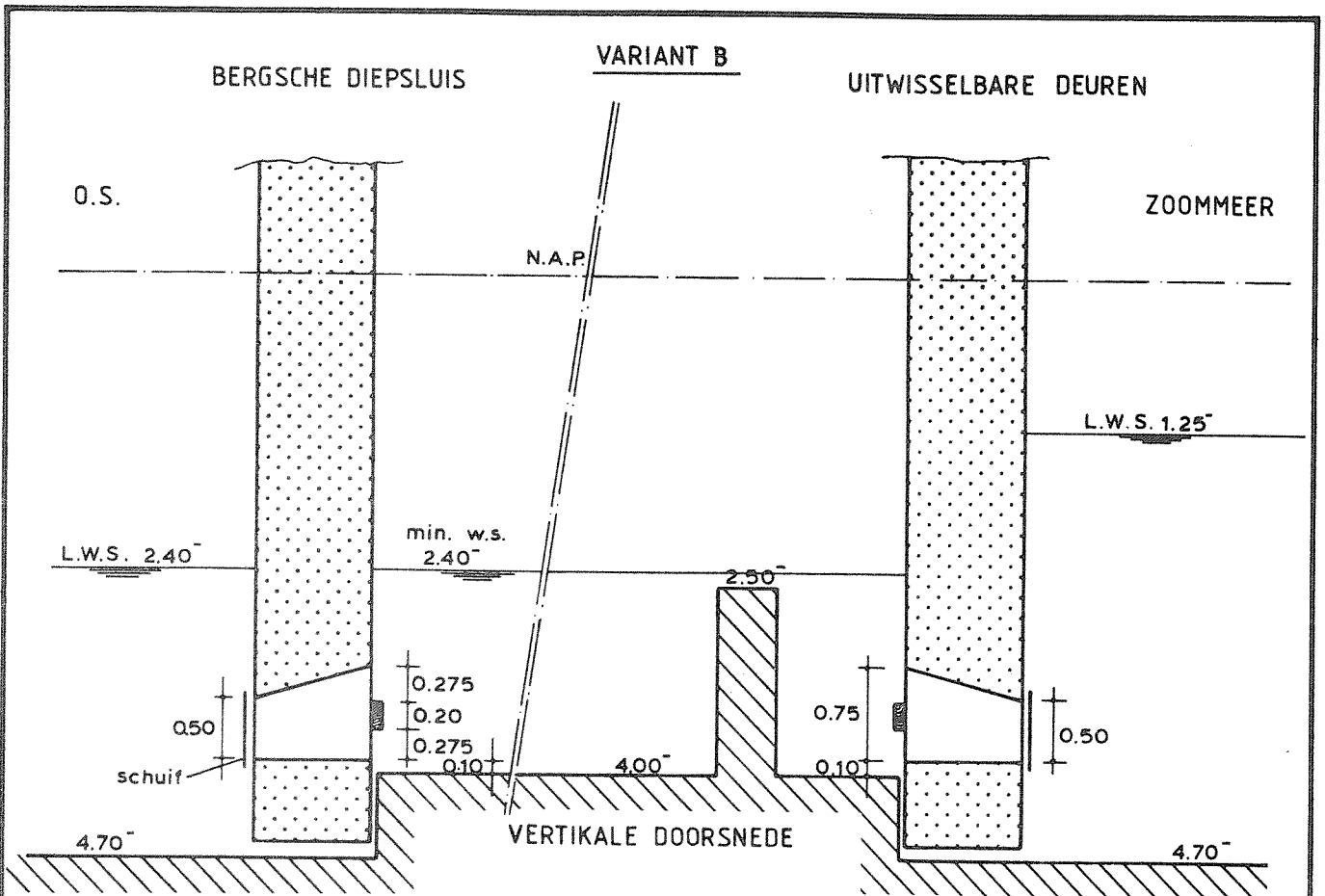
Deze snelheid is geringer dan de maatgevende ledigstraalsnelheid aan de Zoommeerzijde (zie par. 6.1). Er kan daarom met een lichtere bodembescherming worden volstaan. Omdat de lengte van het sluishoofd aan Oosterscheldezijde ter discussie staat, zal de bodembescherming in een vervolgstudie nader worden bepaald.

7 Konklusies

1. Bij alle 3 varianten B, C en D kan bij vullen en ledigen van de kolk worden voldaan aan het 2,5 ‰ criterium voor langskrachten op schepen, wanneer een doorstroomopening $m A = 0,45 \text{ m}^2$ in de deuren of via omloopriolen wordt gerealiseerd en wanneer de hefsnelheid van de schuiven niet groter is dan 5 mm/s.
De vul- c.q. ledigopeningen zijn in de figuren 1, 2 en 3 aangegeven.
2. De benodigde schutkolklengte (tussen de deuren) is bij variant B ca. 35 m, bij variant C ca. 36 m en bij variant D ca. 40 m.
3. De deuren bij variant B zijn uitwisselbaar.
4. De omloopriolen bij variant C dienen zo laag mogelijk te worden aangelegd, om lucht-aanzuiging bij lage waterstanden te voorkomen. (Dit kan aanleiding geven tot onstabiel gedrag in riool en schuivenschacht).
5. Bij variant D moeten de vulopeningen in de Zoommeer deur worden afgeschermd met een kapconstructie, teneinde sterk gekoncentreerde oppervlaktestralen in de kolk te voorkomen. De deuren moeten daarom wellicht wat dieper worden gemaakt.
6. Wanneer de varianten B, C en D met elkaar worden vergeleken, verdient variant B voor het Zoommeerhoofd om hydraulische overwegingen de voorkeur. Daarna variant C en dan pas variant D.
Variant D heeft als nadeel de hoog gelegen vulopeningen en de hoge bodemligging aan Zoommeerszijde. Dit laatste is ongunstig in verband met schroefstraal, ledigstraal en retourstroom.
Variant C heeft als nadeel dat er woelingen ontstaan op de plaats waar de vulstralen uit de riolen elkaar ontmoeten.
Variant B geeft de beste debietspreiding in de breedte van de kolk.

Referenties

1. Waterloopkundig Laboratorium
"Nieuwe koopvaardersschutsluis Den Helder"
Verslag onderzoek R 1528, april 1981.
2. Waterloopkundig Laboratorium
"Langskrachten op schepen in sluizen met vul- en ledigingssysteem in de hoofden"
Verslag onderzoek R 1222/M 1481, februari 1978.
3. Waterloopkundig Laboratorium
"Duwvaartsluizen te Hansweert"
Verslag onderzoek M 1684/R 1534.
4. Schijf, J.B. en Jansen, P.P.
Rome, 18th Int. Navigation Congress, Section I, communication 1, 1953,
pp 175 - 197.
5. Blaauw, H.G. en Kaa, E.J. v.d.
"Erosion of bottom and sloping banks, caused by the screw race of manoeuvring ships"
Publ. 202, Waterloopkundig Laboratorium, juli 1978.
6. Rajaratnam, N.
"Turbulent jets"
Developments in water science 5, Elsevier, 1976.



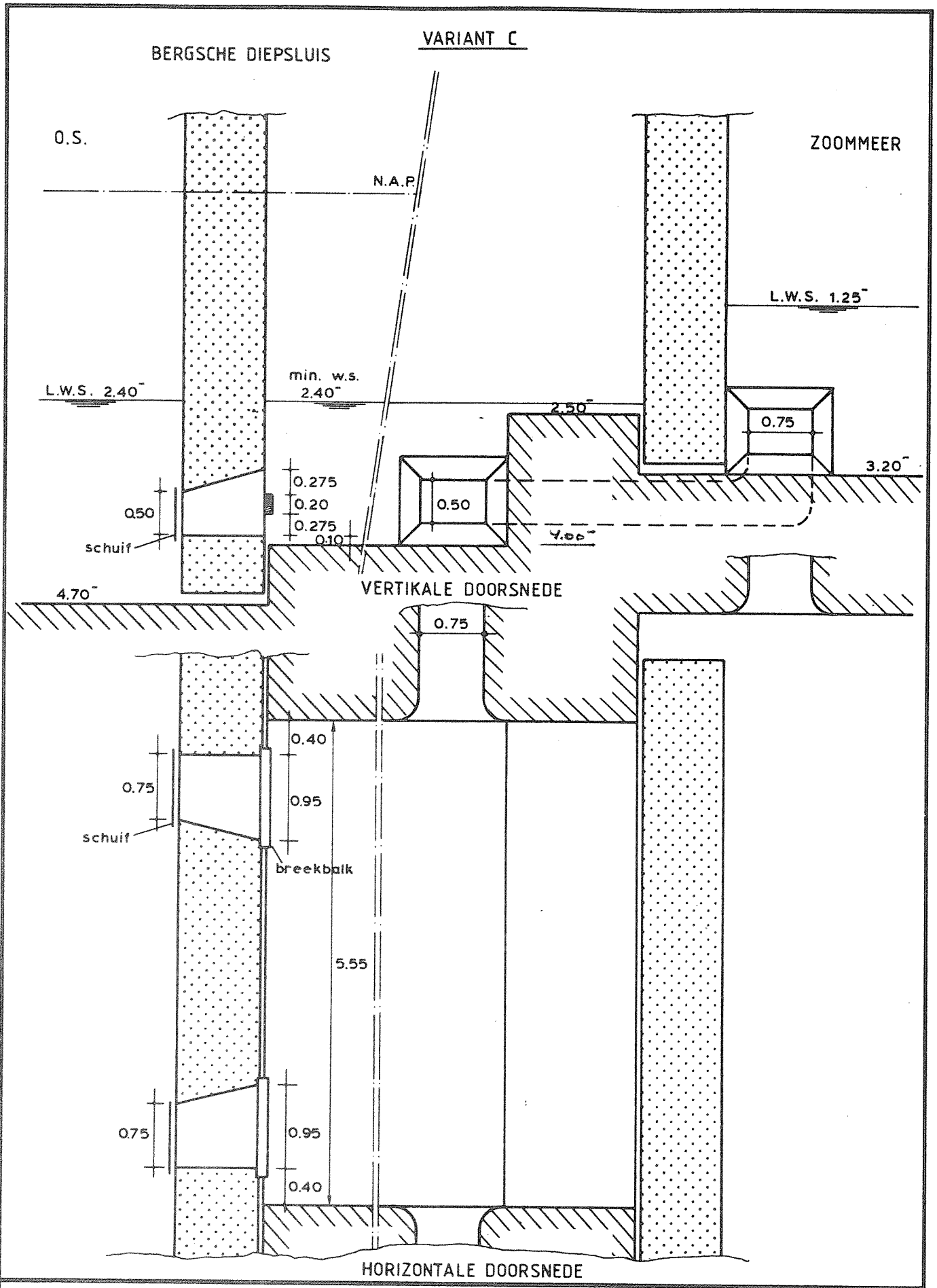
BERGSCHIE DIEP SLUIS . VARIANT B
 SCHEMATISCHE WEERGAVE VUL- EN LEDIGSYSTEEM

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

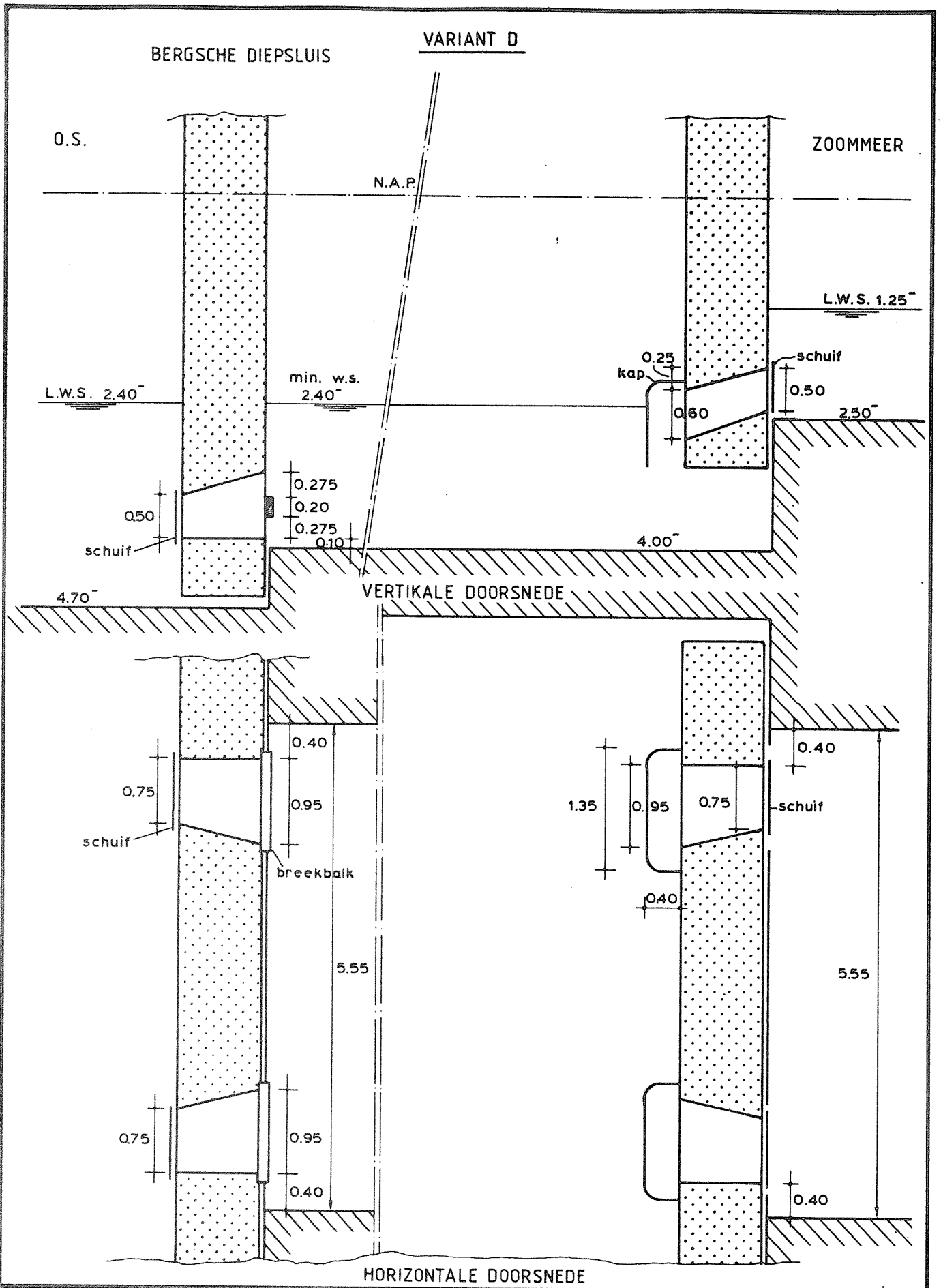
R 1518

FIG.1



BERGSCHE DIEP SLUIS . VARIANT C
 SCHEMATISCHE WEERGAVE VUL - EN LEDIGSYSTEEM

A4



BERGSCHIE DIEP SLUIS, VARIANT D
 SCHEMATISCHE WEERGAVE VUL- EN LEDIGSYSTEEM

A4

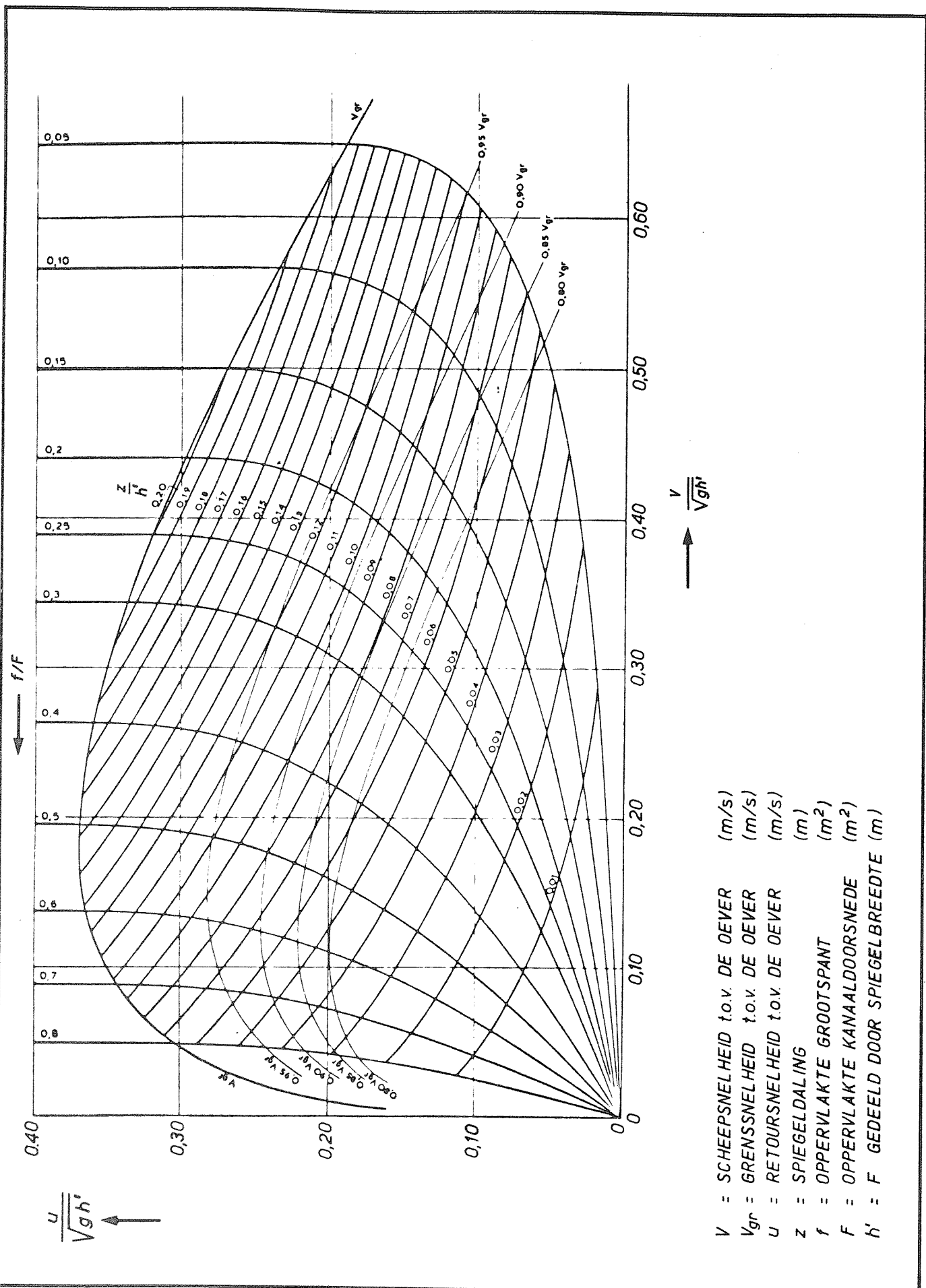


DIAGRAM VAARSNELHEID VOLGENS SCHIJF ($\alpha = 1.1$)

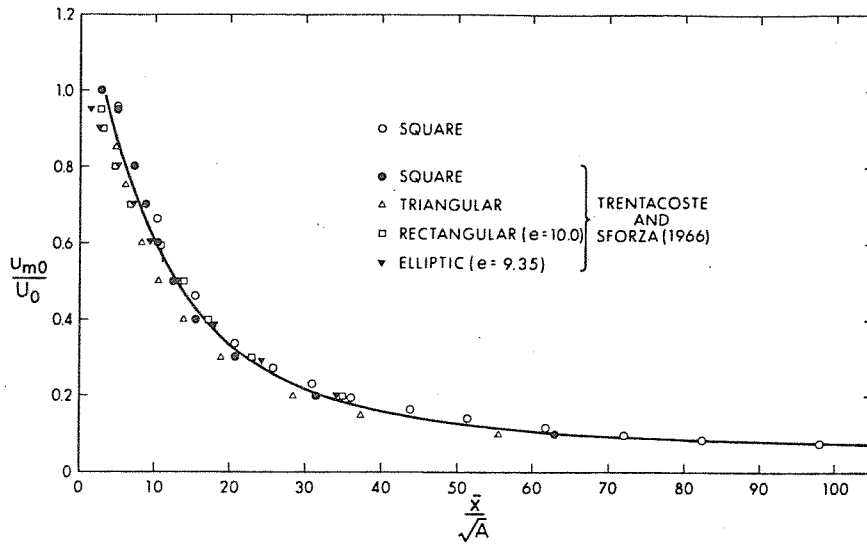


Fig. 13-12. Maximum velocity decay for three-dimensional free jets (Pani, 1972).

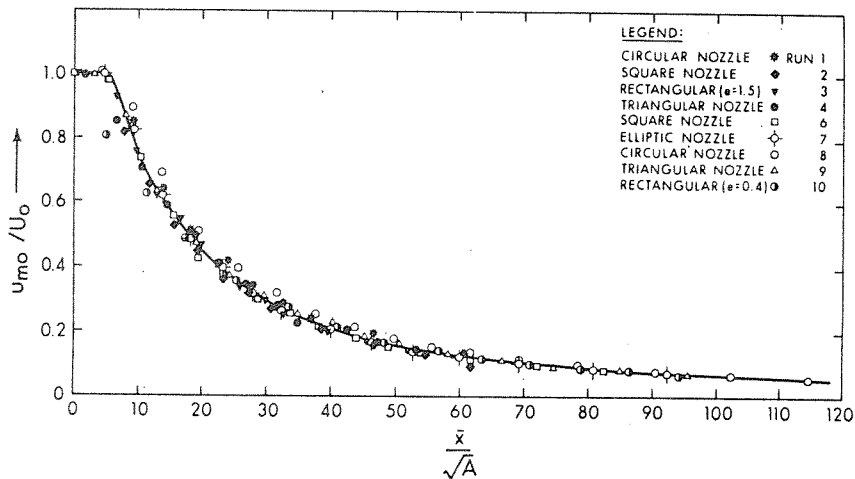


Fig. 13-26. Decay of maximum velocity for three-dimensional wall jets (Rajaratnam and Pani, 1974).

SNELHEIDSVERLOOP IN 3-DIMENSIONALE
STRALEN VOLGENS RAJARATNAM EN PANI.

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1518

FIG. 5

A4

