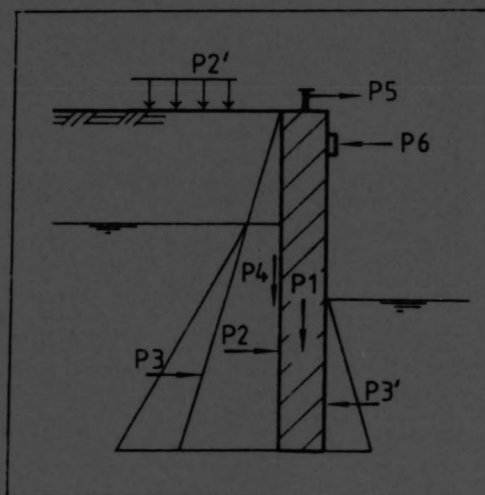


---

# AANPASSING EN VERBETERING VAN SCHUTSLUIS EN HAVENKANAAL VAN GOES

---

## DEEL 2c



**ONDERWERP:**                   Aanpassing en verbetering van schutsluis  
                                  en havenkanaal van Goes

**AFSTUDEERDER:**               E. Meijer

**AFSTUDEERMAAND:**           Maart 1986

**VAKGROEP:**                   Constructieve waterbouwkunde

**AFSTUDEERDOCENT:**         prof. ir. A. Glerum

**BEGELEIDER:**                ing. K.G. Bezuyen

AANPASSING EN VERBETERING VAN SCHUTSLUIS EN  
HAVENKANAAL VAN GOES

DEEL IIc SCHUTSLUIS

- sluishoofden
- diversen
- kostenvergelijking

7. Sluishoofden

7.1 Algemeen

7.2 Sluishoofd met roldeur

7.3 Sluishoofd met puntdeuren

8. Voorzieningen tegen onder- en achterloopsheid

9. Wachtplaatsen en geleidewerken

10. Oever- en bodemverdediging

11. Kostenvergelijking

Literatuur

Bijlagen

## 7. Sluishoofden

Het sluishoofd is het onderdeel van de schutsluis waarin zich de beweegbare afsluitmiddelen bevinden. Het sluishoofd vervult de volgende functies:

- krachtsoverdracht

de totale waterdruk t.g.v. het verval over de afsluitmiddelen moet kunnen worden opgenomen en doorgegeven naar de ondergrond.

- waterafdichting

de aansluiting van de deuren met het sluishoofd moet waterdicht zijn.

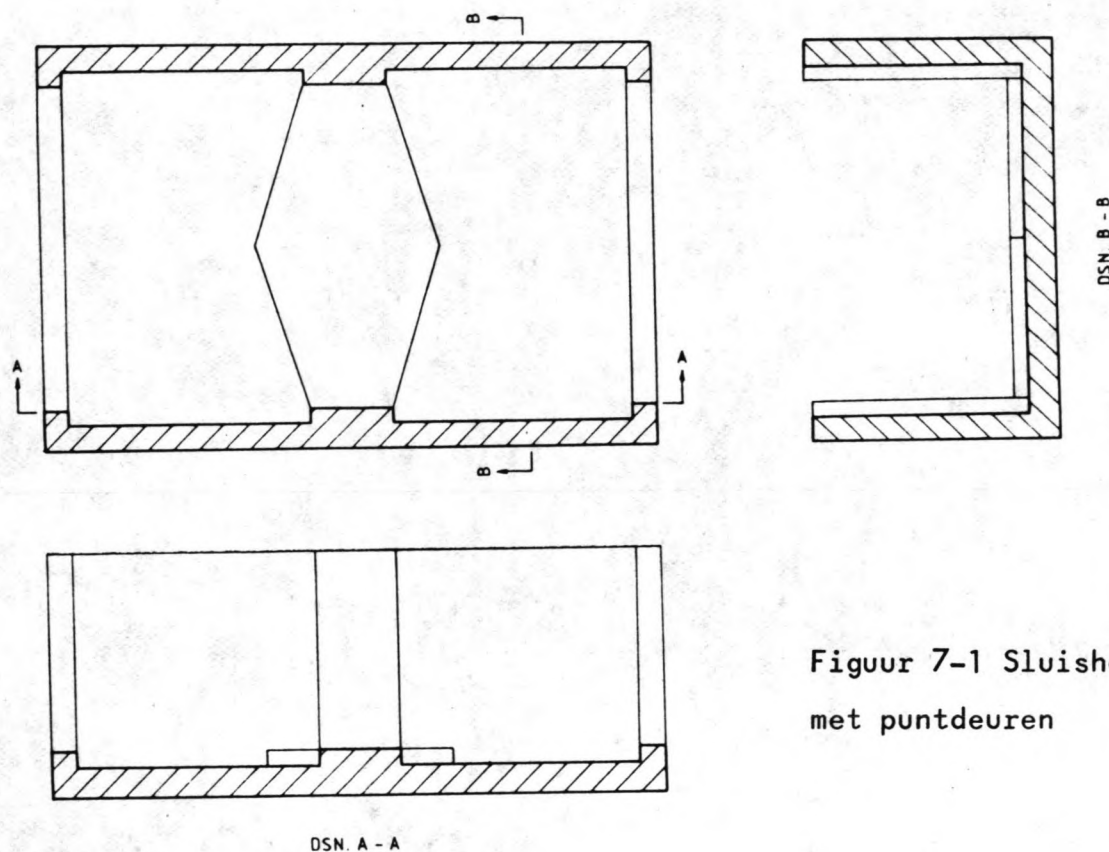
- openen en sluiten van de afsluitmiddelen

### 7.1 Algemeen

Het ontwerp van een sluishoofd komt grotendeels overeen met dat van een schutkolk: beide constructies moeten hetzelfde profiel van vrije ruimte omsluiten. De strengere eisen t.a.v. stijfheid en de grotere krachten die moeten worden opgenomen, maken dat vrijwel altijd voor een soort (betonnen) bakprofiel wordt gekozen.

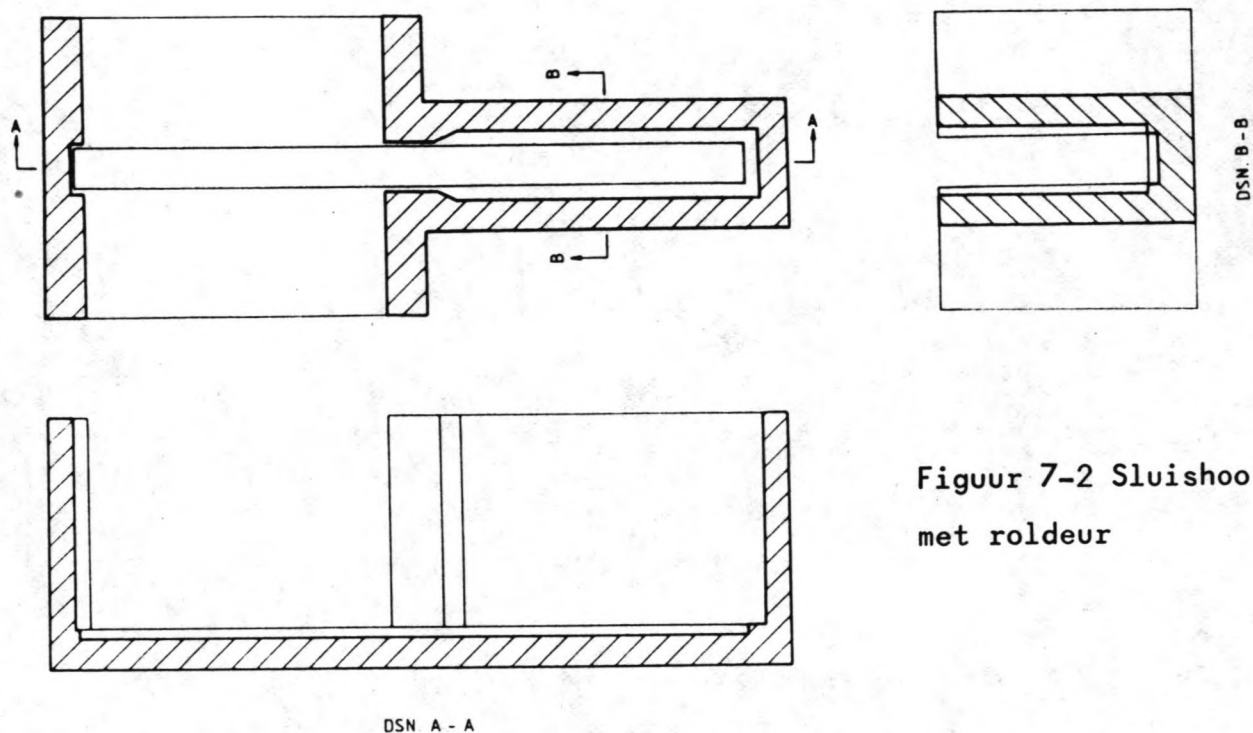
Bij toepassing van puntdeuren zal er een plaatselijke verdieping in de vloer moeten worden gemaakt teneinde de onderkant van de deuren tegen een drempel te laten aansluiten. In de zijwanden van het sluishoofd worden deurkassen aangebracht, waarin de deuren zich in geopende stand bevinden. Wanden en vloeren worden zodanig uitgevoerd, dat zij de optredende krachten en momenten kunnen opnemen. Naast de belastingen zoals die ook op de schutkolk werken (grondrukken, waterdruk) nu dus ook de krachten die de afsluitmiddelen (spatkrachten, deurgewicht) op de constructie uitoefenen. De lengte van het sluishoofd wordt voornamelijk bepaald door de afmetingen van de deurkassen. Gaan we er voorts

vanuit dat onderhoud gepleegd kan worden m.b.v. een taatskuip, dan behoeft het sluishoofd niet drooggezet te kunnen worden, m.a.w. er zijn geen extra sponningen nodig om eventueel schotbalken in aan te brengen. We zullen ons verder baseren op de (basis) vorm zoals in figuur 7-1 is weergegeven.



Figuur 7-1 Sluishoofd met puntdeuren

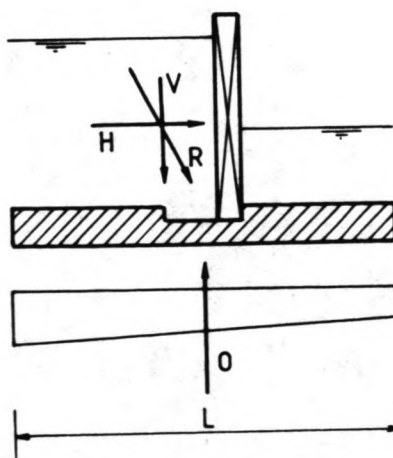
Bij toepassing van roldeuren wordt de lengte van het sluishoofd bepaald door de stabiliteit. In geopende stand bevindt de deur zich in een uitgebouwde deurkas aan een zijde van het kolkgedeelte. Het globale ontwerp is weergegeven in figuur 7-2.



Figuur 7-2 Sluishoofd met roldeur

Behalve de grond- en waterdrukken, zoals die ook op de schutkolk werken, kunnen op het sluishoofd nog de volgende belastingen worden onderscheiden:

Figuur 7-3



H - de resultante van de horizontale waterdruk op de deuren in

de richting van de sluis-as én de resultante van de waterdruk in die richting op de constructie van het sluishoofd zelf.

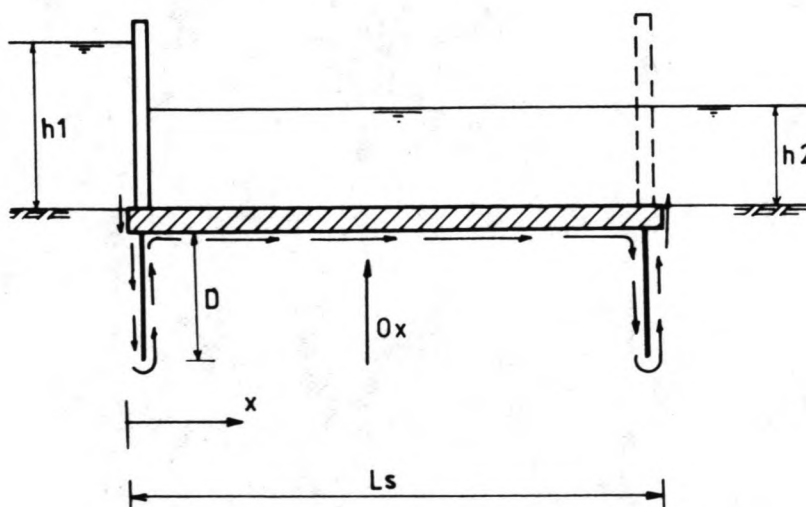
V - de resultante van de krachten in verticale richting; dit zijn het eigengewicht van het sluishoofd, inclusief afsluitemiddelen etc., en het gewicht van de watermassa boven de deur.

Van deze som van verticale krachten moet worden afgetrokken de opwaartse druk t.g.v. het grondwater onder de vloer.

Het verschil in waterstand heeft tot gevolg dat de stijghoogte onder de sluis niet constant is. We zullen hier uitgaan (sterk vereenvoudigd) van een lineair verloop in de lengterichting van de sluis. Worden de schermen tegen onderloopsheid in de lengte van de denkbeeldige kwelweg betrokken, dan vinden we voor de opwaartse druk onder de vloer op een plaats  $x$  (zie figuur 7-4):

$$O_x = \left[ h_1 - (h_1 - h_2) \frac{2D + x}{4D + L_s} \right] \rho g$$

Figuur 7-4



Indien een niet dichte kolkbodem wordt toegepast, moet uiteraard een enkel sluishoofd worden beschouwd.



De werkelijke stijghoogten moeten worden bepaald uit een vierkantennet of m.b.v. een elektrisch analogon. Voorts moet men rekening houden met vertragingverschijnselen. Kort durende hoge of lage waterstanden zullen zich slechts in beperkte mate doen gelden.

De randvoorwaarden voor stabiliteit luiden:

I. De constructie mag niet verschuiven; m.a.w.:

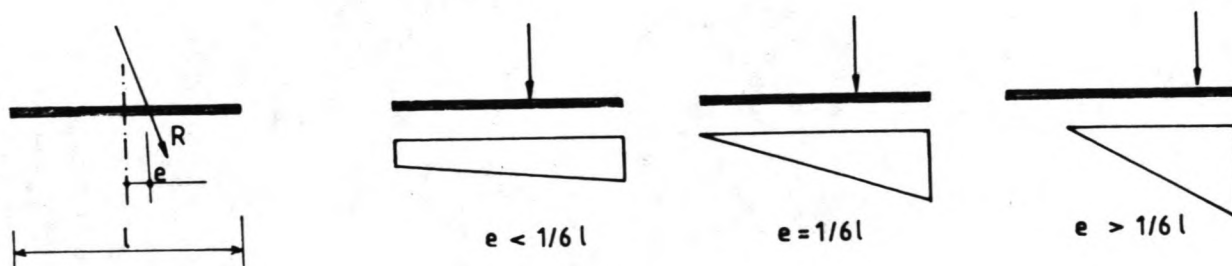
$$H < f.V$$

Voor de wrijvingscoëfficiënt wordt vaak  $\text{tg}\phi$  aangehouden, met  $\phi$  de hoek van inwendige wrijving van de grond. Indien men voorts nog een zekere veiligheid inbouwt, dan geldt:

$$n.H < V.\text{tg}\phi$$

Afhankelijk van de soort kolkconstructie kan deze eventueel een zekere steun aan het sluishoofd geven. Echter vanwege de dubbele kering kan de horizontale kracht, zowel op binnen- als buitenhoofd, in beide richtingen werken. We zullen daarom t.a.v. de stabiliteit het sluishoofd als op zichzelf staand beschouwen.

II. De constructie mag niet kantelen, m.a.w. de resultante van alle op het sluishoofd werkende krachten mag niet buiten de kern van de bodemplaat vallen; m.a.w.  $e < 1/6 \cdot l$



Is dit het geval, dan werkt de gronddruk onder de gehele voetplaat mee.

Uitgaande van een lineair verloop van de grondspanningen, vindt men dan:

$$\sigma_{\max} = \frac{V}{1} + \frac{V \cdot e}{1/6 l^2} \quad (\sigma \text{ en } V \text{ per m' kolkbreedte})$$

Hierbij mag  $\sigma_{\max}$  niet boven de voor de ondergrond toelaatbare waarde uitkomen.

Voor de bepaling van de toelaatbare belasting op de ondergrond zullen we weer uitgaan van de volgende formule (Lit 1(b23) en Lit 4), welke ook voor de schutkolk is toegepast (blz 6-53):

$$q_f = N_q \cdot q_0 + N_c \cdot c' + N_\gamma \cdot \frac{1}{2}B \cdot$$

waarin:

$q_0$  = verticale korrelspanning t.p.v. het funderingsniveau; in het ongunstigste geval  $q_0 = 0$  (bouwphase)

$c'$  = cohesie van de grond = 0

$B$  = breedte van de funderingsstrook

= gewicht van de grond onderwater =  $10 \text{ kN/m}^3$

$N_q$ ,  $N_c$  en  $N_\gamma$  zijn coëfficiënten afhankelijk van  $\phi'$  (zie blz 6-53)

Omdat de schutkolk veel langer is dan breed (de formule geldt in feite slechts voor een oneindig lange funderingsstrook) én omdat de krachten op de constructie centrisch aangrijpen, kon met bovenstaande uitdrukking worden volstaan. Voor een sluishoofd is dit echter niet het geval.

Voor funderingsstroken die niet oneindig lang te stellen zijn worden de coëfficiënten als volgt gecorrigeerd (Terzaghi):

$N_c$  wordt  $\alpha \cdot N_c$  met  $\alpha = 1 + 0,3 \cdot B/L$

$N_\gamma$  wordt  $\beta \cdot N_\gamma$  met  $\beta = 1 - 0,2 \cdot B/L$

$N_q$  blijft gelijk

Hierin is  $L$  de lengte van de fundering.

Voor de bezwijkbelasting die excentrisch of scheef aangrijpt kan de volgende formule volgens Meyerhof worden toegepast:

$$q_f = (1 - 2e/B)(1 - \alpha/90^\circ)^2 q_0 N_q + (1 - 2e/B)^2 (1 - \alpha/\phi')^2 \frac{1}{2} \delta B N_\delta$$

waarin:

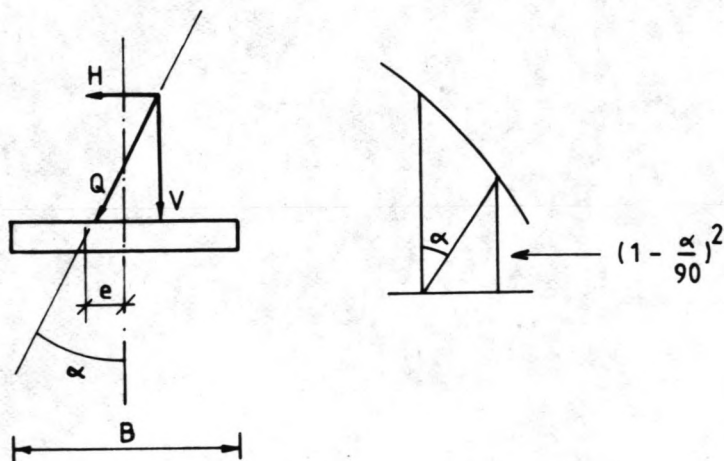
$\alpha$  = hellingshoek van Q

e = excentriciteit

$N_q$  en  $N_\delta$  te bepalen als voor verticale centrische belasting

c' is hier al nul gesteld

Voor de veiligheidscoëfficiënt wordt 3,0 aangehouden.



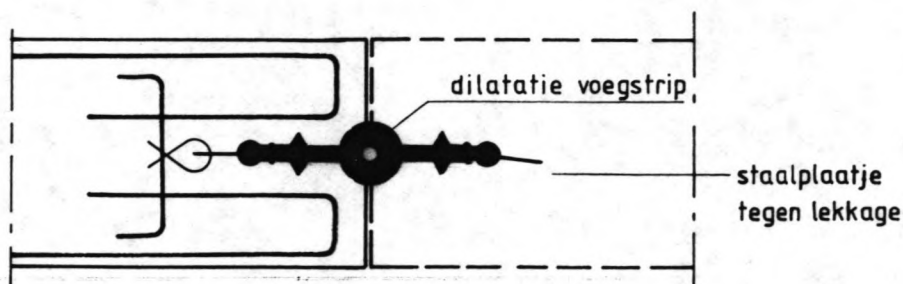
## 7.2 Sluishoofd met roldeur

Aangezien een reserve deur gewenst is, verdient het voorkeur, mede gezien de relatief geringe afmetingen van de sluis, om het binnen- en het buitenhoofd aan elkaar gelijk te maken. De optredende belastingen zijn in beide gevallen hetzelfde, zodat we slechts een geval hoeven te beschouwen.

In verband met de op zichzelf staande plattegrond van de deurkas, wordt deze vaak door een voeg van het overige bouwwerk gescheiden. Ook het kolkgedeelte wordt wel onderverdeeld in op zichzelf staande delen. Dit leidt tot een relatief zware constructie en met name de stabiliteit van deze onderdelen is vaak moeilijk te verwezenlijken. De eis van plaatsvastheid van de railbaan brengt met zich mee dat in ieder geval een stijve vloerplaat gewenst is.

Zeker bij kleinere sluizen is het daarom economischer om, net als bij de schutkolk, te kiezen voor een soort bakprofiel. Tussen deurkas en kolk zullen we wel een voeg aanbrengen. Voegconstructies worden overigens ook in de schutkolk op diverse plaatsen aangebracht vanwege mogelijke krimp en temperatuursinvloeden.

Dit "dilateren" kan geschieden m.b.v. rubber voegstrippen. Deze strippen worden in het ene element ingestort en vervolgens in het daar tegenaan gestorte element opgenomen. In de hoeken moet voldoende ruimte zijn om de voegstrip met een ruime bocht van de wand in de vloer te voeren. De rubber voegstrippen in de vloer hebben als mogelijk bezwaar dat ze aan de onderzijde moeilijk geheel met betonmortel omgeven kunnen worden. In ieder geval moet tijdens de uitvoering veel zorg aan dit detail worden besteed. Tegen lekkage van de rubber voegstrip wordt een staalplaatje aangebracht (zie Figuur 7-5).

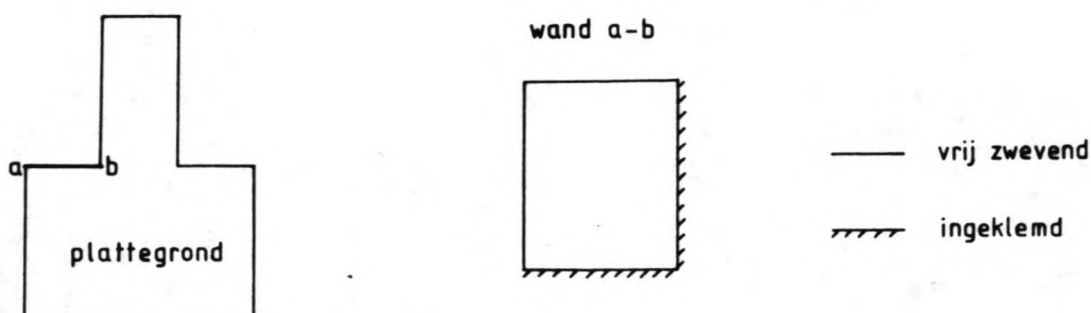


Figuur 7-5 Detail rubber voegstrip

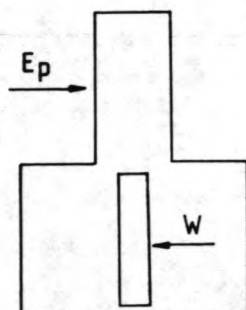
Indien géén voeg tussen deurkas en kolk wordt aangebracht zullen de horizontale zowel als de verticale krachten a-symmetrisch aangrijpen t.o.v. het zwaartepunt van de constructie. Bovendien zullen t.g.v. de starre verbinding allerlei extra (secundaire) krachten in de constructie kunnen optreden:

- t.g.v. ongelijke zetting van deurkas en kolk
- t.g.v. temperatuursinvloeden en krimp
- de wanden zijn niet meer als eenzijdig ingeklemd te beschouwen; dit maakt een eventuele berekening zeer gecompliceerd, vooral ook omdat niet sprake is van een gelijkmatig verdeelde belasting.

Bovendien kunnen allerlei secundaire spanningen optreden, bijvoorbeeld als de wand tweezijdig opgelegd is (zie figuur). In dat geval kan zelfs extra wringwapening nodig zijn.



- de (grote) horizontale kracht  $W$  op de afsluitmiddelen t.g.v. het verval moet door de ondergrond kunnen worden opgenomen (afschuiven, kantelen). Een gedeelte hiervan kan ook door de passieve gronddruk  $E_p$  tegen de wand van de deurkas worden geleverd.



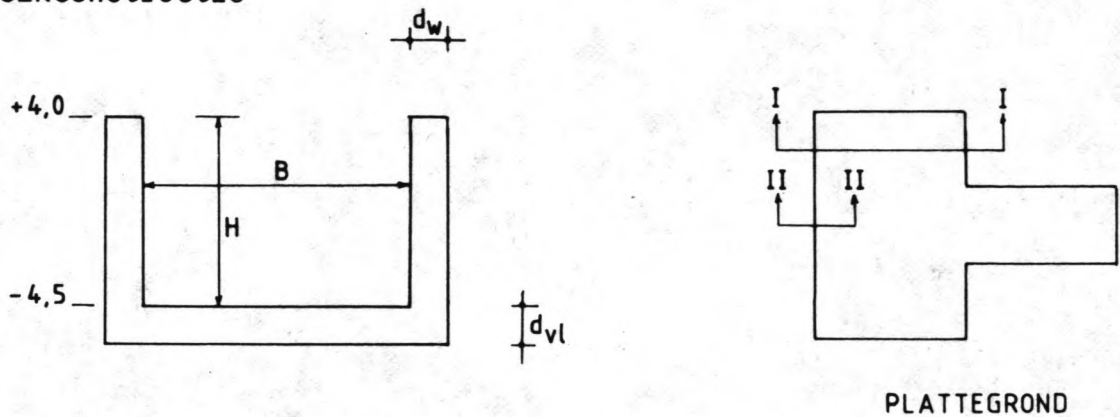
Dit geeft extra (dwars)krachten t.p.v. de overgang kolk - deurkas. Deze krachten zijn moeilijk te bepalen, omdat niet goed is vast te stellen hoe de kracht  $W$  zich verdeelt over de gronddruk (maximaal de passieve gronddruk  $E_p$ ) en de schuifweerstand onder de vloer. Deze onzekerheid leidt ertoe dat een grote veiligheid in acht moet worden genomen en de constructie wordt (onnodig) overgedimensioneerd.

Uit voorgaande beschouwingen moge blijken dat de "winst" die mogelijk wordt verkregen door een stijve verbinding tussen kolk en deurkas aan te brengen, geheel of gedeeltelijk te niet wordt gedaan door de onzekerheid en het gecompliceerde karakter van deze constructie. Op grond hiervan zullen we dan ook de kolk en de deurkas als op zichzelf staande delen beschouwen.

I.v.m. de plaatsvastheid van de railbaan wordt de voeg in de vorm van een tandconstructie uitgevoerd (zie Bijlage 19). De afzonderlijke delen kunnen dan niet t.o.v. elkaar verschuiven, terwijl de grote kracht t.g.v.  $W$  niet kan worden overgebracht naar de wand van de deurkas (althans in veel mindere mate) en evenmin een moment kan optreden.

Afmetingen

## I) Kolkconstructie

DSN I - I

- nuttige kolkafmetingen gelijk aan schutkolk:

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

$$H = 8,5 \text{ m}$$

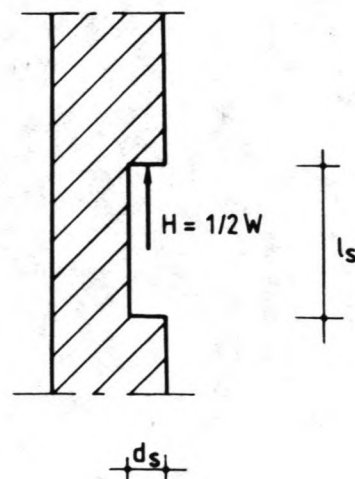
- de optredende belastingen in dwarsrichting op de wanden (grond- en waterdrukken) zijn gelijk aan die op de schutkolk. M.a.w. hiervoor kunnen dezelfde afmetingen worden aangehouden:

$$d_{v1} = 1,5 \text{ m}$$

$$d_w = 1,3 \text{ m}$$

- T.p.v. de deursponning (dsn II - II) wordt wel een extra horizontale kracht in de lengterichting van de sluis uitgeoefend. Deze kracht grijpt verdeeld over de hoogte aan (zie par. 5.4). We kunnen aannemen dat deze kracht eenvoudig door de wanden kan worden opgenomen. Aan de aanslagen zelf dient uiteraard wel de nodige aandacht besteed te worden.

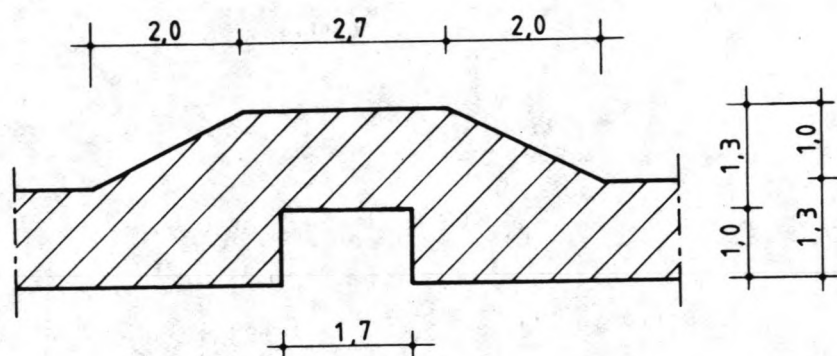
## DSN II - II



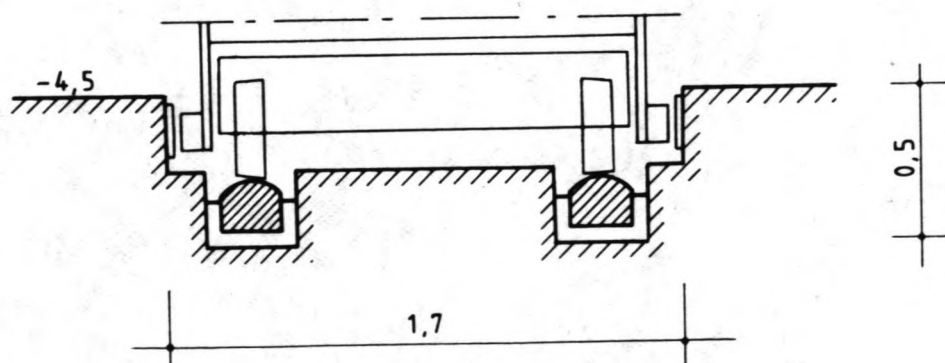
De lengte  $l_s$  van de deursponning wordt bepaald door de breedte van de deur (1,3 m), de dikte van de aanslaglijsten en enige speling voor het verrijden van de deur, naar schatting in totaal ca. 0,2 m aan weerszijden, zodat:  $l_s = 1,7$  m.

De diepte van de sponning wordt bepaald door de benodigde breedte voor de opleggingen:  $L_s = 1,0$  m.

Deze afmetingen zijn zodanig dat ze niet zonder meer in de wand kan worden aangebracht. Daarom wordt de wand ter plaatse verbreed.

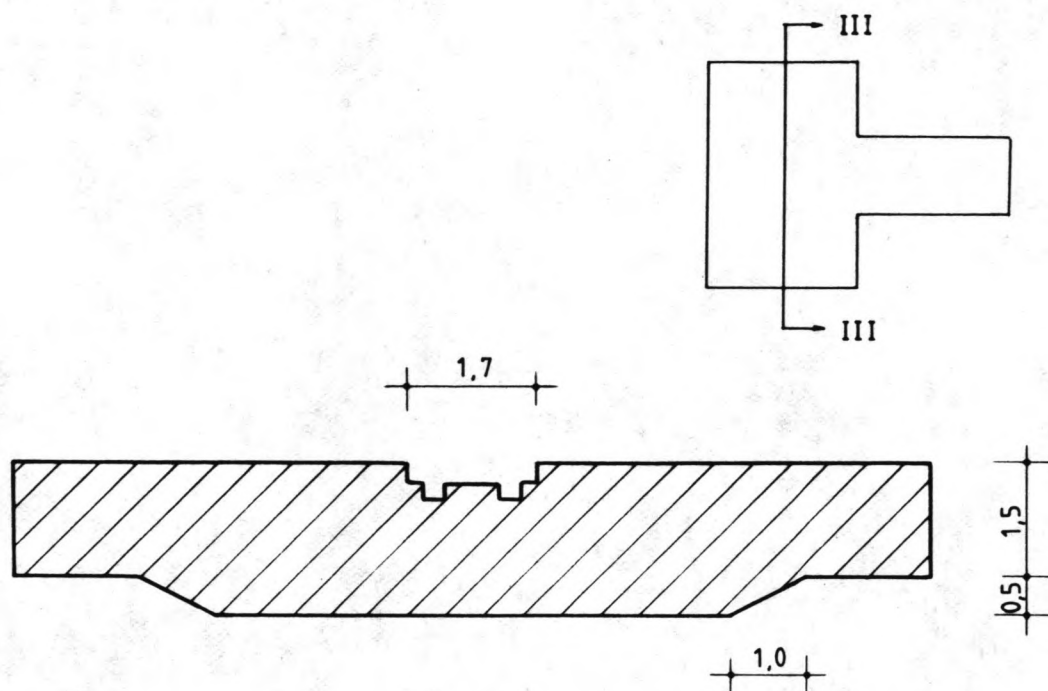


De diepte van de sponning in de vloer t.b.v. de railbaan bedraagt naar schatting ca. 0,5 m.





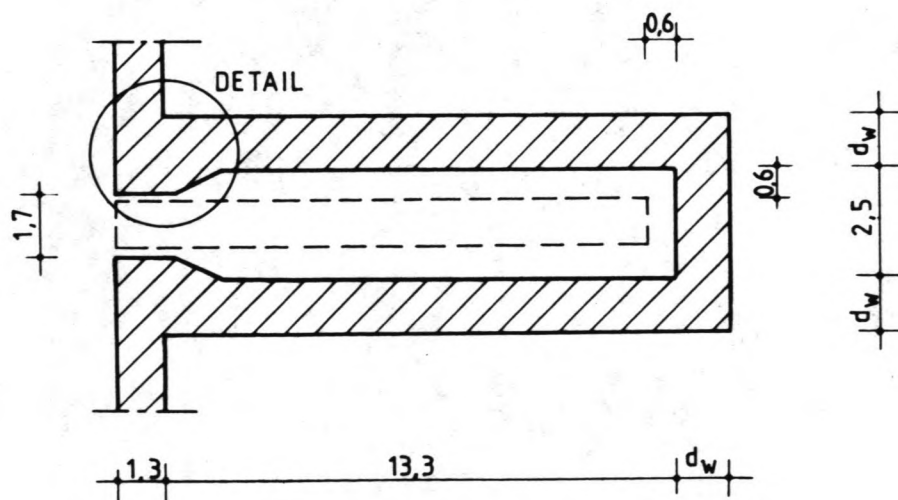
Hiervoor geldt eveneens dat de vloer ter plaatse verdikt moet worden. Hierdoor komt de onderkant van de vloer t.p.v. de railbaan op NAP -6,50 m te liggen.



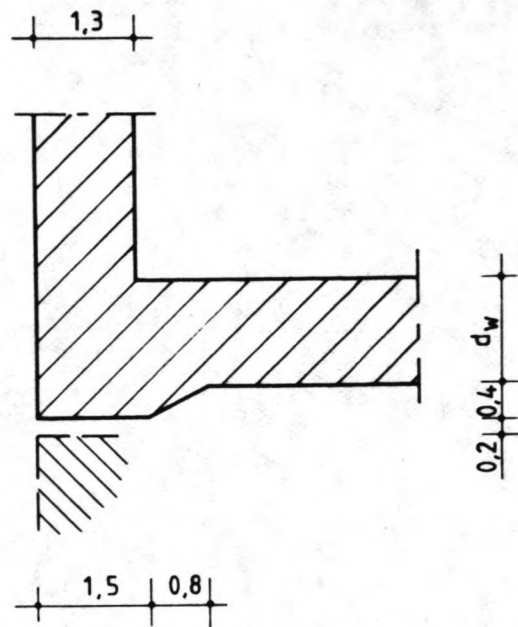
## II) Deurkas

De (hoofd)afmetingen van de deurkas worden bepaald door:

- de afmetingen van de deur ( $l = 14$  m en  $b = 1,3$  m).
- de noodzaak om de deurkas als droogdok voor reparaties te gebruiken; naar schatting ca. 0,60 m extra ruimte rondom.



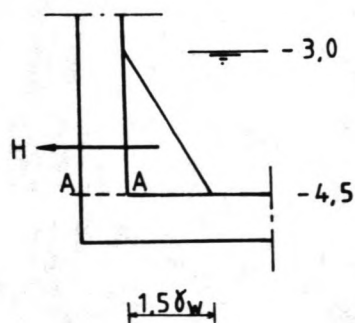
Detail



De grond en waterdrukken op de kaswanden zijn in principe gelijk aan die op de kolkwanden, echter omdat de deurkas ook drooggezet moet kunnen worden, treedt een extra (ongunstiger) belastinggeval op.

Voor de kolkconstructie was het maatgevende geval in de gebruikstoestand G2 met  $D = 462,1 \text{ kN}$  (zie tabel 6-II, blz 6-51).

Indien de deurkas drooggezet wordt moet t.o.v. geval G2 gerekend worden op een extra dwarskracht ter grootte van  $H = 11,25 \text{ kN}$ .



$$H = 0,5 \times 1,5 \times 1,5 \times 10 = 11,25 \text{ kN}$$

De wanddikte van de schutkolk was juist voldoende (1,3 m); neem nu aan  $d_w = 1,40 \text{ m}$ .

$$\text{Controle: } \tau_d = \frac{1,7 \cdot 473,35 \cdot 10^3}{1000 \cdot 1300} = 0,62 \text{ kN/mm}^2$$

Het moment in dsn A-A neemt toe met  $H \cdot 1,5/3 = 11,25 \cdot 1,5/3 =$   
 $= 5,63 \text{ kNm}$ , zodat in totaal  $M_i = 1292,7 + 5,63 = 1298,4 \text{ kNm}$ .

Uit GTB-tabel 11.3.c (Bijlage 12) volgt dan:

$$\frac{M_u}{bh^2} = \frac{2207,3}{1,0 \cdot (1,3)^2} = 1306,1 \text{ kN/m}^2 \quad \longrightarrow \quad \omega_o = 0,34\%$$

$$\longrightarrow \quad A_a = 0,34 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 10^4 = 4420 \text{ mm}^2$$

De lengte van het sluishoofd wordt bepaald door:

- stabiliteit tegen verschuiven
- stabiliteit tegen kliepen
- toelaatbare spanningen in de ondergrond

Hierbij kan worden opgemerkt dat:

- de vloerplaat eventueel in breedte richting kan worden uitgebreid; voorlopig nemen we aan dat dit niet nodig is.
- de deurkas niet persé in het midden aangebracht behoeft te worden.
- praktische overwegingen, indien blijkt dat t.a.v. de stabiliteit met een uiterst minimale lengte kan worden volstaan.

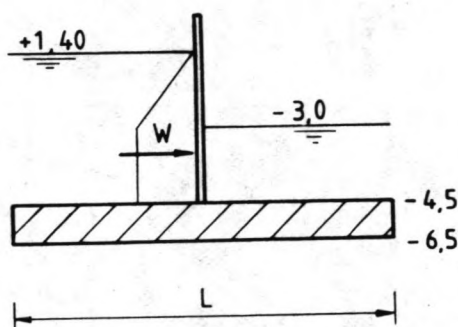
We zullen nu eerst de lengte van het sluishoofd vaststellen aan de hand van een beschouwing m.b.t. verschuiven en kantelen. Tenslotte wordt gecontroleerd of de constructie onder alle omstandigheden voldoet (controle draagkracht ondergrond).

### Stabiliteit tegen verschuiven

Voorlopige uitgangspunten:

- de sluisdeur bevindt zich in het midden van het sluishoofd
- we beschouwen slechts het op zichzelf staande kolkgedeelte
- we beperken ons tot het geval van de minimale buitenwaterstand, omdat in dat geval een maximale horizontale kracht wordt gecombineerd met een minimale verticale kracht!

Horizontale kracht:



De totale horizontale kracht  $H$  op het sluishoofd bedraagt:

$$H = W_1 + W_2$$

hierin is:

$W_1$  = waterdruk op de sluisdeur

$W_2$  = waterdruk op de sluiswanden (in lengterichting)

De waterdruk  $W$  bedraagt per m'  $17,6 \cdot 10^4$  N en grijpt aan op een hoogte  $a = 2,05$  m boven de sluisbodem (zie par. 5.3).

$$\rightarrow W_1 = 17,6 \cdot 10^4 \cdot 12 = 211,2 \cdot 10^4 \text{ N} = 2112 \text{ kN}$$

$$W_2 = 17,6 \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot 1,3 = 45,76 \cdot 10^4 \text{ N} = 458 \text{ kN}$$

$$\rightarrow H = 2112 + 458 = \underline{\underline{2570 \text{ kN}}}$$

Vertikale kracht:

Gewicht vloer (tussen de wanden):

$$B \cdot L \cdot d_{v1} \cdot \delta_b = 12 \cdot L \cdot 2,0 \cdot 24 = 576 L \text{ kN}$$

Gewicht wanden (tot onderkant vloer):

$$2 \cdot \delta_b \cdot L \cdot (H + d_{v1}) \cdot d_w = 2 \cdot 24 \cdot L \cdot (8,5 + 2,0) \cdot 1,3 = \\ = 655 L \text{ kN}$$

Gewicht water:

$$\text{LW zijde: } 0,5L \cdot B \cdot 1,5 \cdot \delta_w = 0,5L \cdot 12 \cdot 1,5 \cdot 10 = 90 L \text{ kN}$$

$$\text{HW zijde: } 0,5L \cdot B \cdot 5,9 \cdot \delta_w = 0,5L \cdot 12 \cdot 5,9 \cdot 10 = 354 L \text{ kN}$$

Gewicht deur:

$$680 \text{ kN}$$

$$\text{Totaal gewichten: } V_g = 1675 L + 680 \text{ kN}$$

Opwaartse druk:

$$O_x = \left[ h_1 - (h_1 - h_2) \cdot \frac{2D + x}{4D + L_s} \right] \rho g$$

$$h_1 = 7,9$$

$$h_2 = 3,5$$

$$D = 6,0$$

$$L_s = \text{ca. } 88 + 2 \cdot 12 = 112 \text{ m}$$

hieruit volgt (uitgaande van een dichte kolkvloer):

$$O_x = \left[ 7,9 - (7,9 - 3,5) \cdot \frac{2 \cdot 6 + x}{4 \cdot 6 + 112} \right] \cdot 10 \\ = 75,12 - 0,3235x$$

De totale verticale opwaartse druk is dan:

$$\begin{aligned}
 V_{o'} &= \int_0^L 0x \, dx = \int_0^L (75,12 - 0,3235) \times dx = \\
 &= 75,12x - \frac{0,3235}{2} \Big|_0^L = -0,1618L^2 + 75,12L
 \end{aligned}$$

totale opwaartse kracht:

$$\begin{aligned}
 V_o &= V_{o'} (B + 2d_w) = (-0,1618L^2 + 75,12L)(12 + 2 \cdot 1,3) = \\
 &= -2,3623L^2 + 1096,75L
 \end{aligned}$$

totale verticale kracht:

$$\begin{aligned}
 V &= V_g - V_o = 1675L + 680 + 2,3623L^2 - 1096,75L = \\
 &= 2,3623L^2 + 578,25L + 680
 \end{aligned}$$

Stabiliteit tegen verschuiven:

$$n \cdot H < V \cdot \operatorname{tg} \phi$$

met  $\phi$  in het ongunstigste geval  $27,5^\circ \longrightarrow \operatorname{tg} \phi = 0,52$

$$1,5H < 0,52V$$

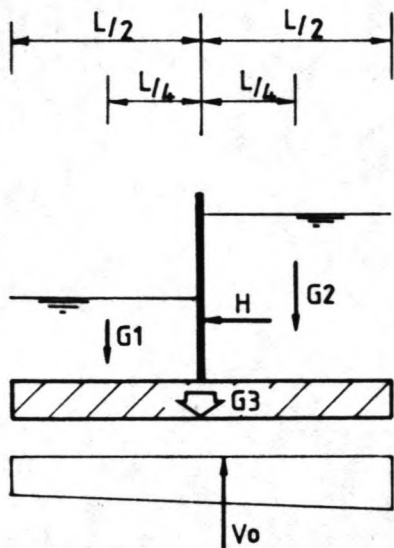
$$1,5 \cdot 2570 < 0,52(2,3623L^2 + 578,25L + 680)$$

$$2,3632L^2 + 578,25L - 6733,5 < 0$$

$$\underline{L > 11,2 \text{ m}}$$

### Stabiliteit tegen kantelen

Uitgaande van een deurkas in het midden van het sluishoofd, is dit sluishoofd symmetrisch t.o.v. de deur-as. De verticale kracht  $V$  grijpt excentrisch aan t.o.v. deze as en veroorzaakt dus een moment om die as. Bovendien veroorzaakt de horizontale kracht  $H$  een moment t.o.v. het grondvlak.



H = horizontale waterdruk

G1 = gewicht water aan LW-zijde

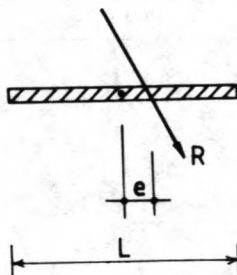
G2 = gewicht water aan HW-zijde

G3 = gewicht betonconstructie  
inclusief het deurgewicht

Vo = opwaartse waterdruk

Al deze krachten moeten worden opgenomen door de ondergrond. De resultante R moet binnen de kern van het grondvlak vallen:

$$e < 1/6 L$$



Het moment t.g.v. G2 werkt tegengesteld aan het moment t.g.v. G1, H en Vo. Indien de lengte van het sluishoofd nu zo gekozen wordt dat deze momenten bij de maatgevende waterstanden min of meer aan elkaar gelijk zijn, dan treedt in de ondergrond ongeveer dezelfde spanning op onder de gehele vloerplaat (de resultante R gaat door het zwaartepunt).

Bij andere waterstanden treedt dan wel een zekere excentriciteit op, maar dan zijn de krachten kleiner.

Momenten om Z:

$$M1 \text{ t.g.v. } G1: M1 = G1 \cdot 1/4 L = 90L \cdot 1/4 L = 22,5 L^2 \text{ kNm}$$

$$M2 \text{ t.g.v. } G2: \quad M2 = G2 \cdot 1/4 L = 354L \cdot 1/4 L = 88,5 L^2$$

$$M3 \text{ t.g.v. } H: \quad M3 = H (a + d_{v1}) = 2570 \cdot 4,05 = 10408,5 \text{ kNm}$$

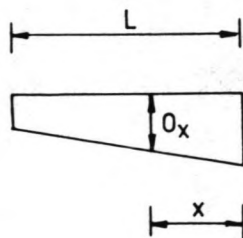
Het moment t.g.v. Vo laten we voorlopig even buiten beschouwing;  
stel nu:

$$M2 = M1 + M3$$

$$88,5 L^2 = 22,5 L^2 + 10408,5 \quad \longrightarrow \quad L = 12,6 \text{ m}$$

Indien  $L > 12,6$ , dan is het moment t.g.v. M2 groter dan de overige, waarbij dan nog wel het moment t.g.v. Ov gerekend moet worden. Het is echter de vraag of deze zich altijd zal voordoen (vertraging-verschijnselen etc.). Daarom alleen in rekening brengen indien zij ongunstig werkt, bijvoorbeeld als we  $L < 12,6$  kiezen.

Stel we kiezen  $L = 12,0 \text{ m}$  (dit is groter dan de  $11,2 \text{ m}$  die nodig is i.v.m. verschuiven), dan is:



$$0x = 75,12 - 0,3235x$$

$$\begin{aligned} M_o &= 0,5 \cdot 0,3235L \cdot L \cdot 1/6 L \cdot (B + 2dw) = \\ &= 0,5 \cdot 0,3235 \cdot 12^3 \cdot 1/6 \cdot (12 + 2 \cdot 1,3) = 680 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Het totale moment } M &= M1 + M3 + M_o - M2 = \\ &= 22,5 \cdot 12 + 10408,5 + 680 - 88,5 \cdot 12^2 = \\ &= 1585 \text{ kNm} \end{aligned}$$



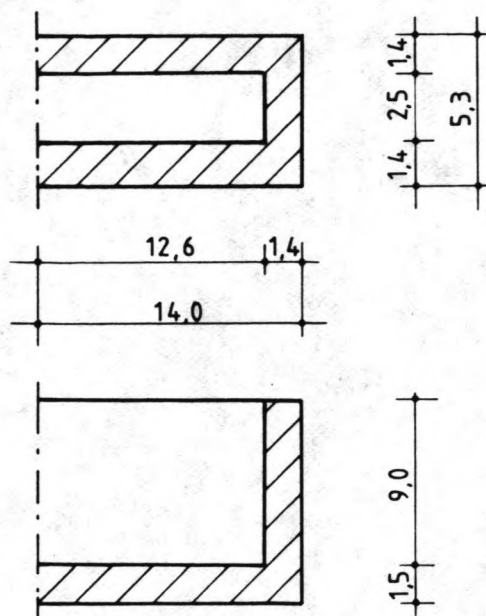
$$\begin{aligned} e &= \frac{M}{V} = \frac{1585}{2.362 L^2 + 578,25L + 680} = \\ &= \frac{1585}{2,363 \cdot 12^2 + 578,25 \cdot 12 + 680} = \\ &= 0,2 \text{ m (dus } < 1/6 L = 2,0 \text{ m)} \end{aligned}$$

Op basis van de voorgaande beschouwingen zijn de afmetingen nu vastgesteld: zie Bijlage 18.

Opmerking: De extra ruimte in de deurkas t.b.v. het onderhoud is hier wel wat aan de krappe kant gehouden. In werkelijkheid moet dit wat ruimer genomen worden.

## Controle draagkracht ondergrond

### I) Deurkas



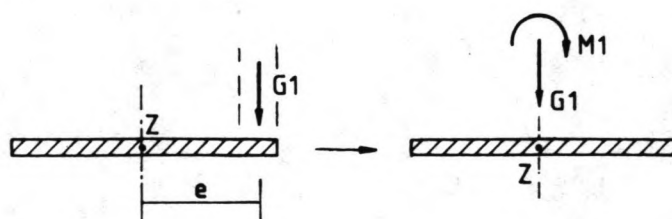
(zie ook Bijlage 18)

Gewicht kopwand (tussen zijwanden tot bovenkant vloer):

$$G1 = 24 \cdot 2,5 \cdot 9,0 \cdot 1,4 = 756 \text{ kN}$$

Deze kracht grijpt niet aan in het zwaartepunt van de als stijf veronderstelde vloerplaat, zodat:

$$M1 = 756 \cdot 6,3 = 4763 \text{ kNm}$$



Gewicht zijwanden (tot bovenkant vloer):

$$G2 = 24 \cdot 14,0 \cdot 9,0 \cdot 1,4 = 4234 \text{ kN}$$

Gewicht vloerplaat:

$$G3 = 24 \cdot 14,0 \cdot 5,3 \cdot 1,5 = 2671$$

Gewicht van het water in de deurkas bij maximale waterstand (+3,0 m):

$$Gw = 10 \cdot 8,0 \cdot 12,6 \cdot 2,5 = 2520 \text{ kN}$$

Gewicht deur:

$$G_d = 680 \text{ kN}$$

Terwille van de eenvoud zullen we het verlies aan gewicht, indien de deur zich geheel of gedeeltelijk onderwater bevindt, verwaarlozen; dit mag omdat:

- geen luchtkisten zijn toegepast, zodat het verschil marginaal is
- t.a.v. de druk op de ondergrond met een ongunstiger geval gerekend wordt dan zich in werkelijkheid voordoet

Opwaartse waterdruk onder de vloer:

Indien gerekend wordt met de normale grondwaterstand, dan zou deze in de maatgevende situatie (minimale GWS = NAP) bedragen:

$$O = 10 \cdot 6,5 \cdot 14,0 \cdot 5,3 = 4823 \text{ kN}$$



Vanwege het verval zullen echter grondwaterstromingen onder en langs de sluis optreden (alhoewel beperkt door het aanbrengen van onder- en achterloopsheidschermen). Mede vanwege de vorm van het sluishoofd doet zich een bijzonder gecompliceerde situatie voor. Eenvoudigheids halve zullen we daarom rekenen met de minimale buitenwaterstand.

We brengen dan bewust een te lage opwaartse druk in rekening, zodat de berekende druk op de ondergrond hoger is dan zich in werkelijkheid zal voordoen. Indien de toelaatbare waarde niet wordt overschreden, zal zich dit in werkelijkheid dus zeker niet voordoen.

$$O_{\min} = 10 \cdot 3,5 \cdot 14,0 \cdot 5,3 = 2597 \text{ kN}$$

Negatieve kleeft op de wanden:

Evenals bij de schutkolk het geval is, kan zich op de wanden een negatieve kleeft ontwikkelen. De grootte hiervan is maximaal ca. 165 kN per m' wand (zie par. 6.4), zodat:

Negatieve kleeft op kopwand:

$$W1 = 165 \cdot 5,3 = 875 \text{ kN}$$

Moment om het zwaartepunt ten gevolge hiervan:

$$Mw1 = 875 \cdot 7,0 = 6125 \text{ kNm}$$

Negatieve kleeft op zijwanden:

$$W2 = 165 \cdot 14 = 2310 \text{ kN}$$

1) Bouwfase

Totale verticale kracht:

$$V = G1 + 2G2 + G3 = 756 + 2 \cdot 4234 + 2671 = 11895 \text{ kN}$$

Totale moment om het zwaartepunt:

$$M = M1 = 4763 \text{ kNm}$$

Maximale druk op de ondergrond:

$$\sigma_{\max} = \frac{V}{O_{pp}} + \frac{6M}{L \cdot O_{pp}} = \frac{11895}{14 \cdot 5,3} + \frac{6 \cdot 4763}{14^2 \cdot 5,3} = 188 \text{ kN/m}^2$$

Toelaatbare druk op de ondergrond:

met  $B = 5,3$  en  $L = 14,0$  (in dat geval grijpt de resulterende kracht centrisch aan):

$$q_f = Nq \cdot q_0 + \beta \cdot N_\gamma \cdot 0,5 \cdot B \cdot \delta$$

met:

$$\beta = 1 - 0,2 \frac{B}{L} = 1 - 0,2 \cdot \frac{5,3}{14} = 0,92$$

$$q_0 = 0 \text{ (bouwfase)}$$

$$q_f = 0,92 \cdot 30,22 \cdot 0,5 \cdot 5,3 \cdot 10 = 737 \text{ kN/m}^2$$

$$\bar{p} = 737/3 = 246 \text{ kN/m}^2$$

met  $B = 14,0$  en  $L = 5,3$  (de resulterende kracht grijpt nu excentrisch aan):

$$q_f = \left(1 - \frac{2e}{B}\right)^2 \cdot 0,5 \cdot \delta \cdot B \cdot \beta \cdot N_\delta$$

met:

$$e = \frac{M}{V} = \frac{4763}{11895} = 0,40 \text{ m}$$

$$\beta = 1 - \frac{0,2 \cdot 14}{5,3} = 0,47$$

$$q_f = \left(1 - \frac{2 \cdot 0,4}{14}\right)^2 \cdot 0,5 \cdot 10 \cdot 14 \cdot 0,47 \cdot 30,22 = 937 \text{ kN/m}^2$$

$$\bar{p} = 937/3 = 312 \text{ kN/m}^2$$

Het eerste geval is dus maatgevend; de gevonden waarde wordt echter niet overschreden.

## 2) Gebruiksfase

Het ongunstigste geval treedt op indien de verticale kracht maximaal is, dus maximale waterstand, deur in de kas en minimale opwaartse druk:

$$V = G1 + 2G2 + G3 + Gd + Gw + W1 + 2W2 - O_{\min} =$$

$$= 756 + 2 \cdot 4243 + 2671 + 680 + 2520 + 875 + 2 \cdot 2310 - 2597 =$$

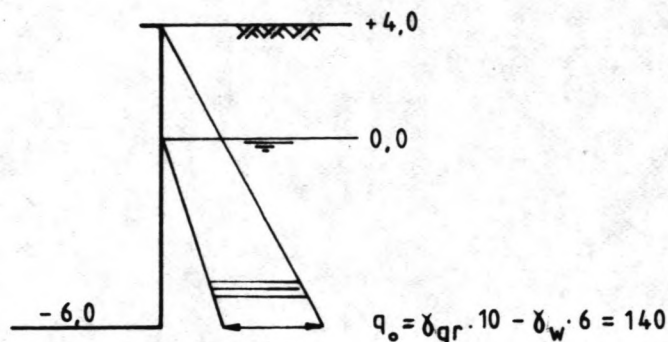
$$= 17993 \text{ kN}$$

$$M = M1 + Mw1 = 4763 + 6125 = 10888 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{17993}{5,3 \cdot 14} + \frac{6 \cdot 10888}{14^2 \cdot 5,3} = 305 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{f1} = Nq \cdot q_o + \beta \cdot N_\delta \cdot 0,5 \cdot B \cdot \delta$$

met  $q_0 = 140 \text{ kN/m}^2$  (zie figuur)



$$q_{f1} = 23,18 \cdot 140 + 0,92 \cdot 30,22 \cdot 0,5 \cdot 5,3 \cdot 10 = 3982 \text{ kN/m}^2$$

$$\bar{p} = 3982/3 = 1327 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{f2} = (1 - 2e/B) \cdot q_0 \cdot Nq + (1 - 2e/B)^2 \cdot 0,5 \cdot \beta \cdot B \cdot N_\gamma \cdot \delta$$

$$\text{met } e = \frac{M}{V} = \frac{10888}{17993} = 0,61 \text{ m} \longrightarrow (1 - 2e/B) = 1 - 2 \cdot 0,61/14 = 0,91$$

$$q_{f2} = 0,91 \cdot 140 \cdot 23,18 + 0,91^2 \cdot 0,5 \cdot 0,47 \cdot 14 \cdot 30,22 \cdot 10 =$$

$$= 3776 \text{ kN/m}^2$$

$$\bar{p} = 3776/3 = 1259 \text{ kN/m}^2$$

## II) Kolk

Gewicht betonconstructie:

- grijpt aan in het zwaartepunt van de constructie
- voor afmetingen zie Bijlage 18

Vloer:	24 · 14,6 · 1,5 · 2 · 1,65 =	1734,5	
	24 · 14,6 · 1,5 · 6,7 =	3521,5	
	24 · 14,6 · 2 · 0,5 · 1,0 · 1,5 =	525,6	
		5781,6	+
	24 · 1,7 · 0,5 · 15,1 =	308,0	
		5472,6	-
	totaal:		5472,6 kN

wand 1:	24 · 8,5 · 1,3 · 14,6 =	3871,9
	24 · 8,5 · (2,7 + 6,7) · 0,5 · 1,0 =	958,8
		4830,7
	24 · 8,5 · (1,0 · 1,7) =	346,8
		4483,9
	totaal:	4483,9 kN

wand 2:	24 · 8,5 · 1,3 · 5,15 =	1365,8
	24 · 8,5 · (1,4 + 1,8) · 0,5 · 0,8 =	261,1
		1626,9
	totaal:	1626,9 kN

Totaal gewicht betonconstructie:

$$G_b = 5473,6 + 4483,9 + 2 \times 1626,9 = 13211,3 \text{ kN}$$

Gewicht deur:

$$G_d = 680 \text{ kN}$$

Negatieve kleeft:

$$W = 2 \times 165 \cdot 12 = 3960 \text{ kN}$$

1) Bouwfase

$$V = G_b = 13211,3 \text{ kN}$$

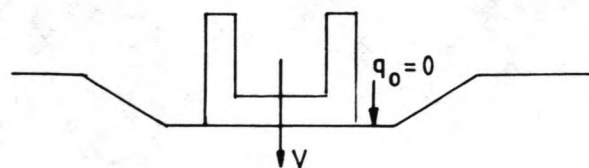
$$p = \frac{13211,3}{14,6 \cdot 12} = 76 \text{ kN/m}^2$$

Toelaatbare belasting:

$$q_f = (1 - 0,2B/L) \cdot N_\gamma \cdot 0,5 \cdot B \cdot \delta =$$

$$= (1 - 0,2 \cdot 12/14,6) \cdot 30,22 \cdot 0,5 \cdot 12 \cdot 10 = 1515 \text{ kN/m}^2$$

$$\bar{p} = 1515/3 = 505 \text{ kN/m}^2$$



## 2) Gebruiksfase

De volgende drie mogelijk maatgevende gevallen worden beschouwd:

- a) Maximale waterstand in de gehele kolk (maximale verticale kracht)
- b) Maximale buitenwaterstand + minimale kolkpeil (maximale verticale kracht in combinatie met een horizontale kracht)
- c) Minimale buitenwaterstand + maximale kolkpeil (maximale horizontale kracht)

## a) Maximale waterstand in de gehele kolk

Deze situatie kan zich voordoen indien het buitenhoofd openstaat bij de maximale buitenwaterstand. Er moet wel op gerekend worden dat de deur wordt gesloten, m.a.w. het deurgewicht meerekenen.

De krachten grijpen wel in het zwaartepunt van de constructie aan. Voor de opwaartse druk wordt gerekend met de gemiddelde grondwaterstand (= NAP), omdat:

- bij de maximale waterstand over het buitenhoofd het overdreven lijkt om aan te nemen dat daarbij een opwaartse waterdruk optreedt die behoort bij de minimale buitenwaterstand
- door vertragingverschijnselen nog niet de opwaartse druk hoeft te gelden die zich bij langdurige maximale buitenwaterstand instelt

Gewicht van het water in de kolk:

$$G_w = 10 \cdot 12 \cdot 12 \cdot 7,5 = 10800 \text{ kN}$$

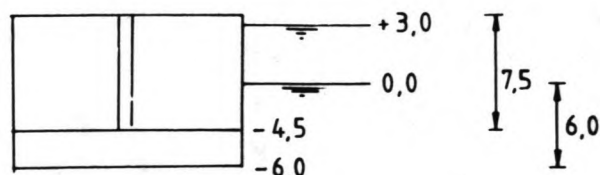
Opwaartse waterdruk:

$$O = 10 \cdot 12 \cdot 14,6 \cdot 6,0 = 10512 \text{ kN}$$

Totale verticale kracht:

$$V = G_b + G_d + G_w + W - O = 13211 + 680 + 10800 + 3960 - 10512 = 18139 \text{ kN}$$

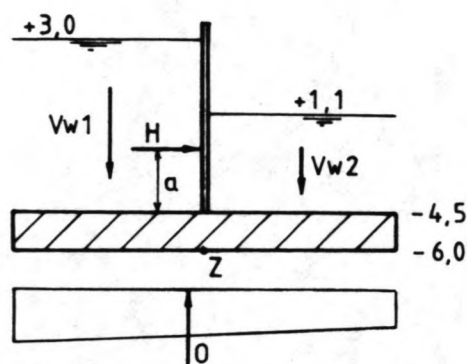
$$\rightarrow p = \frac{18139}{12 \cdot 14,6} = 104 \text{ kN/m}^2 < \bar{p}$$





De toelaatbare waarde is groter dan  $505 \text{ kN/m}^2$  (bouwphase), omdat nu  $q_0 > 0!$

b) Maximale buitenwaterstand + minimale kolkpeil



Gewicht van het water aan de hoogwater zijde:

$$V_{w1} = 10 \cdot 12 \cdot 6 \cdot 7,5 = 5400 \text{ kN}$$

Gewicht van het water aan de laagwater zijde:

$$V_{w2} = 10 \cdot 12 \cdot 6 \cdot 5,6 = 4032 \text{ kN}$$

$$\text{Totaal } V_w = 5400 + 4032 = 9432 \text{ kN}$$

$$\text{Moment: } M_w = (5400 - 4032) \cdot L/4 = 1368 \cdot 0,25 \cdot 12 = 4104 \text{ kNm}$$

Horizontale kracht:

met een waterdruk van  $17,6 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$  (zie par. 5.4):

$$H = 176 \cdot (12 + 2 \cdot 1,3) = 2570 \text{ kN}$$

$$\text{met } a = 3,12 \text{ m} \longrightarrow M_h = 2570 (3,12 + 1,50) = 11874 \text{ kNm}$$

Opwaartse druk:

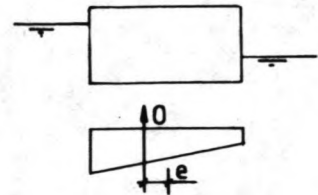
- met dichte kolkbodem; neem aan gemiddelde grondwaterstand = NAP  
(zowel de maximale buitenwaterstand als het kolkpeil zijn hoger,  
dus we rekenen veilig)

$$O_1 = 10512 \text{ kN} \text{ (zie geval a)}$$

- met open kolkbodem; in dit geval rekenen met een verval over het enkele sluishoofd.

Dit heeft tot gevolg dat ook gerekend moet worden op een moment t.g.v. de opwaartse druk (zie figuur).

Indien deze situatie zich echter voordoe, dan mag echter ook gerekend worden met de maximale opwaartse druk die bij die waterstand hoort.



$$O_x = 75,12 - 0,3235x \quad (\text{zie blz. 7-17})$$

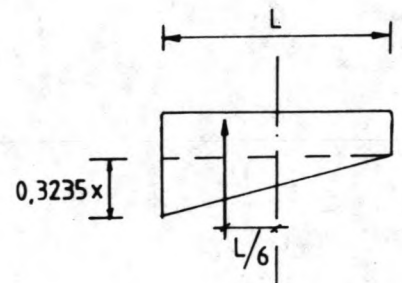
$$V_o' = \int_0^{12} O_x dx = \int_0^{12} 75,12 - 0,3235x = 75,12x - 0,3235x^2 \Big|_0^{12}$$

$$= 878 \text{ kN per m' breedte}$$

$$O_2 = 878 \cdot 14,6 = 12818 \text{ kN}$$

Moment t.g.v.  $O_2$  om Z:

$$\begin{aligned} M_o &= 0,3235x \cdot 0,5L \cdot B \cdot L/6 = \\ &= 0,3235 \cdot 12 \cdot 0,5 \cdot 12 \cdot 14,6 \cdot 12/6 = \\ &= 680 \text{ kNm} \end{aligned}$$



dichte kolkbodem, zonder negatieve kleef

$$V = G_b + G_d + G_w - O_1 = 13211 + 680 + 9432 - 10512 = 12811 \text{ kN}$$

$$H = 2570 \text{ kN}$$

$$M = M_h - M_w = 11874 - 4104 = 7770 \text{ kNm}$$

$$e = M/V = 7770/12811 = 0,61 \text{ m} \quad (< L/6 = 2,0 \text{ m!})$$

$$p = \frac{V}{O_{pp}} + \frac{6M}{O_{pp} \cdot L} = \frac{12811}{12 \cdot 14,6} + \frac{6 \cdot 7770}{12^2 \cdot 14,6} = 95 \text{ kN/m}^2$$

toelaatbare belasting:

$$\begin{aligned} q_f &= (1 - 2e/B)(1 - \alpha/90^\circ)^2 \cdot q_o \cdot N_q + \\ &+ (1 - 2e/B)^2 \cdot (1 - \alpha/\phi')^2 \cdot 0,5B \cdot \delta \cdot \beta \cdot N_\gamma \end{aligned}$$

$$(1 - 2e/B) = 1 - 2 \cdot 0,61/12 = 0,90$$

$$\operatorname{tg} \alpha = H/V = 2570/12811 = 0,20 \quad \rightarrow \quad \alpha = 11,34^\circ$$

$$(1 - \alpha/\phi') = 1 - 11,34/27,5 = 0,59$$

$$\beta = (1 - 0,2B/L) = 1 - 0,2 \cdot 12/14,6 = 0,83$$

$$q_f = 0,90 \cdot 0,59^2 \cdot 140 \cdot 23,18 + \\ + 0,90^2 \cdot 0,59^2 \cdot 0,5 \cdot 12 \cdot 10 \cdot 0,83 \cdot 30,22 = 1441 \text{ kN/m}^2$$

$$\bar{p} = 1441/3 = 480 \text{ kN/m}^2$$

dichte kolkbodern, met negatieve kleef

$$V' = V + W = 12811 + 3960 = 16771 \text{ kN}$$

$$H' = H = 2570 \text{ kN}$$

$$M' = M = 7770 \text{ kNm}$$

$$e' = M'/V' = 7770/16771 = 0,46 \text{ m}$$

$$p = \frac{16771}{12 \cdot 14,6} + \frac{6 \cdot 7770}{12^2 \cdot 14,6} = 118 \text{ kN/m}^2$$

toelaatbare belasting:

$$\operatorname{tg} \alpha = H'/V' = 2570/16771 = 0,15 \quad \rightarrow \quad \alpha = 8,71^\circ$$

$$(1 - \alpha/\phi') = 1 - 8,71/27,5 = 0,68$$

$$(1 - 2e/B) = 1 - 2 \cdot 0,46/12 = 0,92$$

$$q_f = 0,92 \cdot 0,68^2 \cdot 140 \cdot 23,18 + \\ + 0,92^2 \cdot 0,68^2 \cdot 0,5 \cdot 10 \cdot 12 \cdot 0,83 \cdot 30,22 = 2021 \text{ kN/m}^2$$

$$\bar{p} = 2021/3 = 673 \text{ kN/m}^2$$

open kolkbodem, zonder negatieve kleeft

$$V = G_b + G_b + G_w - O_2 = 13211 + 680 + 9432 - 12818 = 10505 \text{ kN}$$

$$H = 2570 \text{ kN}$$

$$M = M_h + M_o - M_w = 11874 + 680 - 4104 = 8450 \text{ kNm}$$

$$e = M/V = 8450/10505 = 0,80 \text{ m}$$

$$p = \frac{10505}{12 \cdot 14,6} + \frac{6 \cdot 8450}{12^2 \cdot 14,6} = 84 \text{ kN/m}^2$$

toelaatbare belasting:

$$\text{tg} \alpha = H/V = 2570/10505 = 0,25 \quad \rightarrow \quad \alpha = 13,75^\circ$$

$$(1 - \alpha/\phi') = 1 - 13,75/27,5 = 0,50$$

$$(1 - 2e/B) = 1 - 2 \cdot 0,8/12 = 0,87$$

$$q_f = 0,87 \cdot 0,5^2 \cdot 140 \cdot 23,18 + \\ + 0,87^2 \cdot 0,5^2 \cdot 0,5 \cdot 12 \cdot 10 \cdot 0,83 \cdot 30,22 = 990 \text{ kN/m}^2$$

$$\bar{p} = 990/3 = 330 \text{ kN/m}^2$$

open kolkbodem, met negatieve kleeft

$$V' = V + 3960 = 10505 + 3960 = 14465 \text{ kN}$$

$$H' = H = 2570 \text{ kN}$$

$$M' = M = 8450 \text{ kNm}$$

$$e' = M'/V' = 8450/14465 = 0,58 \text{ m}$$

$$p = \frac{14465}{12 \cdot 14,6} + \frac{6 \cdot 8450}{12^2 \cdot 14,6} = 107 \text{ kN/m}^2$$

toelaatbare belasting:

$$\text{tg} \alpha = H'/V' = 2570/14465 = 0,18 \quad \rightarrow \quad \alpha = 10,07^\circ$$

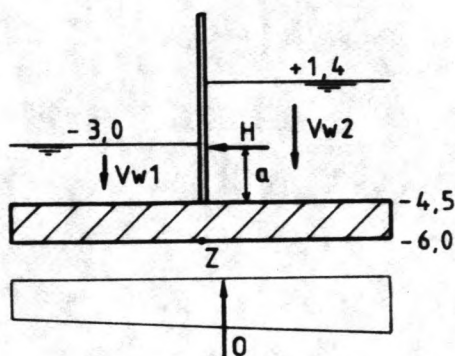
$$(1 - \alpha/\phi') = 1 - 10,07/27,5 = 0,69$$

$$(1 - 2e/B) = 1 - 2 \cdot 0,58/12 = 0,90$$

$$q_f = 0,90 \cdot 0,69^2 \cdot 140 \cdot 23,18 + \\ + 0,90^2 \cdot 0,69^2 \cdot 0,5 \cdot 12 \cdot 10 \cdot 0,83 \cdot 30,22 = 1971 \text{ kN/m}^2$$

$$\bar{p} = 1971/3 = 657 \text{ kN/m}^2$$

c) Minimale buitenwaterstand + maximale kolkpeil



Gewicht van het water aan de laagwater zijde:

$$V_{w1} = 6 \cdot 12 \cdot 1,5 \cdot 10 = 1080 \text{ kN}$$

Gewicht van het water aan de hoogwater zijde:

$$V_{w2} = 6 \cdot 12 \cdot 5,9 \cdot 10 = 4248 \text{ kN}$$

$$\text{Totaal } V_w = 1080 + 4248 = 5328 \text{ kN}$$

$$\text{Moment: } M_w = (4248 - 1080) \cdot 3 = 9504 \text{ kNm}$$

Horizontale kracht:

$$H = 176 \cdot (12 + 2 \cdot 1,3) = 2570 \text{ kN}$$

$$\text{met } a = 2,05 \text{ m} \quad \longrightarrow \quad M_h = 2570 (2,05 + 1,5) = 9123 \text{ kNm}$$

Opwaartse druk:

- met dichte kolkbodem; neem aan minimale waterstand = -3,0 m

$$O_1 = 3,0 \cdot 10 \cdot 12 \cdot 14,6 = 5256 \text{ kN}$$

- met open kolkbodem; in dit geval is de totale opwaartse kracht tenminste net zo groot als in het geval van de dichte kolkbodem (minimale waterstand); het moment t.g.v. deze kracht werkt tegen  $M_w$  in, m.a.w. niet in rekening brengen.

T.a.v. de druk op de ondergrond is dit geval dus gunstiger dan in het geval van de dichte kolkbodem is berekend en kan dus achterwege worden gelaten

dichte kolkbodem, zonder negatieve kleeft

$$V = G_b + G_d + G_w - O_1 = 13211 + 680 + 5328 - 5256 = 13963 \text{ kN}$$

$$H = 2570 \text{ kN}$$

$$M = M_w - M_h = 9504 - 9123 = 381 \text{ kNm}$$

$$e = M/V = 381/13963 = 0,03 \text{ m}$$

$$p = \frac{13963}{12 \cdot 14,6} + \frac{6 \cdot 381}{12^2 \cdot 14,6} = 81 \text{ kN/m}^2 \quad (< \bar{p})$$

$\bar{p}$  is groter dan in geval b, omdat zowel  $e$  als  $\alpha$  (veel) kleiner zijn.

Merk op dat de lengte van het sluishoofd zo gekozen is, dat het moment klein is als het maximale verval optreedt.

dichte kolkbodem, met negatieve kleeft

$$V' = V + W = 13963 + 3960 = 17923 \text{ kN}$$

$$H' = H = 2570 \text{ kN}$$

$$M' = M = 381 \text{ kNm}$$

$$e = M'/V' = 381/17923 = 0,02 \text{ m}$$

$$p = \frac{17923}{12 \cdot 14,6} + \frac{6 \cdot 381}{12^2 \cdot 14,6} = 104 \text{ kN/m}^2 \quad (< \bar{p})$$

### 7.3 Sluishoofd met puntdeuren

Ook in het geval puntdeuren worden toegepast, gaan we ervan uit dan binnen- en buitenhoofd dezelfde afmetingen hebben.

Het sluishoofd zelf vormt weer een soort bakconstructie, waarvan de nuttige kolkafmetingen gelijk zijn aan de schutkolk.

De optredende belastingen t.g.v. grond- en waterdrukken in dwarsrichting zijn hetzelfde als bij de schutkolk. Hierbij komen de extra belastingen t.g.v. het deurgewicht en de waterdruk die via de deur op het sluishoofd wordt uitgeoefend.

Aangezien de belastingen t.g.v. het verval hetzelfde zijn als voor een sluishoofd met roldeur en omdat het sluishoofd aanmerkelijk langer is, kunnen we zonder meer aannemen, dat de stabiliteit tegen verschuiven en kantelen onder alle omstandigheden gewaarborgd is. Een berekening kan dan ook achterwege blijven. Ook de controle of de draagkracht van de ondergrond nergens wordt overschreden zal verder niet meer worden uitgevoerd.

De lengte van het sluishoofd wordt nu bepaald door:

- de afmetingen van de deurkassen

De afmetingen van de deur bedragen (zie par. 5.3):

$$l = 6,65 \text{ m}$$

$$d = \text{ca. } 1/10 l = 0,7 \text{ m}$$

$$\rightarrow \text{diepte deurkas ca. } 0,7 + 0,2 = 0,9 \text{ m}$$

$$\text{lengte deurkas ca. } 6,65 + 0,7 + 0,2 = 7,60 \text{ m}$$

- de afmetingen van de penanten

Uit praktische overwegingen tenminste 1,0 m

Uit een analyse van de optredende belastingen kunnen de overige afmetingen worden vastgesteld.

### Wanden

T.g.v. grond- en waterdrukken in dwarsrichting: zie schutkolk. Uit praktische overwegingen zullen we daarom uitgaan van dezelfde wanddikte (= 1,3 m) t.p.v. de deurkassen.

We zullen voorts aannemen dat de extra belastingen in de draaipunten door de penanten kunnen worden opgenomen (later controleren). Merk op dat de grote spatkracht tegengesteld werkt aan de grootste gronddruk op de wand en dat de deuren pas in bedrijf zijn nadat de kolk is aangeaard. Slechts bij de deur in geheel of gedeeltelijk geopende stand moet er een extra kracht bij worden opgeteld. Uiteraard moeten de diverse mogelijkheden worden nagegaan.

De wand tussen de penanten (dus t.p.v. de deurkas) zal zich (min of meer) gedragen als een aan 3 zijden opgelegde (gedeeltelijk) ingeklemde plaat. Hoewel de constructie primair als bakconstructie wordt berekend, d.w.z. de optredende belasting op de wand wordt in zijn geheel door de inklemming aan de onderzijde opgenomen (verbinding wand-vloer), zullen de penanten toch een gedeelte naar zich toe trekken en kunnen ter plaatse momenten optreden. Dit betekent dat extra wapening moet worden aangebracht. Invloed op de dikte van de wand heeft dit niet, omdat de doorsnede is bepaald op grond van de totale dwarskracht aan de onderzijde.

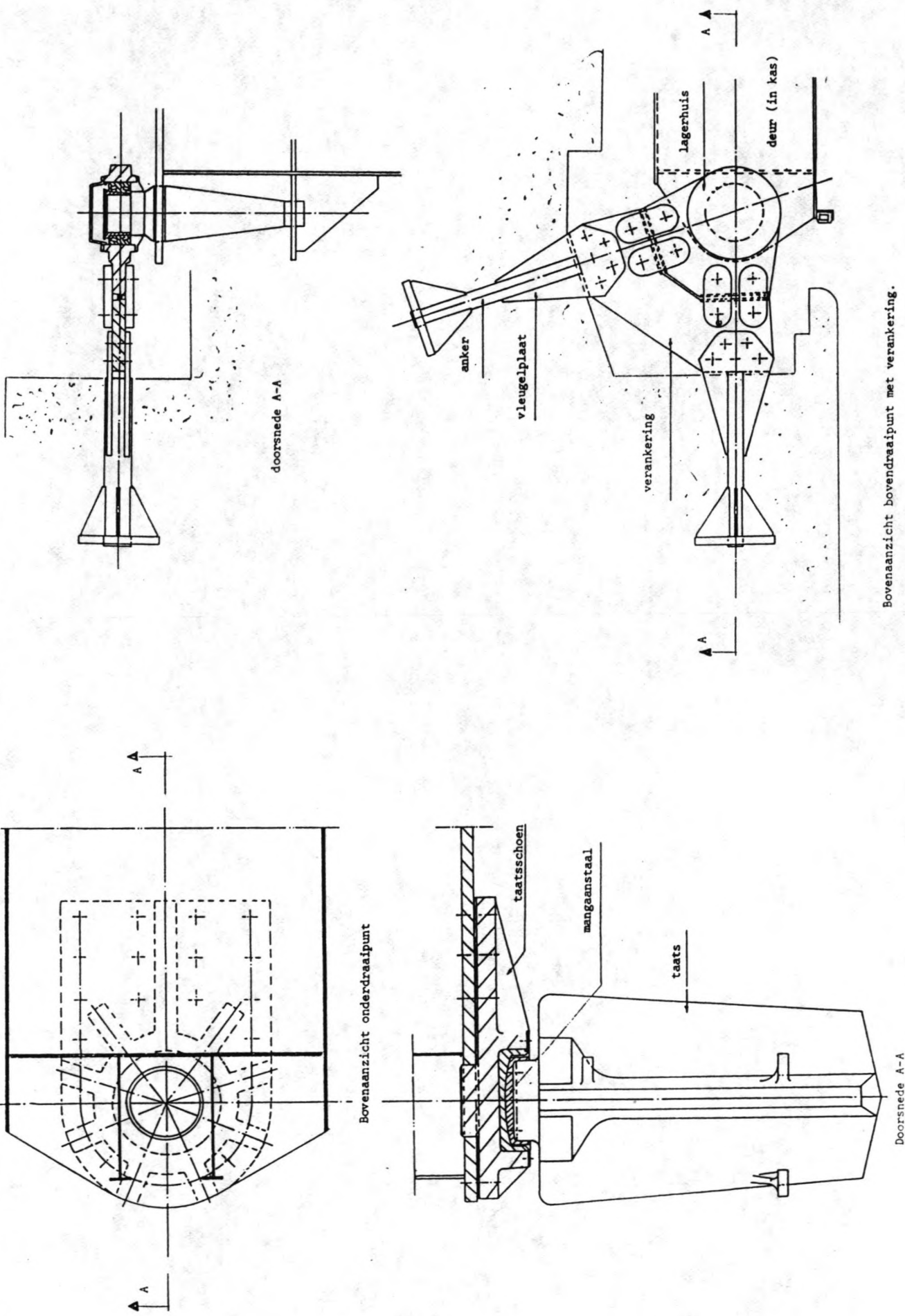
### Penanten

De dikte van de penanten wordt bepaald door de dikte van de wand en de diepte van de deurkas:  $1,3 + 0,9 = 2,2$  m.

De buitenste penanten worden verder niet belast; we zullen ervan uitgaan dat een lengte van 1,0 m voldoende is.

De middenpenant moet ook de extra belastingen in de draaipunten kunnen opnemen. In figuur 7-6 zijn deze weergegeven, zodat een indruk kan worden verkregen hoe de belasting wordt overgedragen.





Bovenaanzicht bovendraaipunt met verankering.

Fig 7-6 Draaipunten

We mogen wel aannemen dat deze krachten in de ankers gaan zitten; voor de berekening zullen we uitgaan van een puntlast.

De doorsnede wordt bepaald door de totale dwarskracht aan de onderzijde. De wapening wordt bepaald door de momenten. Voorts moet t.p.v. de draaipunten de schuifspanning kunnen worden opgenomen:

- in lengterichting

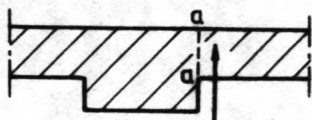


de betondoorsnede moet voldoende zijn (lengte penant)

- in dwarsrichting



de betondoorsnede moet voldoende zijn m.b.t. "pons" (dikte wand)



de kracht moet kunnen worden overgebracht naar de penant (extra wapening in dsn a-a)

De grootte van deze puntlasten is: (zie par. 5.3):

geval I)

Spatkracht in bovendraaipunt:  $S_{bo} = 708 \text{ kN}$

Spatkracht in benedendraaipunt:  $S_{be} = 1047 \text{ kN}$

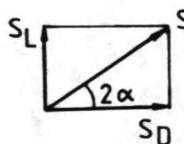
Ontbonden in langs- en dwarsrichting:

$$S_{bo_l} = 0,6 \cdot 708 = 425 \text{ kN}$$

$$S_{bo_d} = 0,8 \cdot 708 = 567 \text{ kN}$$

$$S_{be_l} = 0,6 \cdot 1047 = 628 \text{ kN}$$

$$S_{be_d} = 0,8 \cdot 1047 = 838 \text{ kN}$$



$$S_d = S \cos 2\alpha$$

$$S_l = S \sin 2\alpha$$

$$\text{tg } \alpha = 1/3$$

$$\sin \alpha = 0,80$$

$$\cos \alpha = 0,60$$

geval II)

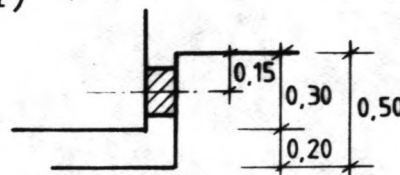
$$\begin{aligned}
 S_{bo} &= 423 \text{ kN} & \rightarrow & S_{bo_1} = 0,6 \cdot 423 = 254 \text{ kN} \\
 & & & S_{bo_d} = 0,8 \cdot 423 = 339 \text{ kN} \\
 S_{be} &= 1332 \text{ kN} & \rightarrow & S_{be_1} = 0,6 \cdot 1332 = 799 \text{ kN} \\
 & & & S_{be_d} = 0,8 \cdot 1332 = 1066 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

T.g.v. het deurgewicht:

$$H_{bo} = H_{be} = 74 \text{ kN} \quad (\text{richting afhankelijk stand deur})$$

### Vloer

Verdieping in vloer: 0,50 m (zie figuur)



Belasting t.g.v. grond- en waterdrukken in dwarsrichting weer hetzelfde als bij schutkolk. We zullen daarom van eenzelfde vloerdikte uitgaan. De extra belastingen bij de draaipunten, gewicht penanten etc. op te nemen door extra dikte t.p.v. de penanten (later controleren).

Op basis van voorgaande beschouwingen zijn de afmetingen als volgt vastgesteld:

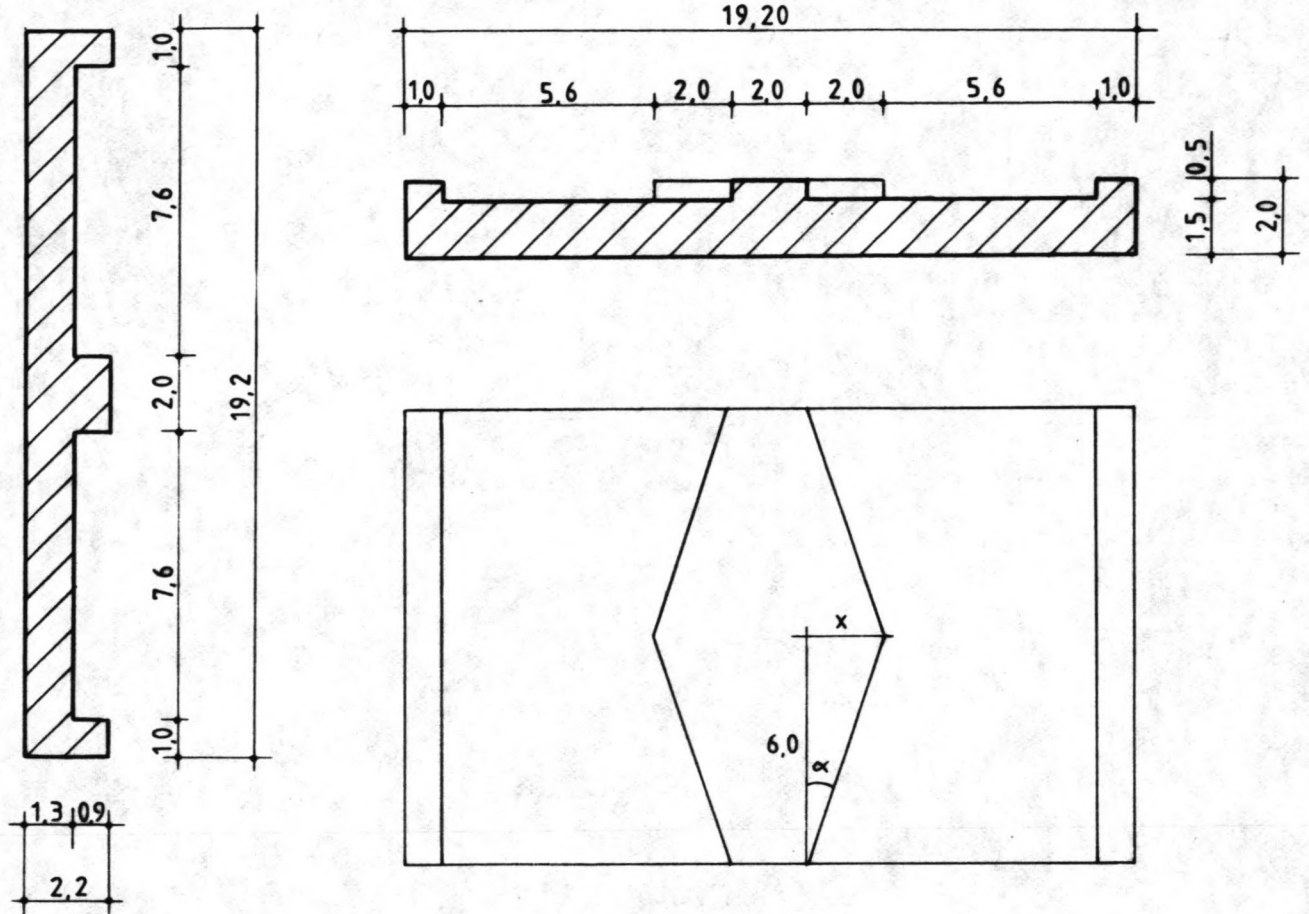


Fig 7-7

### Controleberekeningen

#### I) Wand tussen de penanten

Deze wand wordt slechts belast door de grond- en waterdrukken, zoals deze ook op de schutkolk werken.

Aangenomen is dat deze belasting kan worden opgenomen door de inklemming aan de onderzijde, net als bij de schutkolk. Doorsnede en wapening kunnen dan hetzelfde zijn:

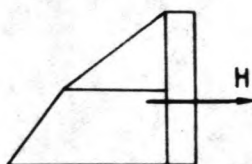
- dikte wand 1,3 m
- wapening:  $\omega_0 = 0,40\%$  en  $A_a = 4800 \text{ mm}^2/\text{m}'$  (zie blz. 6-51/52)

Door de grotere stijfheid van de penanten kunnen ook in het veld en t.p.v. de penanten (horizontaal) momenten optreden. M.b.v. de grafiek op Bijlage 21 kunnen deze momenten globaal worden bepaald (Lit 5 en 6).

Om de grafiek te kunnen gebruiken moet in ons geval de belasting eerst worden geschematiseerd tot een driehoek.

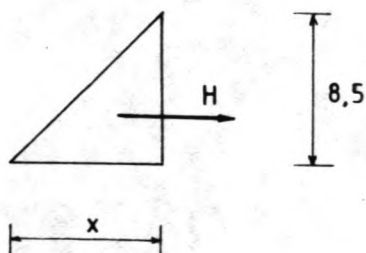
We beschouwen het maatgevende geval G2 (tabel 6-II; schutkolk):

Belasting:



$$\text{Moment: } 1292,7 \text{ kNm/m}'$$

Geschematiseerd tot:



$$\text{Moment: } 0,5 \cdot x \cdot \frac{1}{3} \cdot 8,5 \text{ kNm/m}'$$

$$\text{Gelijkstellen: } 0,5x \cdot 8,5 \cdot \frac{8,5}{3} = 1292,7 \quad \rightarrow \quad x = 107,35$$

Theoretische overspanning (VB art. A - 209/210):

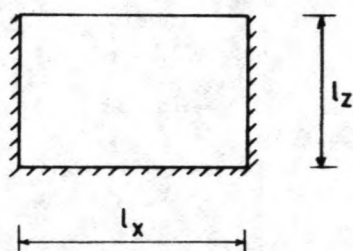
$$l_t = l + (2)a$$

met  $a = 0,1 \text{ ht}$ , maar minstens 50 mm

hier dus  $0,1 \text{ ht} = 0,1 \cdot 1,2 = 0,12 \text{ m}$

$$l_z = l + a = 8,50 + 0,12 = 8,62 \text{ m}$$

$$l_x = l + 2a = 7,60 + 2 \cdot 0,12 = 7,84 \text{ m}$$



$$l_x/l_z = 7,84/8,62 = 0,91$$

Uit de grafiek (Bijlage 21) volgt nu:

$$\lambda_2 = \lambda_3 = 0,38$$

D.w.z. de maximale horizontale buigende momenten treden op, op een hoogte van:

$$0,38 \cdot l_z = 0,38 \cdot 8,62 = 3,28 \text{ m, dus}$$

$3,28 - 0,12 = 3,16 \text{ m}$  boven de bovenkant vloer.

Het maximale positieve horizontale buigende moment in het midden:

$$M_1 = 107,35 \cdot 7,84^2 \cdot 0,023 = 152 \text{ kNm/m'}$$

Het maximale negatieve horizontale buigende moment aan de rand:

$$M_2 = 107,35 \cdot 7,84^2 \cdot 0,041 = 271 \text{ kNm/m'}$$

Het maximale verticale buigende moment (aan de binnenkant, nabij de hoeken):

$$M_3 = 107,35 \cdot 8,62^2 \cdot 0,03 = 240 \text{ kNm/m'}$$

De hierboven benodigde wapening (zie Bijlage 12):

$$\frac{M_u(1)}{bh^2} = \frac{1,7 \cdot 152}{1,0 \cdot 1,2^2} = 179,5 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \omega_o < 0,15$$

$$\frac{M_u(2)}{bh^2} = \frac{1,7 \cdot 271}{1,0 \cdot 1,2^2} = 320 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \omega_o < 0,15$$

$$\frac{M_u(3)}{bh^2} = \frac{1,7 \cdot 240}{1,0 \cdot 1,2^2} = 283 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \omega_o < 0,15$$

In alle gevallen kan dus worden volstaan met het minimum wapeningspercentage. De benodigde wapening is dan:

$$A_a = 0,15 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 10^4 = 1800 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

Opmerkingen:

- volgens de VB art. E 710-4 moet voor wanden dikker dan 0,25 m overigens aan beide zijden een wapeningsnet aanwezig zijn, dat tot in de ondersteuning doorloopt
- de aldus berekende wapening is overigens wel zwaarder dan alleen als verdeelwapening nodig zou zijn:  
20% van de hoofdwapening =  $0,2 \cdot 4800 = 960 \text{ mm}^2/\text{m}'$

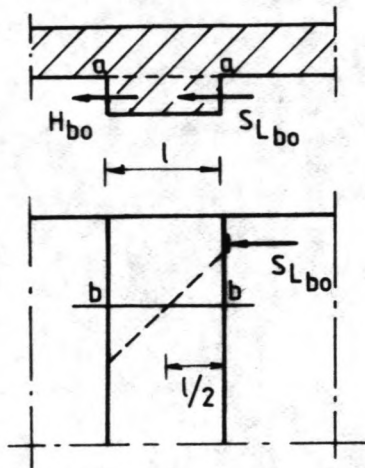
## II) Penanten

De wand als geheel kan de belasting t.g.v. grond- en waterdrukken opnemen. Nagegaan moet worden of de extra krachten in de draaipunten kunnen worden opgenomen.

### 1) Controle op afschuiving t.p.v. het bovendraaipunt

#### a) in lengterichting

De maximale kracht volgt uit de situatie met een deur in gesloten toestand (maximale spatkracht) en de andere deur in geopende toestand (deurgewicht).



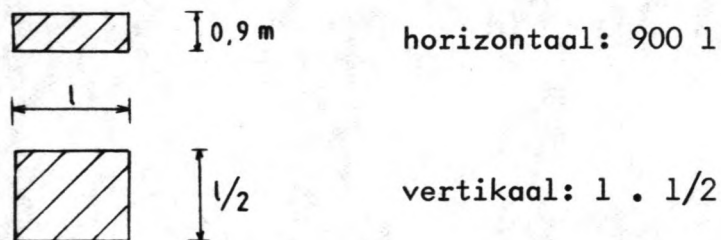
$$S_{bo_1}(\max) = 425 \text{ kN}$$

$$H_{bo} = 74 \text{ kN}$$

$$T_d = 1,7 \cdot (425 + 74) = 850 \text{ kN}$$

Er moet nu gelden:  $\tau = \frac{T_d}{O_{pp}} < \bar{\tau}$

Aangenomen mag worden dat afschuiving plaatsvindt onder een hoek van  $45^\circ$ . Volgens art. E-504.2.b van de VB kan het afschuifvlak worden aangenomen waar deze  $45^\circ$ -lijn de verticale lijn op een  $\frac{1}{2}l$  snijdt. Het oppervlak waarover de afschuiving berekend mag worden is dan:



in totaal:  $l^2/2 + 900 l$

zodat:  $\frac{850 \cdot 10^3}{l^2/2 + 900 l} < 0,65$

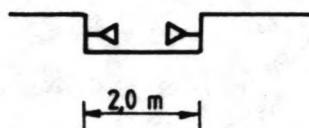
$$l^2 + 1800 l - 2615,4 \cdot 10^3 < 0 \rightarrow l > 951 \text{ mm}$$

met dekking van 0,1 m (2x)  $\rightarrow$  lengte penant  $> 1,20 \text{ m}$

Uit praktische overweging wordt gekozen voor  $l = 2,0 \text{ m}$ . Deze lengte

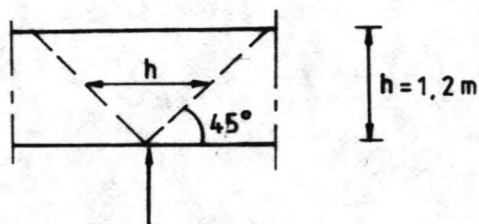


is o.a. nodig voor het aanbrengen van de verankering (zie ook Fig 7-6).



b) in dwarsrichting

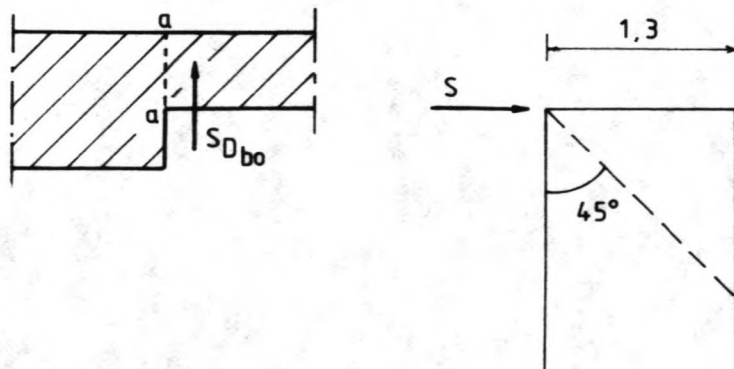
- het draaipunt mag niet door of uit de wand gedrukt worden (controle op "pons")



De maatgevende belasting:  $S_{b0_d} = 567 \text{ kN} \rightarrow T_d = 1,7 \cdot 567 = 964 \text{ kN}$

$$\tau_d = \frac{964 \cdot 10^3}{\pi h^2} = \frac{964 \cdot 10^3}{\pi \cdot 1200^2} = 0,21 < 0,65$$

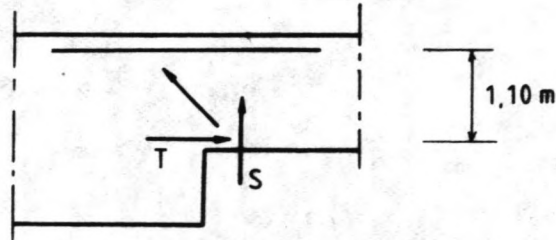
- de belasting moet overgedragen kunnen worden naar de penant, d.w.z. dsn a-a moet worden gecontroleerd



Maatgevende belasting:  $S_{b0_d} = 567 \text{ kN}$

$$\tau_d = \frac{1,7 \cdot 567 \cdot 10^3}{650 \cdot 1200} = 1,24 > 0,65!$$

m.a.w.  $1,24 - 0,65 = 0,59$  op te nemen door extra dwarskracht wapening:



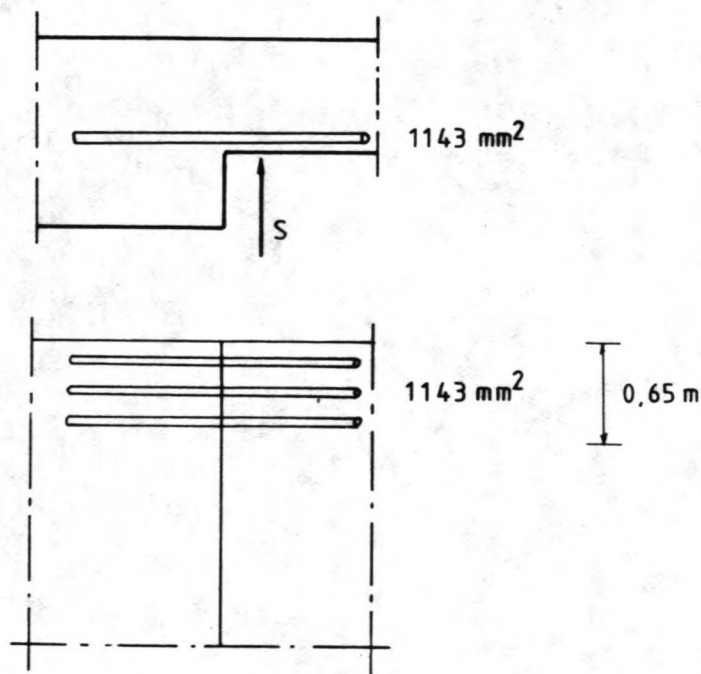
Op te nemen door de beton:  $\frac{T' \cdot 10^3}{650 \cdot 1200} = 0,65 \rightarrow T' = 507 \text{ kN}$

$$T_u = 1,7 \cdot 567 = 964 \text{ kN}$$

Op te nemen door wapening:  $T = T_u - T' = 964 - 507 = 457 \text{ kN}$

$$A_a = \frac{457 \cdot 10^3}{400} = 1143 \text{ mm}^2$$

Aan te brengen over een hoogte van 0,65 m:



## 2) Controle belasting combinaties

Op de kolkwand werken de grond- en waterdrukken in dwarsrichting als bij de schutkolk (par. 6.4 en tabel 6-II).

De extra krachten in de draaipunten worden hierbij opgeteld.

De spatkrachten kunnen slechts voorkomen in de gebruiksfase. De krachten t.g.v. het deurgewicht moeten worden meegerekend vanaf het moment dat de deuren gemonteerd zijn. I.v.m. het transport, de deuren worden in de regel over het water aangevoerd, gaan we ervan uit dat zich al water in de kolk bevindt. Omdat de verbinding met de Oosterschelde pas gelegd wordt nadat de sluis gereed is (primaire waterkering), zal in de gebruiksfase slechts het kanaalpeil kunnen optreden. In dat geval treedt niet de maatgevende situatie op, omdat in de gebruiksfase hogere en lagere waterstanden voorkomen. We behoeven daarom slechts die gebruiksfase te beschouwen.

We onderscheiden weer twee gevallen:

G1) Kolk aangeaard, minimale grondwaterstand, maximale waterstand in de kolk.

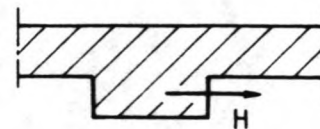
Tengevolge van grond- en waterdrukken per m' wand (tabel 6-II):

$$M_w (\text{max}) = 426,4 \text{ kNm} \quad D_w (\text{max}) = 141,3 \text{ kN}$$

$$M_w (\text{min}) = -245,8 \text{ kNm} \quad D_w (\text{min}) = 91,8 \text{ kN}$$

a) de deur bevindt zich in de deurkas

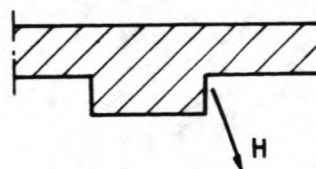
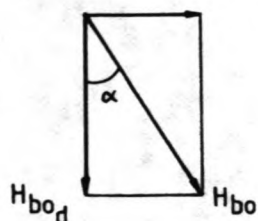
Geen extra belasting loodrecht op de wand



b) de deur is "juist" geopend

Extra kracht loodrecht op de wand t.p.v. het draaipunt (boven):

$$H_{bo} = 74 \text{ kN} \rightarrow H_{bo_d} = H_{bo} \cdot \cos \alpha = 74 \cdot 0,95 = 70,2 \text{ kN.}$$



Lengte penant 2,0 m, zodat per m' penant:  $70,2/2 = 35,1$  kN.

Totaal per m' penant:  $D_p(\max) = 141,2 + 35,1 = 176,3$  kN

$$\begin{aligned} M_p(\max) &= 426,4 + 35,1 \cdot 9,5 = \\ &= 426,4 + 298,4 = 724,8 \text{ kNm} \end{aligned}$$

c) Spatkracht bij maximale buitenwaterstand (zie blz. 7-38):

$S_{bo_d} = 567$  kN  $\rightarrow$  per m' penant:  $567/2 = 283,5$  kN

Totaal:  $D_p(\min) = 91,8 - 283,5 = 191,7$  kN

$$M_p(\min) = -245,8 - 283,5 \cdot 8,5 = 2655,6 \text{ kNm}$$

G2) Kolk aangeaard, maximale grondwaterstand, minimale waterstand in de kolk

T.g.v. grond- en waterdrukken per m' wand (tabel 6-II):

$$M_w(\max) = 1292,7 \text{ kNm} \quad D_w(\max) = 462,1 \text{ kN}$$

$$M_w(\min) = 1052,6 \text{ kNm} \quad D_w(\min) = 412,6 \text{ kN}$$

a) deur in deurkas  $\rightarrow$  geen belasting loodrecht op wand

b) deur "juist" geopend

$$D_w(\max) = 462,1 + 35,1 = 497,2 \text{ kN}$$

$$M_p(\max) = 1292,7 + 298,4 = 1591,1 \text{ kNm}$$

c) Spatkracht niet maatgevend in vergelijking met geval G1.

De grootste dwarskracht die kan optreden per m' penant bedraagt dus 497,2 kN (G2).

$$T_d = 1,7 \cdot 497,2 = 845,3 \text{ kN}$$

$$\tau_d = \frac{845,3 \cdot 10^3}{1000 \cdot 2100} = 0,40 < 0,65$$

Het grootste positieve moment bedraagt 1591,1 kNm (G2);

De hiervoor benodigde wapening aan de buitenzijde bedraagt:

(Bijlage 12):

$$\frac{M_u}{bh^2} = \frac{1,7 \cdot 1591,1}{1,0 \cdot 2,1^2} = 614 \quad \rightarrow \quad \omega_o = 0,16\%$$

$$A_a = 0,16 \cdot 1,0 \cdot 2,1 \cdot 10^4 = 3360 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

Het grootste negatieve moment bedraagt 2655,6 kNm (G1);  
de hiervoor benodigde wapening aan de binnenzijde bedraagt:

$$\frac{M_u}{bh^2} = \frac{1,7 \cdot 2655,6}{1,0 \cdot 2,1^2} = 1024 \quad \rightarrow \quad \omega_o = 0,27\%$$

$$A_a = 0,27 \cdot 1,0 \cdot 2,1 \cdot 10^4 = 5670 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

### III) Vloer

We zullen hier alleen de vloer t.p.v. de middenpenanten beschouwen. De extra krachten in de draaipunten moeten hier worden opgenomen. M.b.t. de doorsnede van de vloer is de verticale kracht uit de wand maatgevend (maximale dwarskracht). T.o.v. de schutkolk te rekenen met extra verticale krachten t.p.v. de middenpenant:

1) T.g.v. het deurgewicht = 200 kN

$$\text{Twee deuren} \quad \rightarrow \quad \text{totaal } 2 \cdot 200 = 400 \text{ kN}$$

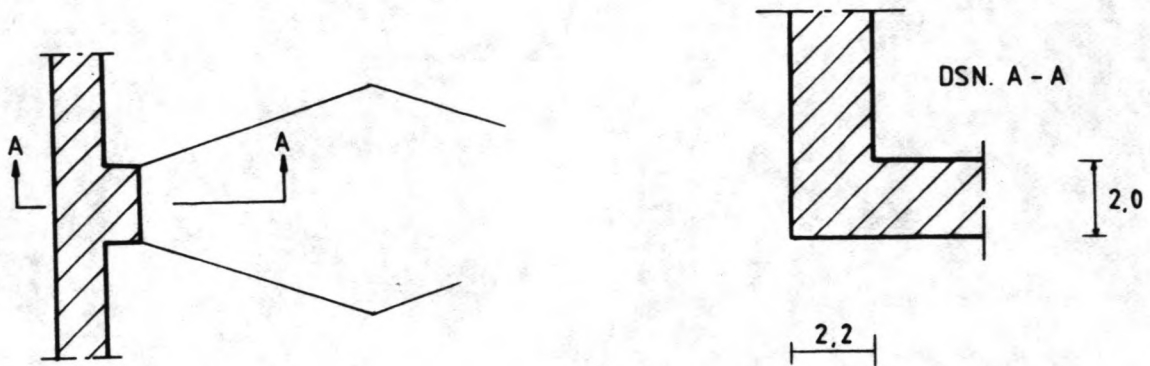
$$\text{Lengte penant } 2,0 \text{ m} \quad \rightarrow \quad 400/2 = 200 \text{ kN/m}'$$

2) T.g.v. het eigengewicht van de betonconstructie; t.p.v. de penanten extra t.o.v. de wand:  $8,5 \cdot 0,9 \cdot 24 = 183,6 \text{ kN/m}'$

Het maatgevende geval voor de dwarskracht in de schutkolkwand (tabel 6-II) is:  $454,2 \text{ kN/m}'$

Op de sluisvloer t.p.v. de penant dus maximaal:

$$D_v(\text{max}) = 454,2 + 200 + 183,6 = 837,8 \text{ kN/m}'$$



$$\tau_d = \frac{1,7 \cdot 837,8 \cdot 10^3}{1000 \cdot 1900} = 0,75 > 0,65!$$

Willen we geen extra dwarskrachtwapening toepassen, dan moet de vloer (ter plaatse) verdikt worden:  $d_{v1} = 2,3$  m

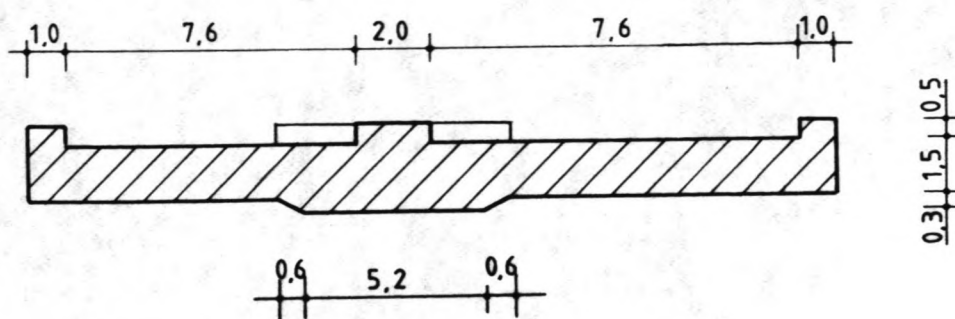
$$\tau_d = \frac{1,7 \cdot 837,8 \cdot 10^3}{1000 \cdot 2200} = 0,647$$

Ter plaatse van de buitenste penanten te rekenen met extra gewicht betonconstructie:  $183,6$  kN/m'

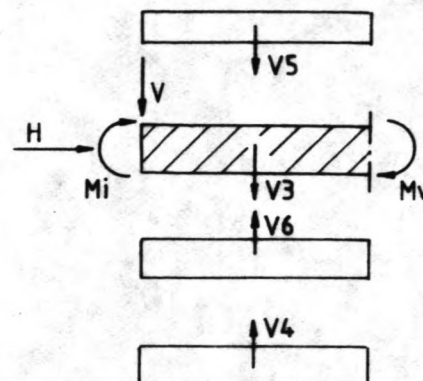
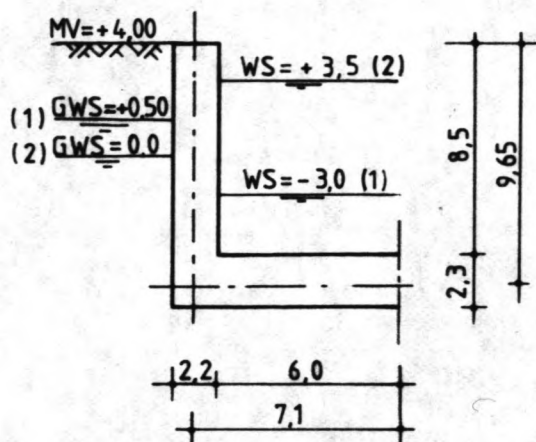
Hier geen deurgewicht, zodat: totaal  $Dv(\max) = 492,0 + 183,6 = 675,6$  kN/m'

$$\tau_d = \frac{1,7 \cdot 675,6 \cdot 10^3}{1000 \cdot 1900} = 0,60$$

De verdikking behoeft dus niet over het gehele vloer oppervlak te worden aangebracht.



Maatgevende momenten:



1) Maximale positieve inklemmingsmoment

$$H = D_p(\max) = 497,2 \text{ kN}$$

$$V = D_v(\max) = 837,8 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_i &= M_p(\max) - 0,5 \cdot d_{v1} \cdot H = 1591,1 - 0,5 \cdot 2,3 \cdot 497,2 = \\ &= 1591,1 - 571,8 = 1019,3 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$V_3 = 24 \cdot 7,1 \cdot 2,3 = 391,9 \text{ kN}$$

$$V_5 = 10 \cdot 3,0 \cdot 6,9 = 207,0 \text{ kN}$$

$$V_6 = 10 \cdot 7,3 \cdot 8,2 = 598,6 \text{ kN}$$

$$V_4 = V + V_3 + V_5 + V_6 = 837,8 + 391,9 + 207,0 - 598,6 = 838,1 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_v &= -M_i + V \cdot 7,1 + V_3 \cdot 7,1/2 - V_4 \cdot 8,2/2 + V_5 \cdot 6,9/2 - V_6 \cdot 8,2/2 = \\ &= -1019,3 + 837,8 \cdot 7,1 + 391,9 \cdot 7,1/2 - 838,1 \cdot 8,2/2 + \\ &\quad + 207,0 \cdot 6,9/2 - 598,6 \cdot 8,2/2 = 1144,0 \text{ kNm} \end{aligned}$$

2) Maximale negatieve inklemmingsmoment

$$H = D_p(\min) = -191,7 \text{ kN}$$

$$V = D_v(\max) = 837,8 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_i &= M_p(\min) - H \cdot 0,5 \cdot d_{v1} = -2655,6 + 191,7 \cdot 0,5 \cdot 2,3 = \\ &= -2435,2 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$V_3 = 391,9 \text{ kN}$$

$$V_5 = 10 \cdot 8,0 \cdot 6,9 = 552,0 \text{ kN}$$

$$V_6 = 10 \cdot 6,8 \cdot 8,2 = 557,6 \text{ kN}$$

$$V_4 = V + V_3 + V_5 - V_6 = 837,8 + 391,9 + 552,0 - 557,6 = 1224,1 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_v &= 2435,2 + 837,8 \cdot 7,1 + 391,9 \cdot 7,1/2 - 1224,1 \cdot 8,2/2 + \\ &+ 552,0 \cdot 6,9/2 - 557,6 \cdot 8,2/2 = 4374,3 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Het grootste optredende moment in de vloer is dus een veldmoment (vanwege de grote spatkracht):

$$\frac{M_u}{bh^2} = \frac{1,7 \cdot 4374,3}{1,0 \cdot 2,2^2} = 1536 \quad \rightarrow \quad \omega_o = 0,40 \%$$

$$\begin{aligned} A_a &= 0,40 \cdot 1,0 \cdot 2,2 \cdot 10^4 = \\ &= 8800 \text{ mm}^2/\text{m}' \end{aligned}$$

Voor het gehele sluishoofd zie Bijlage 20.



## 8. Voorzieningen tegen onder- en achterloopsheid

Door het verval over de sluis zal er onder het kunstwerk en langs de zijkanten ervan een grondwaterstroming ontstaan. Deze stroming kan zo sterk worden dat gronddeeltjes worden meegenomen en er holle ruimten ontstaan, die de stabiliteit van de schutsluis in gevaar brengen. Voor de bestrijding hiervan zijn diverse oplossingen mogelijk. Uitgangspunt hierbij is de volgende formule, welke al eerder (par. 6.5.1) aan de orde kwam:

$$v = k \cdot H/L \quad \text{met: } v = \text{snelheid}$$

$$k = \text{doorlatendheidscoëfficiënt van de grond}$$

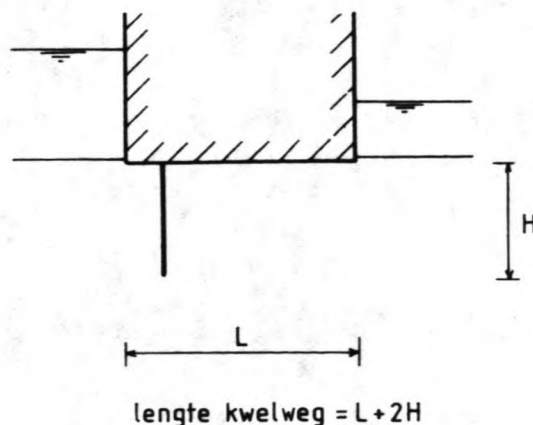
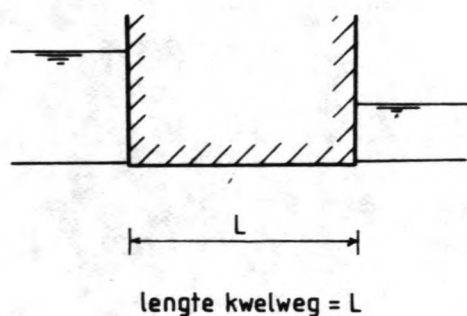
$$H = \text{verval}$$

$$L = \text{lengte van de kwelweg}$$

Verval en doorlatendheid zijn vast randvoorwaarden, zodat de snelheid  $v$  alleen kan worden verkleind door de lengte van de kwelweg te vergroten. De mogelijkheid om de doorlatendheid van de grond te beïnvloeden d.m.v. injectiemiddelen leidt i.h.a. tot een dure oplossing.

Verlenging van de kwelweg kan op twee manieren tot stand gebracht worden:

- 1) Verlengen van het kunstwerk zelf
- 2) Vertikale damwand-schermen onder- en naast het kunstwerk aanbrengen:

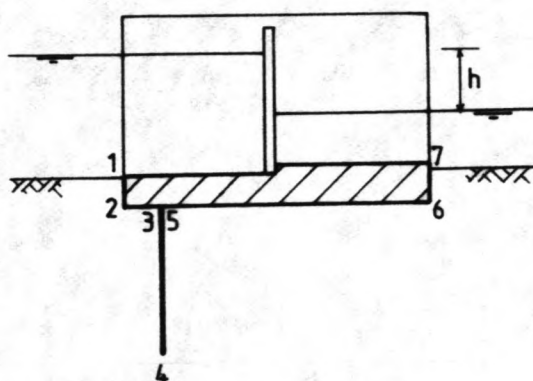


Hieruit volgt al direkt het voordeel van een dichte kolkvloer. Ook in dat geval moeten er echter schermen worden aangebracht. Indien sprake is van een open kolkvloer moet elk sluishoofd afzonderlijk beschouwd worden.

Hoe lang moeten deze schermen zijn?

Om dit vast te stellen zijn diverse rekenmethodes beschikbaar:

#### Methode Bligh



Deze methode is erop gebaseerd dat het drukverschil langs de stroomlijn aan de onderzijde van de constructie en de zijvlakken van de damwanden (traject 1 t/m 7) evenredig is met de lengte van de kwelweg, ongeacht of deze een horizontaal, vertikaal of schuin verloop heeft. In formulevorm:

$$h = 1/C_b \cdot L \quad \text{met: } h = \text{verval}$$

$L$  = lengte van de kwelweg

$C_b$  = constante; afhankelijk van de grondsoort

Voorts neemt Bligh nog een veiligheidscoëfficiënt van 1,5 in acht, zodat:

$$L > 1,5 \cdot C_b \cdot h$$

### Methode van Lane

Dit is in feite een aanvulling op de methode van Bligh en leidt i.h.a. tot iets gunstiger resultaten. Bij deze methode wordt er onderscheid gemaakt tussen horizontale en verticale vlakken van de constructiedelen. Lane stelt nu:

$$C_1 = \frac{\sum L_{\text{vert}} + \sum L_{\text{hor}}/3}{h}$$

zodat nu geldt (met veiligheidscoëfficiënt 1,5):

$$L_{\text{vert}} > 1,5 \cdot C_1 \cdot \sum L_{\text{hor}}/3$$

In Nederland wordt meestal de methode van Lane toegepast en daar zullen we ons hiet ook aan houden.

De vraag is gerechtvaardigd of de veiligheidscoëfficiënt van 1,5 onder alle omstandigheden moet worden toegepast. De extreme waterstanden zullen slechts zeer zelden en dan nog gedurende een beperkte periode voorkomen. We zullen daarom rekenen met een veiligheidscoëfficiënt van 1,5 voor de gemiddelde waterstand en 1,0 voor de extreme waterstanden.

Het verval over de gehele sluis, zowel als over een enkel sluis-  
hoofd, bedraagt:

gemiddeld: 1,2 m

maximaal: 4,4 m

De coëfficiënt  $C_1$  bedraagt in ons geval 6 à 7 (voor middelfijn tot fijn zand). We zullen rekenen met  $C_1 = 7$  (veilig).

De horizontale lengte van de kwelweg bedraagt:

1) Sluis met puntdeuren

a) dichte kolkvloer:  $L = 128$  m

b) open kolkvloer:  $L = 20$  m

## 2) Sluis met roldeuren

a) dichte kolkvloer:  $L = 112 \text{ m}$ b) open kolkvloer:  $L = 12 \text{ m}$ 

De benodigde verticale lengte is dan:

1a) gemiddeld verval:  $L_v > 1,5 \cdot 7 \cdot 1,2 - 128/3 = \text{negatief}$ maximaal verval:  $L_v > 7 \cdot 4,4 - 128/3 = \text{negatief}$ 1b) gemiddeld verval:  $L_v > 1,5 \cdot 7 \cdot 1,2 - 20/3 = 5,93 \text{ m}$ maximaal verval:  $L_v > 7 \cdot 4,4 - 20/3 = 24,13 \text{ m}$ 2a) gemiddeld verval:  $L_v > 1,5 \cdot 7 \cdot 1,2 - 112/3 = \text{negatief}$ maximaal verval:  $L_v > 7 \cdot 4,4 - 112/3 = \text{negatief}$ 2b) gemiddeld verval:  $L_v > 1,5 \cdot 7 \cdot 4,4 - 112/3 = 8,6 \text{ m}$ maximaal verval:  $L_v > 7 \cdot 4,4 - 12/3 = 26,8 \text{ m}$ 

In alle gevallen blijkt de situatie met de dichte kolkvloer zodanig, dat met de minimale lengte kan worden volstaan (5 à 6 m).

Voor het enkele sluishoofd (open kolkbodem) is de situatie bij het maximale verval maatgevend:

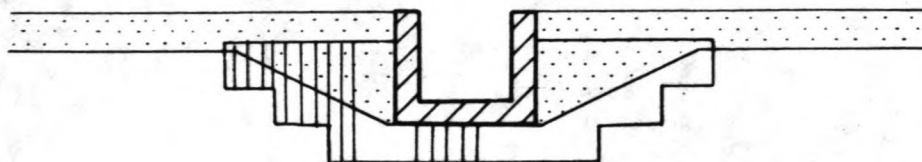
sluis met puntdeuren:  $L_v = 24,5 \text{ m}$ ; met een dikte van de sluisbodem van ca. 2,0 m is dan de benodigde damwandlengte:

$$(24,5 - 2 \cdot 2,0)/2 = 10,2 \text{ m}$$

sluis met roldeuren:

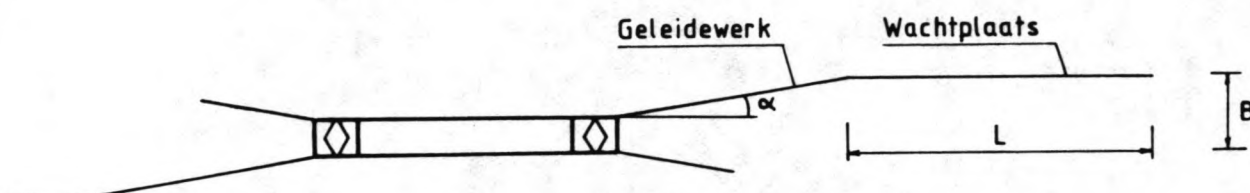
$$(26,8 - 2 \cdot 2,0)/2 = 11,4 \text{ m}$$

In de richting loodrecht op de sluis-as worden de schermen (tegen achterloopsheid) doorgetrokken tot buiten de omgrenzingen van de oorspronkelijke bouwput, d.w.z. tot in de ongeroerde grond. De buitenste damplanken kunnen eventueel met een geringere lengte volstaan (zie figuur).



## 9. Wachtplaatsen en geleidewerken

De wachtplaats is de gelegenheid waar schepen die niet direct geschut kunnen worden, de eerstvolgende schutting afwachten. De geleidewerken dienen ervoor om de schepen bij het binnenvaren van de sluis een goede geleiding te geven. Een mogelijke vormgeving van de wachtplaatsen en geleidewerken voor een enkelvoudige sluis is weergegeven in de volgende figuur:



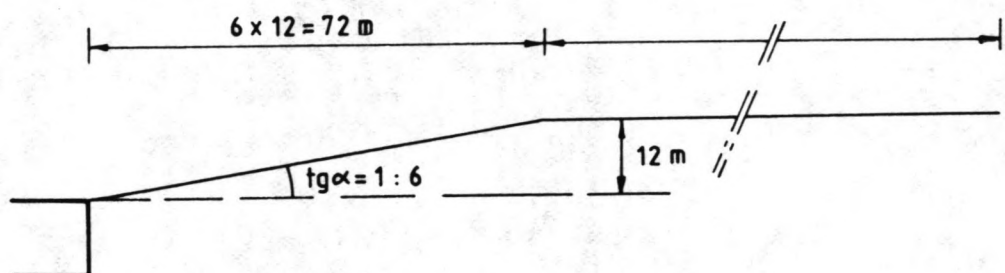
Figuur 9-1

Teneinde de schepen een zo goed mogelijke geleiding te geven bij het binnenvaren van de schutsluis, is het wenselijk de hoek  $\alpha$  klein te maken. Dit betekent echter een grotere afstand van de wachtplaats tot de sluis, waardoor de invaartijd toeneemt en dus de capaciteit van de sluis kleiner wordt. Bovendien betekent een kleinere  $\alpha$  dat de lengte van binnen- en buitenhavenkanaal en dus de waterkeringen langer zijn.

In Nederland wordt voor  $\text{tg}\alpha$  1:6 aangehouden bij binnenvaartsluizen voor zelfvarende vrachtschepen.

Omdat de scheepvaartintensiteit in ons geval laag is, valt het wellicht te overwegen om een grotere hoek  $\alpha$  (bijvoorbeeld 1:4) toe te passen. De hogere intensiteit van de pleziervaart is m.b.t. de geleidewerken van ondergeschikt belang. Bij voorzichtig varen kan een hoek van 1:4 mogelijk voldoen. De besparing die hiermee wordt verkregen is echter gering t.o.v. de totale lengte van geleidewerken en waterkeringen. We zullen daarom niet afwijken van de standaard en voor  $\text{tg}\alpha$  1:6 aanhouden.

De afmetingen van de wachtplaats worden dikwijls gelijk gemaakt aan die van de schutkolk, opdat alle schepen voor de volgende schutting op korte afstand van de schutsluis komen te liggen. Het ontwerp van de Goesse sluis wordt overigens niet bepaald door massa-schuttingen, maar door het maatgevende schip.



Figuur 9-2

## 10. Oever- en bodembescherming

De oeverbeschermingen betreffen in ons geval de verdere detaillering van de diverse waterkeringen langs binnen- en buitenhavenkanaal en langs de Oosterschelde, zoals deze globaal zijn vastgesteld in hoofdstuk 2. Binnen het kader van dit afstudeerontwerp wordt hier verder niet op ingegaan.

De bodembeschermingen betreffen:

- 1) Havenmond en havendammen
- 2) Binnen- en buitenhavenkanaal
- 3) Schutkolk

ad 1) Op basis van de beschikbare golfgegevens en globale refractie en diffraktieberekeningen (rapport Waterloopkundig Laboratorium) kan een significante golfhoogte van 1,50 m met een periode van 4 à 5 seconden worden bepaald. Over de hierbij noodzakelijke zwaarte van de bestorting en oeverbekleding is door het W.L. geadviseerd.

Met het oog op uitschuring voor de koppen van de havendammen is, uitgaande van een maximale ontgrondingsdiepte, een bodembescherming aangebracht over een afstand van ca. 35 m.

Verwacht mag worden dat zich tijdens en na uitvoering van de havendammen een nieuwe evenwichtssituatie zal instellen. Door frequente peilingen in de eerste jaren zal de nieuwe bodemligging moeten worden vastgesteld.

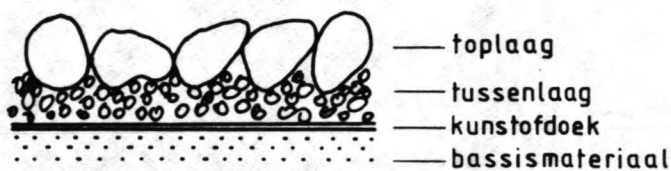
De bestaande zuidelijke havendam vormt ook in de toekomstige situatie een belangrijk onderdeel van de kustverdediging, omdat deze een steunpunt voor de nabij gelegen stroomgeul vormt. De dam moet waar nodig hersteld worden.

ad 2) De oever- en bodembescherming worden bepaald door de waterbeweging van de scheepvaart. De stroomsnelheden t.g.v. schutten, waterinlaat en getij, alsmede de optredende windgolven zijn niet maatgevend.

Bij de wacht- en geleidewerken moet gerekend worden met de hoge stroomsnelheden en turbulente waterbeweging in de schroefstraal. De principes zijn hetzelfde als reeds eerder is behandeld m.b.t. de (open) schutkolkbodem (paragraaf 6.5.3). We zullen er hier niet meer verder op ingaan.

Wel kan worden opgemerkt dat, om uitspoeling van de ondergrond te voorkomen, nu geen granulair filter behoeft te worden toegepast, maar een kunststof filter kan worden aangebracht. De opbouw van een dergelijk filter is weergegeven in figuur 10-1. De tussenlaag dient ervoor om beschadiging van het kunststofdoek tijdens het storten van de toplaag te voorkomen.

Figuur 10-1



ad 3) De bescherming van de schutkolkbodem is alleen van belang in geval van een open vloerconstructie. Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 6.5.1 e.v.



## 11. Kostenvergelijking

In dit hoofdstuk wordt getracht tot een kostenvergelijking te komen tussen de verschillende varianten. Hierbij worden de volgende mogelijkheden in beschouwing genomen:

- Schutkolk:
- I) Damwandconstructie
    - A) met een open kolkbodem (filterconstructie)
    - B) met een dichte kolkvloer (onderwaterbeton)
  - II) Betonnen bakconstructie
- Sluishoofden:
- I) met puntdeuren
  - II) met roldeur
- Uitvoering:
- I) grote bouwput met retourbemaling
  - II) per sluishoofd een afzonderlijke bouwput
    - A) "klassiek" (dus eveneens met retourbemaling)
    - B) damwandkuip

Van de verschillende onderdelen wordt een kostenraming opgesteld. Vervolgens worden deze onderdelen met elkaar gecombineerd en vergeleken.

Wellicht overbodig te vermelden dat het hier een vergelijking betreft en dat niet de werkelijke kostprijs is vastgesteld. Algemene kosten, kosten werkterrein, overhead, winst, BTW etc. zijn niet meegerekend.

In alle gevallen wordt uitgegaan van eenzelfde bouwtijd.

Voor de betonconstructie(s) is uitgegaan van een algemene, gemiddelde richtprijs van fl 500,00 per m<sup>3</sup> (inclusief materiaal, arbeidsloon, bekisting etc.).

Van de damwandconstructies is een meer gedetailleerde kostenraming opgesteld.

Kosten van sluisdeuren en bewegingsmechanismen zijn gebaseerd op gegevens van Rijkswaterstaat.

## IA) Damwandconstructie met open kalkbodem

post	omschrijving	een- heid	hoeveel- heid	loonbedrag (gld)	materiaal (gld)	materieel (gld)	totaal (gld)
1.	heien damwand 2 x 88 x 17,4 = 3064 m <sup>2</sup> 0,4 mu/m <sup>2</sup> = 1226 mu à fl 35/u 0,1 ku/m <sup>2</sup> = 307 ku à fl 180/u 2 x 88 x 3,0624 = 540 ton materiaal 540 ton à fl 140/100 kg	m <sup>2</sup>	3064	42 910	756 000	55 260	863 170
2.	aanbrengen ankerwand 2 x 88 x 1,8 = 317 m <sup>2</sup> 0,4 mu/m <sup>2</sup> = 127 mu à fl 35/u 0,1 ku/m <sup>2</sup> = 32 ku à fl 180/u 2 x 88 x 0,188 = 33 ton materiaal 33 ton à fl 140/100 kg	m <sup>2</sup>	317	4 445	46 200	5 760	52 405
3.	aanbrengen gordingen en ankers per m' kolkwand = 2 x 88 = 176 m 1,6 mu/m' = 282 mu à fl 35/u 0,4 ku/m' = 71 ku à fl 120/u materiaal: gordingen: 2 x 4 x 88 x 41,8 = 29 427 kg = ca. 30 ton inclusief verbindingen 30 ton à fl 110/100 kg ankers 176 stuks = 176 x 20 x 18,7 = ca. 33 ton à fl 150/100 kg bouten 176 stuks à fl 12,5	m'	176	9 870	33 000 49 500 2 200	8 520	103 090
4.	ontgraven tot -6,6 m 12 x 88 x 7,6 = 8026 m <sup>3</sup> 0,2 mu/m <sup>3</sup> = 1605 mu à fl 35/u 0,1 ku/m <sup>3</sup> = 803 ku à fl 85/u	m <sup>3</sup>	8026	56 175		68 255	124 430
5.	aanbrengen filterconstructie 12 x 88 x 2,1 = 2218 m <sup>3</sup> 0,4 mu/m <sup>3</sup> = 887 mu à fl 35/u 0,2 ku/m <sup>3</sup> = 444 ku à fl 85/u materiaal: stortsteen ca. 845 m <sup>3</sup> à fl 45/m <sup>3</sup> grind ca. 1140 m <sup>3</sup> à fl 41/m <sup>3</sup> zand ca. 211 m <sup>3</sup> à fl 25/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	2218	31 045	38 025 46 740 5 275	37 740	158 825
TOTAAL:							1 301 920

## IB) Damwandconstructie met dichte kolkvloer

post	omschrijving	een- heid	hoeveel- heid	loonbedrag (gld)	materiaal (gld)	materieel (gld)	totaal (gld)
1.	heien damwand 2 x 88 x 14,1 = 2482 m <sup>2</sup> 0,4 mu/m <sup>2</sup> = 993 mu à fl 35/u 0,1 ku/m <sup>2</sup> = 248 ku à fl 180/u 2 x 88 x 1,96 = 345 ton materiaal 345 ton à fl 140/100 kg	m <sup>2</sup>	2482	34 755	483 000	44 640	562 395
2.	aanbrengen ankerwand 2 x 88 x 1,8 = 317 m <sup>2</sup> 0,4 mu/m <sup>2</sup> = 127 mu à fl 35/u 0,1 ku/m <sup>2</sup> = 32 ku à fl 180/u 2 x 88 x 0,152 = 27 ton materiaal 27 ton à fl 140/100 kg	m <sup>2</sup>	317	4 445	37 800	5 760	48 005
3.	aanbrengen gordingen en ankers per m' kolkwand = 2 x 88 = 176 m 1,6 mu/m' = 282 mu à fl 35/u 0,4 ku/m' = 71 ku à fl 120/u materiaal: gordingen: 2 x 4 x 88 x 37,9 = ca. 27 ton à fl 110/100 kg ankers 176 stuks = 176 x 18 x 15,4 = ca. 25 ton à fl 150/100 kg bouten 176 stuks à fl 12,5	m'	176	9 870	29 700 37 500 2 200	8520	87 790
4.	ontgraven tot -7,0 m 12 x 88 x 8,0 = 8448 m <sup>3</sup> 0,2 mu/m <sup>3</sup> = 1690 mu à fl 35/u 0,1 ku/m <sup>3</sup> = 845 ku à fl 85/u	m <sup>3</sup>	8448	59 150		71 825	130 975
5.	wapening onderwaterbeton ca. 40 kg/m <sup>3</sup> beton = 0,04 x 2640 = 106 ton 20 mu/ton = 2120 mu à fl 35/u materieel materiaal 106 ton à fl 108/100 kg	ton	106	74 200	144 480	15 000	203 680
6.	onderwaterbeton 12 x 88 x 2,5 = 2640 m <sup>3</sup> 0,52 mu/m <sup>3</sup> = 1373 mu à fl 35/u 0,09 ku/m <sup>3</sup> = 238 ku à fl 130/u materiaal 2640 m <sup>3</sup> à fl 125/m <sup>3</sup> klein materieel à fl 13/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	2640	48 055	330 000	30 940 34 320	412 315
						TOTAAL:	1 445 160

## II) Betonnenbakconstructie

Afmetingen per m' kolk:

Wand tot bovenkant vloer:  $1,3 \times 8,5 = 11,05 \text{ m}^3$

Vloer:  $1,5 \times 14,6 = 21,9 \text{ m}^3$

Totaal:  $21,9 + 2 \times 11,05 = 44,0 \text{ m}^3$

Totaal kolk:  $44,0 \times 88 = 3872 \text{ m}^3$

Kostprijs:  $3872 \times 500 = 1\,936\,000$  (gld)

Sluishoofden (betonconstructie)

I) met puntdeuren

Afmetingen: (zie Bijlage 20):

Wand:	$1,3 \times 19,2 \times 8,5 =$	212,2
	$0,9 \times (1,0 + 1,0 + 2,0) \cdot 8,5 =$	30,6
	$0,5 \times 1,3 \times (7,6 + 7,6) =$	9,9
		<hr/>
	totaal:	$252,7 \text{ m}^3$

Vloer:	$19,2 \times 1,5 \times 16,4 =$	472,3
	$0,5 \times (2 \times 1,0 + 2,0) + 16,4 =$	32,8
	$2 \times 12,0 \times 0,5 \times 2 \times 0,5 =$	12,0
	$0,3 \times 16,4 \times (5,2 + 0,6) =$	28,6
		<hr/>
	totaal:	$545,7 \text{ m}^3$

Totaal sluishoofd:  $545,7 + 2 \times 252,7 = 1051 \text{ m}^3$

Kostprijs:  $1051 \times 500 = 525\,500$  (gld)

II) met roldeur

Afmetingen (zie Bijlage 18):

Vloer deurkas:	$2,0 \times 14,7 \times 5,3 =$	155,8
	$12,7 \times 0,5 \times 1,0$ (uitsparing) =	6,4
		<hr/>
	totaal:	$149,4 \text{ m}^3$

Vloer kolk:	$1,5 \times 14,6 \times 12,0 =$	262,8
	$(6,7 + 1,0) \times 0,5 \times 14,6 =$	56,2
	$0,5 \times 1,0 \times 14,3$ (uitsparing) =	-7,1
	totaal:	$\frac{\quad}{\quad} + 3$ 311,9 m <sup>3</sup>

Wanden deurkas:	$2 \times 1,4 \times 8,5 \times 14,7 =$	349,9
	$0,5 \times 0,8 \times 0,4 \times 8,5 =$	1,4
	$1,4 \times 2,5 \times 8,5 =$	29,8
	totaal:	$\frac{\quad}{\quad} + 3$ 381,1 m <sup>3</sup>

Wanden kolk:	$4 \times 1,3 \times 5,15 \times 8,5 =$	227,6
	$0,3 \times 1,7 \times 8,5 =$	4,3
	$(2,7 + 2,0) \times 1,0 \times 10,5 =$	49,4
	totaal:	$\frac{\quad}{\quad} + 3$ 281,3 m <sup>3</sup>

Totaal sluishoofd:  $149,4 + 311,9 + 381,1 + 281,3 = 1124 \text{ m}^3$

Kostprijs:  $1124 \times 500 = 562\ 000$  (gld)

### Uitvoering

I) Grote bouwput met retourbemaling

Grondwerk:

Ontgraven bouwput (zie par. 2.4.2):  $51\ 984 \text{ m}^3$

Aanvullen tot niveau oorspronkelijke maaiveld:

$$\text{ca. } 51984 - ((88 + 2 \times 19,2) \times 14,6 \times 7,0) = 39\ 066 \text{ m}^3$$

(verdere aanvulling tot het niveau van het sluisplateau (+4,00 m) is voor alle varianten (nagenoeg) hetzelfde en kan in de vergelijking achterwege blijven).

Totaal grondwerk:  $51\ 984 + 39\ 066 = 91\ 050 \text{ m}^3$

Kosten grondwerk fl 3,=/ m<sup>3</sup> (inclusief transport binnen 5 km) in totaal dus  $91\ 050 \times 3 = 273\ 150$  (gld).

## Retourbemaling:

Op basis van een globale berekening is een benodigde capaciteit van ca.  $1600 \text{ m}^3/\text{uur}$  geschat (onttrekken) en  $400 \text{ m}^3/\text{uur}$  injecteren. Dit kan bijvoorbeeld gerealiseerd worden met 25 pompen met een capaciteit van  $65 \text{ m}^3/\text{uur}$  en injectie putten 10 stuks  $40 \text{ m}^3/\text{uur}$ . De putten komen dan ca. 20 m uit elkaar te staan. Op basis hiervan zijn de geschatte kosten:

huur/aanschaf	375 000	
onderhoud	65 000	
energie (18 mnd)	230 000	
	<u>          </u>	+
totaal:	670 000	(gld)

Totaal bouwput:  $273\ 150 + 670\ 000 =$  (afgerond):  $950\ 000$  (gld)

IIA) Twee kleine bouwputten (voor elk sluishoofd afzonderlijk); "klassiek" dus eveneens met retourbemaling.

Grondwerk: ca.  $35\ 000 \text{ m}^3$  ontgraven en  $28\ 000 \text{ m}^3$  aanvullen  
 kostprijs:  $53\ 000 \times 3 = 159\ 000$  (gld)

Bemaling nagenoeg hetzelfde als voor grote put (omdat de putten vrij dicht bij elkaar liggen).

Totaal:  $159\ 000 + 670\ 000 =$  ca.  $830\ 000$  (gld)

IIB) Twee kleine bouwputten m.b.v. hulpdamwand en eenvoudige bemaling.

Omdat de afmetingen iets verschillen zullen we twee gevallen bekijken, namelijk voor een sluishoofd met puntdeuren en voor een sluishoofd met roldeur.

Omdat we te maken hebben met dezelfde grondgesteldheid, dezelfde ontgraving etc. als bij de schutkolk, zullen we van eenzelfde damwandconstructie uitgaan.

a) Sluishoofd met puntdeuren; geschatte afmetingen bouwput  
ca. 24 x 19 m.

1. heien damwand; $2 \times (24 + 19) \times 17,4 = 1497 \text{ m}^2$	
0,4 mu/m <sup>2</sup> = 688 mu à fl 35/uur	24 080
0,1 ku/m <sup>2</sup> = 172 ku à fl 180/uur	30 960
materiaal: $86 \times 3,0624 = \text{ca. } 263 \text{ ton}$	
à fl 140/ 100 kg (4x gebruiken; 10% verlies):	<u>101 255</u> +
totaal:	156 295
2. aanbrengen ankerwand; $150 \text{ m}^2 / 17 \text{ ton}$	
0,4 mu/m <sup>2</sup> = 60 mu à fl 35/uur	2 100
0,1 ku/m <sup>2</sup> = 15 ku à fl 180/uur	2 700
materiaal	<u>8 700</u> +
totaal:	13 500
3. aanbrengen ankers en gordingen; 86 m'	
1,6 mu/m' = 138 mu à fl 35/uur	4 830
0,4 ku/m' = 35 ku à fl 120/uur	4 200
materiaal	<u>15 200</u> +
totaal:	24 230
4. ontgraven tot -7,0 m	
$19 \times 24 \times 8 = 3648 \text{ m}^3$	
0,2 mu/m <sup>3</sup> = 730 mu à fl 35/uur	25 550
0,1 ku/m <sup>3</sup> = 365 ku à fl 85/uur	<u>31 025</u> +
totaal:	56 575
5. trekken damwand etc. (= heien)	
damwand	24 080
	30 960
ankerwand	2 100
	2 700
gordingen etc.	4 830
	<u>4 200</u> +
totaal:	68 870

6. aanaarden constructie ca. 1200 m <sup>3</sup>	4 000
	TOTAAL: 323 470
afmalen bouwkuip	15 000
Totaal kosten bouwkuip (afgerond):	350 000 (gld)
b) sluishoofd met roldeur; geschatte afmetingen bouwput	
ca. 35 x 18 m; in totaal 106 m'	
kosten ca. 106/86 x 323 470 =	398 700
met bemaling totaal bouwkuip:	410 000 (gld)

### Conclusies:

Het verschil in prijs tussen de damwandconstructie met open- danwel dichte kolkbodem is gering. Nemen we verder in overweging dat:

- in geval van dichte kolkbodem met een geringere lengte van de onderloopsheidschermen kan worden volstaan
- de onzekerheid t.a.v. de doorlatendheid van de grond; aangenomen was (gemiddeld) matig fijn zand, maar in werkelijkheid varieert dit enigszins (in werkelijkheid eventueel proeven nemen)
- de grotere risico's in geval van een open kolkbodem t.a.v. "piping" e.d., zodat meer aandacht tijdens de uitvoering nodig is (uit het slot lopen van damplanken)

dan verdient de oplossing met de dichte kolkvloer de voorkeur.

De uitvoering met twee afzonderlijke (kleinere) bouwputten met toepassing van (hulp) damwand is iets goedkoper dan twee "klassieke" bouwputten. Hierbij komt nog dat:

- met een geringere lengte aan achterloopsheidschermen kan worden volstaan (bij klassieke putten meer ongeroerde grond)
- eventueel een geschikt gebruik kan worden gemaakt van definitieve damwandconstructies



- mogelijk een stempelraam kan worden toegepast of bijvoorbeeld een ronde bouwput met een betonring aan de binnenzijde; of een dergelijke oplossing de voorkeur verdient kan eventueel ook aan de aannemer worden overgelaten.

In totaal blijven dan de volgende mogelijkheden over:

I) Schutkolk: betonnenbakconstructie

Hoofden: puntdeuren

Uitvoering: grote bouwput met retourbemaling

Kosten:

betonconstructie schutkolk	1 936 000
betonconstructie hoofden	1 051 000
bouwput, inclusief bemaling	950 000
8 puntdeuren + 2 reserve deuren, inclusief bewegingsmechanismen	2 160 000
	<hr/>
	+
totaal:	6 097 000

II) Schutkolk: betonnenbakconstructie

Hoofden: roldeur

Uitvoering: grote bouwput met retourbemaling

Kosten:

betonconstructie schutkolk	1 936 000
betonconstructie hoofden	1 124 000
2 roldeuren + reserve deur (+ rol- wagens, bewegingsmechanismen etc.)	1 720 000
bouwput, inclusief bemaling	950 000
	<hr/>
	+
totaal:	5 730 000

## III) Schutkolk: damwandconstructie

Hoofden: puntdeuren

Uitvoering: twee damwandkuipen

## Kosten:

damwandconstructie schutkolk	1 445 000
betonconstructie hoofden	1 051 000
bouwputten	700 000
afsluitmiddelen (totaal)	2 160 000
	<hr/>
	+
totaal:	5 356 000

## IV) Schutkolk: damwandconstructie

Hoofden: roldeur

Uitvoering: twee damwandkuipen

## Kosten:

damwandconstructie schutkolk	1 445 000
betonconstructie hoofden	1 124 000
bouwputten	840 000
afsluitmiddelen (totaal)	1 720 000
	<hr/>
	+
totaal:	5 129 000

Variant IV (damwandconstructie schutkolk met roldeuren) komt als goedkoopste oplossing naar voren.

Enkele conclusies die kunnen worden getrokken:

- als schutkolk is een oplossing met stalen damwand goedkoper dan een betonnenbakconstructie, ook indien nog geen rekening wordt gehouden met de wijze van uitvoering. Wél moet nog worden opgemerkt dat geen rekening is gehouden met de "afwerking". Deze zal voor de damwand-constructie nl. nog aanzienlijk kunnen zijn (houten geleidingbalken etc.).

In hoeverre deze oplossing in de praktijk de voorkeur verdient hangt ook nog af van de kosten van onderhoud en de levensduur van de constructie. Beide zijn in het geval van de betonnen bakconstructie gunstiger.

- de bronbemaling, zeker indien ook nog een retourbemaling nodig is, is een vrij dure aangelegenheid. Alternatieve oplossingen dienen dan ook overwogen te worden: de klassieke bouwput is niet zonder meer altijd de goedkoopste oplossing.
- Indien zoals hier een dubbele kering noodzakelijk is, blijkt een oplossing met roldeur iets voordeliger. Dit is overigens geheel gebaseerd op de kosten van de staalconstructies. Betonconstructie en uitvoering vallen iets duurder uit.

## Literatuur

1. Collegediktaten
2. The closure of tidal basins; chapter 2.4, Interaction watermotion and closing elements, diverse auteurs
3. Kust en oeverwerken in praktijk en theorie, nr. 25; deel II, Waterloopkundige aantasting van oeververdedigingen, ir. E.J. van de Kaa
4. Foundation engineering handbook; chapter 14.13, Braced excavations, T.D. Dismuke
5. Concrete liquid retaining structures, J.K. Green and P.H. Perkins
6. Handbook on BS 5337: 1976 (the structural use of concrete for retaining aqueous liquids), R.D. Anchor, A.W. Hill and B.P. Hughes

