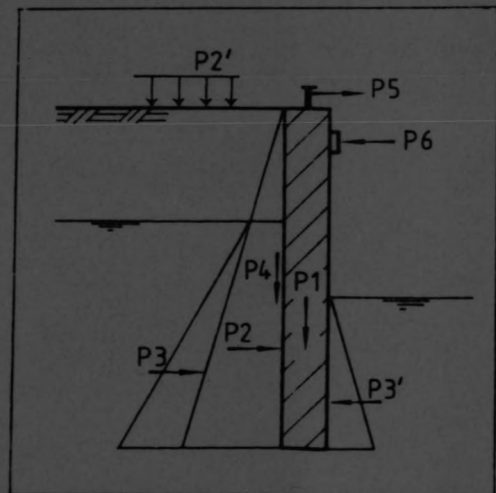

AANPASSING EN VERBETERING VAN SCHUTSLUIS EN HAVENKANAAL VAN GOES

DEEL 2a



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 II_a SCHUTSLUIS

- lay-out
- funktionele onderdelen
- vul- en ledigsysteem
- afsluitmiddelen

Inhoud

1. Algemene situatie en natuurlijke randvoorwaarden
 - 1.1 Algemene situatie
 - 1.2 Waterstanden
 - 1.3 Bodemgesteldheid
2. Plaatsbepaling
 - 2.1 Functies van de sluis
 - 2.1.1 Scheepvaart
 - 2.1.2 Profiel van vrije ruimte
 - 2.1.3 Waterkering
 - 2.1.4 Waterhuishouding
 - 2.1.5 Gemaal
 - 2.2 Vormgeving
 - 2.2.1 Kolk en hoofden
 - 2.2.2 Havenmondning
 - 2.2.3 Havendammen
 - 2.2.4 Buitenhavenkanaal
 - 2.2.5 Binnenhavenkanaal
 - 2.3 Kanaal-as en sluissituering
 - 2.4 Uitvoering
 - 2.4.1 Methode van uitvoeren
 - 2.4.2 Klassieke bouwput
 - 2.4.3 Alternatieve oplossingen
 - 2.4.4 Conclusies en samenvatting
3. Funktionele onderdelen
4. Vul- en ledigstelsel
 - 4.1 Oplossingsprincipes
 - 4.2 Kopvulling d.m.v. schuiven in de deuren
 - 4.3 Troskrachten
 - 4.4 Conclusies

5. Afsluitmiddelen

5.1 Oplossingsprincipes

5.2 Keuze type afsluitmiddel

5.3 Puntdeuren

5.4 Roldeuren

5.5 Conclusies

6. Schutkolk

6.1 Randvoorwaarden

6.1.1 Afmetingen

6.1.2 Waterstanden

6.1.3 Grondgesteldheid

6.2 Oplossingsprincipes

6.2.1 Schutkolkwand

6.2.2 Schutkolkbodem

6.2.3 Combinatie wand-vloerconstructie

6.3 Keuzebepaling

6.4 Bakconstructie

6.5 Damwandconstrucite

6.5.1 Niet waterdichte kolkvloer

6.5.2 Filtereisen

6.5.3 Stabiliteit van de toplaag

6.5.4 Filteropbouw

6.5.5 Waterdichte kolkvloer

6.6 Stalen damwand

6.6.1 Algemeen

6.6.2 Berekeningsmethode

6.6.3 Berekeningen

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

1. Algemene situatie en natuurlijke randvoorwaarden

1.1 Algemene situatie

Overzicht plaatselijke omstandigheden:

Bijlage I: Overzicht gemeente Goes met Wilhelminapolder, Havenkanaal en Goessche Sas;
Schaal 1 : 10 000

Bijlage II: Maaiveldhoogten

Bijlage III: Gedeelte van de waterstaatskaart; aangegeven zijn de afwateringsgebieden van het Oostelijk deel van de Wilhelminapolder en het havenkanaal van Goes

Opmerking: De afwatering van de Wilhelminapolder geschiedt door een nieuw gemaal in het Zuid-Oostelijk deel van de polder; de op de kaart aangegeven uitwateringssluis nabij het Goessche Sas is reeds buiten werking gesteld. Het afwateringsgebied van het havenkanaal wordt geregeld door de schutsluis; in de toekomstige situatie zal eveneens een gemaal noodzakelijk zijn.

Bijlage IV: Dieptelijnen nabij de monding van het buitenhavenkanaal

Bijlage V: Overzicht van de drainage in de Wilhelminapolder; ter plaatse van de nieuw te bouwen sluis en bijkomende werken zal deze moeten worden verwijderd.

1.2 Waterstanden

De schutsluis zal ongeveer 1 jaar voor voltooiing van de stormvloedkering gereedkomen. Gedurende deze periode zal aan de Oosterschelde-zijde met de volgende waterstanden moeten worden rekening gehouden:

Waterstand t.o.v. NAP	Gemiddelde overschrijdingsfrequentie per jaar
G.H.W. +1.63 m	
G.L.W. -1.57 m	
G.H.W.S. +1.87 m	
G.L.W.S. -1.70 m	
G.H.W.D. +1.32 m	
G.L.W.D. -1.36 m	
H.W. +3.15 m	5×10^{-1} (1:2 jaar)
H.W. +3.80 m	10^{-1} (1:10 jaar)
H.W. +4.40 m	10^{-2} (1:100 jaar)
S.V. +4.50 m	2×10^{-3} (1:500 jaar)
L.L.W. -3.00 m	10^{-1} (1:10 jaar)

De recent uitgevoerde dijkversterkingen direkt ten noorden van het Goessche Sas zijn gebaseerd op een S.V. stand van NAP +4.50 m (1:500 jaar); voor de schutsluis wordt deze waarde aangehouden als ontwerpnorm voor één jaar.

Na gereedkomen van de stormvloedkering worden bij minimale doorstroomopening van $14\ 000\ m^2$ en compartimentering volgens model C3 de volgende waarden verwacht:

Waterstanden t.o.v. NAP

G.H.W. +1.15 tot +1.23 m

G.L.W. -1.20 tot -1.38 m

G.H.W.S. +1.32 tot +1.35 m

G.L.W.S. -1.27 tot -1.46 m

G.H.W.D. +0.86 tot +1.08 m

G.L.W.D. -1.09 tot -1.28 m

De variaties treden op als gevolg van de dagelijkse ongelijkheid. Voorts dient bij deze waarden rekening gehouden te worden met een onnauwkeurigheid van 0.10 m.

De maximale hoogwaterstand is vastgesteld op NAP +3.50 m. Verder moet er op worden gerekend dat een waterstand ongeveer gelijk aan het sluitpeil van de stormvloedkering gedurende maximaal enige dagen zou kunnen voorkomen. Voorshands wordt dit peil gesteld op NAP +3.00 m.

Als extreem laagwater wordt een waterstand van NAP -3.00 m aangehouden.

Het binnenhavenkanaal heeft een ontwerppeil van NAP +1.20 m. In de huidige situatie wordt dit peil gehandhaafd door een waterinlaat tijdens hoogwater. Als gevolg hiervan schommelt het kanaalpeil tussen NAP +1.40 en +1.10 m.

Het zomerpeil in de zuidelijk van het Goessche Sas gelegen Wilhelminapolder bedraagt NAP -1.40 m.

Uit peilbuiswaarnemingen over een periode van een jaar blijkt dat de grondwaterstand schommelt tussen ca. NAP +0.50 en -0.50 m.

Ter plaatse van de toekomstige sluis ligt het maaiveld ongeveer op NAP +1.20 m.

De polder is voorzien van een drainage op ca. 1 m beneden maaiveld.

Het zomerpeil in de noordelijk van het Goessche Sas gelegen Oost-Beveland polder bedraagt NAP -1.10 m.

1.3 Bodemgesteldheid

Door het Laboratorium voor Grondmechanica is een grondonderzoek uitgevoerd. De volgende gegevens zijn ter beschikking voor dit afstudeerontwerp.

Bijlage VI: Algemene legenda terreinonderzoek

Bijlage VII: Algemene legenda grondaanduiding

Bijlage VIII: Ackermannboring (010) in de Wilhelminapolder ten zuiden van het huidige havenkanaal tot een diepte van ca. NAP -30 m

Bijlage IX: Zware sondering (0101) t.p.v. de toekomstige sluis

Bijlage X: Middelzware sondering (111) buiten de huidige waterkering, ongeveer t.p.v. de toekomstige havendammen.

Grondbeschrijving

Het huidige maaiveld lag ten tijde van het grondonderzoek op een hoogte van NAP +1.0 à +1.3 m. In het gebied buiten de bestaande zeedijk is dit NAP +0.2 à -1.4 m.

Beneden maaiveld komt op een diepte van NAP à NAP -1.0 m een siltige zandlaag voor, die afgedekt is door een zandige kleilaag. Deze laag wordt gevolgd door een weinig weerstand biedend pakket, opgebouwd uit zandige klei afgewisseld met dunne zandlaagjes en schelpen, tot een diepte van ca. NAP -1.0 tot -3.0 m.

In het gebied van de toekomstige sluis wordt de basis aangetroffen op een niveau dat wisselt tussen NAP -2.5 à -3.5 m. Ter plaatse van de toekomstige havendammen ligt de onderkant van deze laag op NAP -1.0 à -1.5 m.

Onder de vermelde diepten tot de verkende niveau's van NAP -15 à -28 m strekt zich een zandformatie uit, waarin conusweerstand tot een diepte van NAP -7 à -10 m doorgaans matig en wisselend zijn. Boorgegevens laten zien dat het zand fijn tot matig grof is.

Ten behoeve van uitgevoerde bemalingsproeven werden waarnemingsputten geplaatst, waaruit volgde dat het freatisch vlak zich op een diepte van NAP à NAP -0.5 m bevindt. Deze waterstand blijkt nauwelijks te worden beïnvloed door de getijbeweging op de Oosterschelde. De stijghoogte van het water in het pakket beneden de kleilaag varieert daarentegen wel met het getij en fluctueert tussen NAP +0.2 en -0.3 m.

2. Plaatsbepaling

In dit hoofdstuk wordt een geschikte plaats voor de nieuwe sluis vastgesteld. Hierbij is het van belang of de gekozen oplossing uitvoerbaar is. Niet alleen moet een goede aansluiting worden verkregen met de bestaande vaarwegen en waterkeringen, ook de uitvoering van de sluis zelf (bouwput) speelt hierbij een rol. Naast de geometrie van de sluis en het profiel van vrije ruimte, wordt ook aan de bijkomende onderdelen (gemaal, waterkeringen en havendammen) enige aandacht besteed.

2.1 Funkties van de sluis

De voornaamste ontwerpeisen volgen uit de verschillende functies die de sluis moet vervullen.

De primaire functie van de schutsluis is ten behoeve van de scheepvaart: "het in drijvende toestand in een afsluitbare ruimte van het ene naar het andere waterniveau brengen van schepen".

Voorts maakt de schutsluis deel uit van een (primaire) waterkering en heeft derhalve ook een waterkerende functie.

Tenslotte vervult de schutsluis een functie in de waterhuishouding.

2.1.1 Scheepvaart

Om een zo vlot mogelijke afwikkeling van het scheepvaartverkeer mogelijk te maken, zijn de volgende ontwerpeisen van belang:

- 1) het maatgevende schip; de afmetingen van de sluis moeten zodanig zijn dat het grootste schip, dat van de vaarweg gebruik zal maken, de sluis kan passeren.
- 2) de maatgevende combinatie van schepen; de capaciteit van de schutsluis moet dusdanig op het verkeersaanbod worden afgestemd, dat geen onaanvaardbare tijdverliezen voor de scheepvaart ontstaan.
- 3) de maatgevende scheepvaartintensiteit; bij een aanbod van schepen kleiner dan de capaciteit van de schutsluis moet het tijdverlies bij het passeren tot een minimum worden beperkt.

De nuttige kolkafmetingen worden in ons geval bepaald door het maatgevende schip (zie deel I). De eis is gesteld dat een Europeaschip (1350 ton; l=80m; b=9,5m; en d=2,5m) moet kunnen worden geschut.

De tweede en derde eis benadrukken meer het belang van een snelle afwikkeling van de scheepvaart, zoals gemakkelijk in- en uitvaren, snel openen en sluiten van deuren en een snelle kolkomzetting. Mede vanwege de drukke pleziervaart op Goes gedurende de zomermaanden mogen deze aspecten niet uit het oog verloren worden.

2.1.2 Profiel van vrije ruimte

Uitgaande van een sluis waarin een Europeaschip moet kunnen worden geschut, zijn de volgende uitgangspunten vastgesteld (deel I,2):

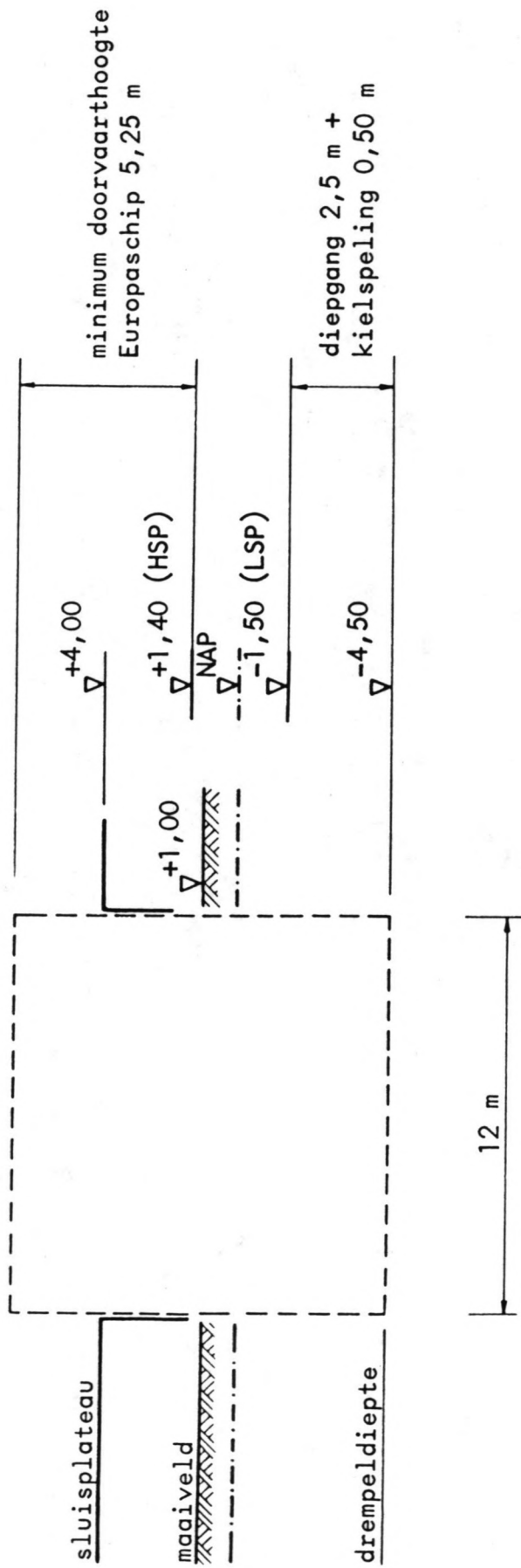
nuttige kolkbreedte	12 m
nuttige kolk lengte	88 m
drempeldiepte	NAP -4,5 m
sluisplateau	NAP +4,0 m

Bij sluizen met een relatief klein verval wordt i.h.a. de drempeldiepte van binnen- en buitenhoofd gelijk gemaakt. De afsluitmidelen hebben dan dezelfde afmeting en zijn onderling verwisselbaar, zodat met één stel reserve deuren kan worden volstaan. We zullen er daarom vanuitgaan dat de drempeldiepte over de gehele sluis hetzelfde is.

Uitgangspunt is dat bij gemiddeld hoog- respectievelijk laagwater springtij nog geschut moet kunnen worden. Dit betekent een hoogste schutpeil van NAP +1,40 m en een laagste schutpeil van NAP -1,50 m. Met een diepgang van 2,50 m en een minimale kielspeling van 0,50 m, bedraagt de drempeldiepte zodoende -4,50 m.

De hoogte van het sluisplateau (NAP +4,00 m) is bepaald op grond van de maximale waterstand (NAP +3,50 m) die na afsluiting van de Oosterschelde wordt verwacht.

De vrije doorvaarthoogte van een Europeaschip bedraagt 5,25 m boven HSP. Voor de pleziervaart (zeiljachten) verdient het zo mogelijk



Figuur 2-1 Profiel van vrije ruimte

voorkeur een geheel vrije doorvaarthoogte te hebben. Overigens speelt dit probleem alleen indien een constructie met hefdeuren zou worden gekozen.

2.1.3 Waterkering

De schutsluis bevindt zich op een scheiding van twee waterniveaus en maakt zodoende deel uit van een (primaire) waterkering. De waterstand aan de Oosterschelde-zijde is variabel en kan zowel hoger als lager zijn dan aan de kanaal-zijde, m.a.w. er moet naar twee zijden gekeerd kunnen worden.

Gezien het feit dat de schutsluis ruim een jaar voor voltooiing van de stormvloedkering gereed moet zijn, moet rekening worden gehouden met een stormvloedpeil van NAP +4,50m. Hiermee wordt aansluiting verkregen aan de eisen waaraan thans alle dijken langs de Oosterschelde voldoen.

Voor het buitenhavenkanaal geldt, dat de maatgevende golfhoogte gering zal zijn bij extreem hoge waterstanden als gevolg van de beschutte ligging bij Westelijke winden.

Mede omdat genoemde waterstand slechts geldt voor de periode van een jaar tot het gereedkomen van de stormvloedkering, is voor de dijken langs het buitenhavenkanaal door Provinciale Waterstaat Zeeland en het Waterschap Noord- en Zuid-Beveland een kruinhoogte van NAP +5,50 m vastgesteld. Gerekend met het feit dat ook nog een gedeelte van de overhoogte voor klink en zetting aanwezig is, zal de feitelijke waakhoogte in dat bewuste jaar minimaal ca. 1,25 m bedragen.

In de situatie na voltooiing van de stormvloedkering zal dan een theoretische waakhoogte van 2,00 m aanwezig zijn.

Op basis van de maximale waterstand die verwacht wordt ná afsluiting van de Oosterschelde (NAP +3,50 m) is de hoogte van het sluisplateau vastgesteld op NAP +4,00 m. Hierbij is ervan uitgegaan dat enige overslag van water wordt geaccepteerd.

Dit betekent echter wel dat met het oog op het ontwerppeil vóór het gereedkomen van de stormvloedkering eventueel een tijdelijke noodkering over het buitenhoofd, tot een hoogte van 4,50 m moet worden aangebracht.

De zeedijk zuidelijk van het havenkanaal zal worden aangesloten op de bestaande zeedijk met een kruinshoogte van NAP +6,15 m.

De zeedijk noordelijk van het havenkanaal zal worden aangesloten op de in het kader van de partiële dijksverhoging verzwaarde dijk ten noorden van het Goessche Sas, met een kruinshoogte van NAP +8,00 m. Het verloop van de kruinshoogte naar de kruinshoogte van NAP +5,50 m langs het buitenhavenkanaal moet worden aangebracht over een lengte van ca. 300 m.

Een en ander heeft tot gevolg dat het dijkvak tussen het oude en het nieuwe havenkanaal een gering verzwaring ondergaat. Deze verzwaring kan worden uitgevoerd aan de zijde van het binnentalud.

Secundaire waterkeringen

De kruinshoogte van de dijken langs het binnenhavenkanaal zijn aansluitend op de bestaande situatie vastgesteld op NAP +3,00 m.

Voor een overzicht van bovengenoemde waterkeringen en hun aansluitingen wordt verwezen naar bijlage XI.

2.1.4 Waterhuishouding

De functie die de schutsluis vervult in de waterhuishouding wordt bepaald door de hoeveelheid water die moet worden doorgelaten. Het kwalitatieve aspect speelt geen rol, omdat het water in het havenkanaal van Goes zout water bevat, zodat geen speciale voorzieningen, zoals een zout-zoet-scheidingsstelsel, nodig zijn.

Het havenkanaal maakt deel uit van een afwateringseenheid van ca. 70 ha, bestaande uit het havenkanaal, enkele havens en haventerreinen in Goes (bijlage III).

Het probleem is hier overigens niet de waterafvoer, maar het op peil houden van het havenkanaal. In de huidige situatie geschiedt dit door natuurlijke waterinlaat via de sluis tijdens hoogwater. Na voltooiing van de stormvloedkering zal dit nog slechts in beperkte mate gedurende hoogwater springtij mogelijk zijn. Voor het op peil houden van het havenkanaal gedurende het grootste gedeelte van de tijd is daarom een gemaal geprojecteerd. De volgende beschouwing geeft enig inzicht in de benodigde capaciteit.

2.1.5 Gemaal

Het waterverlies van het havenkanaal wordt bepaald door:

- kwelverlies
- schutverlies
- lekverlies
- verdamping

Al in 1960 is door het bureau Witteveen en Bos een geohydrologisch onderzoek gedaan naar de kwel. Uit de in dit rapport beschreven metingen kan een kwelhoeveelheid van ca. 6300 m^3 per etmaal worden afgeleid. De kwel is voornamelijk toe te schrijven aan het kanaalgedeelte tussen Wilhelminadorp en de Oosterschelde.

Tengevolge van het maken van het nieuwe havenkanaal gedeelte zal de kwel toenemen tot ongeveer 9300 m^3 per dag.

De schutverliezen worden bepaald door het aantal schuttingen en het waterstandsverschil tussen havenkanaal en Oosterschelde.

Uitgaande van een gemiddelde waterstand (NAP) op de Oosterschelde bedraagt het verval gemiddeld 1,20 m. Per schutting gaat dan $1,20 \times B \times L'$ (m^3) verloren. Hierin is B de (nuttige) kolkbreedte en L' de kolk lengte, dus inclusief de schadelijke kolk lengte.

Voor het geval puntdeuren worden toegepast zal, omdat een dubbele kering noodzakelijk is, de schadelijke kolk lengte aanzienlijk zijn.

We zullen voorlopig voor L' 110 m aanhouden. Het waterverlies per

schutting is dan gemiddeld: $1,20 \times 12 \times 110 = 1584 \text{ (m}^3\text{)}$.

Zoals we in deel I hebben kunnen zien is de sluis 18 uur per etmaal in gebruik, waarvan 6 uur slechts in beperkte mate. We zullen aannemen dat op een uitzonderlijk drukke dag 15 uur continu geschut wordt (12 uur vol en 6 uur 50%).

Uitgaande van éénrichtingsverkeer met een cyclustijd van gemiddeld ongeveer 30 minuten, gaat per dag verloren:

$$15 \times 60/30 \times 1584 = 47\,520 \text{ m}^3$$

Rekening houdend met verdamping en lekverliezen, welke bij toepassing van puntdeuren wel enkele duizenden m^3 per dag kunnen zijn, zal het gemaal dus maximaal ca. $60\,000 \text{ m}^3$ per dag (ca. $42 \text{ m}^3/\text{min}$) moeten kunnen verwerken. Er is dan sprake van een redelijk gemaal. Bovendien zal de werkelijkheid gunstiger zijn, omdat:

- de aannamen tamelijk veilig gekozen zijn
- er op een topdag veeleer sprake zal zijn van tweerichtingsverkeer, m.a.w. minder schuttingen (cyclustijd ca. 40 min).

Bij een volledig tweerichtingsverkeer bedraagt het maximale schutverlies per dag:

$$15 \times 60/40 \times 1584 = 35\,640 \text{ m}^3$$

De werkelijkheid zal tussen de beide extreme waarden inliggen. Indien rol- of hefdeuren worden toegepast, zal het resultaat gunstiger zijn, omdat:

- de waterverliezen kleiner zijn vanwege de betere afdichting
- de schadelijke kolk lengte kleiner is

Stel de kolk lengte (L') op 100 m, dan is de besparing t.o.v. een sluis met puntdeuren op een topdag:

$$30 \times (110 - 100) \times 12 \times 1,2 = 4320 \text{ m}^3$$

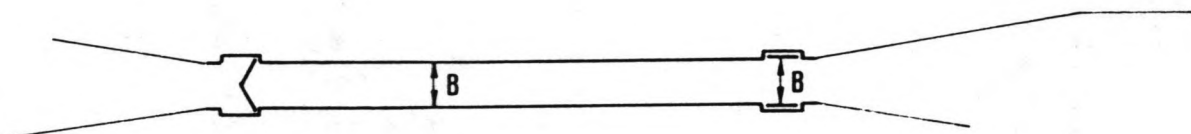
Met minder lekverliezen tesamen dus een besparing van ca. 8 à 10% op de gemaalcapaciteit. Ook de exploitatiekosten zullen dan 8 à 10% lager uitvallen.

De plaats van het gemaal kan worden gekozen ter plaatse van de kleinste afstand tussen het (nieuwe) buitenhavenkanaal en het bestaande havenkanaal (bijlage XI). Hoewel niet meer in gebruik door de scheepvaart, zal dit gedeelte in verbinding blijven met het (toekomstige) havenkanaal.

2.2 Vormgeving

2.2.1 Kolk en hoofden

Als algemene regel geldt dat bij moderne schutsluizen de sluis-hoofddoorvaartbreedte gelijk is aan de schutkolkbreedte, zodat van een doorgande wand kan worden gesproken (Fig 2-2).

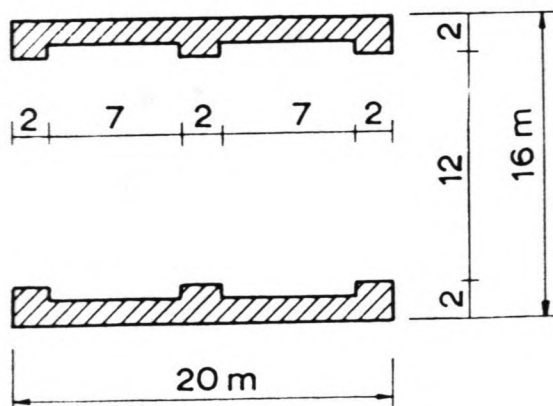


Figuur 2-2

Uitgaande van de hoofdafmetingen van de sluis kunnen de werkelijke afmeting worden geschat.

De afmetingen van het sluishoofd zijn afhankelijk van het toegepaste deurtype:

- bij toepassing van puntdeuren zal de lengte ongeveer 20 m bedragen (dubbele kering); de breedte is gelijk aan de nuttige kolkbreedte + muurdikte inclusief deurkassen = ca. 16 m (Fig 2-3).



Figuur 2-3

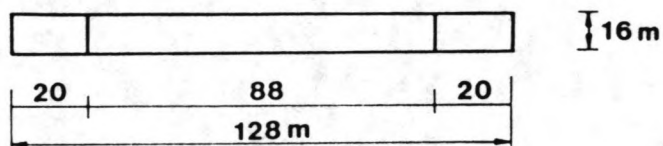
Nemen we voor de vloerdikte eveneens 2 m aan, dan zijn de (globale) sluisafmetingen:

lengte ca 128 m

breedte ca 16 m

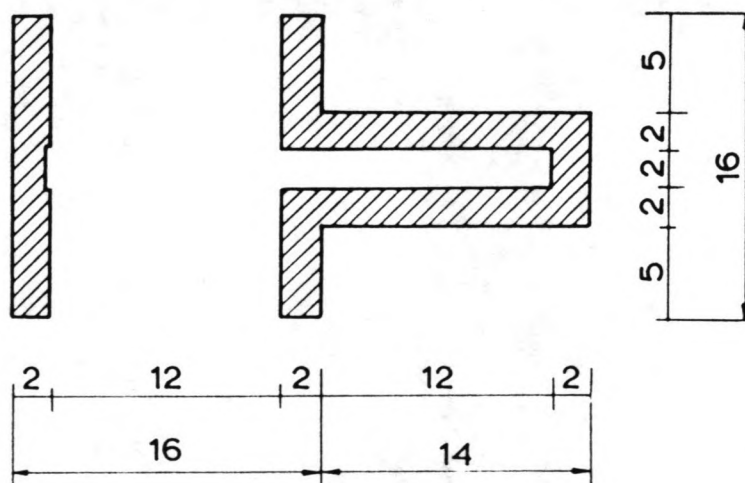
onderkant sluisvloer NAP -6,50 m

Figuur 2-4



- bij toepassing van roldeuren wordt de lengte van het sluis-
hoofd bepaald door de stabiliteit. We zullen voorlopig aannemen
dat dit ca. 16 m zal bedragen. Wel is extra ruimte nodig in de
dwarsrichting (deurkas); naar schatting deurlengte (= kolkbreed-
te) + muurdikte = ca. 14 m (Fig 2-5).

Figuur 2-5



De sluisafmetingen bedragen in dit geval:

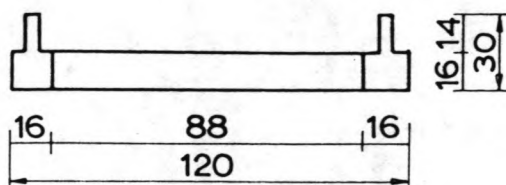
lengte ca 120 m

breedte kolk ca 16 m

breedte hoofden ca 30 m

onderkant sluisvloer NAP -6,50 m

Figuur 2-6



- hefdeuren kunnen hier buiten beschouwing blijven, omdat het ruimtebeslag (in het horizontale vlak) kleiner zal zijn dan van een sluis met puntdeuren (lengte) of roldeuren (breedte).

2.2.2 Havenmonding

De uitmonding van het nieuwe havenkanaal is geprojecteerd ten zuiden van de bestaande sluis.

Ten noorden van de bestaande sluis zou de havenmond direkt in de stroomgeul komen te liggen hetgeen zeer ongunstig is. Bovendien zou de bebouwing ten noorden van de bestaande sluis worden ingesloten tussen het oude en nieuwe havenkanaal. Tenslotte kan nog worden opgemerkt dat zich aan de noordzijde mosselpercelen bevinden.

De buitendijkse vooroever ten zuiden van de sluis wordt gevormd door een ondiep voorland. Ter plaatse van de dijk is de hoogteligging NAP +0,50 m. De helling van het voorland is ongeveer 1:50.

Uit metingen van de Deltadienst blijkt dat tijdens vloed in de periode 5 à 6 uur voor hoogwater tot 1 uur na hoogwater een neer wordt aangedreven, die in noordelijke richting dwars over het tracé van de nieuwe kanaalmonding een stroming veroorzaakt. Gedurende deze periode zal, bij afwezigheid van een havendam aan de zuidzijde, het door golfbeweging in suspensie gebrachte sediment van het ondiepe voorland naar de kanaalmonding worden getransporteerd.

Door het Waterloopkundig Laboratorium zijn berekeningen uitgevoerd naar de omvang van dit transport. Voor diverse waarden van de mediane korrelgrootte D_{50} en de bodemruwheid r is het jaarlijkse sediment transport berekend.

Bij een D_{50} van 100 - 150 μ en een bodemruwheid van 0,01 - 0,03 m is een jaarlijks sedimentaanbod van 20 000 - 70 000 m^3 mogelijk. Dit transport is betrekkelijk gelijkmatig verdeeld over het jaar, hetgeen ondermeer blijkt uit het feit dat het sedimentaanbod ten gevolge van een storm met een overschrijdingsfrequentie van een keer per jaar 1200 - 3000 m^3 bedraagt.

Uitgaande van een oppervlak van de voorhaven van ca. 20 000 m^2 is dan een gemiddelde jaarlijkse bodemverhoging van 1,00 - 3,50 m mogelijk.

Hierbij moet worden opgemerkt dat aan deze cijfers geen absolute nauwkeurigheid mag worden toegekend, gezien de mogelijke afwijkingen tussen aangenomen en werkelijke sedimentkarakteristieken. Verder is in de berekening geen rekening gehouden met een nieuwe lagere evenwichtsligging.

Het voorland wordt als een belangrijk onderdeel van de zeewering beschouwd. De bovenlaag bestaat uit een holoceen zandpakket van ca. 20 m dikte welke gevoelig is voor zettingsvloeiing. Hier ter plaatse is in het verleden een omvangrijke dijkval opgetreden.

2.2.3 Havendammen

Bij de beoordeling van de noodzaak van een Zuidelijke-havendam zijn de volgende aspecten in overweging genomen:

- de omvang van de noodzakelijke onderhoudsbaggerwerken in de voorhaven moet binnen redelijke grenzen blijven, zowel vanuit oogpunt van kosten als vanuit oogpunt van veiligheid voor de scheepvaart.
- de aantasting van de buitendijkse vooroever moet zoveel moge-

gelijk worden voorkomen, gezien het zettingsvloei gevoelige karakter van de ondergrond.

- de zuidelijke havendam mag het stroombeeld niet te veel verstoren, omdat dit zou kunnen noodzaken tot aanvullende bestortingen op de onderzeese vooroever van de nabij gelegen stroomgeul.
- bij het toepassen van een havendam wordt de voorhaven als het ware buitendijksverlengd, waardoor een minder grote lengte aan primaire waterkering langs het buitenhavenkanaal nodig is.
- het toepassen van een havendam biedt de scheepvaart een betere (visuele) geleiding.

Een en ander heeft geleid tot de conclusie dat een optimale oplossing wordt verkregen bij toepassing van een zuidelijke havendam tot aan NAP -3,00 m dieptelijn met een kruinhoogte van NAP +2,00 m.

Een Noordelijke havendam wordt noodzakelijk geacht om de volgende redenen:

- in verband met het beperken van eventuele aanzanding in de havenmond tengevolge van uitwisseling in de zich aldaar bevindende neer, dient de breedte van de havenmond beperkt te zijn.
- het bieden van een goede geleiding aan de scheepvaart.
- het beperken van golfdoordringing

De koppen van de havendammen worden voorzien van sektorlichten.

Omdat de havendammen bij waterstanden hoger dan NAP +2,00 m geheel onder water staan, is het noodzakelijk om het bevaarbare gedeelte van de zuidelijke oever te markeren met steekbakens.

2.2.4 Buithavenkanaal

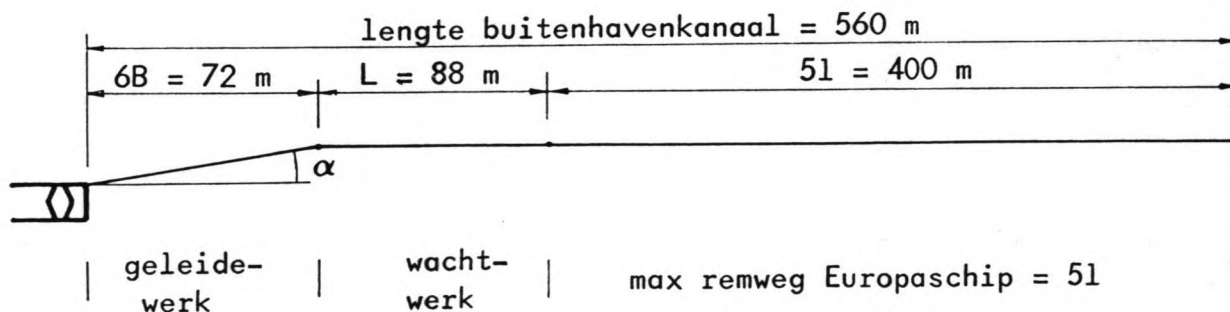
De lengte van de voorhaven wordt bepaald door:

- de lengte benodigd voor afstoppen en manoevreren; de stroomgeul in de Oosterschelde bevindt zich nabij de haveningang, zodat een schip tijdens invaren i.h.a. een dwarsstroom ondervindt. Het schip zal dan ook onder vol vermogen de voorhaven invaren. Vanaf de havenmond tot aan het wachtwerk is dan een lengte van vijfmaal de scheepslengte nodig om af te stoppen en de benodigde koerscorrecties uit te voeren. Voor een Europeaschip ($l = 80 \text{ m}$) is dus een lengte van $5 \times 80 = 400 \text{ m}$ vereist.
- de lengte van de wacht- en geleidewerken. De afmetingen van het wachtwerk worden gelijk gesteld aan de kolkafmetingen:
 $B \times L = 12 \times 88 \text{ m}$.

Voor het geleidewerk (Fig 2-7) geldt in Nederland i.h.a. dat $\text{tg } \alpha = 1:6$, zodat de lengte $6 \times B = 72 \text{ m}$ bedraagt.

De totale lengte van het buithavenkanaal is dus:

$$400 + 88 + 72 = 560 \text{ m.}$$

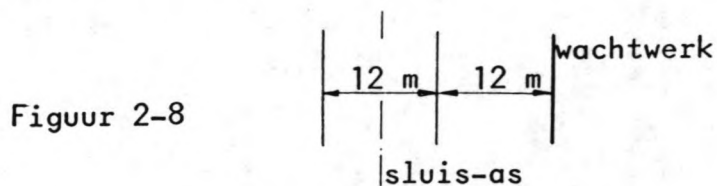


Figuur 2-7

Het dwarsprofiel van de voorhaven wordt bepaald door de volgende eisen:

- het dwarsprofiel bij de wachtplaatsen moet voldoen aan de eis dat een langs de kolkwand uitvarend (maatgevend) schip met voldoende speling vrij blijft van een aan het wachtwerk liggend

(maatgevend) schip. Voor de afmetingen van de wachtplaats wordt de kolkafmetingen aangehouden (dus $B = 12 \text{ m}$).

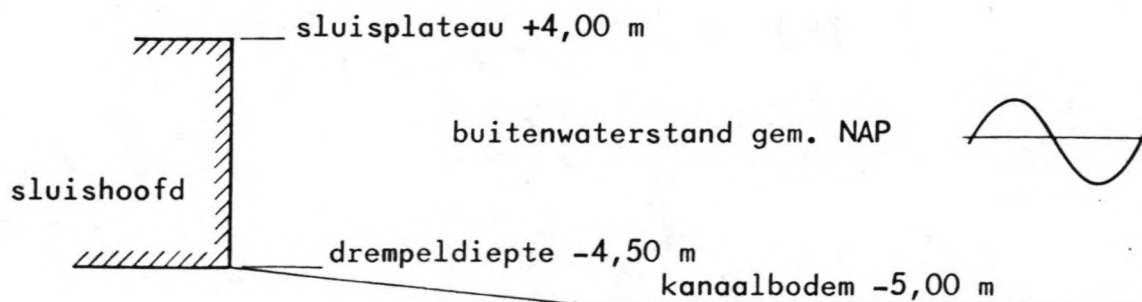


- het dwarsprofiel vóór de wachtplaats wordt bepaald door de eis dat twee in hun eigen vaarstrook varende schepen elkaar kunnen passeren.

Ten behoeve van koerscorrecties na invaart is een verruiming direkt achter de havenmond gewenst. Dit is op eenvoudige wijze te realiseren door de situering van de zuidelijke havendam aan te passen. De richting van de havenmond is dan iets gedraaid t.o.v. de sluis-as. Hierdoor komt de invaart ongeveer loodrecht op de stroomrichting te staan.

De bodemdiepte van de voorhaven wordt bepaald door de eis dat een schip bij LWS = NAP $-1,50 \text{ m}$ de wachtplaats moet kunnen bereiken. Uitgaande van een diepgang van $2,50 \text{ m}$, een marge van $0,50 \text{ m}$ voor golven en afwaaiing alsmede een minimale kielspeling van $0,50 \text{ m}$, betekent dit een bodemligging op NAP $-5,00 \text{ m}$. Nabij de sluis loopt de (verdedigde) kanaalbodem op tot de drempeldiepte (NAP $-4,50 \text{ m}$).

Het kanaalpeil varieert met de waterstand op de Oosterschelde, gemiddeld ongeveer NAP.

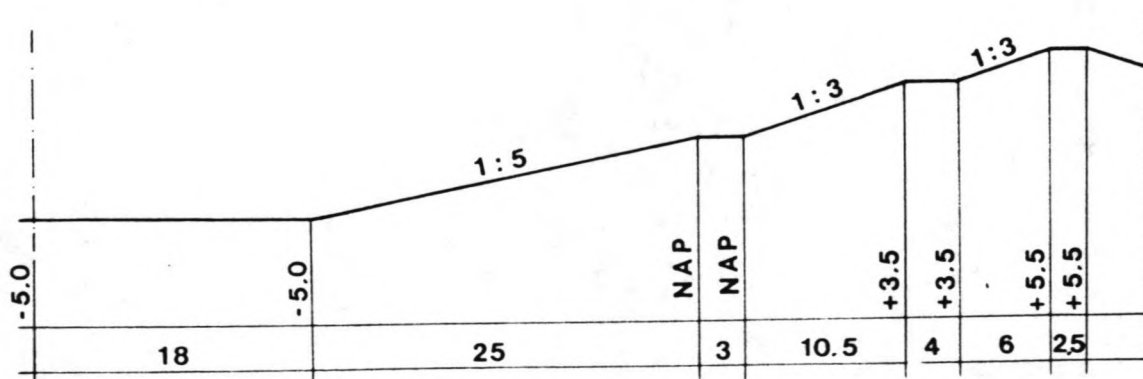


Figuur 2-9

Uit gegevens van het Waterloopkundig Laboratorium blijkt, dat de golfdoordringing in de voorhaven beperkt is, mede onder invloed van het golfdempende talud dat ontstaat aan het wortel-eind van de zuidelijke havendam. Tengevolge van de nabij gelegen Vondelingenplaat is de strijklengte in de richting van de kanaal-as gering. De voor golfdoordringing maatgevende golven komen uit de richting zuid-oost (105°). De golven uit de richting noord-west (330°) diffracteren zodanig sterk, dat de resterende golf in de as-richting van de voorhaven gering is.

In aansluiting op de bestaande waterkeringen wordt voor de dijken langs het buitenhavenkanaal uitgegaan van:

- een taludhelling 1:5 beneden NAP en 1:3 boven NAP.
- twee tussenbermen; ter hoogte van NAP met een breedte van 3,0 m en ter hoogte van NAP +3,50 m met een breedte van 4,00 m.
- een kruinhoogte van NAP +5,50 m; de breedte bedraagt 2,5 m.
- ter weerszijde van het havenkanaal zullen de dijken worden aangesloten op de bestaande waterkeringen (paragraaf 2.1.3).



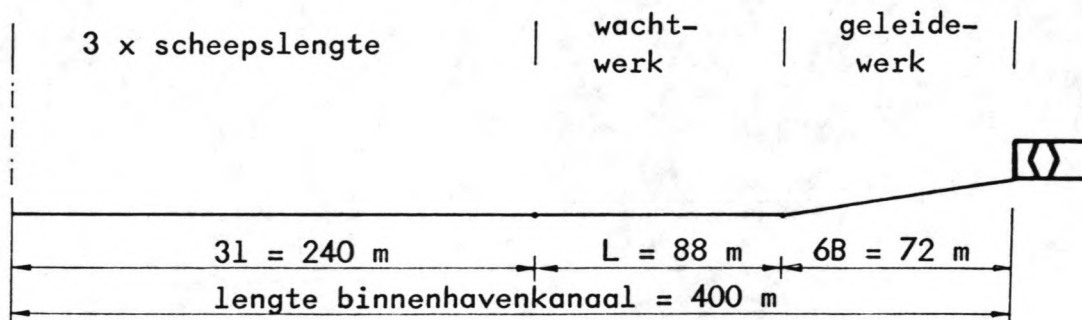
Figuur 2-10

2.2.5 Binnenhavenkanaal

De lengte van het binnenhavenkanaal, d.w.z. het gedeelte vanaf de sluis tot de aansluiting met het bestaande havenkanaal, wordt bepaald door:

- de lengte benodigd voor het afstoppen vanaf het aansluitpunt. Hiervoor kan worden uitgegaan van driemaal de scheepslengte. Integenstelling met het buitenhavenkanaal is geen extra manoeuvreerruimte nodig voor koerscorrecties en evenmin hoeft een schip op vol vermogen te draaien t.p.v. het aansluitpunt. Zonodig kan een vaarvoorschrift worden ingesteld.
- de lengte van wacht- en geleidewerken; hiervoor gelden dezelfde principes als bij het buitenhavenkanaal.

De totale lengte bedraagt dus: $3 \times 80 + 88 + 72 = 400$ m.



Figuur 2-11

Voor het dwarsprofiel gelden m.b.t. de breedte maten dezelfde eisen als bij het buitenhavenkanaal.

De huidige kanaalbodem ligt op NAP -2,0 m. Dit betekent dat voor een Europaschip nog juist voldaan zou worden aan de minimaal vereiste diepte: diepgang + 30% = $2,5 + 0,3 \times 2,5 = 3,25$ m.

Aangezien het kanaalpeil NAP +1,20 m is, maar i.h.a. iets hoger (NAP +1,40 m) gehouden wordt. Hierbij kan worden vermeld, dat:

2.3 Kanaal-as en sluissituering

De ligging van de kanaal-as t.o.v. het bestaande binnenhavenkanaal wordt bepaald door:

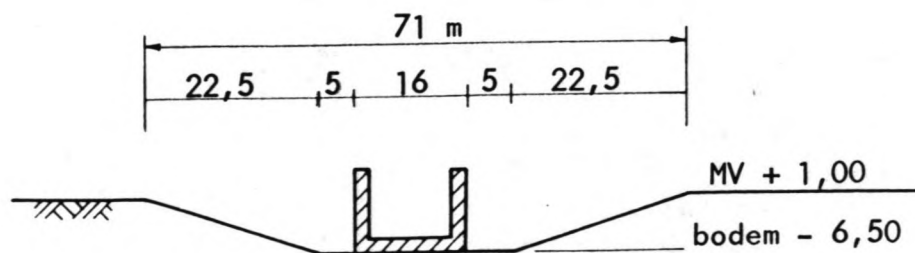
- de lengte van het sluiscomplex, inclusief binnen- en buitenhavenkanaal. Deze lengte bedraagt:

sluislengte	128 m
binnenhavenkanaal	560 m
buitenhavenkanaal	400 m
totaal	ca 1090 m

De monding ligt t.p.v. de NAP -3,00 m lijn, aangezien de havendammen tot deze diepte geprojecteerd zijn.

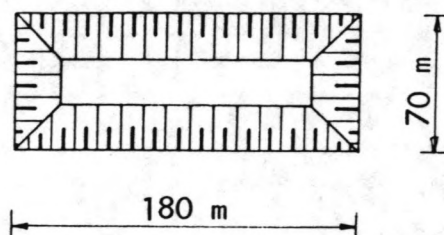
Aan de andere zijde sluit het (binnenhaven)kanaal aan op het bestaande havenkanaal.

- in de breedterichting t.o.v. de bestaande dijken langs het huidige havenkanaal, zodanig dat voldoende ruimte aanwezig is:
 - t.p.v. het buitenhavenkanaal om het kanaal en de waterkeringen aan te leggen
 - t.p.v. de sluis, om een bouwput aan te leggen. De bouwput moet bereikbaar zijn en tevens moet er voldoende werkruimte om de bouwput aanwezig zijn. We gaan er hier voorlopig vanuit dat een traditionele bouwput mogelijk zal zijn. De afmetingen bedragen in dat geval (globaal): 180 x 70 m ter hoogte van het maaiveld; taluds 1:3 en bodem op NAP -6,5 m.



Figuur 2-13 Dwarsdoorsnede bouwput

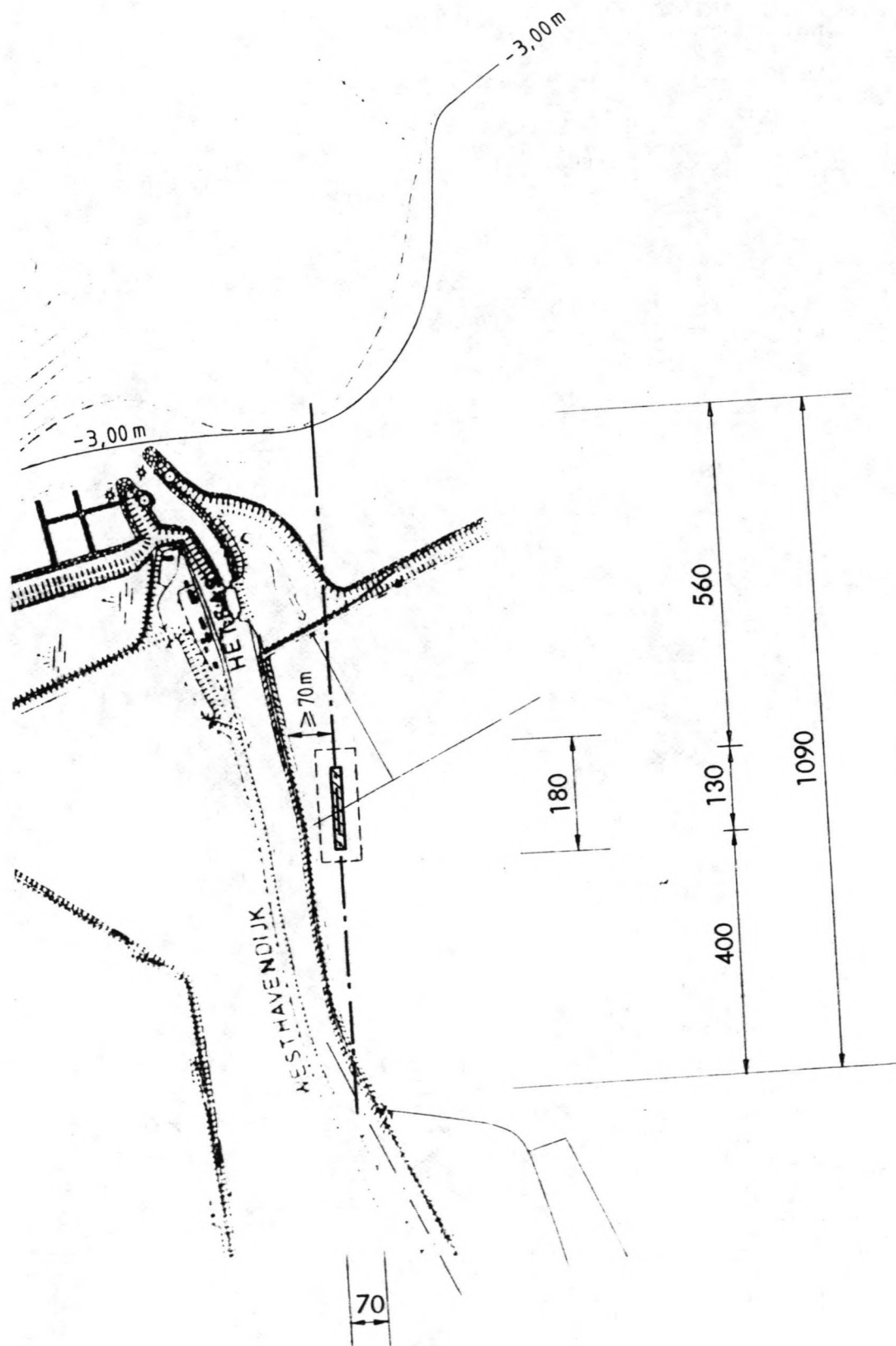
Figuur 2-14 Bovenaanzicht
bouwput



Extra werkruimte is voldoende aanwezig aan de zijde welke niet grenst aan de bestaande waterkeringen. Eveneens is nog enige ruimte tussen bouwput en bestaande waterkeringen geboden, we zullen hiervoor ca. 20 m vanaf de teen van de bestaande dijk aanhouden.

Aan de hand van de aldus vastgestelde afmetingen is de toekomstige situatie in de huidige ingepast (fig 2-15).

Voor nadere uitwerking van de in dit hoofdstuk behandelde onderwerpen wordt verwezen naar bijlage XI.



Figuur 2-15 Ligging bouwput en sluis-as

2.4 Uitvoering

Op basis van globale afmetingen is een geschikte plaats voor de schutsluis c.s. vastgesteld. Nu is de vraag aan de orde of de gekozen oplossing ook kan worden gerealiseerd. M.b.t. de plaats van de schutsluis is het belangrijkste aspect het type bouwput dat kan of moet worden toegepast.

In dit stadium is het van belang nog zoveel mogelijk oplossingsprincipes voor de constructie van met name schutkolk en sluis- hoofden open te houden. We zullen daarom eerst nagaan of een "klassieke" bouwput mogelijk is. Deze oplossing heeft eventueel de meeste consequenties voor de omgeving (groot ruimte beslag, bemaling). Daarna zullen enige alternatieven worden aangegeven.

2.4.1 Methode van uitvoeren

Met betrekking tot de bouw van waterbouwkundige werken kunnen i.h.a. drie werkwijzen worden onderscheiden:

- 1) In het water wordt een tijdelijke rondgaande waterkering opgeworpen. Na het droogpompen van de aldus omsloten ruimte wordt daarin het eigenlijke kunstwerk gebouwd.
- 2) Het kunstwerk wordt op het land buiten de oorspronkelijke waterloop in een aldaar te graven bouwput gebouwd. Na voltooiing wordt de waterloop dusdanig verlegd, dat het kunstwerk daarin is opgenomen.
- 3) Het kunstwerk wordt elders geprefabriceerd, drijvend vervoerd en op zijn definitieve plaats afgezonken door het aanbrengen van ballast.

In ons geval moet de oude sluis in gebruik blijven gedurende de bouw van de nieuwe sluis. Dit betekent al direkt dat voor de nieuwe sluis een andere plaats moet worden gekozen. Methode 2 is dan het meest voor de hand liggend: uitgaande van de in de vorige paragraaf vastgestelde plaats ten zuiden van de bestaande

sluis wordt ter plaatse een bouwput gegraven, waarin de nieuwe sluis kan worden gebouwd. Na het graven van een nieuw binnen- en buitenhavenkanaal wordt op de bestaande vaarwegen aangesloten.

Uitgaande van een betonconstructie, en daar is in ieder geval wat betreft de sluishoofden sprake van, is een klassieke bouwput vrijwel altijd de goedkoopste oplossing. Bizardere omstandigheden, zoals eisen die voortvloeien uit de (direkte) omgeving, kunnen er echter toe leiden dat naar een alternatief moet worden gezocht.

We zullen nu eerst nagaan of een klassieke bouwput technisch mogelijk is. Is dit namelijk het geval, dan behoeft een alternatief slechts te worden overwogen, indien dit uit economisch oogpunt de voorkeur verdient. Een en ander hangt nauw samen met de constructie van kolk en hoofden. In dit stadium zullen enige mogelijkheden worden genoemd.

2.4.2 Klassieke bouwput

Onder een klassieke bouwput wordt verstaan: Een door taluds begrensde ingraving, waarin de bodem ligt op het niveau van de onderzijde van het te maken kunstwerk en waarvan de breedte correspondeert met de buitenmaten van de definitieve constructie, vermeerderd met enige ruimte voor het plaatsen van bekisting en werkruimte.

De eigenlijke bouw van de sluis geschiedt in den droge en dus is een bemaling nodig om gedurende de uitvoering het grondwater tot beneden de putbodem te verlagen.

De ontgraving kan droog worden verricht of worden gebaggerd. In het eerste geval wordt de grondwaterstand d.m.v. de reeds aangebrachte bemaling tot het gewenste niveau verlaagd, waarna m.b.v. graafmachines (laadschoppen etc.) de bouwput wordt gegraven.

Indien de bouwput zich nabij open water bevindt, kan worden overwogen om de put te baggeren. Dit verdient in ons geval echter niet de voorkeur, omdat:

- er een toegangsgeul moet worden gegraven. Dit kan moeilijk aan de buitenzijde geschieden (primaire waterkering, variabele waterstanden t.g.v. het getij), zodat de gedachte dan moet uitgaan naar het graven van het binnenhavenkanaal, waarin dan de bouwput zou moeten worden opgenomen. Deze moet vervolgens van dit kanaal worden afgesloten door een dam (of damwand), welke tenslotte weer verwijderd moet worden: een nogal omslachtige werkwijze.
- bovendien eerst het (binnen)havenkanaal moet worden gegraven en daarna pas met de bouw van de eigenlijke sluis kan worden begonnen. Indien een afzonderlijke bouwput wordt gegraven kan direkt met de bouw van de eigenlijke sluis worden aangevangen en kan gelijktijdig met de aanleg van binnen- en buitenhavenkanaal inclusief waterkeringen worden begonnen. Gezien de beperkte tijd die hiervoor beschikbaar is, de sluis moet gereed zijn voordat de dorpelbalken in de stormvloedkering zijn aangebracht, moet hieraan de voorkeur worden gegeven.
- door droge ontgraving kan op eenvoudige wijze "selectief" worden ontgraven. De topkleilaag kan worden gebruikt als bekledingsmateriaal voor de nieuwe waterkeringen. Het zand kan worden gebruikt als kernmateriaal van de dijken of voor de anaarding van de bouwput. De overige grond, d.w.z. de klei die beneden een diepte van NAP à NAP -0,50 m voorkomt, kan worden gebruikt voor de ophoging van het terrein tussen het bestaande en het nieuwe havenkanaal.

De taluds worden in de regel zo steil mogelijk opgezet teneinde het grondverzet (ontgraven en later weer aanvullen) zoveel mogelijk te beperken. Op grond van het bodemonderzoek in nu een ge-

detaillieerde evenwichtsberekening noodzakelijk om de toelaatbare taludhelling vast te stellen.

Voor homogene grond kan de taludhelling op eenvoudige wijze worden bepaald m.b.v. het diagram van Taylor (Fig 2-16).

Voor zandige klei, die voorkomt op een diepte van NAP -0,5 tot -2,5 m, geldt:

$$\delta = 17,5 \text{ kN/m}^3 = 1,75 \text{ t/m}^3$$

$$\phi = 22,5^\circ$$

$$c = 2,0 \text{ kN/m}^2 = 0,02 \text{ kg/m}^2$$

$$H = 7,5 \text{ m}$$

Uit de figuur volgt dan: $\alpha \geq 29^\circ$

Voor zand, welke voorkomt beneden een diepte van NAP -2,5 m, geldt:

$$\delta = 20,0 \text{ kN/m}^3 = 2,0 \text{ t/m}^3$$

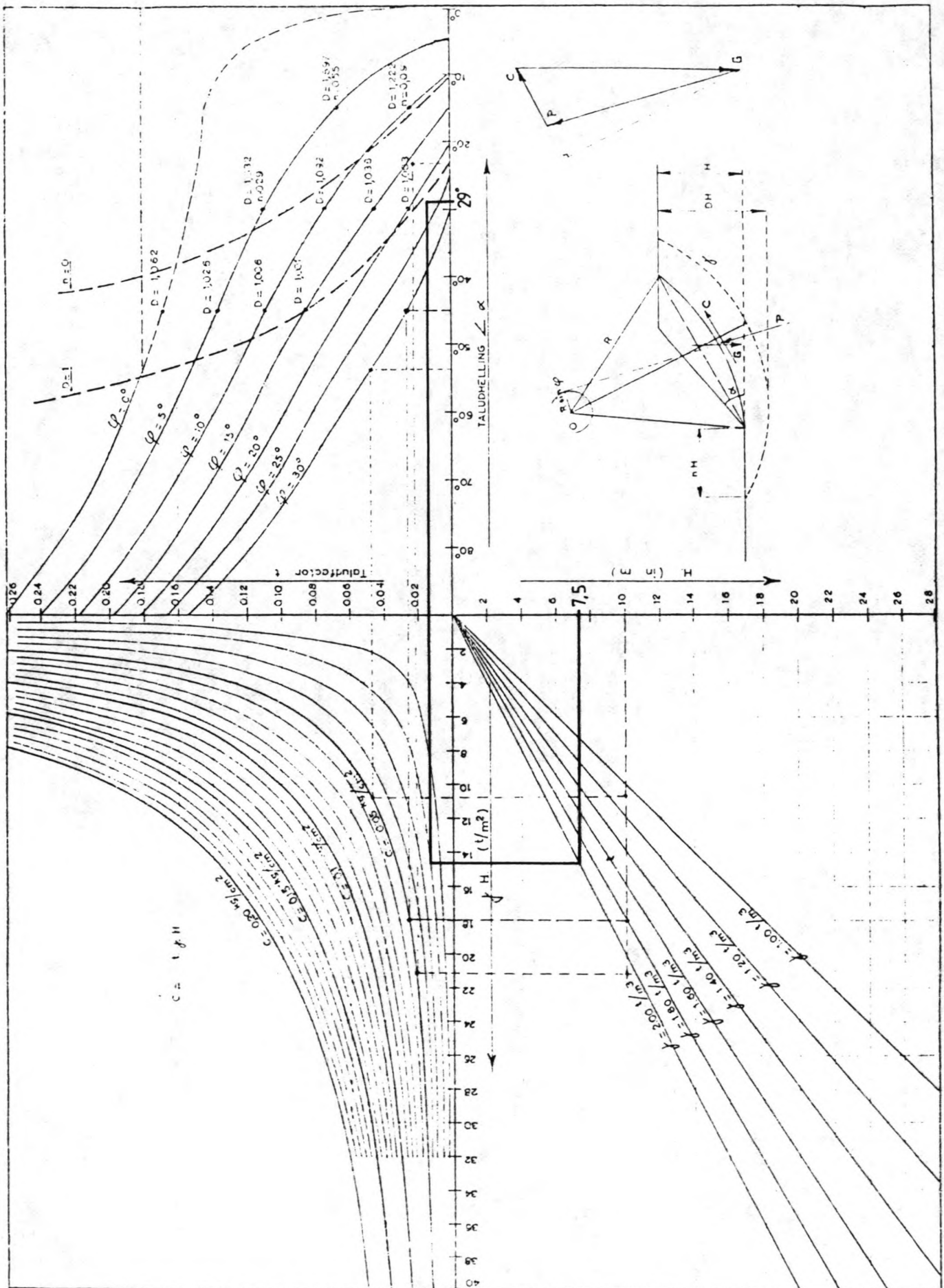
$$\phi = 27,5^\circ$$

$$c = 0$$

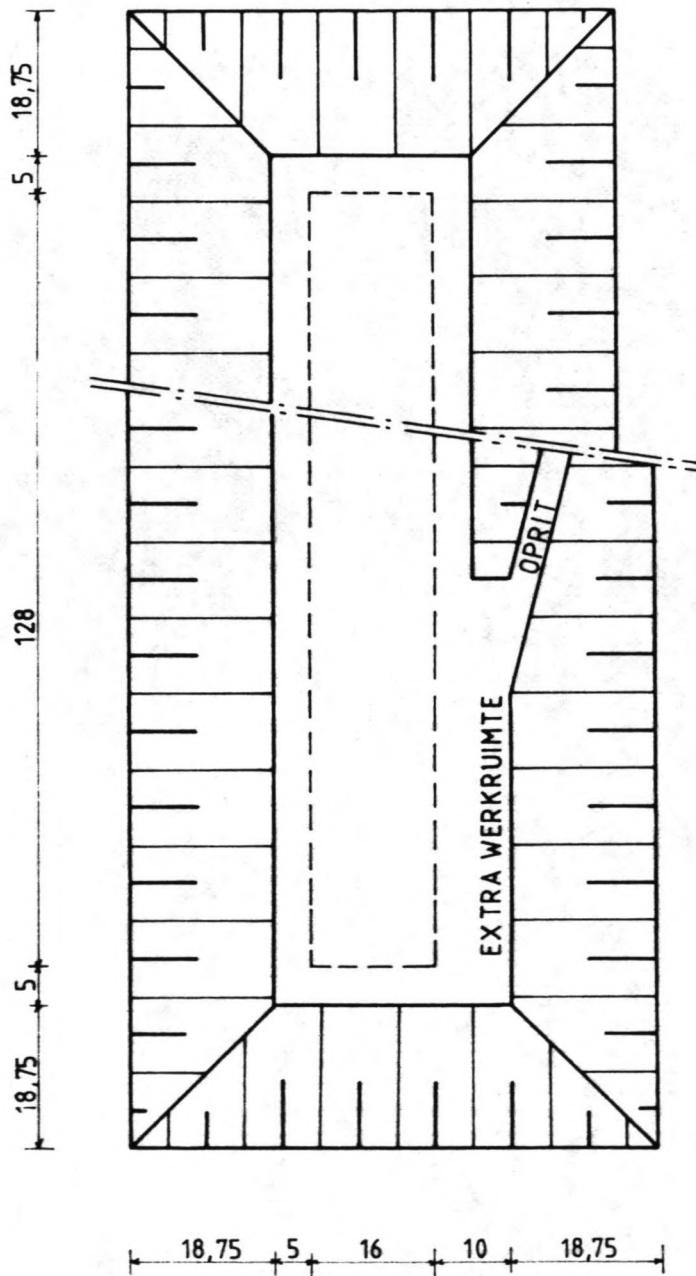
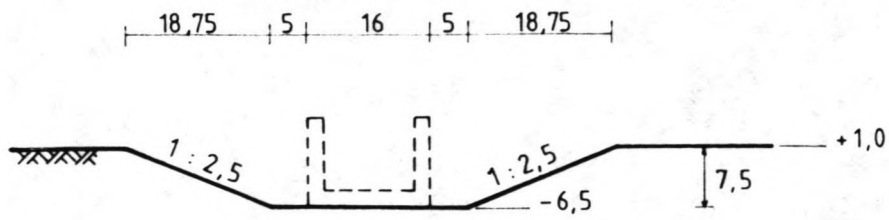
$$H = 7,5 \text{ m}$$

waaruit volgt dat $\alpha \geq 27,5^\circ$ (ca. 1:2).

Nemen we in overweging dat in werkelijkheid de grond niet homogeen is, dat nog een bovenbelasting kan optreden en bovendien nog een zekere veiligheid in acht moet worden genomen, dan mag worden aangenomen dat een taludhelling van 1:2,5 mogelijk is. Rekening houdend met een werkstrook van ca. 5 m rondom de constructie, zal de hoeveelheid grondverzet (inhoud bouwput) ca. $52\,000 \text{ m}^3$ bedragen (Fig 2-17).



Figuur 2-16 Diagram van Taylor voor de berekening van de stabiliteit van een taludhelling



HOEVEELHEID GRONDVERZET

$26 \times 128 \times 7,5 =$	24 960
$5 \times 40 \times 7,5 =$	1 500
$(0,5 \times 7,5 \times 18,75) \times (2 \times 128 + 26 + 31) =$	22 008
$4 \times \frac{1}{3} (7,5 \times 18,75^2) =$	3 516
	TOTAAL: 51 984 m ³

Figuur 2-17 Bouwput

Tijdens de uitvoering moet de bouwput droog gehouden worden d.m.v. een bemaling, waarbij het wenselijk is de grondwaterstand tot ca. 0,50 m beneden de putbodem te verlagen.

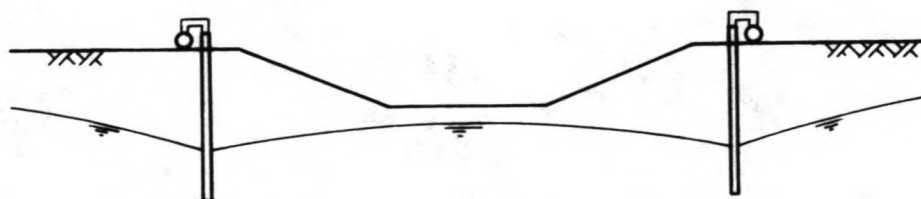
In principe zijn twee bemalingstypen mogelijk:

- 1) open bemaling
- 2) bronbemaling, waarbij kan worden onderscheiden:
 - vacuumbemaling met gesloten putten
 - vacuumbemaling met open putten
 - bemaling met onderwaterpompen

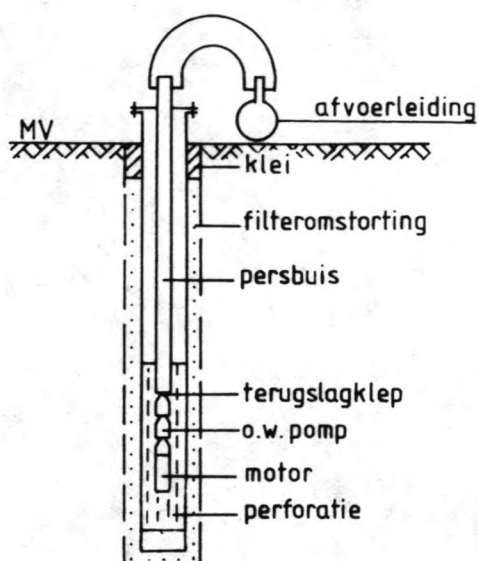
Doordat de onderdruk nooit meer kan zijn dan de atmosferische druk, is de grondwaterstandsverlaging, die met een vacuumbemaling kan worden bereikt, maximaal ca. 4 m. Indien een grotere grondwaterstandsverlaging nodig is, moet een vacuumbemaling in trappen worden aangebracht.

Bij onderwaterpompen (Fig 2-19) geldt de beperking door de zuighoogte niet. De grotere verlaging van de grondwaterstand die kan worden bereikt, maakt dit type in ons geval aantrekkelijk: de grondwaterstandsverlaging bedraagt ca. 7,50 m.

De installatie is bedrijfszekerder dan bij vacuumbemaling, mits men er voor zorgt dat de pomp diep genoeg hangt om droogvallen te voorkomen. De capaciteit van de pompen die in de waterbouw worden toegepast bedraagt 40 tot 100 m³/uur.



Figuur 2-18 Bemaling bouwput



Figuur 2-19 Onderwaterpomp

Als nadelen van een klassieke bouwput kunnen worden genoemd:

- het relatief grote ruimte beslag

In ons geval levert dit echter geen problemen op. De hoeveelheid grondwerk is voorts een kwestie van kosten en moet worden afgewogen tegen een eventuele alternatieve oplossing.

- gevolgen van de bemaling voor de omgeving

Het aanbrengen van een bemaling in de nabijheid van waterkeringen heeft tot gevolg dat deze een zekere zetting ondergaan.

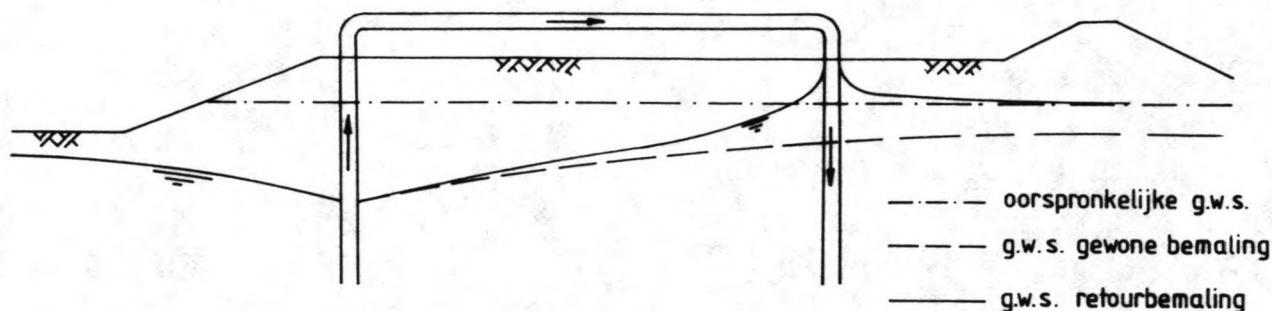
Voor de bestaande waterkeringen en met name de oude sluis, die deel uitmaakt van een primaire waterkering, wordt dit ontoelaatbaar geacht.

Dit betekent dat niet met een gewone bemaling kan worden volstaan. Om dit probleem te ondervangen zijn de volgende oplossingen mogelijk:

- het toepassen van een damwandkuip
- het aanbrengen van een retourbemaling

Toepassing van een bouwput met natuurlijke taluds, ook als een

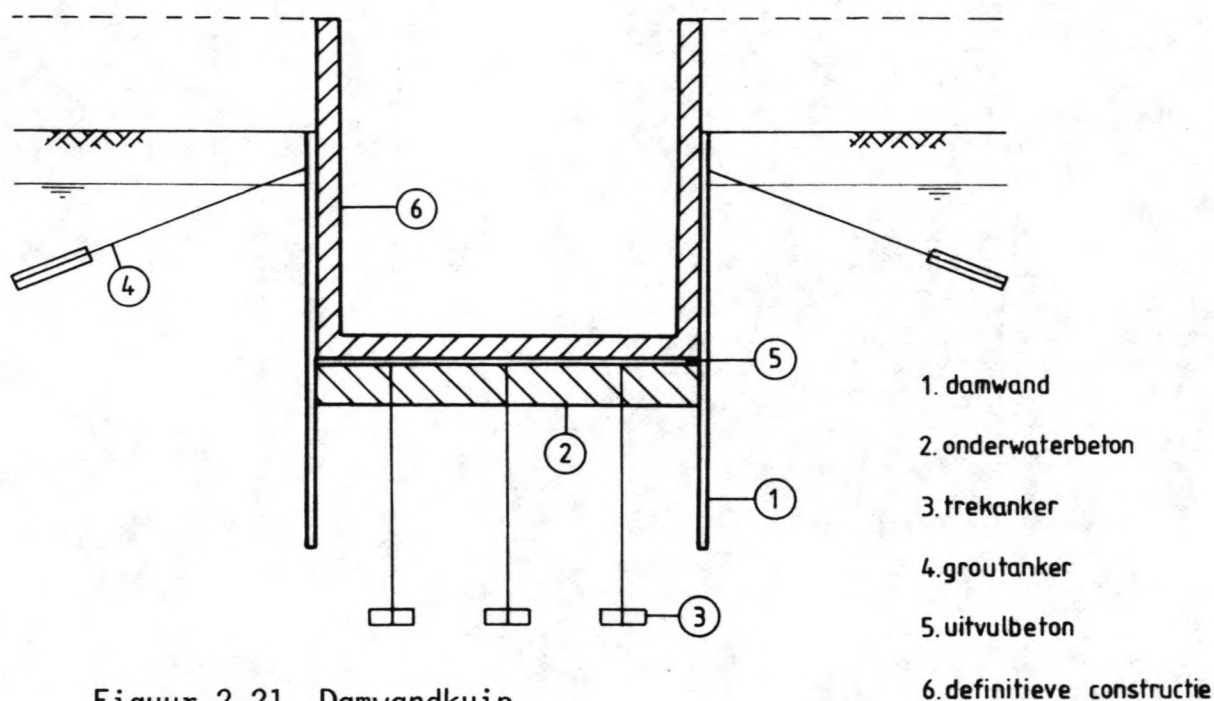
retourbemaling (Fig 2-20) wordt toegepast, blijft een relatief eenvoudige oplossing in vergelijking met de constructie van een damwandkuip. Zeker als de damwandconstructie (Fig 2-21) als afzonderlijke hulpconstructie wordt toegepast, vormt dit een economisch minder aantrekkelijke oplossing.



Figuur 2-20 Principe van een retourbemaling

Ten aanzien van de damwandconstructie kan voorts worden opgemerkt, dat een stempelraam niet goed mogelijk is, zodat een lang damwand met groutankers moet worden toegepast. Om opdrijven van de (onderwater) betonvloer te voorkomen, moet deze een dikte van 3 à 4 m hebben of moeten trekankers (of palen) worden aangebracht.

Een en ander heeft een relatief dure constructie tot gevolg, waarbij bovendien het grootste deel van de (hulp) constructie als verloren moet worden beschouwd.



Figuur 2-21 Damwandkuip

2.4.3 Alternatieve oplossingen

Uitgaande van een damwandkuip verdient het overweging na te gaan of dit niet op de een of andere manier kan worden gecombineerd met de definitieve constructie van de sluis. Tot nu toe is min of meer stilzwijgend uitgegaan van een betonnenbakconstructie, niet alleen omdat dit veelvuldig toepassing vindt, maar vooral omdat, ook al wordt als kolkconstructie bijvoorbeeld een stalen damwand toegepast, de hoofden toch zeker van beton worden gemaakt.

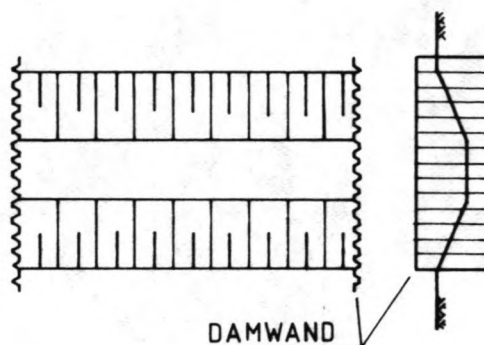
Hoewel de constructie van kolk en hoofden hier (nog) niet aan de orde is, zullen we in het kort nagaan welke alternatieve bouwmethoden eventueel in aanmerking komen.

Kolkconstructie

- I) Betonnenbakconstructie in den droge gebouwd;
 - a. Klassieke bouwput met retourbemaling (zie par. 2.4.2).
 - b. Damwandkuip (Fig 2-21).
 - c. Combinatie a. en b.

Hierbij wordt de bouwput aan de hoofdeinden begrensd door damwanden; later kunnen zij een functie vervullen in de definitieve constructie, bijvoorbeeld als onder- of achterloopsheidscherm.

Figuur 2-22



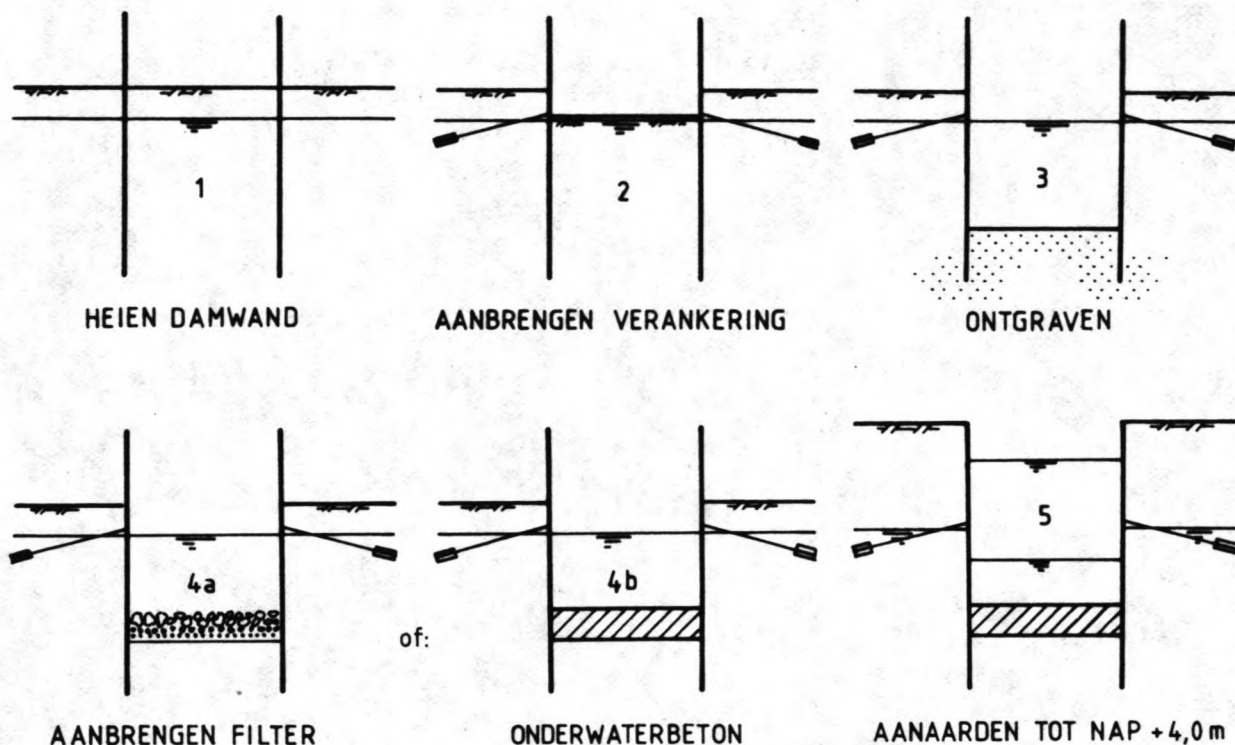
- ook nu is een retourbemaling noodzakelijk
- vanwege de grondkerende functie moet de damwand zwaarder worden uitgevoerd dan alleen voor de onder- of achterloopsheidsfunctie nodig zou zijn
- besparing grondverzet is gering (ca. 7500 m³)

II) Combinatie damwandkuip met definitieve constructie;

a. Stalen damwand met:

1. Open kolkvloer (filterbodem)
2. Dichte kolkvloer (onderwaterbeton)

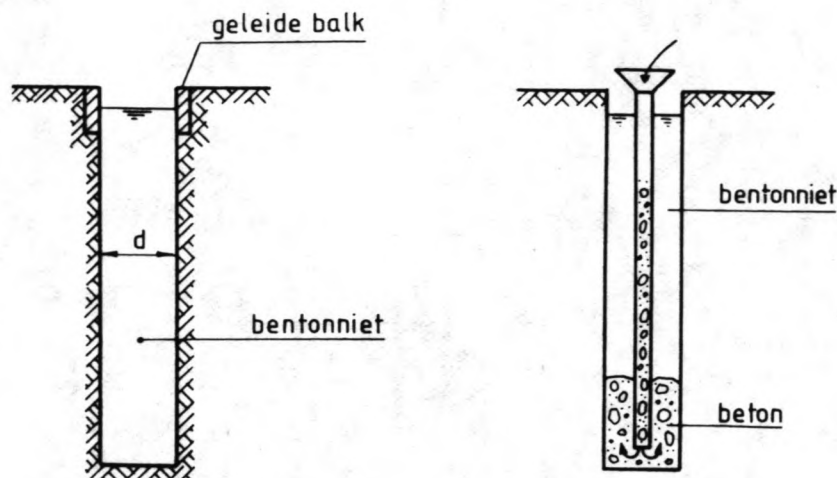
De bouwwijze (Fig 2-23) is in beide gevallen nagenoeg hetzelfde. Beide oplossingen vormen vaak een aantrekkelijk alternatief voor de betonnenbakconstructie, zowel uit economisch oogpunt als vanwege het feit dat geen bemaling nodig is. Een nadeel is wel dat voor de sluishoofden afzonderlijk nog een oplossing moet worden gevonden.



Figuur 2-23

b. Diepwanden

Voor het maken van diepwanden worden rechthoekige sleuven met verticale wanden gegraven. De sleuf wordt tijdens het graven gevuld gehouden met bentoniet. Verticale wanden van sleuven die met deze vloeistof gevuld zijn, blijven in stand door o.a. thixotropie en het soortelijkgewicht van de suspensie. De sleufwanden vormen de "bekisting" voor het beton, dat na het plaatsen van de wapening in de sleuf wordt gestort. Hierbij wordt de bentoniet verdrongen en afgepompt. De gevormde gewapend-betonwand kan dienen als grond- en waterkering en als dragend deel van een constructie.



Figuur 2-24

Diepwanden worden vooral toegepast waar zij technische voordelen bieden t.o.v. andere systemen, zoals een stalen damwand of een betonconstructie, welke in een droge put wordt gebouwd. Dergelijke constructies kunnen ongewenste consequenties hebben in verband met:

- geluidsbezwaar t.g.v. heien
- trillingsbezwaar t.g.v. heien
- ruimteverlies
- minder geschikt zijn van de damwand als dragend en/of waterafsluitend element

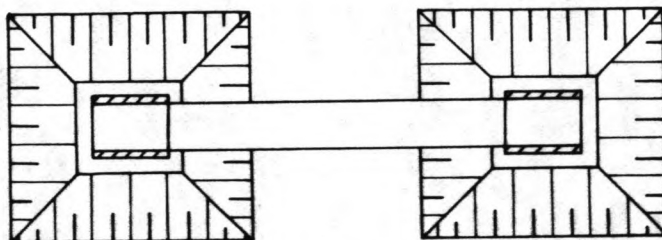
Met betrekking tot het kolkgedeelte van de schutsluis gelden deze overwegingen niet. Voor de kolkconstructie wordt toepassing van diepwanden dan ook verder buiten beschouwing gelaten.

Sluishoofden

De bouw van de sluishoofden kan niet los gezien worden van de schutkolk. Indien gekozen wordt voor een betonnenbakconstructie dan is er geen probleem, aangezien zowel kolk als hoofden in een grote bouwput kunnen worden gebouwd. Indien echter voor de kolk een damwandconstructie wordt overwogen, hetgeen voor de kolk op zich een aantrekkelijk alternatief kan zijn, dan moet

voor de sluishoofden afzonderlijk een oplossing worden gevonden. Uiteindelijk zijn de kosten van het totale sluisontwerp bepalend. Met betrekking tot de bouw van de sluishoofden doen zich de volgende mogelijkheden voor:

- I) Klassieke bouwput;
 - a. in combinatie met de schutkolk (zie par. 2.4.2).
 - b. twee afzonderlijke bouwputten; voor de kolk wordt een stalen damwandconstructie toegepast.



Figuur 2-25

- ook in dit geval is een (retour) bemaling noodzakelijk
- grondverzet ca. 35 000 m³

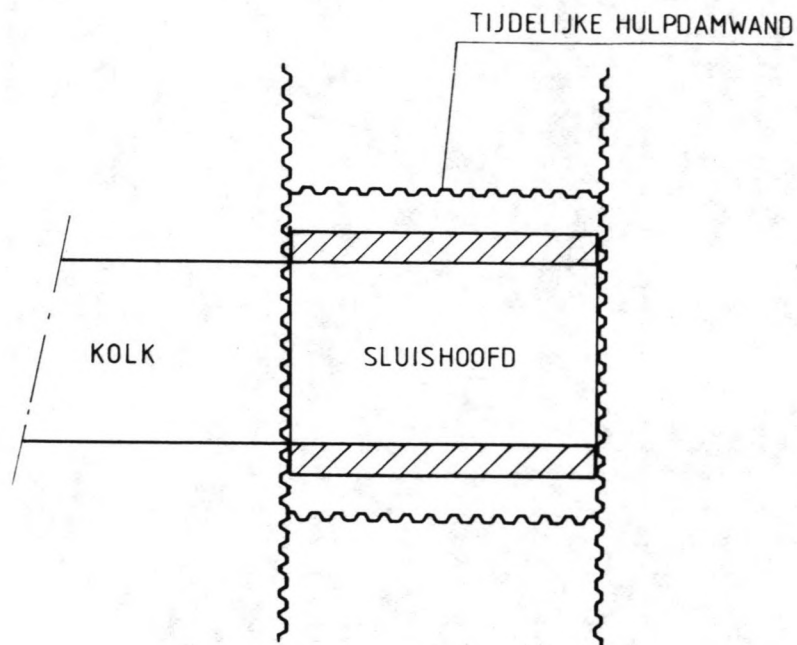
II) Damwandkuip;

De kleinere afmetingen maken een damwandkuip wellicht aantrekkelijk. Dit geldt met name indien de damwand later een definitieve functie kan vervullen (zie III).

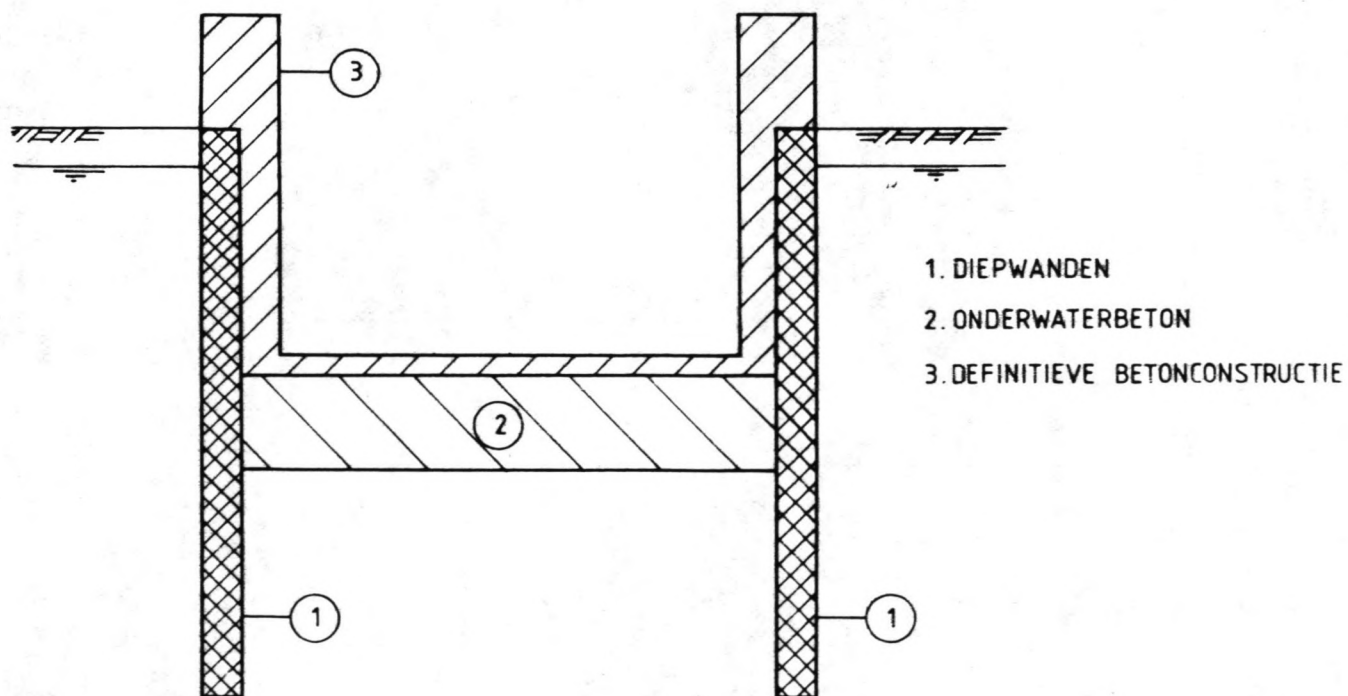
III) Combinatie damwandkuip met definitieve constructie;

De damwanden kunnen later mogelijk dienst doen als onder- of achterloopsheidscherm.

Wordt voor deze oplossing gekozen, dan kan een retourbemaling achterwege blijven.



Figuur 2-26 Damwandkuip



Figuur 2-27 Toepassing van diepwanden

IV) Diepwanden;

Toepassing van diepwanden is wellicht aantrekkelijk indien dit, met de onderwaterbetonvloer, gecombineerd kan worden met de definitieve constructie. Ook bij deze oplossing is geen (retour) bemaling nodig.

2.4.4 Conclusies en samenvatting

Uit voorgaande beschouwing blijkt dat een klassieke bouwput mogelijk is, mits een retourbemaling wordt aangebracht. In dat geval kan zowel voor de schutkolk als voor de sluishoofden een betonnenbakconstructie worden toegepast.

Als alternatieven komen mogelijk in aanmerking:

- voor de kolkconstructie een stalen damwand met onderwaterbetonvloer of filterconstructie
- voor de sluishoofden in dat geval mogelijk een toepassing van diepwanden of moet een afzonderlijke bouwkuip worden aangebracht.

Genoemde bouwmethoden (verankerde stalen damwanden, diepwanden, retourbemaling) vinden tegenwoordig algemeen toepassing. We mogen dan ook aannemen dat uitvoeringstechnisch verder geen beperkingen optreden.

De kosten bepalen uiteindelijk welke oplossing de voorkeur verdient.

3. Funktionele onderdelen

Door analyse van het schutproces (Fig 3-1) en de verschillende funkties van de sluis (par 2.1), kunnen de funktionele onderdelen (Fig 3-2) worden bepaald.

Scheepvaartfunctie

De sluis zal niet altijd direkt toegankelijk zijn wanneer een schip aankomt. Er zijn wachtplaatsen (A) nodig om schepen die niet direkt geslut kunnen worden een ligplaats te bieden. De geleidewerken (B) dienen ervoor om schepen bij het binnenvaren van de sluis een goede geleiding te geven.

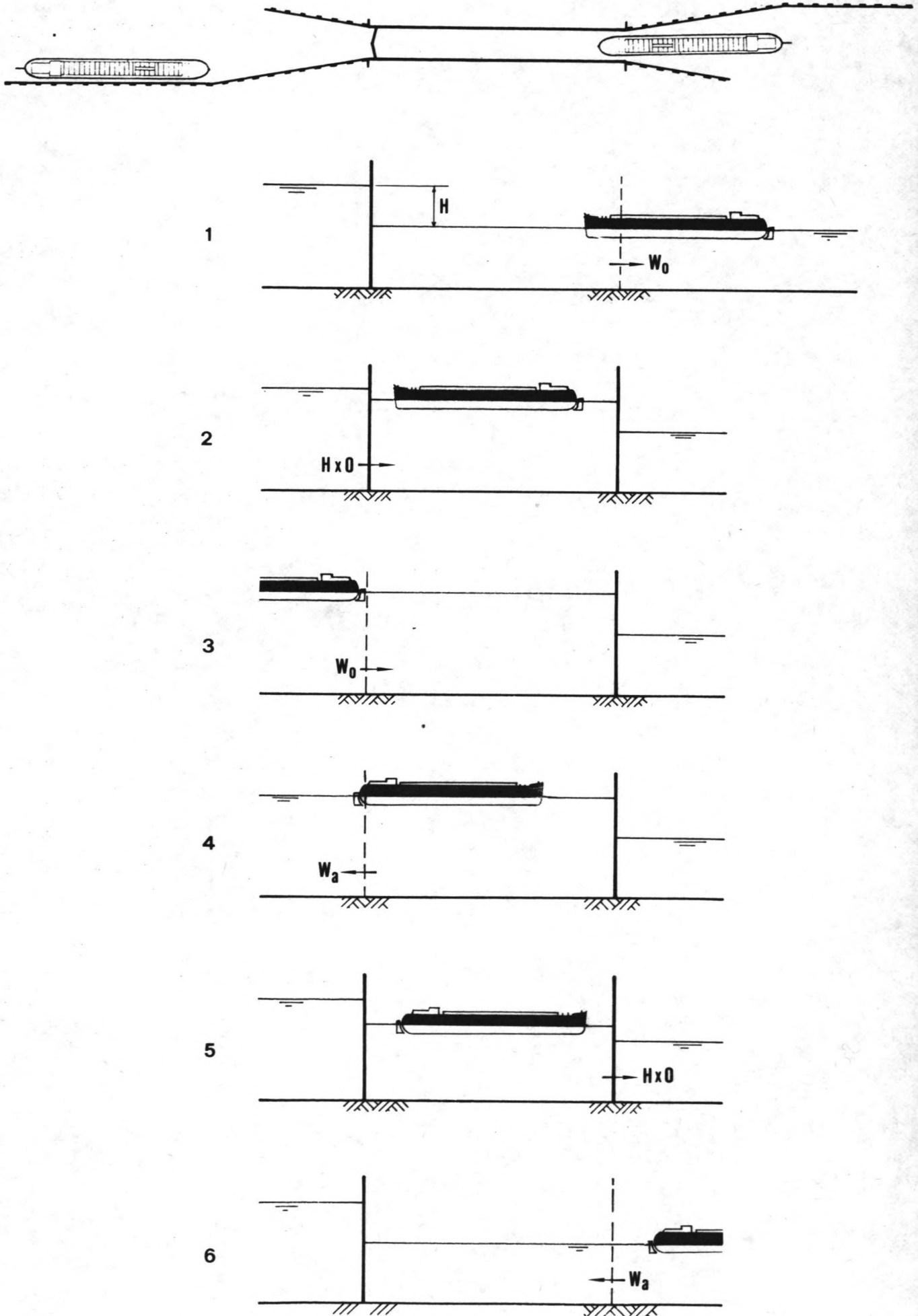
Het afsluitbare gedeelte van de sluis, de schutkolk (C), wordt aan weerszijden begrensd door een sluishoofd (D). Hierin bevinden zich de afsluitmiddelen (E). Deze moeten in gesloten toestand het verval over de sluis kunnen keren. De sluishoofden moeten de door de waterdruk op de afsluitmiddelen ontstane krachten kunnen opnemen en overbrengen naar de ondergrond.

In gesloten toestand moet het water in de schutkolk op het gewenste niveau kunnen worden gebracht. Dit geschiedt d.m.v. het vul- en ledigstelsel (F).

Waterkerende functie

De sluis bevindt zich op een scheiding van twee waterniveaus en maakt zodoende deel uit van een (primaire) waterkering. De waterstand is aan een zijde variabel t.g.v. het getij. We noemen dit de buitenzijde en spreken daarom van een buitenhoofd en een binnenhoofd. De variabele waterstand, die zowel hoger als lager kan zijn dan het vaste kanaalpeil aan de binnenzijde, heeft tot gevolg dat naar twee zijden gekeerd moet kunnen worden. Bij toepassing van puntdeuren zal dan een dubbele kering noodzakelijk zijn.

Figuur 3-1 Het schutproces



Door het verschil in waterstand aan binnen- en buitenzijde zal een grondwaterstroming onder en naast de sluis optreden. Als gevolg hiervan kunnen gronddeeltjes worden meegevoerd, hetgeen uitspoeling en ondermijning van de constructie tot gevolg kan hebben. Teneinde dit te voorkomen moeten voorzieningen tegen onder- en achterloopsheid (G) worden aangebracht. Dit geschiedt in de regel door het aanbrengen van damwandschermen.

Funktie in de waterhuishouding

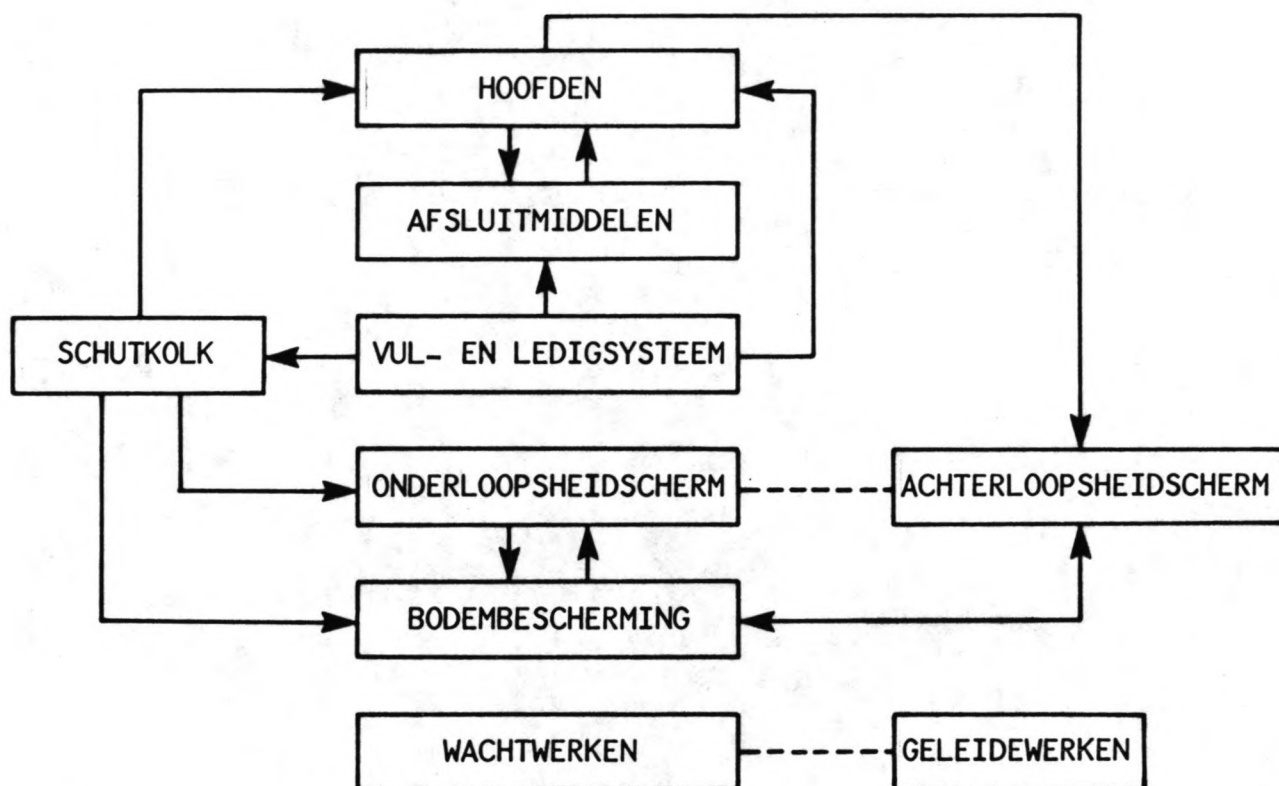
Het belang hiervan wordt bepaald door de hoeveelheid water die moet worden doorgelaten. In de huidige situatie kan het kanaal op peil gehouden worden door de sluisdeuren gedurende hoogwater een weinig open te zetten. Door de reductie van het getij zal het in de toekomst niet meer mogelijk zijn om op die manier voldoende water in te laten. Hierdoor is de aanleg van eenemaal noodzakelijk (par 2.1.4). Gedurende bepaalde hoogwaterstanden (springtij) blijft waterinlaat mogelijk, zodat enigszins op de exploitatiekosten van hetemaal kan worden bespaard.

Het kanaal naar Goes bevat van oudsher zout water, zodat t.a.v. de kwalitatieve aspecten van de waterhuishouding geen speciale voorzieningen, zoals een zout-zoet-scheidingssysteem, behoeven te worden getroffen.

De ontgrondingen die kunnen ontstaan als gevolg van stromingen bij het vullen en ledigen van de schutkolk, alsmede ten gevolge van de schroefbewegingen van de scheepvaart, dienen te worden voorkomen. Waar nodig zullen bodembeschermingen (H) moeten worden aangebracht.

De diverse funktionele onderdelen zullen afzonderlijk worden behandeld. Het is echter onmogelijk deze los van elkaar te zien. Het ontwerp van het ene onderdeel heeft meestal invloed op dat van een ander. Het volgende schema (Fig 3-3) geeft de relatie

tussen de diverse onderdelen weer. T.b.v. de overzichtelijkheid is de directe relatie tot de schutkolk wat betreft de afmetingen achterwege gelaten. Het spreekt vanzelf dat alle onderdelen afhankelijk zijn van de (nuttige) kolkafmetingen.



Figuur 3-3 Relatieschema functionele onderdelen

Op grond hiervan is de volgende ontwerpvolgorde vastgesteld:

- 1) Vul- en ledigstelsel
- 2) Afsluitmiddelen
- 3) Schutkolk
- 4) Sluishoofden
- 5) Voorzieningen tegen onder- en achterloopsheid
- 6) Wacht- en geleidewerken
- 7) Bodembescherming

4. Vul- en ledigstelsysteem

Het vul- en ledigstelsysteem moet ervoor zorgen dat het waterniveau in de kolk op het gewenste peil wordt gebracht. Het probleem hierbij is tweeledig:

In de eerste plaats dient dit zo snel mogelijk te gebeuren, om zo min mogelijk tijd te verliezen.

Daarnaast mogen de te schutten schepen hiervan geen al te grote hinder ondervinden. De optredende troskrachten dienen binnen aanvaardbare grenzen te blijven.

Voorts mogen ook de schepen buiten de kolk niet al te veel hinder ondervinden van het omzetsysteem. Het waterverlies van het kanaalpand moet zoveel mogelijk worden beperkt teneinde de exploitatiekosten van het gemaal zo laag mogelijk te houden. De aanwezigheid van dit gemaal echter maakt dat andere (dure) extra voorzieningen niet nodig zijn.

4.1 Oplossingsprincipes

1) Aan het kopeinde van de schutkolk, door:

- a) openingen in de sluisdeuren, welke kunnen worden afgesloten met schuiven of kleppen.
- b) de afsluitmiddelen zelf langzaam een beetje te openen (alleen mogelijk bij toepassing van hefdeuren).
- c) het sluishoofd:
 - met omloopriolen in de zijwand
 - met omloopriolen onder de sluisdeuren (alleen mogelijk in het bovenhoofd met aanleg van woelkelder).

2) Door de zijwanden van de schutkolk.

3) Door de bodem van de schutkolk.

De uiteindelijke keuze staat mede in relatie tot de gekozen oplossingen voor het type kolk en afsluitmiddelen. Daarnaast zijn uiteraard de aanlegkosten bepalend. Toepassing van speciale systemen kan hier buiten beschouwing blijven, omdat:

- er geen spaarbekkens nodig zijn
- er geen (extra) groot verval is
- er geen scheiding van zoet- en zoutwater nodig is

Bodemvulling komt alleen in aanmerking bij grote vervallen. Wandvulling heeft het voordeel van een regelmatige verdeling van het toegevoerde water. De krachten op de schepen zijn dan kleiner. De dwarsstroming heeft wel tot gevolg dat de trossen in deze richting minder effectief werken.

Kopvulling, indien mogelijk, verdient de voorkeur uit oogpunt van kosten, met name indien dit mogelijk is via openingen in de sluisdeuren, omdat dan geen (dure) omloopriolen nodig zijn. Met name voor sluisen met een gering verval en/of geringe afmetingen, en daar hebben we in ons geval mee te maken, worden in de deuren aangebrachte schuiven veelvuldig toegepast.

4.2 Kopvulling d.m.v. schuiven in de deuren

Schematisch is de situatie als volgt (Fig 4-1):

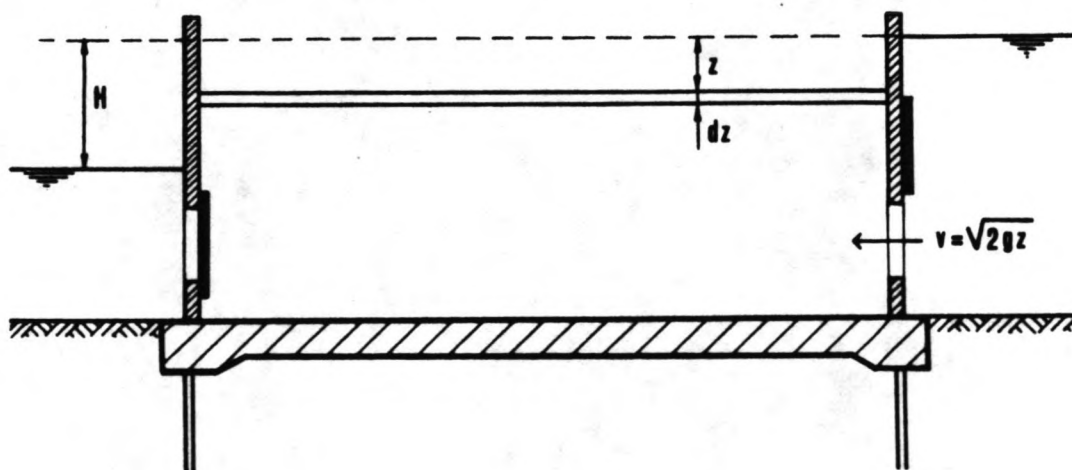


Fig 4-1 Omzetting via schuiven in de deuren

De snelheid v van het door de opening stromende water is evenredig met het verval z . Indien de schuif plotseling geheel wordt geopend en de opening $A \text{ m}^2$ bedraagt, dan wordt de hoeveelheid ingelaten water per tijdseenheid $\mu A \sqrt{2gz}$, waarin μ de afvoercoëfficiënt van de opening voorstelt. Afhankelijk van de vorm en de afrondingen kan deze variëren van 0,6 tot 0,9.

Bij een kolkoppervlak van 0 m^2 geldt dan:

$$\mu A \sqrt{2gz} \, dt = -0dz$$

$$dt = -\frac{0}{\mu A \sqrt{2g}} \frac{dz}{\sqrt{z}}$$

$$t = -\frac{2 \, 0}{\mu A \sqrt{2g}} z^{\frac{1}{2}} + C$$

$$\text{voor } t = 0 \longrightarrow z = H \longrightarrow C = \frac{2 \, 0H^{\frac{1}{2}}}{\mu A \sqrt{2g}}$$

Het verloop van de waterstand met de tijd is dan:

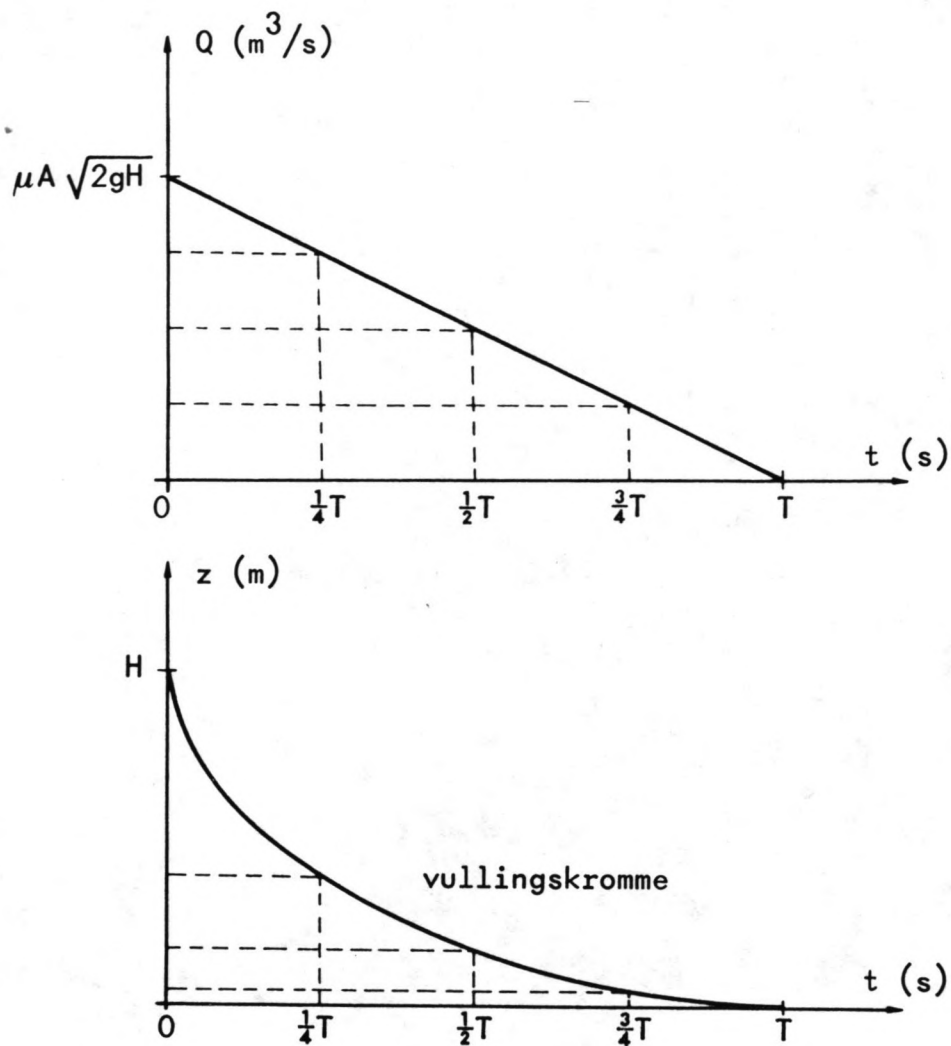
$$t = \frac{2 \, 0}{\mu A \sqrt{2g}} (H^{\frac{1}{2}} - z^{\frac{1}{2}})$$

de totale vullingstijd T bedraagt hierbij:

$$z = 0 \longrightarrow T = \frac{2 \, 0H}{\mu A \sqrt{2gH}}$$

In de volgende figuur is het verloop van de vullingskromme met de tijd weergegeven volgens de vergelijking:

$$\frac{t}{T} = 1 - \sqrt{\frac{z}{H}}$$



Figuur 4-2 Vullingskromme

Voor een eerste indruk vullen we de gegevens in:

$$T = (\text{gemiddeld}) 5 \text{ min} = 300 \text{ s}$$

$$O = B \times L \quad \longrightarrow \quad B = 12 \text{ m}$$

$$L = 110 \text{ m (inclusief schadelijke kolk lengte)}$$

$$O = 12 \times 110 = 1320 \text{ m}^2$$

$$H = (\text{gemiddeld}) 1,20 \text{ m}$$

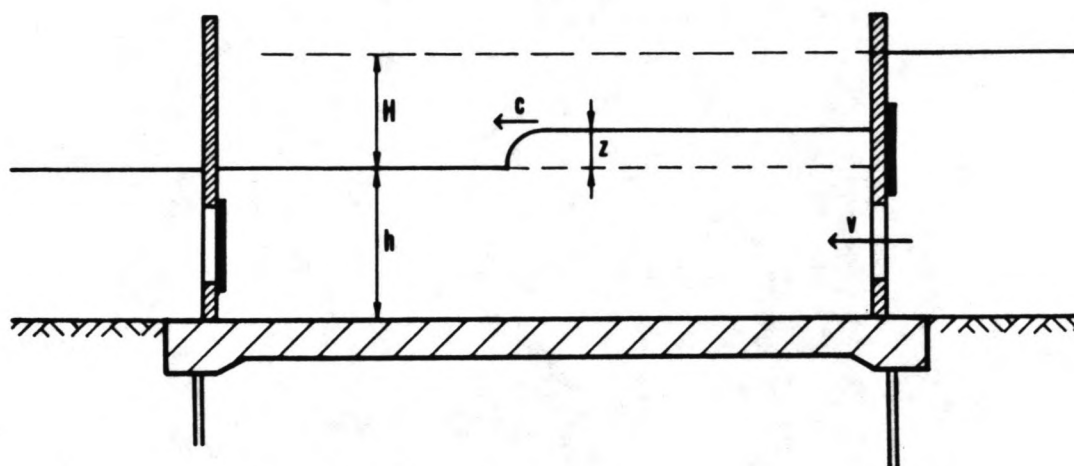
$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$300 = \frac{2 \times 1320 \times 1.2}{\mu A \sqrt{2 \times 9.8 \times 1.2}} \quad \longrightarrow \quad \mu A = 2.18 \text{ m}^2$$

$$\text{met } \mu = 0.6 \text{ à } 0.9 \quad \longrightarrow \quad A = 2.4 \text{ à } 3.6 \text{ m}^2$$

4.3 Troskrachten

Bij voorgaande berekening is ervan uitgegaan dat het peil in de schutkolk in zijn geheel gelijkmatig omhoog komt. In werkelijkheid is dit niet het geval. Door het openen van de schuif zal er namelijk een translatiegolf in de kolk gaan lopen (Fig 4-3).



Figuur 4-3 Translatiegolf

Wanneer zich in de kolk een schip bevindt zal er door deze golf een langskracht op het schip worden uitgeoefend.

Voor de translatiegolf geldt bij een niveau verhoging z , die zich voortplant met een snelheid c , debiet Q , waterdiepte h en kolkbreedte B , dat:

$$z = \frac{Q}{B c} = \frac{Q}{B} \sqrt{\frac{1}{gh}}$$

$$\frac{dz}{dx} = \frac{dz}{dt} \cdot \frac{dt}{dh} = \frac{dz}{dt} \sqrt{\frac{1}{gh}} = \frac{dQ}{dt} \cdot \frac{1}{ghB}$$

dit geldt zolang de golf niet terugkaatst en zich geen schip in de kolk bevindt, zodat slechts bij benadering:

$$\text{kracht op schip} = \text{scheepsgewicht} \times \frac{dz}{dx}$$

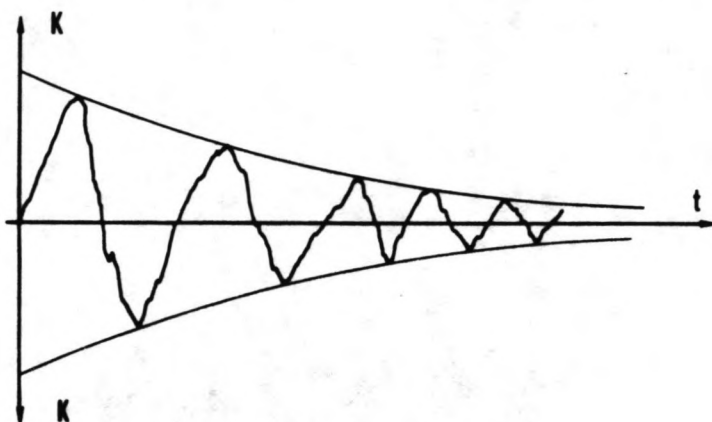
De verstoring van het schip kan in rekening gebracht worden door

voor de voortplantingssnelheid $c = \sqrt{gh}$ te schrijven:

$$c = \sqrt{g(F-n)/B}$$

met F en n als natte doorsnede van respectievelijk kolk en schip.

De resulterende langskracht op het schip moet zo klein mogelijk blijven. Tengevolge van de translatiegolf die wordt teruggekaatst wisselt deze van teken.



Figuur 4-4 Verloop troskrachten

De troskrachten kunnen worden beperkt door de schuifopening geleidelijk te laten toenemen. Indien de schuif met eenparige snelheid wordt geheven, dan geldt:

$$A' = \frac{t}{t_h} \cdot A$$

Indien weer wordt aangenomen dat het kolkoppervlak gelijkmatig omhoog komt, dan moet gelden:

$$\mu \left(\frac{t}{t_h} \cdot A \right) \sqrt{2gz} \, dt = -Odz$$

$$t \, dt = - \frac{O t_h}{\mu A \sqrt{2g}} \cdot \frac{dz}{\sqrt{z}} \quad \text{geïntegreerd:}$$

$$\frac{1}{2} t^2 = \frac{2 O t_h}{\mu A \sqrt{2g}} \cdot z^{\frac{1}{2}} + C$$

$$\text{met } t = 0 \longrightarrow z = H \longrightarrow C = \frac{2 \cdot 0 t_h \cdot H^{\frac{1}{2}}}{\mu A \sqrt{2g}}$$

Het verloop van de waterstand met de tijd is dan:

$$t^2 = \frac{4 \cdot 0 t_h}{\mu A \sqrt{2g}} (H^{\frac{1}{2}} - z^{\frac{1}{2}})$$

De totale heftijd t_h wordt nu (Fig 4-5):

$$t = t_h \longrightarrow t_h = \frac{4 \cdot 0}{\mu A \sqrt{2g}} (H^{\frac{1}{2}} - H_h^{\frac{1}{2}})$$

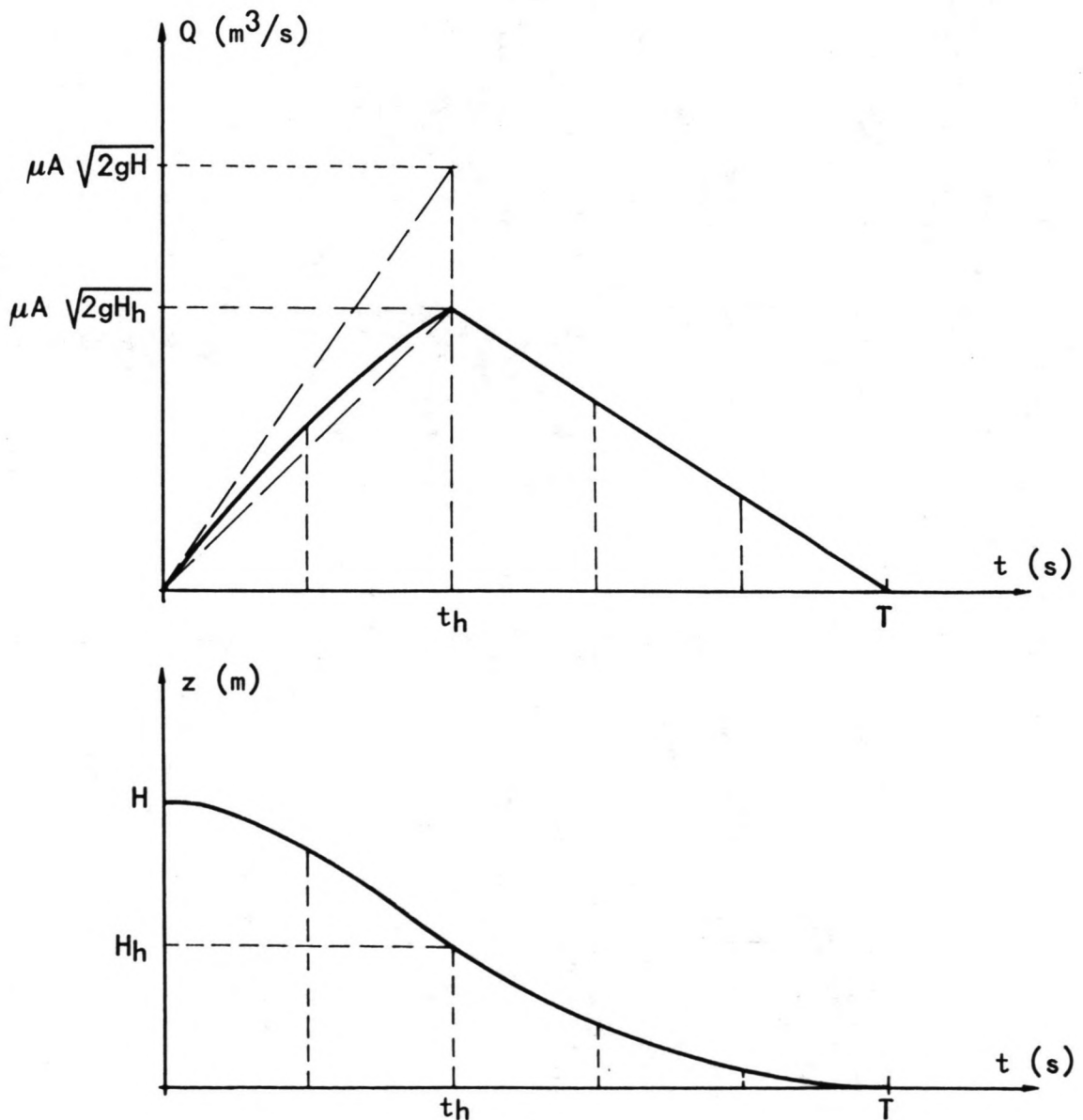


Fig 4-5 Vullingskromme bij eenparige schuifheffing

Het overblijvende verval H_h , na t_h , vergt nog een vultijd van:

$$t' = \frac{2 \ 0 \ H_h^{\frac{1}{2}}}{\mu A \sqrt{2g}}$$

de totale vultijd is dus:

$$T = t_h + t' = \frac{2 \ 0}{\mu A \sqrt{2g}} \left(2(H^{\frac{1}{2}} - H_h^{\frac{1}{2}}) + H_h^{\frac{1}{2}} \right)$$

$$T = \frac{1}{2}t_h + \frac{2 \ 0 \ H}{\mu A \sqrt{2gH}}$$

Het blijkt dus, dat bij eenparige schuifheffing, de totale vultijd t.o.v. de plotselinge schuifheffing wordt vermeerderd met de helft van de heftijd.

Indien de heftijd t_h gelijk wordt genomen aan de totale vultijd T , dan blijkt de totale vultijd t.o.v. de plotselinge schuifheffing te zijn verdubbeld.

De troskrachten worden in de beginperiode van de sluisvulling, en dus tijdens het grootste verval, sterk gereduceerd door het zeer flauwe golffront.

Voorgaande beschouwingen stellen ons in staat om een eerste schatting te maken van de te verwachten troskrachten.

Als bovengrens voor hydrodynamische krachten op schepen tot 2000 ton wordt 1‰ van de waterverplaatsing aangehouden. Voorts was gesteld dat: kracht op schip = scheepsgewicht $\times dz/dx$, zodat:

$$\frac{dz}{dx} \leq 1/1000$$

Rekening houdend met de verstoring van het schip geldt (Blz 4-5):

$$\frac{dz}{dx} = \frac{dQ}{dt} \cdot \frac{1}{g \frac{(F-n)_B}{B}} = \frac{dQ}{dt} \cdot \frac{1}{g(F-n)}$$

Komt de effectieve opening vrij met een snelheid $\mu A = \mu A_0 \left(\frac{t}{t_h}\right)$, dan volgt uit $Q = \mu A \sqrt{2gz}$, dat:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\mu A_0}{t_h} \sqrt{2gH} \quad \text{m.a.w.:}$$

$$\frac{dz}{dx} = \frac{\mu A_0}{t_h} \sqrt{2gH} \frac{1}{g(F-n)}$$

De grootste waarde treedt op indien H maximaal en F minimaal is, hetgeen in ons geval op hetzelfde moment plaats vindt.

Vullen we de getalwaarden in, dan vinden we:

maximale verval: KP = +1,40 en LSP = -1,50 \longrightarrow H = 2,90 m

Bij LSP is h = 3 m \longrightarrow F = 3xB = 3x12 = 36 m²
g = 9,8 m/s²

n is afhankelijk van het scheepstype. We beschouwen hier een Europaschip van 1350 ton, zodat naar schatting:

n = 0,6 à 0,7 x b x l = 0,7(veilig) x 9,5 x 2,5 = 16,6 m²

Bij een gegeven μA_0 kunnen we nu t_h bepalen, zodanig dat aan de voorwaarde $dz/dx \leq 1/1000$ wordt voldaan.

Hoe groot kiezen we μA_0 ?

In geval van plotselinge gehele schuifopening wordt bij een gemiddelde nivelleertijd van T = 5 min = 300 sec de doorstroomopening $\mu A_0 = 2,18 \text{ m}^2$ (Blz 4-4). Door de heftijd t_h wordt deze met de helft van de heftijd verlengd. Willen we toch een gemiddelde nivelleertijd van 5 min handhaven, dan zal dus μA_0 groter moeten zijn. Er bestaat een verband tussen μA_0 en t_h (Blz 4-8):

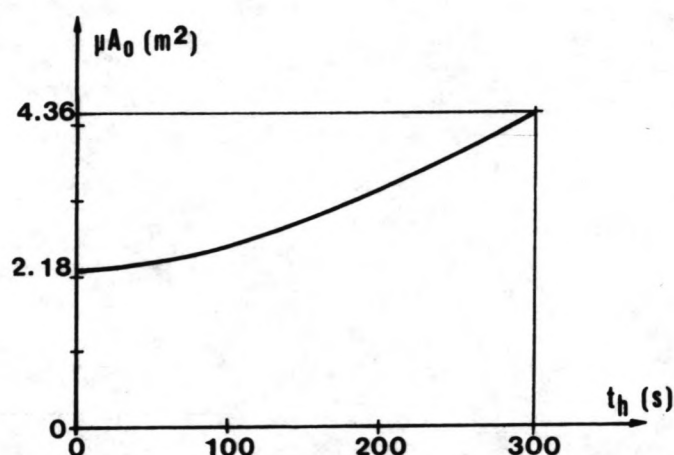
$$T = \frac{1}{2}t_h + \frac{2 \cdot 0 \cdot H}{\mu A_0 \sqrt{2gH}}$$

Vullen we de getalwaarden in, dan krijgen we met T = 300 s, O = 1320 m, g = 9,8 m/s en H = 1,20 m (gemiddeld verval):

$$300 = \frac{1}{2}t_h + \frac{2 \times 1320 \times 1,20}{\mu A_0 \cdot 2 \times 9,8 \times 1,20}$$

$$\mu A_0 = \frac{653,23}{300 - \frac{1}{2}t_h}$$

voor $t_h = 0$ (plotseling geheel open) vinden we dus $\mu A_0 = 2,18$
 en voor $t_h = T = 300$ s wordt $\mu A_0 = 4,36$ (tweemaal zo groot).



Figuur 4-6 Verband tussen A_0 en t_h

Stel we kiezen voor een gemiddelde heftijd $t_h = 2$ min = 120 sec
 en dus een $\mu A_0 = 2,72$ (werkelijke opening $A_0 = 3,00$ à $4,5$ m²).
 Onder extreme omstandigheden geldt dan (Blz 4-9):

$$\frac{dz}{dx} = \frac{\mu A_0}{t_h} \sqrt{2gH} \cdot \frac{1}{g(F-n)}$$

$$\begin{aligned} \frac{dz}{dx} &= \frac{2,72}{t_h} \sqrt{2 \times 9,8 \times 2,9} \frac{1}{9,8(36-16,6)} = \\ &= \frac{0,1079}{t_h} \leq 1/1000 \quad \rightarrow \quad t_h \geq 108 \text{ s} \end{aligned}$$

Uitgaande van een zekere veiligheidsmarge kunnen we onder die
 extreme omstandigheden bijvoorbeeld $t_h = 2\frac{1}{2}$ min = 150 s nemen.
 De totale nivelleertijd is in dat geval:

$$T = \frac{1}{2} \times 150 + \frac{2 \times 1320 \times 2,9}{2,72 \sqrt{2 \times 9,8 \times 2,9}} = 448 \text{ s} \quad \rightarrow \quad 7\frac{1}{2} \text{ min}$$

4.4 Conclusies

Samenvattend kan worden gesteld dat, als vul-en ledigsysteem, een oplossing met schuiven in de sluisdeuren mogelijk is.

Bij een gemiddelde nivelleertijd van 5 min is dan de werkelijke doorstroomopening ca. 3,0 à 4,5 m², afhankelijk van de vorm en afrondingen. De gemiddelde heftijd van de schuif is 2 min en deze loopt op tot 2½ min en een nivelleertijd van 7½ min onder extreme omstandigheden. De hydrodynamische krachten blijven dan in alle gevallen ruim binnen de gestelde normen.

5. Afsluitmiddelen

De afsluitmiddelen of sluisdeuren zorgen ervoor dat de verschillende waterniveaus op gecontroleerde wijze van elkaar kunnen worden gescheiden of met elkaar in contact worden gebracht. De belangrijkste functies zijn:

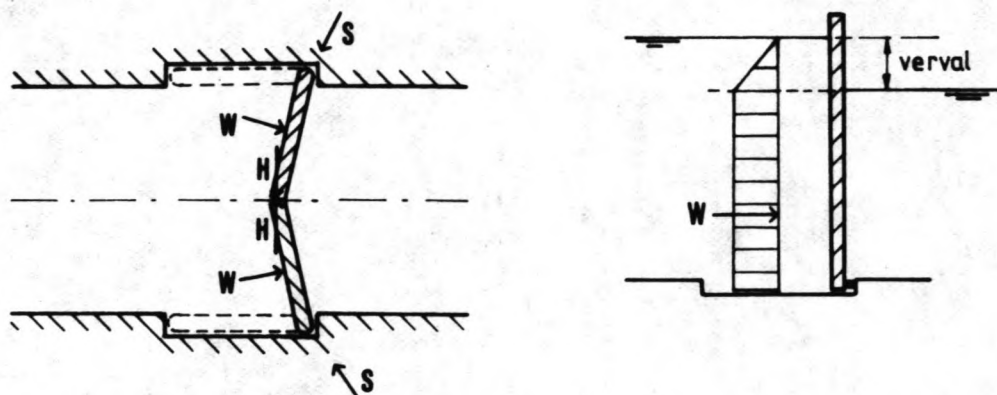
- waterkering
- waterafdichting
- beweegbaarheid
- waterdoorlating

T.a.v. dit ontwerp kan voorts het volgende worden opgemerkt:

- De variabele waterstand op de Oosterschelde heeft tot gevolg dat naar twee zijden gekeerd moet kunnen worden.
- Als vul- en ledigstelsel kan worden volstaan met waterdoorlating via door schuiven afsluitbare openingen in de sluisdeuren.
- De (noodzakelijke) aanwezigheid van een gemaal brengt met zich mee dat verder geen bijzondere eisen worden gesteld m.b.t. de waterdoorlating. Wel kan gedurende hoge waterstanden op de Oosterschelde enige waterinlaat via de sluis plaatsvinden, zodat enigszins op de exploitatiekosten van het gemaal kan worden bespaard.
- Teneinde het waterverlies zoveel mogelijk te beperken is een goede afdichting gewenst. Speciale systemen, zoals een zoet/zout scheidingssysteem, kunnen echter buiten beschouwing blijven.

5.1 Oplossingsprincipes

Puntdeuren vinden met name toepassing in relatief kleine sluisen en/of met een gering verval. Bij deze toepassing is sprake van twee deuren, die in gesloten toestand tegen elkaar rusten en daarbij een soort driescharnierspant vormen. Hierdoor kunnen zij slechts naar een zijde water keren.



Figuur 5-1 Puntdeuren

Als voor- en nadelen van deze oplossing kunnen worden genoemd:

Voordelen:

- onbeperkte doorvaarthoogte
- eenvoudige bediening
- gering vermogen vereist (horizontale verplaatsing zwaartepunt)
- lichte constructie (oplegging iets meer dan de halve kolkbreedte; gering op te nemen moment door gevormde spatkracht)
- korte bewegingsduur

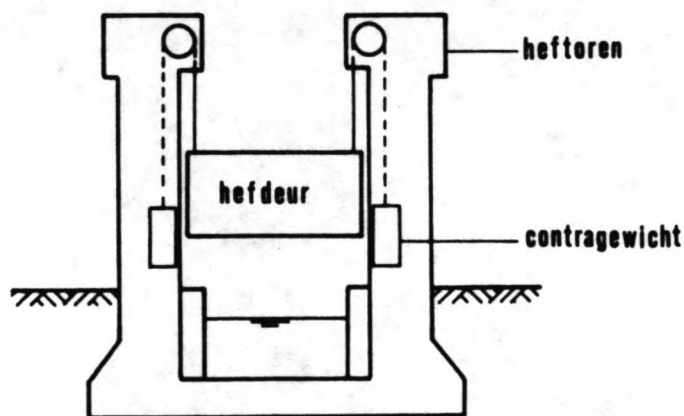
Nadelen:

- keert slechts naar een zijde; dit heeft tot gevolg dat in beide sluishoofden een dubbel stel deuren nodig is, hetgeen bovendien langere sluishoofden tot gevolg heeft
- grote schadelijke kolk lengte; het extra waterverlies alsmede de verlenging van de nivelleertijd bedraagt ongeveer 8 à 10 % t.o.v. alternatieve oplossingen (rol- of hefdeuren)
- taats en taatskom moeilijk bereikbaar
- goede waterafdichting vaak moeilijk te verwezenlijken
- kwetsbaar voor aanvaring van schepen; de waterkerende functie moet te allen tijde gewaarborgd blijven, zodat een stel reserve deuren noodzakelijk is. Een gunstig aspect hierbij is evenwel de

relatief lage verkeersintensiteit van de beroepsvaart (boven-
dien slechts één schip per schutting), zodat de kans op aan-
varing gering is. De pleziervaart zal door zijn geringe afme-
tingen nauwelijks schade veroorzaken.

- bediening vanaf beide sluismuren, zodat voor elke deur afzon-
derlijk een bewegingsmechanisme nodig is
- bij ijsgang kunnen zich schotsen in de deuren begeven; mo-
gelijk valt dit in de praktijk mee gezien het zoute milieu

Hefdeuren vinden vooral toepassing indien de deur mogelijk geopend
of gesloten moet kunnen worden in stromend water of bij een bepaal-
de waterdruk. Bij een hefdeur is sprake van een waterkerend vlak
dat vertikaal bewogen wordt. De bewegingsmechanismen bevinden zich
in heftoren, die tevens zorgen voor geleiding van de deur.



Figuur 5-2 Hefdeur

Voordelen:

- keert naar twee zijden; er is dus slechts een deur nodig in
ieder sluishoofd
- kleine schadelijke kolk lengte
- geopende deur niet kwetsbaar voor normale scheepvaart

- te openen/sluiten bij waterdruk en/of in stromend water; dit is hier echter geen ontwerpeis. Een voordelige bijkomstigheid is wel dat waterinlaat gedurende bepaalde hoge waterstanden op de Oosterschelde eenvoudig te realiseren is.
- kolkomzetting mogelijk door geringe heffing van de deur, zodat geen apart vul- en ledigsysteem nodig is
- geen beweegbare delen onder water; een gunstig aspect dat het onderhoud eenvoudig maakt

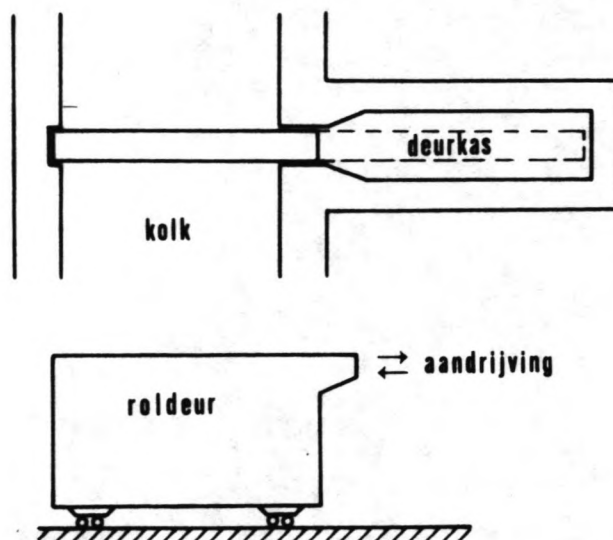
Nadelen:

- dure heftorens vereist; bij de keuze van het type afsluitmiddel zullen de kosten altijd een belangrijke rol spelen, met name wanneer uit technische overwegingen een bepaalde oplossing niet persé de voorkeur verdient.
- beperkte doorvaarthoogte
- zware constructie i.v.m. de grote overspanning
- groot vermogen vereist i.v.m. grote verticale verplaatsing
- bezwaarlijk bij ijsgang
- hinder van afdruiwend water (met name t.a.v. de pleziervaart)
- mogelijk esthetische bezwaren t.a.v. het landschap

Roldeuren worden toegepast indien puntdeuren te lang zouden worden, dus met name bij grote sluisen. Toch zijn ook bij kleine sluisen wel roldeuren toegepast. Bij een roldeur wordt het waterkerend vlak in horizontale zin bewogen. In geopende toestand komt de deur in een aan het sluishoofd gebouwde deurkas terecht.

Voordelen:

- onbeperkte doorvaarthoogte
- keert naar twee zijden
- kleine schadelijke kolk lengte
- slechts een bewegingsmechanisme
- geopende deur niet kwetsbaar voor aanvaring
- door zwaardere uitvoering beter bestand tegen eventuele aanvaring



Figuur 5-3 Roldeur

Nadelen:

- grotere breedte van de sluishoofden t.g.v. deurkassen
- zware constructie t.g.v. de grote overspanning; opgemerkt kan worden dat het toepassen van schuiven t.b.v. de kolkomzetting meestal niet gecombineerd kan worden met het aanbrengen van luchtkisten
- rolwagen/rollen en rails onder water
- groot vermogen nodig (wrijving)
- vaak langere bedieningstijd t.g.v. horizontale verplaatsing over de gehele kolkbreedte
- in principe geen natuurlijke waterinlaat gedurende hoog water op de Oosterschelde mogelijk

5.2 Keuze type afsluitmiddel

Indien door technische overwegingen geen bijzondere beperkingen zijn opgelegd, zal vrijwel altijd gekozen worden voor het type afsluitmiddel waarvan mag worden verwacht dat de kosten bij gegeven omstandigheden het laagst zijn. Naast het kostenaspect kunnen evenwel een aantal andere factoren een rol spelen bij

de keuze van het meest geschikt deurtype.

In ons geval zijn geen bijzondere (technische) eisen gesteld aan het ontwerp, zodat in principe elke oplossing in aanmerking komt.

Vanwege de geringe afmetingen ligt de keuze van hefdeuren niet voor de hand:

- vrij dure oplossing
- er behoeft niet in stromend water of bij waterstandsverschil te worden geopend of gesloten
- ook bij de alternatieve oplossingen (rol- of puntdeuren) is een eenvoudig omzetsysteem mogelijk
- de beperkte doorvaarthoogte en het afdruipe water vormen een bezwaar voor de pleziervaart
- mogelijke esthetische bezwaren voor het landschap

De keuze tussen punt- of roldeuren ligt moeilijker. Weliswaar ligt de keuze van puntdeuren voor de hand vanwege de kleine afmetingen, maar omdat een dubbele kering noodzakelijk is, moet zeker overwogen worden of roldeuren niet de voorkeur verdienen.

In de tabel op bladzijde 5-7 zijn alle voor- en nadelen nog eens naast elkaar gezet. Hierbij is er vanuit gegaan dat een goedkoop omzetsysteem wordt toegepast (schuiven in de deuren), zodat dit wellicht moeilijk te combineren valt met het aanbrengen van luchtkisten in het geval roldeuren worden toegepast. Dit betekent een relatief zware constructie waarbij bovendien een groot vermogen is vereist.

Op grond van de tabel kan een lichte voorkeur voor roldeuren worden uitgesproken. De belangrijkste voor- en nadelen wegen echter nagenoeg tegen elkaar op. Voorts zijn geen weegfactoren ingevoerd, doch is slechts een vergelijking per punt toegepast. Het is moeilijk vast te stellen welk punt zwaarder weegt in de beoordeling. Zo zullen bijvoorbeeld de exploitatiekosten van het gemaal hoger uitvallen indien puntdeuren worden toegepast

(grotere schadelijke kolk lengte). Maar hoe staat dit in verhouding tot de aanlegkosten van beide varianten? Een gedetailleerde berekening is nodig om hier een afdoende antwoord op te geven.

Overigens heeft de praktijk geleerd, dat de aanlegkosten van een normaal gefundeerde sluis onder normale omstandigheden meer afhangen van de hoofdafmetingen dan van constructieve bijzonderheden. Binnen het kader van dit afstudeerontwerp zullen we ons daarom beperken tot een globale vergelijking op basis van de afmetingen van deuren en hoofden.

Tabel 5-I Keuzetabel voor rol- en puntdeuren

	puntdeuren	roldeuren
(on)beperkte doorvaarthoogte	+	+
(eenvoudige) bediening	+	o
vermogen	++	--
lichte/zware constructie	++	--
bedieningstijd	+	+
één- of tweezijdig keren	--	++
schadelijke kolk lengte	-	+
onderhoud	-	o
waterafdichting	-	+
kwetsbaarheid	-	+
reserve deuren	-	-
aantal bewegingsmechanismen	-	+
lengte sluishoofd	--	++
breedte sluishoofd	++	--
te openen bij waterdruk (waterinlaat)	-	-
kolkomzetting	+	+
ijsgang	-	o
hinder van afdruiwend water	+	+
esthetische bezwaren landschap	+	+

5.3 Puntdeuren

De volgende uitgangspunten worden gehanteerd:

- de kolk behoeft niet te worden droog gezet
- de deuren in binnen- en buitenhoofd zijn identiek
- puntdeuren worden gemaakt van hout of staal; mede omdat het hier slechts gaat om een vergelijking t.o.v. roldeuren, zullen we ons binnen het kader van dit afstudeerwerk beperken tot stalen puntdeuren

Voor de bepaling van de overdracht van de belastingen die op en door het afsluitmiddel worden uitgeoefend op en naar het sluishoofd, zijn de volgende punten van belang:

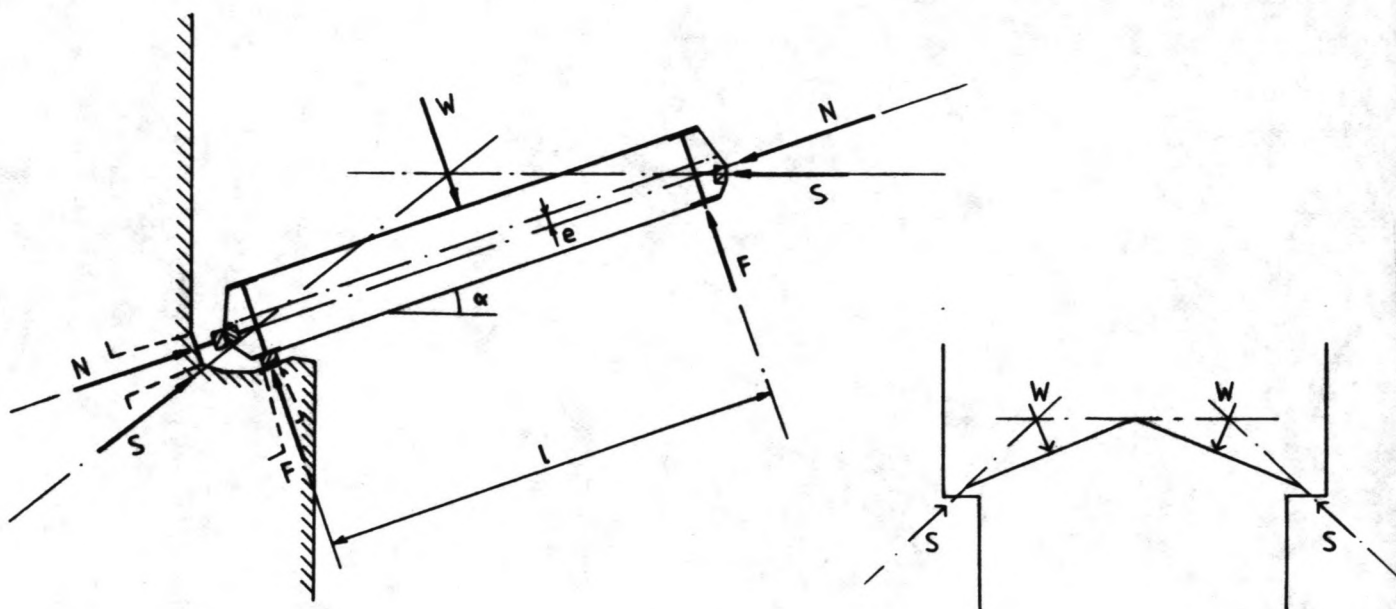
- vaststellen van de belastingcombinaties
- keuze van de opleggingen
- opstellen van het krachtsoverdrachtschema
- vaststellen van het constructieschema

belastingcombinaties

Er wordt volstaan met de belasting t.g.v. een verval over de deur in gesloten toestand en de belasting door het eigen gewicht van de deur in geopende toestand.

In gesloten toestand zijn puntdeuren als een soort driescharnierspant op te vatten (Fig 5-4).

Uit symmetrie overwegingen moeten de krachten in het contactpunt van de voorhar elkaar in evenwicht houden en zijn dus gelijk in grootte en tegengesteld gericht (H en N). De ontbondene van de totale waterdruk (W) naar het sluishoofd wordt de spatkracht genoemd. De reactiekracht (S) door het sluishoofd geleverd is daaraan gelijk en tegengesteld gericht.



Figuur 5-4

De reactiekracht (S) kan worden ontbonden in een kracht evenwijdig aan de deur (N) en een kracht loodrecht hierop (F). Deze zijn te schrijven als:

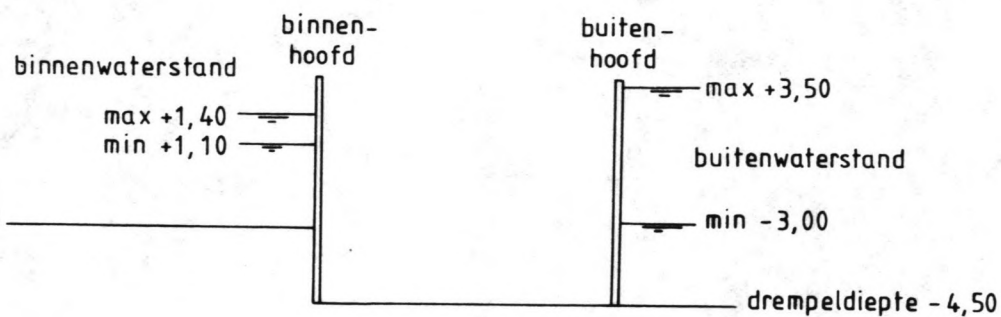
$$S = H = \frac{W}{2 \sin \alpha}$$

$$F = \frac{1}{2}W$$

$$N = \frac{W}{2 \operatorname{tg} \alpha}$$

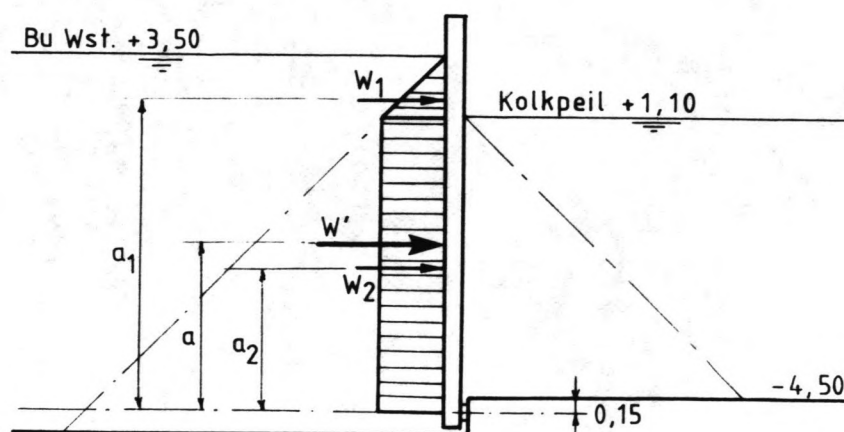
Een grote hoek α betekent langere deuren en een kleine hoek α heeft tot gevolg dat de spatkracht erg groot wordt. Op economische gronden wordt daarom meestal gekozen voor de verhouding $\operatorname{tg} \alpha = 1 : 3$.

De maatgevende waterstanden die kunnen optreden zijn weergegeven in figuur 5-5.



Figuur 5-5

- I) Maximum buitenwaterstand (+3,50 m) en minimum kolkpeil dat daarbij kan optreden (+1,10 m).



Figuur 5-6

$$W_1 = \frac{1}{2} \delta_w (3,5 - 1,1)^2 = 0,5 \cdot 10^4 \cdot 2,4^2 = 2,88 \cdot 10^4 \text{ N/m'}$$

$$W_2 = \delta_w (1,1 + 4,5 + 0,3) \cdot 2,4 = 10^4 \cdot 5,9 \cdot 2,4 = 14,16 \cdot 10^4 \text{ N/m'}$$

$$W' = W_1 + W_2 = \underline{17,04 \cdot 10^4 \text{ N/m'}}$$

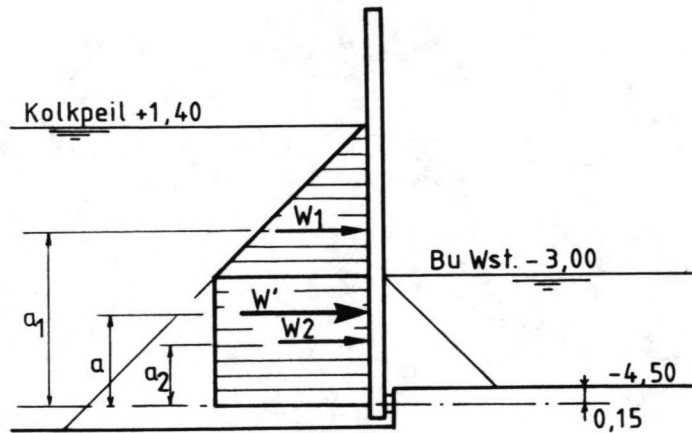
$$a_1 = (1,1 + 4,5 + 0,15) + \frac{1}{3} (3,5 - 1,1) = 6,55 \text{ m}$$

$$a_2 = \frac{1}{2} (1,1 + 4,5 + 0,3) - 0,15 = 2,80 \text{ m}$$

$$aW' = a_1W_1 + a_2W_2$$

$$\rightarrow a = \frac{6,55 \cdot 2,88 + 2,80 \cdot 14,16}{17,04} = \underline{3,43 \text{ m}}$$

II) Minimum buitenwaterstand (-3,00 m) met maximum kolkpeil dat daarbij kan optreden (+1,40 m).



Figuur 5-7

$$W_1 = \frac{1}{2} \delta_w (1,4 + 3,0)^2 = 0,5 \cdot 10^4 \cdot 4,4^2 = 9,68 \cdot 10^4 \text{ N/m'}$$

$$W_2 = \delta_w (1,5 + 0,3) \cdot 4,4 = 10^4 \cdot 1,8 \cdot 4,4 = 7,92 \cdot 10^4 \text{ N/m'}$$

$$W' = W_1 + W_2 = \underline{17,60 \cdot 10^4 \text{ N/m'}}$$

$$a_1 = (1,5 + 0,15) + \frac{1}{3} \cdot 4,4 = 3,12 \text{ m}$$

$$a_2 = \frac{1}{2} (1,5 + 0,3) - 0,15 = 0,75 \text{ m}$$

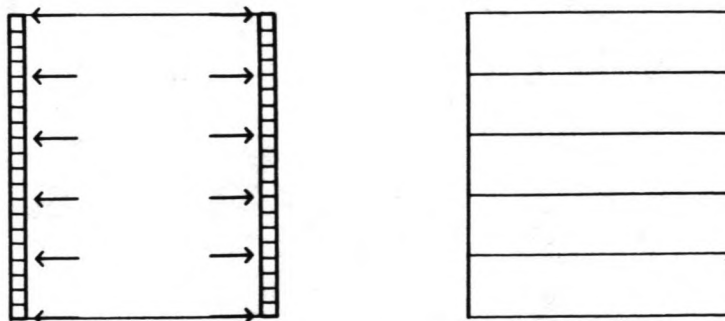
$$a = \frac{a_1 W_1 + a_2 W_2}{W'} = \frac{3,12 \cdot 9,68 + 0,75 \cdot 7,92}{17,60} = \underline{2,05 \text{ m}}$$

opleggingen

De onderregel van de deur wordt i.h.a. niet als oplegging gekozen, omdat dan wringende momenten in de deur ontstaan t.g.v. ongelijke doorbuigingen in breedte en hoogte richting van de deur. We gaan er daarom vanuit dat de deur is opgelegd via de beide buitenste stijlen van de deur, de voorhar en de achterhar. De oplegging van de beide verticale stijlen kan zowel gelijkmatig als in twee of meer punten geconcentreerd zijn.

Voor een gelijkmatige krachtsoverdracht t.p.v. de achterhar is het noodzakelijk, dat in de beide draaipunten een zekere speling aanwezig is. In het onderdraaipunt zit een speling omdat anders de taats oneindig nauwkeurig t.o.v. de verticale aanslaglijst moet worden gesteld. In het bovendraaipunt moet meer speling aanwezig zijn opdat bij het sluiten de deur door de vervalddruk tegen de aanslag in de sluiswand kan worden gedrukt.

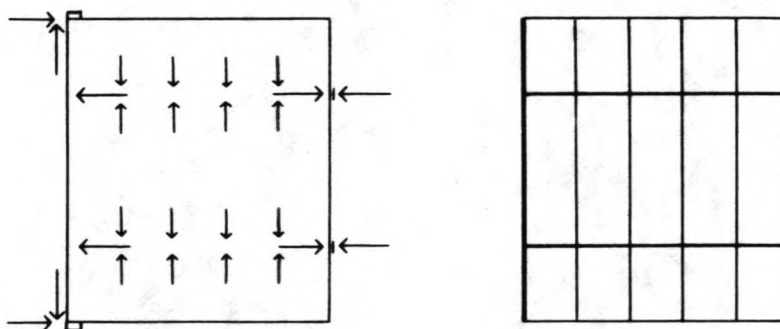
De gelijkmatig verdeelde krachtsoverdracht kan het beste worden benaderd door toepassing van een regeldeur. De waterdruk op de beplating wordt via de regels overgebracht naar de voor- en achterhar.



Figuur 5-8 Principe krachtsoverdracht regeldeur

Vindt de krachtsoverdracht plaats via puntopleggingen, dan mag er geen speling zijn in het bovendraaipunt. Bij de achterhar worden de reaktiekrachten geleverd door de draaipunten. In de voorhar worden eveneens twee opleggingen gemaakt. Tussen de vier oplegpunten worden twee zware regels aangebracht en de belasting op de beplating wordt via stijlen naar deze regels overgebracht. Een stijlendeur wordt tegenwoordig veel toegepast. Het stellen van de verticale aanslagvlakken (voor H en F) bij de achterhar, die over de gehele hoogte zo gelijkmatig mogelijk moet dragen, is erg moeilijk. In het geval van een stijlendeur hoeven slechts twee punten nauwkeurig geplaatst te worden. Bovendien kunnen de bovendraaipunten worden voorzien van een kogellager die vrijwel geen speling toelaat en grote krachten kunnen opnemen.

In ons geval zullen we vooralsnog uitgaan van een krachtsoverdracht via puntopleggingen (stijlendeur).

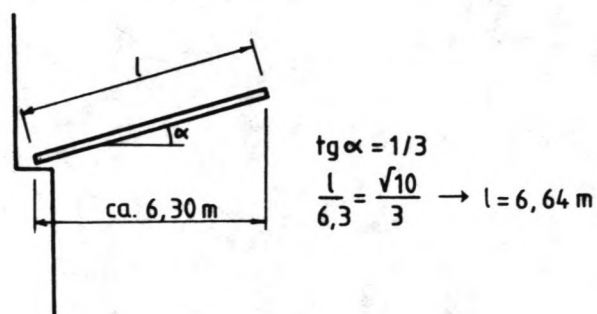


Figuur 5-9 Principe krachtsoverdracht stijlendeur

reaktiekrachten

De waterdruk W' bedraagt maximaal $17,6 \cdot 10^4 \text{ N/m}'$. Deze blijkt overigens nagenoeg hetzelfde voor de beide belastinggevallen, slechts de hoogte van het aangrijppunt der resultante verschilt. Dit laatste is o.a. van belang als de stabiliteit van het sluis-
hoofd wordt beschouwd.

De deurlengte bedraagt naar schatting $6,3/\cos\alpha = \underline{6,65 \text{ m}}$.



Figuur 5-10

$$\rightarrow W = 6,3 W' = 6,3 \cdot 17,6 \cdot 10^4 = 111 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$S = H = \frac{W}{2 \sin \alpha} = \frac{111 \cdot 10^4}{2/10 \sqrt{10}} = 175,5 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$F = 0,5 W = 55,5 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$N = \frac{W}{2 \text{tg } \alpha} = \frac{111 \cdot 10^4}{22 \cdot 1/3} = 166,5 \cdot 10^4 \text{ N}$$

Gaan we ervan uit dat de draaipunten, tevens oplegpunten, zich aan de bovenzijde en onderzijde van de deur bevinden, dan worden de krachten in deze punten, afhankelijk van de hoogte van de resultante W :

geval I

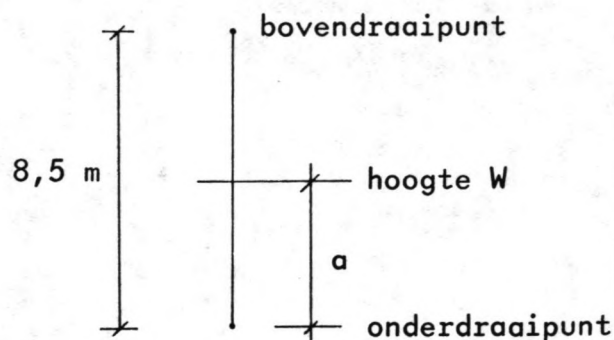
$$a = 3,43 \text{ m}$$

$$S = 175,5 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$S_{bo} \cdot 8,5 = 175,5 \cdot 10^4 \cdot 3,43$$

$$S_{bo} = 70,8 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$S_{be} = (175,5 - 70,8) \cdot 10^4 = 104,7 \cdot 10^4 \text{ N}$$



Figuur 5-11

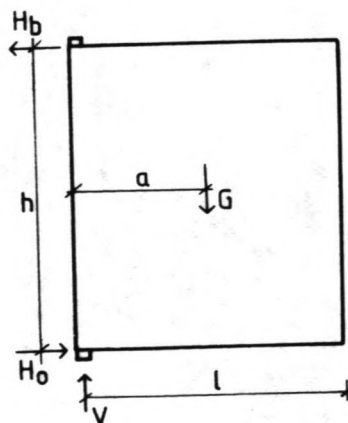
geval II

$$a = 2,05 \text{ m}$$

$$\rightarrow S_{bo} = \frac{17,5 \cdot 10^4 \cdot 2,05}{8,5} = 42,3 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$S_{be} = (175,5 - 42,3) \cdot 10^4 = 133,2 \cdot 10^4 \text{ N}$$

Een andere belastingstoestand ontstaat bij de deur in geopende stand, waarbij de draaipunten het eigengewicht van de deur moeten kunnen opnemen. De verticale belasting wordt door het onderdraaipunt (taatsoplegging) opgenomen.



Figuur 5-12

Het daarbij ontstane moment heeft in het bovendraaipunt een trekkracht en in het onderdraaipunt een drukkracht tot gevolg.

Het deurgewicht per m^2 oppervlakte en deurdikte gemeten over de staalconstructie, zonder luchtkist, inclusief schuiven bedraagt gemiddeld naar schatting 3,6 kN.

Het totale eigengewicht van de deur (G) is dan:

$$G = l \cdot h \cdot 3,6 = 6,3 \cdot 8,5 \cdot 3,6 = \text{ca. } 200 \text{ kN}$$

$$V = G = 200 \text{ kN}$$

$$H_b = H_o = \frac{Gl}{2h} = \frac{200 \cdot 6,3}{2 \cdot 8,5} = 74 \text{ kN}$$

5.4 Roldeuren

Ook indien roldeuren worden toegepast gelden dezelfde uitgangspunten:

- stalen deuren
- deuren in binnen- en buitenhoofd identiek
- de kolk behoeft niet drooggezet te worden

In beginsel kunnen twee typen roldeuren worden onderscheiden: met een hoog gelegen of met een laag gelegen rijbaan.

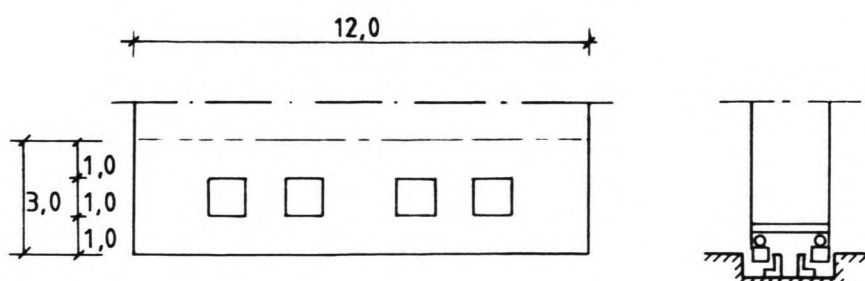
In het eerste geval bevindt de rijbaan zich in een sleuf in de sluisbodem. In die sleuf kan afzetting van zand en slib optreden, waardoor het noodzakelijk kan zijn een spoelinrichting aan te brengen. Voorts bevinden de bewegende delen zich onderwater, zodat zij moeilijk bereikbaar zijn voor onderhoud en herstelwerkzaamheden. Deze bezwaren zijn te ondervangen door de deuren op te hangen aan wielstellen met een loopbaan bovenwater. De hooggelegen rijbaan wordt dan meestal gecombineerd met een beweegbare brug, tenzij kan worden volstaan met een beperkte doorvaarthoogte, zodat een vaste loopbaan kan worden toegepast.

Met name bij grotere deuren wordt vaak een luchtkist aangebracht. Een luchtkist kan nodig zijn om de deur drijvend te kunnen ver-voeren en om het gewicht en dus de druk op de rollen of rolwagens te verminderen. Vanwege de stabiliteit wordt de luchtkist zo hoog mogelijk aangebracht, doch onder de laagst voorkomende waterstand waarbij nog geopend of gesloten moet kunnen worden (LSP), zodat de opdrijvende kracht nagenoeg constant is.

Omdat in ons geval een omzetsysteem via schuiven in de deuren wordt toegepast, valt dit moeilijk te combineren met een luchtkist.

Het laagste schutpeil is NAP -1,50 m, zodat een hoogte van ca. 3 m beschikbaar is voor het aanbrengen van de onderregel met rollen en schuiven. Er blijft dan nauwelijks nog ruimte over om een luchtkist aan te brengen (Fig 5-13).

Mede omdat sprake is van voor roldeuren relatief kleine afmetingen, zullen we ervan uitgaan dat geen luchtkist wordt aangebracht.



Figuur 5-13

opleggingen

Een voordeel van roldeuren is dat de door het sluishoofd op te nemen druk t.g.v. het verval, werkt in de richting van de sluis-as. Deze kan via de deur op het sluishoofd worden overgebracht

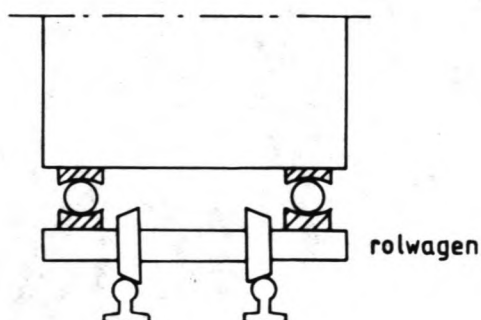
via opleggingen aan de zijkanten of aan drie zijden, dus inclusief de onderregel.

Indien de onderregel tegen de drempel aanslaat en dus niet doorbuigt, zal wringing optreden, aangezien de hoger gelegen regels wél doorbuigen.

Hiervan is geen sprake als de onderregel boven de drempel wordt gelegd. De afdichting kan dan bijvoorbeeld worden verkregen door het aanbrengen van een verende plaat. Hierdoor is de op de drempel uitgeoefende horizontale kracht klein en kan met een ondiepe sponning worden volstaan. Dit betekent een kleinere vloerdikte en bovendien behoeft de vloer geen grote horizontale krachten te kunnen opnemen.

Bij het bewegen van de roldeur moet deze vrij zijn van de aanslagen. Daaruit volgt, dat wanneer de waterdruk optreedt, de deur over geringe afstand moet worden verplaatst in de richting van de sluis-as. Een mogelijke oplossing is om de deur op rollen te laten rusten, welke in een zadelvormig blok liggen (Fig 5-14). Zodra zich nu een waterdruk ontwikkelt, wordt de deur in de richting van de sluis-as verrold tot zijn tegen de aanslagen steunt. Valt de waterdruk weg dan rolt de deur weer terug naar de middenstand en kan vrij van de aanslagen worden bewogen.

Figuur 5-14



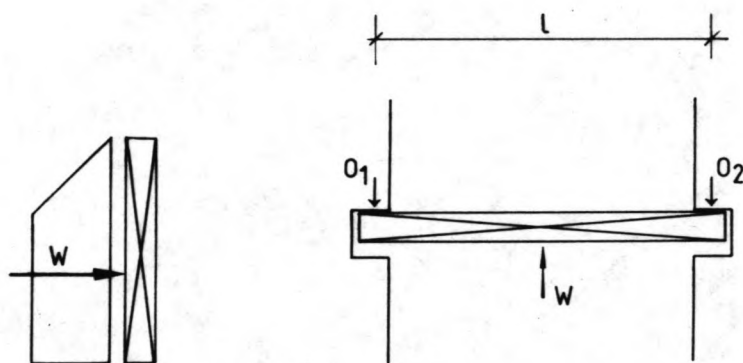
De op te nemen waterdruk bedraagt (par. 5.3): $W = 17,6 \cdot 10^4 \text{ N/m'}$

De resultante grijpt aan op een hoogte welke afhankelijk is van de (maatgevende) waterstanden: $a = 2,05 \text{ m}$ resp. $a = 3,12 \text{ m}$.

De reaktiekrachten (O) zijn dan: $O_1 = O_2 = \frac{W \cdot l}{2}$

waarin l de overspanning is, naar schatting ca. $13,0 \text{ m}$ (de sluisbreedte is 12 m). M.a.w.:

$$O_1 = O_2 = \frac{17,6 \cdot 10^4 \cdot 13}{2} = 114,0 \cdot 10^4 \text{ N}$$



Figuur 5-15

De regels worden als vakwerklijger uitgevoerd. Als gevolg van de grotere systeemhoogte zouden plaatstalen liggers te slap zijn dwars op de belasting en dus moeten worden verstijfd. De systeemhoogte wordt overigens niet alleen bepaald door de overspanning en de optredende belasting, maar bovendien door de stabiliteit tijdens het rijden (openen/sluiten van de deur), waardoor een zekere dikte van de deur nodig is.

Aan de uiteinden worden de regels in eind-dwarsverbanden gevat, welke in staat moeten zijn de regeldrukken gelijkmatig over de slagstijl te verdelen.

Toepassing van een stijlendeur komt in aanmerking indien de deur laag is t.o.v. de lengte. De stijlen worden, evenals bij puntdeuren, opgelegd op twee zware regels, waartoe zich bij uitstek een luchtkist leent als bovenregel, terwijl de onderregel als aanslag stijl fungeert, dus de deur is dan aan drie zijden opgelegd. In ons geval geven de afmetingen van de deur geen aanleiding om een stijlendeur toe te passen, waar bovendien geen luchtkist op een gunstige hoogte kan worden toegepast.

Uitgaande van een roldeur zonder luchtkist, inclusief schuiven, bedraagt het deurgewicht per m^2 oppervlakte gemiddeld naar schatting 5,7 kN. Het totale deurgewicht bedraagt dan:

$$G = 5,7 \cdot 14,0 \cdot 8,5 = \text{ca. } 680 \text{ kN}$$

Voor de dikte van de deur wordt ca. $1/10 l = 1,30 \text{ m}$ aangehouden.

5.5 Conclusies

Als afsluitmiddel komen uit technisch oogpunt zowel punt- als roldeuren in aanmerking. In beide gevallen is het materiaal verbruik nagenoeg hetzelfde (ca. 200 ton staal voor 10 puntdeuren of 3 roldeuren). De kosten voor arbeidsloon e.d. zullen waarschijnlijk iets lager uitvallen voor puntdeuren (eenvoudiger constructie). Tegenover de zwaardere bewegingsinrichting voor roldeuren staat dat er voor puntdeuren meer nodig zijn (nl. 8 stuks).

Uiteindelijk zullen de totale kosten, dus inclusief de bouw van de sluishoofden, de doorslag moeten geven.

Opmerking: Met de huidige stand van de technologie is het mogelijk dermate sterke vergrendelingen te maken, dat ook in het geval van tweezijdig keren, het wellicht mogelijk is om een enkele draaideur toe te passen. In dit afstudeerverslag is hier geen aandacht aan besteed.

