

waterloopkundig laboratorium delft hydraulics laboratory

Jachtensluizen Philipsdam
Sturing schutproces

notitie

R 1650-0

juli 1981

INHOUD

	pag.
<u>0</u> <u>Inleiding.....</u>	1
<u>1</u> <u>Beschrijving schutproces jachtensluizen.....</u>	2
1.1 Vergelijken schutproces jachtensluizen en duwvaartsluizen....	2
1.1.1 Niet uitvoeren opwaarts uitwisselen.....	2
1.1.2 Weglaten geperforeerde vloer.....	3
1.1.3 Neerwaarts nivelleren naar Zijpepeil.....	4
1.1.4 Deuschuiven Zijpezijde.....	5
1.1.5 Pompschacht met overloopschot.....	5
1.2 Hoogwatersituatie.....	6
1.3 Laagwatersituatie.....	7
<u>2</u> <u>Schematisatie jachtensluis en riolen.....</u>	9
<u>3</u> <u>Randvoorwaarden.....</u>	14
3.1 Pomp.....	14
3.2 Maatgevende waterstanden Zijpe en Zoommeer.....	15
3.3 Processen in de kolk.....	16
3.3.1 Zout/zoetproblematiek (neerwaarts uitwisselen).....	16
3.3.2 Nautische randvoorwaarden.....	19
3.4 Bewegingswerken.....	21
<u>4</u> <u>Sturingsmethoden schutproces.....</u>	23
<u>5</u> <u>Aanpak analyse van het schutproces.....</u>	24
<u>6</u> <u>Analyse schutproces uitgaande van methode A.....</u>	25
6.1 Neerwaarts nivelleren hoogwatersituatie (H2).....	25
6.2 Neerwaarts uitwisselen laagwatersituatie (H3).....	25
6.3 Opwaarts nivelleren hoogwatersituatie (H5).....	26
6.4 Opwaarts nivelleren laagwatersituatie (L2).....	27
6.5 Neerwaarts uitwisselen laagwatersituatie (L3).....	27
6.6 Neerwaarts nivelleren laagwatersituatie (L5).....	28

INHOUD (vervolg)

		pag.
<u>7</u>	<u>Kalamiteitssituaties bij sturing volgens methode A.....</u>	30
7.1	Kalamiteiten bij nivelleren met behulp van pompen (H2, L2)...	30
7.2	Kalamiteiten bij neerwaarts uitwisselen met behulp van pom- pen (H3).....	32
7.3	Kalamiteiten bij opwaarts nivelleren onder vrij verval (H5)..	33
7.4	Kalamiteiten bij neerwaarts uitwisselen onder vrij verval (L3).....	34
<u>8</u>	<u>Analyse schutproces uitgaande van methode B.....</u>	36
8.1	Neerwaarts nivelleren in de hoogwaterfase (H2).....	36
8.2	Neerwaarts uitwisselen in de hoogwatersituatie (H3).....	37
8.3	Opwaarts nivelleren in de hoogwatersituatie (H5).....	37
8.4	Opwaarts nivelleren in de laagwatersituatie (L2).....	38
8.5	Neerwaarts uitwisselen in de laagwatersituatie (L3).....	38
8.6	Kalamiteitssituaties bij sturing volgens methode B.....	38
<u>9</u>	<u>Analyse schutproces uitgaand van methode C.....</u>	40
9.1	Neerwaarts nivelleren in de hoogwatersituatie (H2).....	40
9.2	Neerwaarts uitwisselen in de hoogwatersituatie (H3).....	40
9.3	Opwaarts nivelleren in de hoogwatersituatie (H5).....	41
9.4	Opwaarts nivelleren in de laagwatersituatie (L2).....	42
9.5	Neerwaarts uitwisselen in de laagwatersituatie (L3).....	42
9.6	Kalamiteitssituaties bij sturing volgens methode C.....	43
<u>10</u>	<u>Afschatten schutcyclusduur van de verschillende sturings- methoden.....</u>	44
10.1	Uitgangspunten.....	44
10.2	Schutcyclusduur hoogwatersituatie.....	45
10.3	Schutcyclusduur laagwatersituatie.....	46
10.4	Gemiddelde schutcyclusduur.....	46
<u>11</u>	<u>Konklusies.....</u>	48

INHOUD (vervolg)

REFERENTIES

APPENDIX A - Selektief afzuigen bij aansluiting riool en kolk

APPENDIX B - Interne golven bij afbouwen uitwisseldebiet en in- en uitvaren
van schepen

0 Inleiding

In deze notitie wordt een analyse gepresenteerd van het schutproces van de jachtensluizen in de Philipsdam. Er zijn verschillende mogelijkheden om het schutproces te sturen. Het doel van deze notitie is dan ook om de verschillende sturingsmethoden van het proces tegen elkaar af te wegen.

Er zijn drie verschillende sturingsmethoden onderling vergeleken. Hierbij is aandacht besteed aan:

- normale en kalamiteitsomstandigheden
- schutcyclusduur en aantal schuif- of vlinderklepbewegingen.

Deze studie is verricht op basis van het gereed zijnde sluisontwerp. In het eerste gedeelte van deze notitie is het schutproces beschreven. Hierbij is tevens aandacht besteed aan de afwijkingen van het schutproces van de jachtensluizen ten opzichte van dat van de duwvaartsluizen in de Philipsdam.

De randvoorwaarden welke in deze notitie zijn gegeven zijn gebaseerd op gegevens tot juli 1980; enkele aanvullende gegevens met betrekking tot de pompen in de jachtensluizen zijn nog niet in deze notitie verwerkt.

Tijdens het opstellen van deze notitie speelde ook het al of niet weglaten van de vlinderklep bij de pomp. Deze problematiek is verwerkt in deze notitie. De problematiek rond de deurschuiven, dat wil zeggen het al of niet weglaten van de deurschuiven, is niet in deze notitie meegenomen.

Deze notitie is opgesteld door ir. D. Ludikhuizen, projektingenieur in de afdeling Stuwen en Sluizen.

1 Beschrijving schutproces jachtensluizen

De jachtensluizen van het sluizencomplex in de Philipsdam hebben naast hun functie als schutsluis ook een functie in de scheiding tussen het zoute Zijpe (Oosterschelde) en het zoete Zoommeer. Het schutsysteem van deze sluizen is daarom uitgerust met een zout-zoetscheidingssysteem volgens het systeem Duinkerken. Dit systeem is eveneens toegepast bij de naastliggende duwvaartsluizen (zie fig. 1) en bij de Kreekraksluizen. Het principe van dit zout-zoetscheidingssysteem is dat bij gesloten deuren het zoute water (respektievelijk zoete water) wordt vervangen door zoet water (respektievelijk zout water). Dit proces wordt uitwisselen genoemd. Het vervangen van een kolk zout water door zoet water wordt neerwaarts* uitwisselen genoemd; vervangen van een kolk zoet water door zout water wordt opwaarts* uitwisselen genoemd.

Een beschrijving van het schutproces van de duwvaartsluizen is gegeven in R.1253-I [1]. Het schutproces van de jachtensluizen verloopt echter iets anders dan bij de duwvaartsluizen. De redenen hiervoor worden in de volgende paragraaf behandeld.

1.1 Vergelijken schutproces jachtensluizen en duwvaartsluizen

1.1.1 Niet uitvoeren opwaarts uitwisselen

In het geval van de jachtensluizen wordt het opwaarts uitwisselen niet toegepast; dit wordt behandeld in [2], de resultaten van deze notitie worden hier verkort weergegeven. De belasting van het Zijpe met zoet water uit de jachtensluizen bij het weglaten van het opwaarts uitwisselen is klein ten opzichte van de zoetbelasting van het Zijpe ten gevolge van de duwvaartsluizen. De inhoud van de jachtensluizen is namelijk veel kleiner dan die van de duwvaartsluizen (jachtensluizen: 3.000 m^3 ; duwvaartsluizen: 48.000 m^3 per sluis. De toename van het verlies van zoet water naar de Oosterschelde is marginaal, ongeveer 2% van het volume van de duwvaartsluis (zie [2]).

* Opmerking: Bewegingsrichting van het scheidingsvlak tussen zout en zoet water.

1.1.2 Weglaten geperforeerde vloer

Een volgende verandering ten opzichte van het schutsysteem van de duwvaartsluizen is het weglaten van de geperforeerde vloer bij de jachtensluizen (zie [3]). De voornaamste reden waarom deze geperforeerde vloer kan worden weggelaten is (konklusies uit [3]):

- De bescherming van het grensvlak bij in- en uitvaren van de schepen is in de jachtensluizen niet zo noodzakelijk. De door deze schepen veroorzaakt interne golven op het scheidingsvlak zijn niet zo hoog (orde 0,50 m) en de menging door schroefstralen is ook geringer dan bij de duwvaartsluizen.

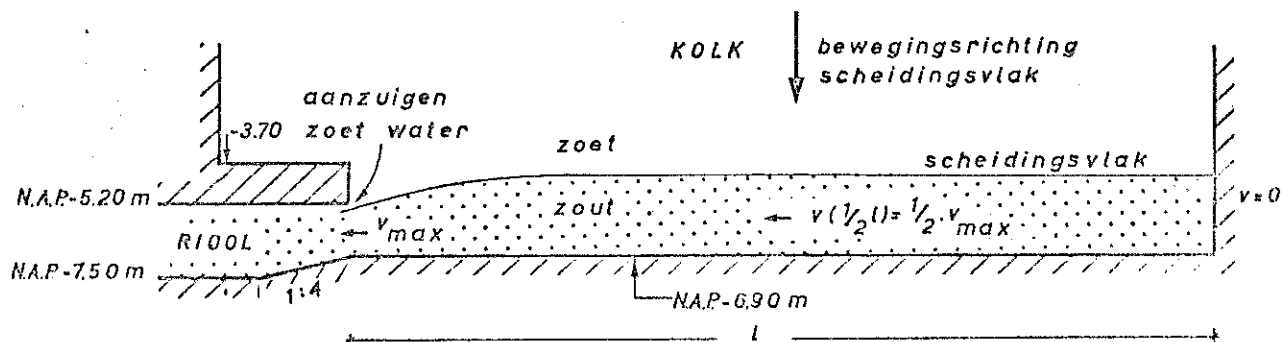
De bijkomende voordelen van het weglaten van de geperforeerde vloer zijn:

- Minder energieverbruik bij het pompen; de geperforeerde vloer veroorzaakte een extra verval bij het pompen van orde 0,10 m.
- Het scheidingsvlak behoeft minder diep te worden weggetrokken; In het geval met de geperforeerde vloer diende het scheidingsvlak tot het onder de vloer te worden weggetrokken (ongeveer NAP -4,20 m). In de situatie zonder de geperforeerde vloer dient het scheidingsvlak (in verband met interne golven) ongeveer 0,5 m onder de drempel aan Zoommeerzijde (NAP -2,70 m), dus tot NAP -3,20 m te worden weggetrokken. Dit leidt tot een afname van de bedieningstijd en afname van energie (bij pompen bij het neerwaarts nivelleren). Tevens neemt het zoetbezwaar op het Zijpe af, daar er minder zoet water in de kolk wordt ingebracht.

Als nadelen kunnen worden aangemerkt:

- Een geringe toename van het zoutbezwaar op het Zoommeer ten gevolge van menging door varende schepen (in- en uitvaren). Hier wordt een toename van 0,2% tot 0,3% zoutverlies verwacht (zie [3]).
- Er is geen sprake meer van een goede debietverdeling in de kolk.

In het kader van het weglaten van de geperforeerde vloer van de jachtensluizen is er tevens nagegaan of er selektief afzuigen van zoet water kan ontstaan bij het neerwaarts uitwisselen. Met selektief afzuigen wordt bedoeld het onttrekken van zoet water uit de kolk terwijl het scheidingsvlak hoger ligt dan het plafond van het riool (zie fig. 1.1.2.1).



Figuur 1.1.2.1 Selektief afzuigen bij neerwaarts uitwisselen

Dit selektief afzuigen wordt veroorzaakt door de drukdaling in de zoute laag in de richting van de overgang kolkriool ten gevolge van het versnellende (zoute) water. In [4] zijn enkele vergelijkingen gepresenteerd waarmee dit selektief afzuigen kan worden beschreven. Dit is uitgewerkt in appendix A. In deze appendix zijn tevens de uitgangspunten voor enkele berekeningen vermeld. Uit deze berekeningen blijkt dat selektief afzuigen pas optreedt bij een debiet van ongeveer $8 \text{ m}^3/\text{s}$ (scheidingsvlaksnelheid $0,01 \text{ m/s}$) en een dichtheidsverschil van 15 kg/m^3 ($\varepsilon = 0,015$).

1.1.3 Neerwaarts nivelleren naar Zijpepeil

Daar het opwaarts uitwisselen wordt weggelaten zal de kolk zoet zijn bij het nivelleren naar Oosterscheldepeil (zie par. 1.3).

In het geval van neerwaarts nivelleren (naar Zijpepeil) is het dan mogelijk dat er zoet water in de riolen van de jachtensluizen komt. Dit betekent dat de positie van de scheiding tussen zout en zoet water niet goed meer gedefinieerd is. Het aanzuigen van zoet water naar de riolen leidt niet direkt tot extra zout- (of zoet-) verlies. Dit hangt met name af van het begin van het neerwaarts uitwisselen, er wordt dan uitgewisseld met een al gedeeltelijk verbrakte kolk (zoet water uit de riolen mengt in de kolk). De vorm van de dichtheidsvertikaal die hierbij ontstaat, is bepalend voor het zoutverlies naar het Zoommeer.

Daar men echter wilde uitgaan van een goed gedefinieerde positie van het scheidingsvlak tussen zout en zoet water is voorgesteld het neerwaarts nivelleren naar Zijpepeil niet via de riolen, maar via deurschuiven (in draaideur

aan Zijpezijde) te laten plaatsvinden*. Voor het bovenstaande zijn twee redenen aan te voeren en wel:

- hinder voor de scheepvaart bij het opwaarts uitwisselen naar Zoommeerpeil. Indien er zoet water in de riolen is gekomen zal dit bij het opwaarts nivelleren weer terugstromen naar de (zoute) kolk. Het zoete water stijgt vrijwel vertikaal door het zoute water omhoog en veroorzaakt een heftige beroering in het wateroppervlak (zogenaamde "bloemkolen")
- de vorm van de dichtheidsvertikaal na het neerwaarts uitwisselen is niet meer eenduidig, dat wil zeggen verschilt in hoogwater- en laagwatersituatie. Dit kan problemen geven voor wat betreft de (be)sturing van het einde van het neerwaarts nivelleren.

1.1.4 Deurschuiven Zijpezijde

Uit resultaten van het onderzoek R 1650-2 [14] naar de benodigde bodembescherming bij de jachtensluizen, bleek dat het ledigen van de kolk via deurschuiven nogal wat problemen gaf; er diende een nogal zware bestorting te worden aangebracht en tevens een drempel op de sluisvloer achter de draaideur (aan Zijpezijde). Om deze reden zijn de deurschuiven in heroverweging genomen. Er diende dan echter te worden genivelleerd via de riolen; in appendix A is nagegaan tot welke vervallen (waterstanden) er neerwaarts kan worden genivelleerd zonder dat er zoet water in de riolen komt ten gevolge van selektief afzuigen.

Uit de resultaten van de in appendix A uitgevoerde berekeningen volgt dat er bij nivelleerdebielten tot $4,2 \text{ m}^3/\text{s}$ nog geen selektief afzuigen optreedt. Worden er grotere debieten aangehouden, dit is uit oogpunt van schuifsnelheid, rioolweerstand en -traagheid mogelijk, dan zal er zeker zoet water in de riolen komen**.

1.1.5 Pompschacht met overloopschot

Tussen beide pompschachten van de riolen (zie fig. 4) is een schot aangebracht tot NAP +3,00 m. Dit schot garandeert onder normale bedrijfsomstandigheden een

* Opmerking: Deze problematiek is niet vastgelegd in een notitie. In de notulen van de ontwerpgroep Philipsdamsluizen is deze problematiek aan de orde geweest in 1977 en 1978; zie ook [13].

**Opmerking: Er is voorgesteld om het zoete water uit de riolen te verwijderen door tussen uitvaren en invaren van de schepen aan Zijpe-zijde zout water door het riool te pompen.

scheiding van beide riolen. De maximale waterstand waarbij geslut wordt is NAP + 2,50 m, hierop is in verband met slingeringen nog 0,50 m toegevoegd. In kalamiteitsomstandigheden zal er dus water over dit schot storten naar het andere riool. Deze overstort zorgt ervoor dat er geen extreem grote belastingen op de hoofdschuif in het gemaal worden uitgeoefend. Tevens wordt de waterstand in de schacht dusdanig beperkt dat de verbinding tussen pompschacht en een elektroruimte op NAP +5,65 m nooit onder water komt.

Hiernavolgend wordt voor de twee verschillende richtingen van het verval over de sluizen het schutproces beschreven (zie ook fig. 2). Het geval dat de waterstand op de Oosterscheldezijde, hoger is dan op het Zoommeer wordt hoogwatersituatie genoemd. Het geval dat het verval andersom is gericht wordt laagwatersituatie genoemd.

1.2 Hoogwatersituatie

Er wordt uitgegaan van een beginsituatie met een schutting van de Oosterscheldezijde naar de Zoommeerzijde. De volgende fasen kunnen dan worden onderscheiden in het schutproces (zie ook fig. 2):

1. Invaren schepen van Oosterscheldezijde (Zijpe), waarna de draaideur aan de Oosterschelde wordt gesloten.
2. Neerwaarts nivelleren van waterstand Oosterscheldezijde naar waterstand Zoommeer (Volkerakzijde). Dit neerwaarts nivelleren geschiedt met behulp van pompen (via een gemaal) van (zout) water uit de kolk naar de voorhaven aan de Oosterscheldezijde. Deze wijze van nivelleren is niet hetzelfde als bij de duwvaartsluizen. Het water wordt bij de duwvaartsluizen afgelaten naar het lage bekken.
3. Neerwaarts uitwisselen, het zoute water in de kolk wordt vervangen door zoet water. Het zoute water wordt weggepompt uit de kolk en via het gemaal afgevoerd naar de Oosterscheldezijde. Het zoete water wordt ingelaten via de kolkwandriolen, die slechts aan één zijde van de sluis zijn aangebracht. De stroming door de kolkwandriolen wordt in stand gehouden door een (klein) verval over de kolkwandriolen, dat wil zeggen, een klein verval tussen kolk en Zoommeer. Als het zoute water zich onder de drempel aan het zoete sluishoofd bevindt kan het uitwisselproces worden gestopt (scheidingsvlak op

ongeveer NAP -3,20 m).

4. Openen van de draaideur aan de Zoommeerzijde, waarna de schepen uit- en invaren en de draaideur weer kan worden gesloten. Bij dit in- en uitvaren kunnen de kolkwandriolen open blijven staan of reeds afgesloten zijn.
5. Opwaarts nivelleren van waterstand Zoommeer naar de waterstand aan de Oosterscheldezijde. Dit nivelleren kan nu geschieden onder vrij verval. Er wordt zout water uit de voorhaven ingelaten via de kortsluiting in het gemaal. (Zoals reeds eerder vermeld wordt er bij de jachtensluizen niet opwaarts uitgewisseld). Bij het vullen ontstaat er niet direkt gelijk water, en wel door de volgende factoren:
 - a. het dichtheidsverschil tussen kolk en Oosterscheldezijde
 - b. het doorslingeren van de kolk.
6. Na het nivelleren kan de draaideur worden geopend en kunnen de schepen uitvaren.

1.3 Laagwatersituatie

Uitgaande van de aanvang van het schutproces bij een schutting van Oosterscheldezijde naar Zoommeerzijde kunnen de volgende fasen in het schutproces worden onderscheiden:

1. Invaren van de schepen vanaf de Oosterscheldezijde en sluiten van de draaideur.
2. Opwaarts nivelleren van de waterstand aan de Oosterscheldezijde naar de waterstand op het Zoommeer. Dit nivelleren geschiedt door het pompen van (zout) water uit de voorhaven aan de Oosterscheldezijde naar de kolk.
3. Neerwaarts uitwisselen, het zoute water in de kolk wordt vervangen door zoet water. Het zoute water kan onder vrij verval worden afgelaten naar de voorhaven aan de Oosterscheldezijde en wel via het omloopkanaal in het gemaal. Als het zoute water zich onder de drempel aan het zoete sluishoofd bevindt, kan het uitwisselproces worden gestopt.
4. Openen van de draaideur aan de Zoommeerzijde waarna de schepen kunnen uit-

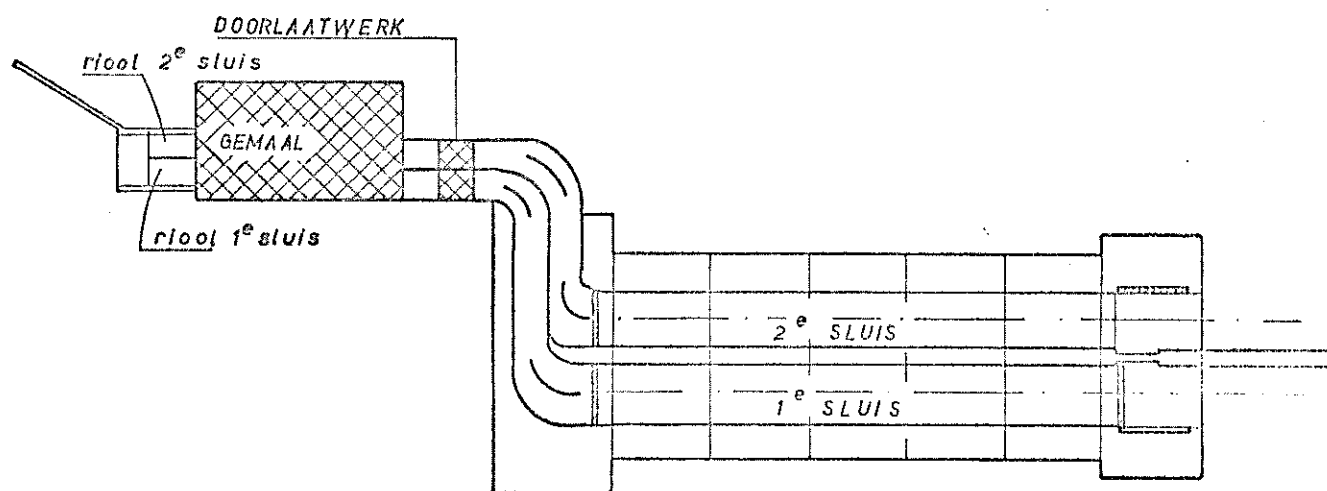
en invaren en de draaideur weer kan worden gesloten.

5. Neerwaarts nivelleren van de waterstand op het Zoommeer naar de waterstand aan de Oosterscheldezijde. Dit nivelleren geschiedt via deurschuiven in de draaideur aan het zoute sluishoofd (Oosterscheldezijde). Er wordt niet genivelleerd via de kortsluiting in het gemaal (zie par. 1.1).
6. De draaideur aan de Oosterscheldezijde kan worden geopend en de schepen kunnen uitvaren.

In het bovenstaande is het schutproces in de hoog- en laagwatersituatie globaal omschreven. Een meer gedetailleerde beschrijving van deze fasen en de hydraulische aspecten, die hierbij een rol spelen, is in de volgende paragrafen gegeven.

2 Schematisatie jachtensluis en riolen

Voordat de verschillende onderdelen van het schutproces worden beschreven wordt eerst een beschrijving gegeven van het schutsysteem van de jachtensluizen. In figuur 2.1 is een overzicht gegeven van de situering van de verschillende onderdelen van het schutsysteem van de jachtensluizen.



Figuur 2.1 Overzicht onderdelen schutsysteem jachtensluizen

De verschillende onderdelen van het schutsysteem zijn:

- de beide jachtensluizen met kolkwandriolen en deurschuiven (ten behoeve van het neerwaarts nivelleren)
- riolen die de sluiskolken verbinden met de voorhaven aan de Oosterschelde-zijde; één riool per kolk
- het doorlaatwerk met een hoofdschuif; deze schuif wordt of gebruikt als open/dicht schuif of als stuurschuif voor het debiet
- het gemaal, waarin zich per riool een pomp bevindt; boven deze pomp is er een kortsluiting waarin de hoofdschuif van het gemaal is aangebracht.

De figuren 3 en 4 zijn detailtekeningen van het systeem en wel van het gedeelte tussen de voorhaven aan de Oosterscheldezijde en de eerste bocht na het doorlaatwerk. Dit is het belangrijkste gedeelte daar hier de schuiven, pompen en schachten zijn gesitueerd. De configuratie van het schutsysteem is nogal ingewikkeld. Het schutsysteem is dan ook geschematiseerd ten behoeve van het onderzoek naar slingeringen tussen kolk en pompschacht en het bepalen van maximum/minimum waterstanden in de verschillende schachten. Een afschatting

Als het inkomende debiet (Q_{in}) een kleinere weerstand ondervindt dan het uitgaande debiet (Q_{uit}), zal de schachtwaterstand meer door de bovenstrooms van de schuif heersende waterstand beïnvloed worden. In het omgekeerde geval komt de schachtwaterstand dicht bij de benedenstroomse waterstand (of drukhoogte benedenstrooms van de schuif).

Zoals uit het bovenstaande blijkt kan niet direkt worden vastgesteld of de schuifschachten in de schematisatie aan de bovenstroomse of de benedenstroomse zijde van de schuif moeten worden geplaatst. In eerste instantie is gekozen om de schuifschachten in de schematisatie aan die zijde van de schuif te plaatsen waarbij een gesloten, dat wil zeggen aangedrukte schuif, de schacht verbonden is met het aansluitende rioolgedeelte. Dit is voor beide hoofdschuiven het rioolgedeelte aan voorhavenzijde (zie fig. 3 en fig. 2.4). Dit betekent dat de schachtslingeringen, die optreden bij schuifsluitingen, goed kunnen worden weergegeven. Het ledigen of vollopen van een schuifschacht, voordat de schuif geheel gesloten is, wordt dan minder goed weergegeven. De taxatie is echter dat deze situatie niet kritisch is.

Dit betekent dus dat de schachten van de hoofdschuiven van gemaal en doorlaatwerk in de schematisatie aan de voorhavenzijde (Zijpe) zijn geplaatst.

De schematisatie van het schutsysteem kan nog worden gesimplificeerd door enkele schachten samen te voegen:

- de onderhoudsschuifschacht ligt dusdanig dicht bij het voorhavenbekken dat de waterstandsverschillen, zelfs bij extreme debieten, vrij gering blijven. Deze schacht is ook bij het voorhavenbekken gevoegd, dat wil zeggen, deze schacht vervalt. (voorhavenbekken is oneindig groot)
- de schacht van de hoofdschuif in het gemaal en de toegangsschacht kunnen worden samengevoegd daar ze op een zeer geringe afstand van elkaar liggen (ongeveer 1 m). Het totale oppervlak van deze schacht wordt dan $11,5 \text{ m}^2$
- de schacht van de hoofdschuif van het doorlaatwerk kan bij de pompschacht van het gemaal worden gevoegd. Ook hier geldt dat de afstanden tussen deze schachten vrij gering is (ongeveer 8 m).

Uitgaande van een nivelleer- of uitwisselfase met behulp van pompen (normaal is een debiet van $4,2 \text{ m}^3/\text{s}$, zie fig. 5) volgt een (enkele) slingeramplitude van 0,70 m in de pompschacht.

Uitgaande van vrij verval situaties, waarbij de debieten hoger zijn (tot ongeveer $25 \text{ m}^3/\text{s}$ bij kalamiteitssituaties) kunnen er dus nog grotere slingeramplitudes ontstaan. Dit kan problemen geven bij de sturing van het schutproces. In een volgend gedeelte van dit onderzoek (R 1650-3) wordt aandacht besteed aan dit aspect.

3 Randvoorwaarden

De randvoorwaarden voor het schutproces kunnen worden onderverdeeld in enkele groepen, te weten:

- a. Randvoorwaarden voor de fasen in het schutproces waarbij wordt gepompt (pomp in het gemaal), behandeld in paragraaf 3.1.
- b. Randvoorwaarden voor nivelleren en uitwisselen onder vrij verval; dat wil zeggen extreme en gemiddelde waterstanden aan de Zoommeer- en Oosterscheldezijde, zie paragraaf 3.2.
- c. Randvoorwaarden opgelegd door de processen in de kolk, onder te verdelen in:
 - * zout-zoet problematiek (par. 3.3.1 en 3.3.2)
 - * eisen vanuit scheepvaart (par. 3.3.3).
- d. Randvoorwaarden voor wat betreft de bewegingswerken, dat wil zeggen de rioolschuiven, afdichtende regelschuiven, de draaideur en de deurschuiven (zie par. 3.4).

3.1 Pomp

De definitieve randvoorwaarden voor wat betreft de pomp zijn nog niet bekend. Het uiteindelijke ontwerp van de pomp komt eind 1981 gereed. Om enige indruk te hebben over de pompkapaciteit zijn gegevens overgenomen uit [5] en [15].

Deze gegevens zijn gepresenteerd in figuur 5, dat wil zeggen in deze figuur zijn Q-h krommen gegeven, zowel voor pomprichting kolk-Zijpe als voor pomprichting Zijpe-kolk. Voor het geval van pomprichting kolk-Zijpe zijn later nog nieuwe Q-h krommen bekend worden, deze zijn ook in figuur 5 gegeven. Deze Q-h krommen zijn uitgezet voor verschillende toerentallen van de pomp.

Het debiet door de pomp wordt geregeld door het toerental van de pomp; bij variërend verval wordt het toerental veranderd om toch een konstant debiet te verkrijgen. De afbouw en opbouw van het debiet zou in eerste instantie geregeld worden met een vlinderklep bij de pomp. In een notitie voor de ontwerpgroep Philipsdamsluizen (OPS 119 [16], juni 1981) is aangegeven dat deze vlinderklep bij de pomp om technische redenen kan vervallen. De varianten met vlinderklep zijn echter wel opgenomen in deze notitie daar dit weglaten van de

vlinderklep, en het onderzoeken van de konsekventies hiervan, heeft plaatsgevonden tijdens het uitvoeren van dit onderzoek.

Zowel in de situatie met vlinderklep als in de situatie zonder vlinderklep kan er terugstromen door de pomp optreden. De Q-h krommen voor dit terugstromen door de pomp zijn gegeven in figuur 6. Zowel in figuur 5 als in figuur 6 is het gegeven verval h het waterstandsverschil tussen kolk en Zijpe, waarbij de weerstand van de niet aangegroeide riolen in rekening is gebracht.

3.2 Maatgevende waterstanden Zijpe en Zoommeer

De maatgevende waterstanden zijn tevens verkregen uit [5]. De jachtensluizen worden in de tijdelijke situatie (tot medio 1985) niet gebruikt. Dit betekent dat voor het schutproces alleen de waterstanden voor de eindsituatie (na in werking treden stormvloedkering, na medio 1985) van belang zijn.

omschrijving waterstanden	laag water (in [m] t.o.v. NAP)	hoog water (in [m] t.o.v. NAP)
gemiddeld doodtij	-1,11	+0,97
normaal tij	-1,25	+1,20
gemiddeld springtij	-1,37	+1,36
maximale/minimale waterstand	-3,50	+3,50

Tabel 3.2.1 waterstanden aan Oosterscheldezijde (uit [5])

omschrijving waterstanden	lage waterstanden (in [m] t.o.v. NAP)	hoge waterstanden (in [m] t.o.v. NAP)
normaal beheer (zonder wind)	-0,25	+0,25
normaal beheer (met wind)	-0,50	+0,50
extreem beheer (zonder wind)	-1,00	+0,50
extreem beheer (met wind)	-1,25	+0,75

Tabel 3.2.2 Waterstanden aan Zoommeerzijde (uit [5])

Naast deze waterstanden gelden de afgesproken maximum en minimum schutpeilen. Deze schutpeilen zijn bij de jachtensluizen hetzelfde als bij de duwvaartsluizen namelijk (uit [5]):

- maximum schutpeil NAP +2,50 m
- minimum schutpeil NAP -2,35 m

Voor de hydraulische processen zijn de maximum en minimum schutpeilen maatgevend en niet de maximum en minimum waterstanden aan de Oosterscheldezijde.

3.3 Processen in de kolk

3.3.1 Zout/zoetproblematiek (neerwaarts uitwisselen)

Zoals reeds in de inleiding van deze paragraaf is aangegeven zullen de eisen ten aanzien van golven en menging bij het scheidingsvlak ook randvoorwaarden opleggen aan het schutproces. Deze randvoorwaarden hebben bij de jachtensluis alleen betrekking op het neerwaarts uitwisselen.

Bij de sturing van het neerwaarts uitwisselproces zijn de volgende parameters van belang:

- de verandering van debiet bij het opstarten van het debiet (dQ/dt)
- de uiteindelijke grensvlaksnelheid, dat wil zeggen het maximum uitwissel-debiet

- de verandering van debiet respectievelijk het maximum debiet bij het afbouwen van het debiet.

De vormgeving van de kolkwandriolen van de jachtensluizen is gelijk aan die van de naastliggende duwvaartsluizen (zie ook par. 3.4). Resultaten van onderzoek voor het uitwisselen bij de duwvaartsluizen worden geacht toepasbaar te zijn bij de jachtensluizen. Aan de hand van het rapport M 1529-III [6], onderzoek neerwaarts uitwisselen voor de duwvaartsluizen, wordt op de hierboven genoemde eerste twee punten ingegaan.

Begin neerwaarts uitwisselen

De resultaten uit het rapport M 1529-III zijn voor wat betreft de verandering van debiet in de tijd omgeschaald. Hierbij is ervan uitgegaan dat de verandering van debiet in de tijd bij de kolkwandriolen van jachtensluizen en duwvaartsluizen gelijk zijn, er volgt dan:

$$(dQ/dt)_{js} = (dQ/dt)_{ds} * \frac{n_{js}}{n_{ds}}$$

waarin dQ/dt = verandering van debiet [m³/s²]

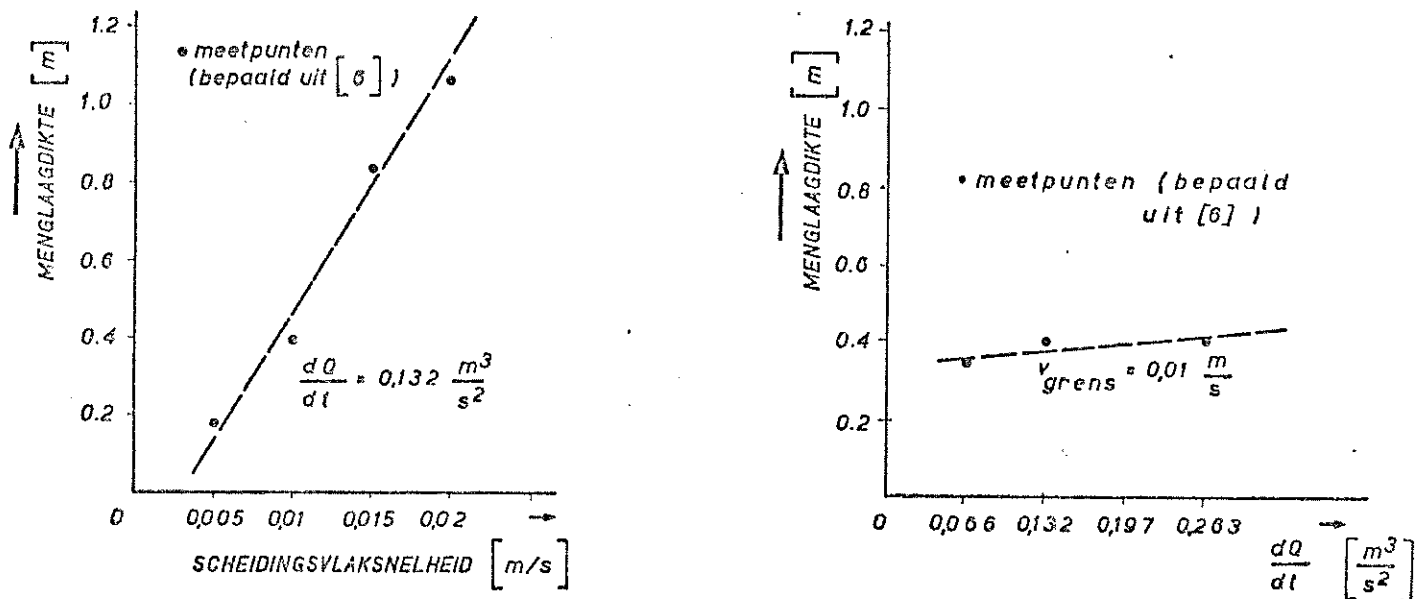
n_{js} = aantal kolkwandriolen jachtensluis (15) [-]

n_{ds} = aantal kolkwandriolen duwvaartsluis (114) [-]

De (dQ/dt) van de duwvaartsluizen is in het kader van M 1529 gevarieerd tussen 0,5 en 2,0 m³/s² (per kolk), de dQ/dt van de jachtensluizen varieert dan tussen 0,066 en 0,263 m³/s² (per kolk).

In de volgende figuren is de dikte van de menglaag uitgezet tegen de verandering van debiet in de tijd (dQ/dt) en de scheidingsvlaksnelheid. Een toename van de dikte van de menglaag betekent of extra zoutverlies of het verder wegtrekken van het scheidingsvlak wat de uitwisseltijd zal verlengen (schutkapaciteit wordt geringer) en meer zoetverlies zal geven.

De in onderstaande figuren gepresenteerde resultaten zijn bepaald uitgaande van een Froude-intergetal van één in de doorsnede boven de afdichtende regelschuiven, en zonder schepen in de kolk. Dit laatste is een reële aanname in het geval van de jachtensluis vanwege de geringe diepgang van de jachten.



Figuur 3.3.1.1 Menglaagdikte als functie van scheidingsvlaksnelheid en dQ/dt (bepaald uit [6])

Uit de bovenstaande resultaten volgt dat de grensvlaksnelheid (uitwisseldebiet) een grotere invloed heeft op de menglaagdikte dan de verandering van debiet.

Eind neerwaarts uitwisselen

Aan het einde van het neerwaarts uitwisselen zal het debiet moeten worden afgebouwd. De verandering van het debiet veroorzaakt een translatiegolf in de kolk, dat wil zeggen aan het wateroppervlak, de zogenaamde externe translatiegolf. Daar het debiet alleen in de zoute laag verandert ontstaat er op het scheidingsvlak tussen zout en zoet ook translatiegolf de genaamde interne golf. Uit de analyse gepresenteerd in appendix B blijkt het volgende:

* de hoogte van de interne golf hangt in de meeste gevallen af van het maximum debiet, het dichtheidsverschil en de laagdikteverhouding

$$\eta_i = \frac{Q_{\max} \cdot c_i}{\varepsilon \cdot g \cdot A_{\text{zout}}}$$

$$A_{\text{zout}} = b_k \cdot a_2$$

waarin $Q_{\max}$	= maximum debiet	$[m^3/s]$
η_i	= hoogte interne golf	$[m]$
c_i	= translatiegolf snelheid interne golf	$[m/s]$
ϵ	= dichtheidsverschil ($\Delta\rho/\rho$)	$[-]$
A_{zout}	= verticale doorsnede zoute laag	$[m^2]$
b_k	= breedte kolk	$[m]$
a_2	= dikte zoute laag	$[m]$

* Alleen bij een afbouwtijd van het debiet groter dan de tijd die de interne golf nodig heeft om de sluiskolk te doorlopen wordt de interne golfhoogte anders:

$$t_{\text{afbouw}} > l_k / c_i$$

$$\eta_i = \frac{dQ/dt}{\epsilon \cdot g \cdot A_{\text{zout}}} \cdot l_k$$

waarin l_k = lengte kolk $[m]$
 dQ/dt = verandering van debiet

3.3.2 Nautische randvoorwaarden

Ook door de schepen in de kolk worden randvoorwaarden aan het schutproces opgelegd. Criteria zijn:

- Langs- en dwarskrachten op de schepen. In eerste instantie is gesteld dat de maximum langskracht op een jacht (orde 10 m lang) in normale omstandigheden niet meer dan 3^o/oo en in kalamiteitssituaties niet meer dan 5^o/oo van het scheepsgewicht mag zijn.

Wordt er incidenteel met grotere schepen geschut in de jachtensluis (b.v. pontons of werkbotten) dan geldt voor deze schepen een maximum van 1^o/oo. In feite betekent dit dat bij deze incidentele schuttingen het schutproces iets moet worden bijgesteld om niet de maximum langskrachten te overschrijden.

- De stijg- respectievelijk de zaksnelheid van het waterniveau. Deze snelheid is in eerste instantie gelimiteerd tot 0,02 à 0,03 m/s. De overweging hiervoor is dat er bij de pleziervaart weinig ervaring is met het schutbedrijf.

Bij kleinere zak- en stijgsnelheden zullen de trossen minder snel behoeven overgenomen op andere bolders. Hierbij wordt 0,02 m/s aangehouden tijdens normaal schutbedrijf en 0,03 m/s als maximum bij kalamiteitssituaties.

- De maximale langssnelheid van het water langs het schip is in eerste instantie gelimiteerd tot 0,5 à 0,7 m/s (in afgemeerde toestand). Hierbij kan worden opgemerkt dat bij het openen van de deur aan de Zijpezijde er een uitwisselstroom optreedt (zoete kolk - zoute voorhaven). De snelheid van deze uitwisselstroom is ongeveer:

$$c = \frac{1}{2} \sqrt{\epsilon g h} \quad (\text{zie [7]})$$

Uitgaande van bovenstaande snelheid van de uitwisselstroom zal de totale kolk zout zijn als de zouttong terug heeft doorlopen:

$$\text{"uitwisseltijd": } t = \frac{2 \cdot L_k}{c}$$

waarin: t = "uitwisseltijd" [s]
 L_k = lengte kolk [m]
 c = snelheid uitwisselstroom [m/s].

Dit betekent voor de jachtsluizen een langssnelheid van ongeveer 0,5 m/s. (het dichtheidsverschil is maximaal 20 kg/m³, $\epsilon = 0,02$; $h \approx 5,00$ m), en een uitwisseltijd van ongeveer 320 seconden ($L_k \approx 80$ m).

- Tijdens het schutproces dient het wateroppervlak in de kolk zo rustig mogelijk te zijn. Woelingen ten gevolge van turbulentie dienen zoveel mogelijk te worden voorkomen.

Bovenstaande nautische randvoorwaarden zijn grotendeels ook onderschreven door de Dienst Verkeerskunde van Rijkswaterstaat (brief SX 812909 dd. 8 mei 1981 aan de Deltadienst, Hoofdafdeling Waterloopkunde).

Ten aanzien van de langskrachtcriteria voor jachten zal er door WL, in het kader van deze studie alsnog een onderzoek worden uitgevoerd. De resultaten van dit onderzoek naar langskrachtcriteria zullen in een later stadium nog in het totale onderzoek R 1650 worden verwerkt.

3.4 Bewegingswerken

De bewegingswerken in de jachtensluizen kunnen worden onderverdeeld in bewegingswerken bij:

- hoofdschuiven van gemaal en doorlaatwerk
- afdichtende regelschuiven bij de kolkwandriolen
- draaideur en mogelijk de deurschuiven (draaideur Zijpe-zijde).

De onderstaande gegevens zijn ontleend aan tekeningen van Directie Bruggen.

hoofdschuiven gemaal en doorlaatwerk

De hoofdschuiven van gemaal en doorlaatwerk zijn identiek, de hieronder genoemde randvoorwaarden gelden voor beide schuiven. Deze randvoorwaarden zijn als volgt:

- maximum schuifsnelheid 0,04 à 0,06 m/s; in het geval er geen verval over de schuiven staat kan de schuifsnelheid 0,10 m/s worden
- de afdrukprocedure van de schuif wordt uitgevoerd door de heugelstangen van de schuif over 0,35 m vertikaal te bewegen, de schuif beweegt dan alleen in horizontale richting. Het is de bedoeling dat deze afdrukprocedure geschiedt met maximale snelheid
- de laagste stand (in verticale richting) van de schuif is ongeveer 0,16 m onder de bodem van het riool (in verband met afdrukken tegen drempel). Dit is een relatief openingspercentage d/D van ongeveer -0,065. Dit is de begin- of eindpositie van de verticale beweging.

afdichtende regelschuiven

De afdichtende regelschuiven zijn identiek aan die van de duwvaartsluizen, de randvoorwaarden voor deze schuiven zijn:

- de maximum schuifsnelheid van de schuif is 0,025 m/s. De minimum schuifsnelheid waarbij de schuif nog kan worden gestuurd is 0,005 m/s
- de afdrukprocedure bij het openen duurt 3 à 5 seconden, bij het sluiten van de schuif duurt deze procedure ongeveer 8 seconden
- de hoogste stand van de afdichtende regelschuif is 0,20 m boven NAP. De beweging naar de beginstand van het neerwaarts uitwisselen (waterpeil omarmend zoet, maximaal NAP) geschiedt met maximum schuifsnelheid.

draaideur en deurschuiven

De draaideuren van de jachtensluizen worden bewogen met behulp van een panamawiel. In figuur 7 is het tijd-snelheidsdiagram van deze draaideur gegeven. De openingsprocedure van deze deuren is belangrijk in verband met het maximum verval waarbij deze deuren nog mogen worden geopend.

In paragraaf 6.6 komt dit nog kort ter sprake, in het vervolg van het onderzoek dient aan deze problematiek nog aandacht te worden besteed.

De deurschuiven in de jachtensluizen zijn zoals eerder vermeld in heroverweging genomen. Door Direktie Bruggen is tot nu toe voor deze schuiven een schuif-snelheid van 0,008 m/s aangehouden.

In R 1650-02 [14] is aangegeven dat een schuif-snelheid van 0,015 m/s mogelijk is zonder dat het langskrachts criterium voor de jachten (3°/oo) wordt overschreden. Alleen in het geval van incidenteel schutten dient deze schuif-snelheid te worden gereduceerd.

4 Sturingsmethoden schutproces

Bij het analyseren van de verschillende fasen uit het schutproces kan worden uitgegaan van verschillende methoden om het schutproces te sturen.

In de jachtensluis kan namelijk de sturing van het proces, in feite de sturing van het debiet, op verschillende wijze gebeuren:

methode A

De hoofdschuif in het gemaal regelt het debiet bij het nivelleren en uitwisselen onder vrij verval. De regelklep bij de pomp regelt het debiet van de pomp bij het opbouwen en afbouwen van het debiet; bij maximum debiet wordt de pomp gestuurd op toeren, zodat een konstant debiet wordt verkregen (bij veranderend verval). De hoofdschuif in het doorlaatwerk heeft geen functie bij het besturen van het schutproces en dient alleen als open/dicht schuif in geval van kalamiteiten of onderhoud.

methode B

De hoofdschuif in het doorlaatwerk regelt het debiet bij het nivelleren en uitwisselen onder vrij verval. De hoofdschuif in het gemaal dient bij deze methode als open/dicht schuif. Het regelen van het debiet bij het pompen via het gemaal geschiedt in principe met behulp van de regelklep in de pomp en door de toerenregeling van de pomp.

methode C

Deze sturingsmethode is bijna identiek aan sturingsmethode B. In deze sturingsmethode is echter de vlinderklep bij de pomp vervallen. De hoofdschuif in het doorlaatwerk dient dan stuurschuif te worden. Het is namelijk onmogelijk de gemaalschuif als stuurschuif te kiezen, omdat er tegelijkertijd stroming door de pomp optreedt.

Bij alle bovenstaande methoden is aangenomen dat het neerwaarts nivelleren bij schutten van Zoommeer naar Zijpe geschiedt met behulp van de deurschuiven in de draaideur aan de Zijpe-zijde.

5 Aanpak analyse van het schutproces

In de vorige paragraaf is aangegeven dat er verschillende methodes zijn om het debiet tijdens schutproces te sturen. De fasen van het schutproces waarin het debiet wordt gestuurd zijn (notatie fasen schutproces zie fig. 2):

- hoogwatersituatie: neerwaarts nivelleren (H2)
 neerwaarts uitwisselen (H3)
 opwaarts nivelleren (H5)
- laagwatersituatie: opwaarts nivelleren (L2)
 neerwaarts uitwisselen (L3)
 neerwaarts nivelleren (L5)

Hierboven genoemde fasen uit het schutproces worden hierna volgend geanalyseerd, en wel uitgaande van de in paragraaf 4 genoemde sturingsmethoden A, B of C (keuze hoofdschuif in het gemaal resp. hoofdschuif in het doorlaatwerk als regelorgaan).

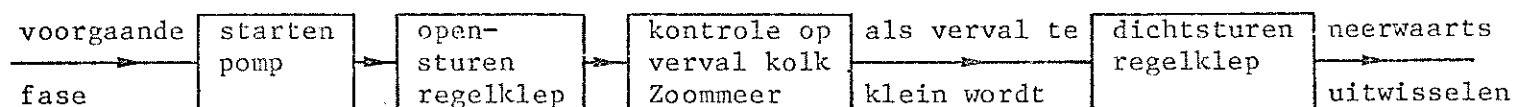
Bij beide sturingsmethoden is zowel uitgegaan van normale omstandigheden als van kalamiteitsomstandigheden. Naast de analyse van de verschillende handelingen in het schutproces is tevens aangegeven welke problemen verwacht kunnen worden bij de sturing van het schutproces. Deze problemen zijn zowel aangegeven bij het schutten onder normale als bij kalamiteitsomstandigheden. In paragrafen 6 (normale omstandigheden) en 7 (kalamiteitsomstandigheden) is de analyse van sturingsmethode A (regelorgaan is de hoofdschuif in het gemaal) gepresenteerd in paragraaf 8 de analyse van sturingsmethode B (regelorgaan is de hoofdschuif in het doorlaatwerk) en in de paragraaf 9 de analyse van sturingsmethode C (vlinderklep weggelaten).

6 Analyse schutproces uitgaande van methode A

Bij het toepassen van besturingsmethode A van het debiet naar of uit de kolk blijft de hoofdschuif in het doorlaatwerk altijd geopend. Dit betekent dat in een rustsituatie ($Q = 0$) de waterstanden in de pompschacht en de kolk (en daartussen gelegen schachten) gelijk zijn. Het is echter mogelijk dat bij het begin van een fase er nog een slingingering van de waterstand tussen kolk en pompschacht aanwezig is. Dit is dan het gevolg van het afbouwen van het debiet in een vorige fase. (dit is reeds behandeld in par. 2). In het geval van nivelleren met behulp van pompen (voor de neerwaarts uitwisselfase) is de bovengrens van deze slingeramplitude in de pompschacht ongeveer 0,70 m (zie par. 2) In de vrij verval situaties en bij kalamiteiten worden deze slingeramplitudes veel groter (tot een faktor 5, zie par. 7).

6.1 Neerwaarts nivelleren hoogwatersituatie (H2)

Neerwaarts nivelleren in de hoogwaterfase geschiedt met behulp van pompen. De waterstand in de kolk wordt hierbij van de waterstand van de Zijpezijde gebracht naar die van het Zoommeer. Deze schuthandeling wordt gestuurd met behulp van de regelklep in de pomp en wel volgens het volgende schema.

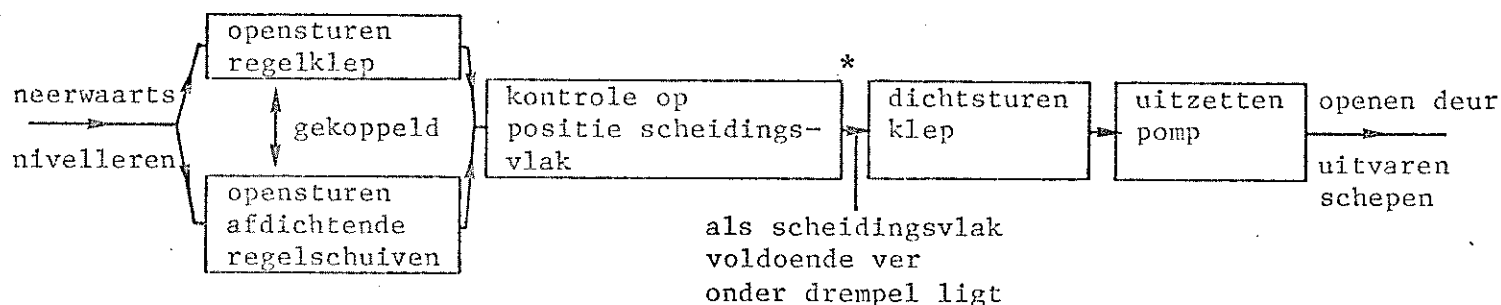


figuur 6.1.1 Sturing regelklep pomp bij neerwaarts nivelleren
(hoogwatersituatie; methode A)

Tijdens het dichtsturen van de regelklep ontstaan slingeringen in de waterstanden van bekken en kolk. Dit zal invloed hebben op de debietsturing in de volgende fase.

6.2 Neerwaarts uitwisselen hoogwatersituatie (H3)

Het neerwaarts uitwisselen geschiedt evenals het neerwaarts nivelleren in de hoogwatersituatie met behulp van pompen. De sturing van dit gedeelte van het schutproces geschiedt op de volgende wijze:



Figuur 6.2.1 Sturing schutproces bij neerwaarts uitwisselen met behulp van pompen (hoogwatersituatie; methode A)

De invloed van het slingeren van schacht en kolkwaterstand bij het begin van het neerwaarts uitwisselen (zie par. 6.1) op de menging van zout en zoet water in de kolk is moeilijk te bepalen.

Deze slingeren zouden voorkomen kunnen worden door het debiet bij het neerwaarts nivellieren niet af te bouwen, maar bij een kolkwaterstand van ongeveer Zoommeerpeil direkt te vervolgen met neerwaarts uitwisselen. Dan zou echter de stand van de afdichtende regelschuiven niet meer optimaal aangepast kunnen worden aan het debiet, hetgeen veel extra menging geeft.

6.3 Opwaarts nivellieren hoogwatersituatie (H5)

Het opwaarts nivellieren kan geschieden onder vrij verval. De hoofdschuif in het gemaal dient in dit geval te worden getrokken met een dusdanige snelheid dat de dQ/dt beperkt blijft in verband met langskrachten op schepen. Ook de maximum schuifopening dient beperkt te blijven in verband met een maximum zaksnelheid van de waterspiegel in de kolk. Wordt voor het laatste 2 cm/s aangehouden dan komt dit in feite neer op een maximum debiet van $15 \text{ m}^3/\text{s}$.

Het einde van het opwaarts nivellieren kan op verschillende wijzen plaatsvinden:

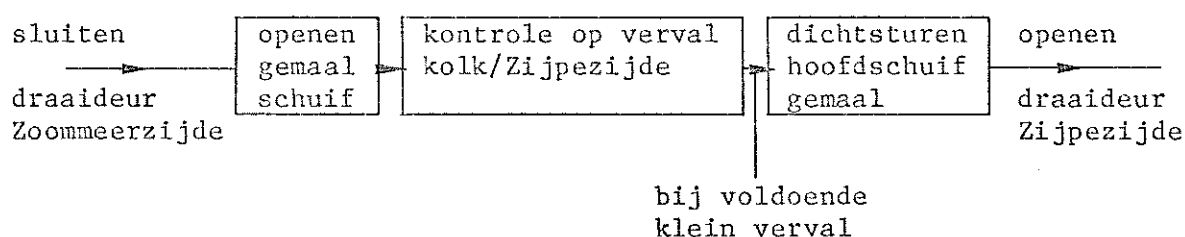
- dichtsturen van de schuif als het verval tussen de kolk en voorhaven Zijpezijde een bepaalde waarde onderschrijdt (hetzelfde als bij neerwaarts nivellieren via de pomp).
- het accepteren van "doorslingeren" van de kolkwaterstand; de schuif kan dan wel bij een klein verval al gedeeltelijk zijn dicht gestuurd. De schuif

* Dit kan met behulp van een tijdsduur of de geïnstalleerde zoutmeters.

wordt dan pas gesloten als de slingeramplitudes uitgedempt zijn. Welke amplitude toelaatbaar is moet nog bekeken worden.

Daarbij het neerwaarts nivelleren de waterstand toch al via besturing op een bepaald eindniveau (0,05 m nauwkeurig; zie [12]) moet worden gebracht, verdient de eerste wijze van besturen de voorkeur en vergt ook minder tijd.

Het schema van de besturing van de hoofdschuif in het gemaal ziet er in deze situatie als volgt uit:



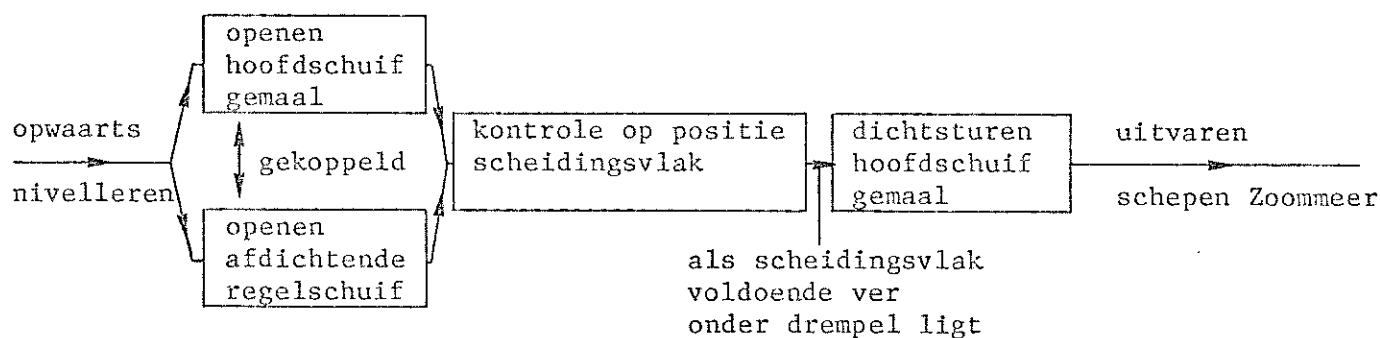
Figuur 6.3.1 Sturing debiet bij het opwaarts nivelleren
(hoogwatersituatie; methode A)

6.4 Opwaarts nivelleren laagwatersituatie (L2)

Het opwaarts nivelleren in de laagwatersituatie geschiedt met behulp van pompen. De sturing van deze fase, vindt op dezelfde wijze plaats als in de van het neerwaarts nivelleren in de hoogwaterfase (zie par. 6.1).

6.5 Neerwaarts uitwisselen laagwatersituatie (L3)

Het neerwaarts uitwisselen kan in deze situatie geschieden onder vrij verval. De debietsturing geschiedt in dit geval dus door de hoofdschuif in het gemaal. Hierbij geldt echter dat de sturing van hoofdschuif in het gemaal en afdichtende regelschuiven (in kolkwandriolen) op elkaar afgestemd dienen te worden in verband met de menging respectievelijk het optreden van zoutverlies. De sturing van dit proces ziet er dan als volgt uit:



Figuur 6.5.1 Sturing debiet bij neerwaarts uitwisselen
(laagwatersituatie; methode A)

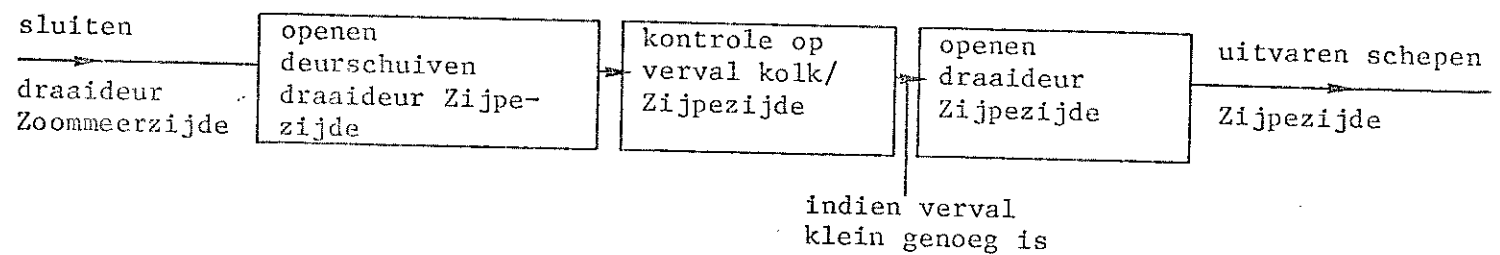
Het is aan te bevelen dezelfde debietprogrammering aan te houden als bij het neerwaarts uitwisselen met behulp van de pomp in de hoogwatersituatie. Het afdichtende regelschuifprogramma is dan onafhankelijk van de wijze waarop het zoutwaterdebiet wordt verkregen. Het is dan nog altijd mogelijk om in vrij verval situaties grotere debieten ($Q > 4,2 \text{ m}^3/\text{s}$) toe te passen. Dit kan of door het vergroten van debiet respectievelijk afdichtende regelschuifopening als het scheidingsvlak ver genoeg gedaald is of door het debiet al direkt bij het opstarten verder te vergroten en dan ook de afdichtende regelschuifbeweging door te zetten.

6.6 Neerwaarts nivelleren laagwatersituatie (L5)

Het neerwaarts nivelleren in de laagwatersituatie geschiedt vooralsnog met behulp van deurschuiven in de draaideuren aan de Oosterscheldezijde (zie par. 1). De sturing van deze fase is dus onafhankelijk van de keuze van de sturingsmethode van de debiet in de riolen. In het onderzoek M 1359 zijn al enkele berekeningen uitgevoerd ten behoeve van de sturing van deze deurschuiven. Deze berekeningen zijn uitgevoerd met het rekenprogramma TROS. (deze berekeningen zijn niet gerapporteerd); dit rekenprogramma berekent langskrachten op schepen in een kolk bij vulling/lediging door hoofden of deuren. De langskrachten op de schepen bij deze berekeningen* waarbij een schuifsnelheid van de deurschuiven van ca. $0,005 \text{ m/s}$ is toegepast, blijken ruim te voldoen aan de in paragraaf 3 gestelde randvoorwaarden (maximum langskracht $< 3\text{‰}$). De draaideur kan worden geopend als het verval over de deur klein genoeg is.

* De kolkafmetingen zijn in deze berekeningen $75 * 10,5 \text{ m}^2$, deze zijn nu echter $80 * 9,75 \text{ m}^2$ (t.p.v. NAP).

De sturing ziet er in dit geval dan als volgt uit.



Figuur 6.6.1 Sturing bij neerwaarts nivelleren
(laagwatersituatie; methode A)

In bovenstaande is genoemd dat de draaideur pas geopend kan worden als het verval klein genoeg is. Uitgaande van een oneindig snelle opensturing van de draaideur (blokvormige translatiegolf) mag het eindverval voordat de deur kan worden geopend over de deur slechts 3 cm (3^o/oo van scheepslengte van 10 m) bedragen. Uitgaande van de werkelijke openingssnelheid van de draaideuren in combinatie met de configuratie van het sluishoofd en draaideuropening kan wellicht worden aangetoond dat dit verval zelfs groter mag zijn, uitgaande van hetzelfde langskrachts criterium. Dit wordt in het vervolg van dit onderzoek nader onderzocht.

7 Kalamiteitssituaties bij sturing volgens methode A

Bij de sturingsmethode A kunnen zich de volgende kalamiteitsomstandigheden voordoen.

- pompuitval, dat wil zeggen de pomp valt uit terwijl de regelklep open staat
- regelklep kan niet worden dichtgestuurd
- hoofdschuif in het gemaal wordt te snel of te ver geheven
- sturing zoutwaterdebiet en afdichtende regelschuiven (bij neerwaarts uitwisselen) loop niet synchroon.

In deze opsomming van kalamiteiten is niet opgenomen:

- het ten gevolge van een verkeerde handeling sluiten van de hoofdschuif in het doorlaatwerk; Deze schuif dient namelijk bij sturing volgens methode A alleen als noodschuif
- het fout bedienen van de deurschuiven. Er kunnen hierbij geen kalamiteiten optreden die een grote invloed hebben op het proces in de kolk. De maximum schuifsnelheid van deze schuiven wordt namelijk afgesteld op een extreem verval. Blijkt het opensturen van deze schuiven te stagneren, dan zal het nivelleerproces langer duren, maar treden er geen grotere langskrachten op.

De kalamiteitssituaties zijn niet onderverdeeld naar de verschillende fasen van het schutproces, maar naar nivelleren of uitwisselen met behulp van pompen of onder vrij verval (sturing op hoofdschuif in het gemaal).

7.1 Kalamiteiten bij nivelleren met behulp van pompen (H2, L2)

De kalamiteitssituaties die zich bij het pompen kunnen voordoen zijn pompuitval en defekte klepsturing. In het geval van pompuitval zal het debiet door het riool abrupt worden verkleind omdat het verval kolk-Oosterschelde tegen de pomprichting in is gericht.

Deze plotselinge verandering van debiet heeft invloed op de langskrachten op de schepen. Als gesteld wordt dat deze langskracht afhangt van:

$$F'_s = \frac{(dQ/dt)_{\max}}{g \cdot A_{\text{kolk}}} * 1000 \quad [^{\circ}/\text{oo}] \quad (\text{R1222/M1481 [9]})$$

waarin F'_s = maximum langskracht op het schip in promillen $[^{\circ}/\text{oo}]$
 A_{kolk} = verticale doorsnede door de kolk $[\text{m}^2]$

$$\text{waarbij: } (dQ/dt)_{\max} = \frac{\Delta h_{\max}}{(L_k / (g \cdot A_{\text{riool}}))}$$

L_k	= lengte kolk (75 m)	[m]
$\Delta h_{\max}$	= maximum verval	[m]
A_{riool}	= riooldoorsnede (7,5)	[m ²].

In bovenstaande vergelijking is uitgegaan van een oneindig lange kolk (zonder geperforeerde vloer), waarbij is aangenomen dat de weerstandsterm ($\xi \cdot Q^2 / (2 \cdot g \cdot A^2)$) in de bewegingsvergelijking van het riool ($\Delta h = \xi \cdot Q^2 / 2 \cdot g \cdot A^2 + L \cdot (dQ/dt) / (g \cdot A)$) te verwaarlozen is.

Bij een maximum verval van 3,5 m (Oosterschelde NAP +2,50, kolk (respektievelijk Zoommeer NAP -1,00 m) volgt dan een maximum langskracht op de schepen van ongeveer 50/oo. De langskracht overschrijdt het in paragraaf 3.3.2 gestelde criterium van 50/oo nog net niet.

Het optreden van maximum verval en pomputval is een niet veel voorkomende situatie. Het al of niet dichtsturen van de regelklep heeft in feite alleen invloed op het eindverval tussen kolk en Oosterschelde.

Het niet-opensturen van de klep geeft geen kalamiteiten in het schutproces op zich, daar er dan geen debiet is naar/vanuit de kolk. In het geval de klep niet kan worden dichtgestuurd kan gekozen worden uit de volgende mogelijkheden:

- Het pompen wordt gestopt en daarna wordt de hoofdschuif in het doorlaatwerk gesloten. Dit betekent in feite hetzelfde als pomputval; bij maximum verval (3,5 m) treden er dus langskrachten van 50/oo op. Het eindverval kolk-Oosterscheldezijde zal waarschijnlijk wat kleiner worden dan in het bovenstaande geval daar de sluittijd van de hoofdschuif in het doorlaatwerk ongeveer 70 seconden is (schuifsnelheid ongeveer 0,04 m/s, zie par.3.4).
- De hoofdschuif in het doorlaatwerk wordt gesloten, daarna wordt het pompen gestopt. Dit betekent dat het debiet naar de kolk langzaam wordt afgebouwd. Daar de pomp een debiet levert tot vervallen van ongeveer 6 m, zal de waterstand in de pompschacht gaan veranderen. In het geval van neerwaarts nivelleren wordt de pompschacht leeggezogen, er bestaat dan een kans op lucht aanzuigen door de pomp. In het geval van opwaarts nivelleren wordt de pomp-

schacht volgepompt en kan er water over de scheidingsmuur (tot NAP + 3,00 m) tussen de pompschachten van beide riolen stromen. Dit kan tot storingen leiden in het schutproces van de andere sluiskolk.

- Het pompdebiet wordt langzaam afgebouwd en tegelijkertijd wordt de hoofdschuif in het doorlaatwerk gesloten. Dit geeft een langzame afbouw van het debiet en leidt niet tot extreme waterstanden in de pompschacht. Het is echter dan wel noodzakelijk een sturing op de pomp aan te brengen, die in kalamiteitssituaties het toerental (vermogen) van de pomp langzaam reduceert (ook al blijft het verval ongeveer gelijk)*.

Welke van bovenstaande alternatieven moet worden gekozen hangt af van de resultaten van de totale analyse. Het is echter duidelijk dat er een actie moet worden ondernomen, anders wordt de kolk volgepompt of leeggepompt en ontstaan er extreme belastingsgevallen op schuiven, draaideuren etc. Voorgesteld wordt om bij het nivelleren naar Zoommeerpeil een verklikker aan te brengen op het verval Zoommeer-kolk. Deze verklikker zal dan de debietafbouw in gang moeten zetten in het geval het verval tussen Zoommeer en kolk te groot wordt.

7.2 Kalamiteiten bij neerwaarts uitwisselen met behulp van pompen (H3)

Bij het uitwisselen kunnen zich dezelfde kalamiteiten voordoen als bij nivelleren dat wil zeggen pompuitval en niet-funktionerende regelklep. Daarbij kunnen er ook nog kalamiteiten optreden bij het niet-synchroon lopen van pompsturing en afdichtende regelschuifsturing.

In het geval van pompuitval ontstaan niet zulke grote langskrachten op de schepen, dit omdat een zekere demping optreedt ten gevolge van de geopende kolkwandriolen. De waterstand in de kolk zal echter nog wel veranderen. Daar echter het verlies in het kolkwandriool veel geringer is dan in het zoutriool, zal de waterstand in de kolk slechts enkele centimeters stijgen (peil Zijpe-zijde hoger dan peil Zoommeer). Het is echter wel zo dat er zout water naar het omarmend zoet gaat stromen.

Worden de in het vorige gedeelte genoemde waterstandsverklikkers toegepast dan

* Opmerking: er wordt overwogen om een tweede klep bij de pomp aan te brengen, deze klep heeft dan alleen een functie bij kalamiteitsomstandigheden.

kan gesignaleerd worden dat het verval Zoommeer-kolk tegengesteld gericht wordt aan het eigenlijke verval Zoommeer-kolk bij neerwaarts uitwisselen. Hierna zou dan het debiet in het zoutriool moeten worden afgebouwd. De kolkwandriolen kunnen open blijven staan. In de kolk zal de waterstand dan gelijk worden aan de waterstand van het Zoommeer.

Bij een niet-funktionerende regelklep kan weer gekozen worden uit de in het vorige gedeelte van deze paragraaf genoemde mogelijkheden.

Bij het uitwisselen kan zich de situatie voordoen dat de sturing van pomp en afdichtende regelschuif niet synchroon loopt. Hierbij zijn er de volgende mogelijke situaties.

- De pomp wordt gestart en de afdichtende regelschuiven worden niet geopend. De kolk wordt dan leeggepompt. Als nu weer de waterstandsverklikkers Zoommeer-kolk worden gebruikt kan het debiet in het zoutriool weer worden afgebouwd als het verval Zoommeer-kolk te groot wordt.
- De afdichtende regelschuiven worden geopend maar de pomp wordt niet gestart; In deze situatie treedt allen zoutverlies op naar het omarmend zoet. Of het in dit geval nog zinvol is om de afdichtende regelschuiven weer te sluiten is nog de vraag.

7.3 Kalamiteiten bij opwaarts nivelleren onder vrij verval (H5)

Bij het nivelleren onder vrij verval kunnen de volgende kalamiteiten ontstaan:

- De schuif wordt te ver geheven, hierdoor kunnen grote debieten in de riolen ontstaan. Als de traagheidsterm ($L \cdot (dQ/dt) / (g \cdot A)$) in de bewegingsvergelijking wordt verwaarloosd en de rioolweerstanden uit R 1422 [17] worden aangehouden volgt een maximum debiet van 40 à 50 m³/s bij maximum verval (verval en rioolweerstand afhankelijk van stromingsrichting).

In paragraaf 1.3 was gesteld dat de maximum zak/stijgsnelheid van de schepen ongeveer 0,02 à 0,03 m/s mocht bedragen. Het maximum debiet in het riool wordt dan ongeveer 15 à 23 m³/s. Dit betekent dat de hoofdschuif in het gemaal bij het maximum verval van ± 3,5 m niet verder geheven mag worden dan ongeveer 30% à 40% van de totale hefhoogte. Dit is afgeleid door de weerstand in het riool te vergroten tot dat het debiet niet groter werd dan 23 m³/s, deze extra weerstand is toegekend aan de hoofdschuif in het gemaal. Uit gegevens van R 1422 [17] volgt dan een openingspercentage.

De beperking van de hefhoogte van deze schuif betekent niet zo zeer een beperking voor de snelheid van het schutproces. Bij gemiddelde vervallen (Zoommeer-kolk) van zo'n 0,75 m blijven debieten van ongeveer 10 m³/s mogelijk.

- De schuif wordt te snel geheven; dat wil zeggen als de schuifsnelheid variabel is en wordt afgestemd op het verval kan zich de situatie voordoen dat bij een groot verval de schuif met een te grote snelheid wordt geopend (behorend bij een kleiner verval). Uitgaande van een gereduceerde hefhoogte (orde 40%) en een minimum openingstijd van de schuif van 30 seconden, overeenkomend met de openingstijd van de regelklep in de pomp respectievelijk een schuifsnelheid van 0,05 m/s, kan er bij maximum verval geen grotere debietverandering ontstaan dan

$$\frac{Q_{\max}}{t_{\text{open}}} = \frac{23}{30} \approx 1 \text{ m}^3/\text{s}^2$$

Hierbij is dus aangenomen dat het maximum debiet met een konstante dQ/dt wordt bereikt. Dit is natuurlijk niet het geval daar vooral voor de grotere debieten de weerstandterm invloed krijgt op het debietverloop. Uitgaande van bovengenoemde dQ/dt volgt een maximum langskracht op de schepen van orde 1,5^o/oo, dit is kleiner dan het in paragraaf 3.3.2 gestelde langskrachtcriterium.

7.4 Kalamiteiten bij neerwaarts uitwisselen onder vrij verval (L3)

Evenals bij het nivelleren onder vrij verval kunnen er kalamiteiten ontstaan ten gevolge van het te ver of te snel heffen van de schuif. Tevens kunnen er kalamiteiten ontstaan bij het niet-synchroon openen van hoofdschuif in het gemaal en afdichtende regelschuif. Deze laatste kalamiteit wijkt in principe niet veel af van de al bij kalamiteiten bij het neerwaarts uitwisselen met behulp van pompen zijn genoemd. Wordt de hoofdschuif in het gemaal geheven terwijl de afdichtende regelschuiven niet worden geopend dan zal de waterstand in de kolk gaan afnemen. De waterstand in de kolk zal na een geruime tijd (orde 10 min. bij $Q_{\max} = 4,2 \text{ m}^3/\text{s}$) ongeveer gelijk zijn aan de waterstand aan de Zijpezijde. Door waterstandsverklikkers Zoommeer-kolk toe te passen is het mogelijk om de hoofdschuif in het gemaal eerder dicht te sturen en blijft de waterstand in de kolk ongeveer gelijk aan de waterstand op het Zoommeer. Bij het niet openen van de hoofdschuif in het gemaal geldt hetzelfde als bij de

uitwisselsituatie met behulp van pompen.

In het geval de hoofdschuif in het gemaal te snel of te ver wordt geheven zullen de bij het nivelleren geconstateerde verschijnselen zich in een minder uitgesproken vorm voordoen. In feite geldt hier weer het zelfde als bij kalamiteitssituaties in de fase neerwaarts uitwisselen met behulp van pompen. Het toestromen van (zoet) water door de kolkwandriolen zorgt voor een demping van de verschijnselen. In hoeverre nog bijzondere maatregelen moeten worden getroffen hangt af van het besturingssysteem. Wordt er op een openingstijd van de schuif gestuurd dan zal er (uitgaande van een maximaal debiet van $23 \text{ m}^3/\text{s}$ en een normaal debiet van $4,2 \text{ m}^3/\text{s}$) ongeveer 5,5 maal de normale hoeveelheid zout water uit de kolk stromen. Dit betekent dat er na zekere tijd zoet water in de riolen gaat stromen. Wordt er gestuurd op dichtheid of geïntegreerd (gemeten) debiet dan wordt de schuif dichtgestuurd als het scheidingsvlak een bepaalde positie bereikt; de sturing korrigereert dan in feite zichzelf.

In onderstaande tabel zijn de kritieke punten samengevat, zoals die uit de analyse van sturingsmethode A (hfdst. 6 en 7) zijn gevolgd. Deze punten behoeven nader onderzoek.

fase van het schutproces	normale situaties		kalamiteitssituaties	
	pomp	vrij verval	pomp	vrij verval
neerw.niv. hoogw.sit. (H2)	schachtslinteringen		- defekte klepsturing - pomputval	terugstromen door de pomp
neerw. uitw. hoogw.sit. (H3)	schachtslinteringen relatie met afd.reg. schuif		- defekte klepsturing - pomputval - niet openen afd. reg. schuif	terugstromen door de pomp
opwaarts niv. hoogw.sit. (H5)		sturen debietafbouw		- snel openen rioolschuif - te hoog heffen riools.
opwaarts niv. laagw.sit. (L2)	schachtslinteringen		- defekte klepsturing - pomputval	terugstromen door de pomp
neerw. uitw. laagw.sit. (L3)		schachtslinteringen relatie met afd.reg. schuif		- snel/hoog heffen riools. - niet openen afd.reg. schuif
neerw.niv. laagw.sit. (L5)		via deurschuiven		- afgeregeld op maxi- mum verval

Tabel 7.4.1 Samenvatting kritieke punten bij normale en kalamiteitssituaties sturingsmethode A

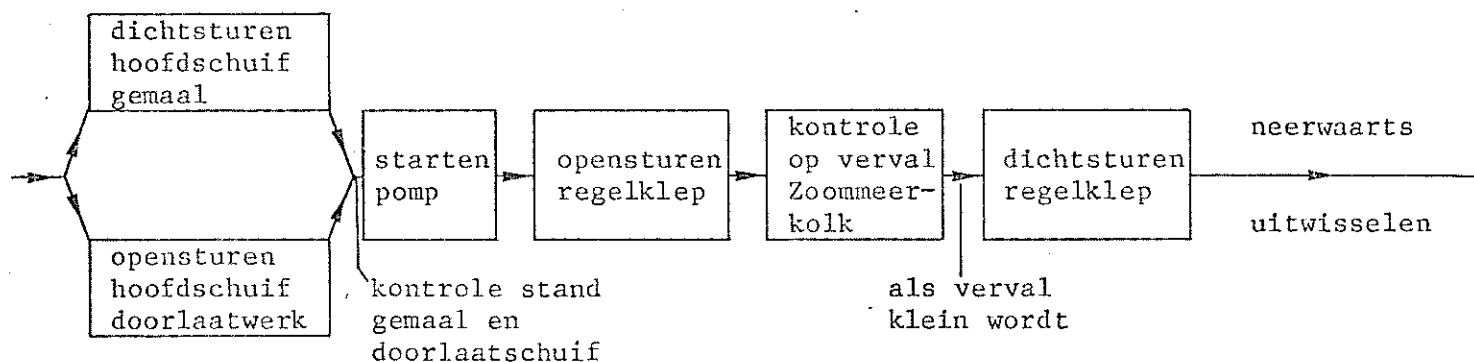
8 Analyse schutproces uitgaande van methode B

Bij deze methode regelt de hoofdschuif in het doorlaatwerk het debiet bij nivelleren en uitwisselen onder vrij verval. De regelklep bij de pomp stuurt het debiet bij het pompen. De hoofdschuif in het gemaal dient als open/dicht schuif bij het nivelleren en uitwisselen onder vrij verval. Bij het pompen dient de hoofdschuif in het gemaal te worden gesloten en de hoofdschuif in het doorlaatwerk te worden geopend. Bij het nivelleren onder vrij verval dient eerst de hoofdschuif in het gemaal te worden geheven, daarna kan de hoofdschuif in het doorlaatwerk worden geheven.

Evenals in het geval van methode A kunnen er zich weer slingeren tussen pomp-schacht en kolk voordoen. De amplitude van deze slinging kan, als de sturingsmethode B wordt gekozen, in een later stadium van dit onderzoek worden afgeschat. Hiernavolgend worden de verschillende fasen van het schutproces geanalyseerd.

8.1 Neerwaarts nivelleren in de hoogwaterfase (H2)

Het neerwaarts nivelleren in de hoogwaterfase geschiedt door middel van pompen. Als de hoofdschuif in het gemaal is gesloten en de hoofdschuif in het doorlaatwerk is geopend kan de pomp worden gestart en het debiet worden opgebouwd. De sturing van het neerwaarts nivelleren blijft verder hetzelfde als bij methode A (zie fig. 6.1.1).



Figuur 8.1.1 Sturing neerwaarts nivelleren
(hoogwatersituatie; methode B)

Het dichtsturen hoofdschuif in het gemaal en het opensturen van de hoofdschuif in het doorlaatwerk dient al voor deze fase te geschieden. Dit kan bijvoor-

beeld al worden uitgevoerd tijdens het sluiten van de draaideur (zie hfdst. 10). Er dient een controle te komen op de standen van deze schuiven voordat er wordt gepompt.

8.2 Neerwaarts uitwisselen in de hoogwatersituatie (H3)

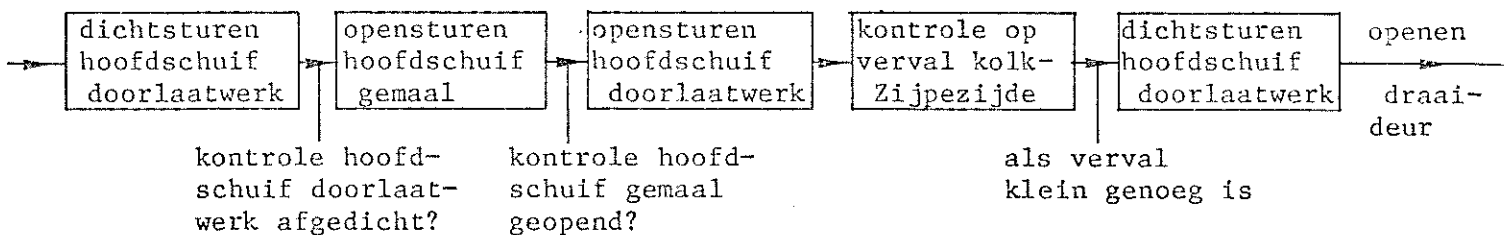
Het neerwaarts uitwisselen in de hoogwatersituatie sluit aan op het neerwaarts nivelleren. Beide fases worden uitgevoerd met behulp van pompen. De sturing van deze uitwisselfase geschiedt precies hetzelfde als bij methode A (zie fig. 6.2.1). Daar de voorgaande fase ook werd uitgevoerd met pompen kan het debiet worden af- en opgebouwd met de regelklep bij de pomp. Het open- en dichtsturen van schuiven is niet meer aan de orde, een controle op de schuifstanden blijft zinvol.

8.3 Opwaarts nivelleren in de hoogwatersituatie (H5)

Het opwaarts nivelleren in de hoogwatersituatie geschiedt onder vrij verval. Daarin de voorgaande neerwaarts uitwisselfase is gepompt, dienen de volgende handelingen te worden verricht:

- dichtsturen hoofdschuif in het doorlaatwerk, deze stuurt het debiet bij het nivelleren onder vrij verval
- opensturen van de hoofdschuif in het gemaal, deze schuif verzorgde voor het dichtsturen van de hoofdschuif in het doorlaatwerk de afdichting tussen Oosterscheldezijde
- het "geprogrammeerd" opensturen van de hoofdschuif in het doorlaatwerk waarmee het nivelleren van de kolk aanvangt. Het vervolg is hetzelfde als beschreven bij methode A (zie par. 6.3 fig. 6.3.1).

In schemavorm ziet dit er als volgt uit:



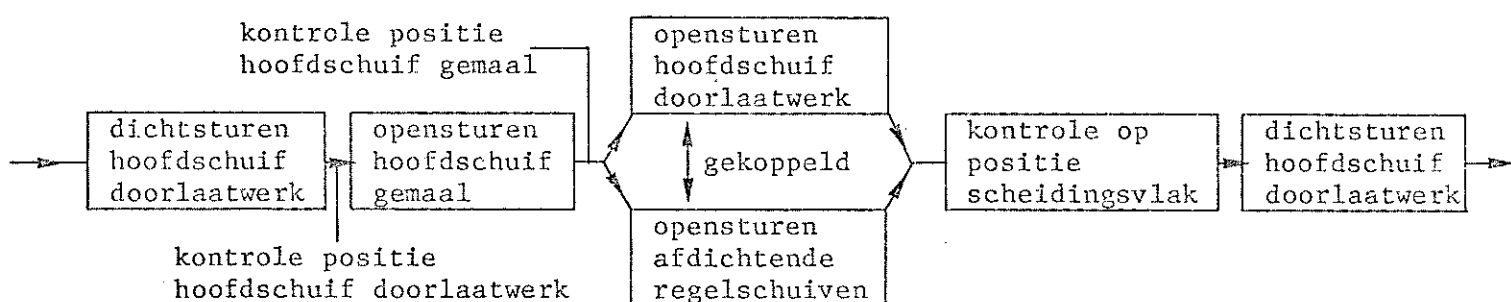
Figuur 8.3.1 Sturing opwaarts nivelleerfase
(hoogwatersituatie; methode B)

8.4 Opwaarts nivelleren in de laagwatersituatie (L2)

Het opwaarts nivelleren in de laagwaterfase vindt plaats met behulp van pompen. De sturing is hierbij hetzelfde als in de hoogwaterfase (zie par. 8.1 fig. 8.1.1) alleen de pomprichting is omgedraaid.

8.5 Neerwaarts uitwisselen in de laagwatersituatie (L3)

Het neerwaarts uitwisselen in de laagwatersituatie kan plaatsvinden onder vrij verval. Het debiet wordt in deze fase dus gestuurd met behulp van de hoofdschuif in het doorlaatwerk. Daar in de voorgaande fase de hoofdschuif in het doorlaatwerk in een geheven toestand heeft gestaan dient deze schuif eerst te worden gesloten. Daarna moet de hoofdschuif in het gemaal worden geopend, en kan de hoofdschuif in het doorlaatwerk worden geheven. Het verdere verloop van dit proces is hetzelfde als bij methode A (zie par. 6.5, fig 6.5.1).



Figuur 8.5.1 Sturing debiet bij neerwaarts uitwisselen
(laagwatersituatie; methode B)

Het neerwaarts nivelleren van peil aan de Zoommeerzijde naar dat van de Oosterscheldezijde geschiedt met behulp van de deurschuiven. De sturing van deze fase is behandeld in paragraaf 6.6; de gekozen sturingsmethode van het debiet in het zoutriool heeft daar geen invloed op.

8.6 Kalamiteitssituaties bij sturing volgens methode B

De kalamiteiten die bij de sturing volgens methode B kunnen optreden zijn voor wat betreft het pompen gelijk aan de kalamiteiten bij methode A. De kalamiteiten zijn voor wat betreft het nivelleren en uitwisselen onder vrij verval ongeveer hetzelfde. In het geval van methode B komen er echter meer schuifbewegingen voor en is de kans op kalamiteiten dus groter. Het is dus aan te

bevelen om een goede beveiliging op de schuifstanden van hoofdschuif in het gemaal en hoofdschuif in het doorlaatwerk aan te brengen. Op deze wijze kunnen calamiteiten bij overgangen van de open/dicht functie van hoofdschuif in het gemaal naar hoofdschuif in het doorlaatwerk en vice versa worden voorkomen (b.v. bij neerwaarts uitwisselen in de laagwaterfase).

In paragraaf 7.3 is voorgesteld om in verband met het verminderen van de maximale debieten de hoofdschuif in het gemaal (in het geval van par. 7.3 de stuurschuif) slechts tot 40% van de totale hefhoogte te heffen. Ook voor deze situatie is dit een goede methode om het maximum debiet te beperken. Een beperking van de hefhoogte van de hoofdschuif in het doorlaatwerk leidt namelijk tot grotere vervallen tussen pompschacht en kolk en dus bij pompen tot (onnodig) energieverlies.

De kritieke punten, welke volgen uit de in dit hoofdstuk gepresenteerde analyse van sturingsmethode B, zijn in onderstaande tabel samengevat. Deze punten behoeven nader onderzoek.

fase van het schutproces	normale situaties		calamiteitssituaties	
	pomp	vrij verval	pomp	vrij verval
neerw.niv. hoogw.sit. (H2)	schachtslingeringen		- defekte klepsturing - pomputval	terugstromen door de pomp
uitwisselen hoogw.sit. (H3)	schachtslingeringen relatie met afd.reg. schuif		- defekte klepsturing - pomputval	terugstromen door de pomp
opwaarts niv. hoogw.sit. (H5)		manipulatie met rioolschuiven		- snel openen/te hoog heffen riols.
opwaarts niv. laagw.sit.	schachtslingeringen		- defekte klepsturing - pomputval	terugstromen door de pomp
neerw. uitw. laagw.sit. (L3)		schachtslingeringen relatie met afd.reg. schuif manipulatie met rioolschuiven		- snel/hoog heffen riols. - niet openen afd.reg. schuif
neerw.niv. laagw.sit. (L5)		via deurschuiven		- afgeregeld op maxi- mum verval

Tabel 8.6.1 Samenvatting kritieke punten bij normale en calamiteitssituaties sturingsmethode B

9 Analyse schutproces uitgaande van methode C

Deze sturingsmethode C is in grote lijnen gelijk aan sturingsmethode B. Het verschil tussen deze sturingsmethoden is dat in sturingsmethode C de regelklep bij de pomp is vervallen. Het debiet door de pomp wordt geheel gestuurd met behulp van het toerental van de pomp.

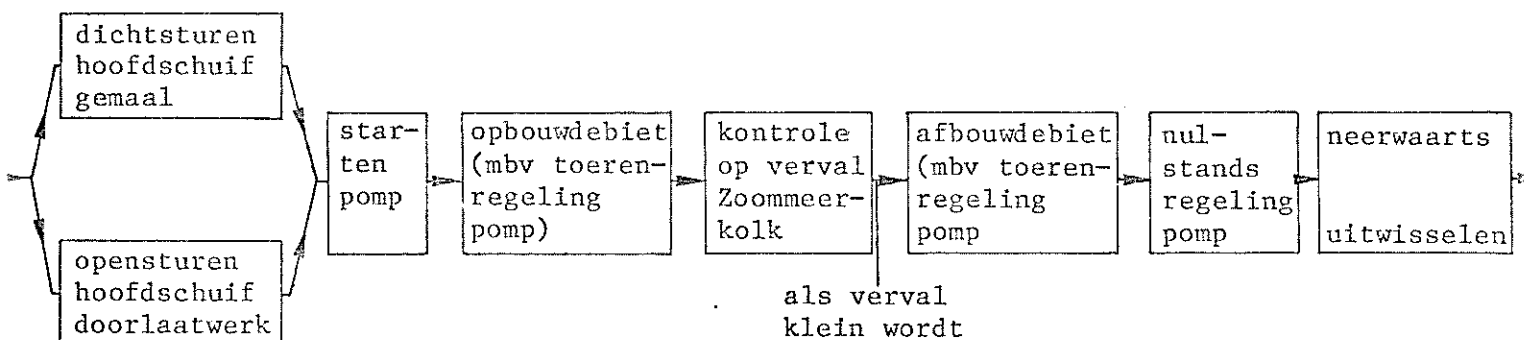
De afdichtende functie van de regelklep wordt nu overgenomen door:

- de zogenaamde nulstandregeling van de pomp. Indien voor korte tijd (orde één minuut) het debiet nul moet blijven, bijvoorbeeld tussen nivelleren en uitwisselen, wordt de pomp dusdanig gestuurd dat het debiet van de pomp (ongeveer) nul is
- indien het debiet voor langere tijd nul moet blijven wordt het riool afgesloten met de hoofdschuif in het doorlaatwerk.

Hiernavolgend worden de verschillende fasen van het schutproces in normale en kalamiteitssituaties onderzocht.

9.1 Neerwaarts nivelleren in de hoogwatersituatie (H2)

De sturing van het neerwaarts nivelleren geschiedt op een zelfde wijze als bij sturingsmethode B. Het enige verschil is de op- en afbouw van het debiet.



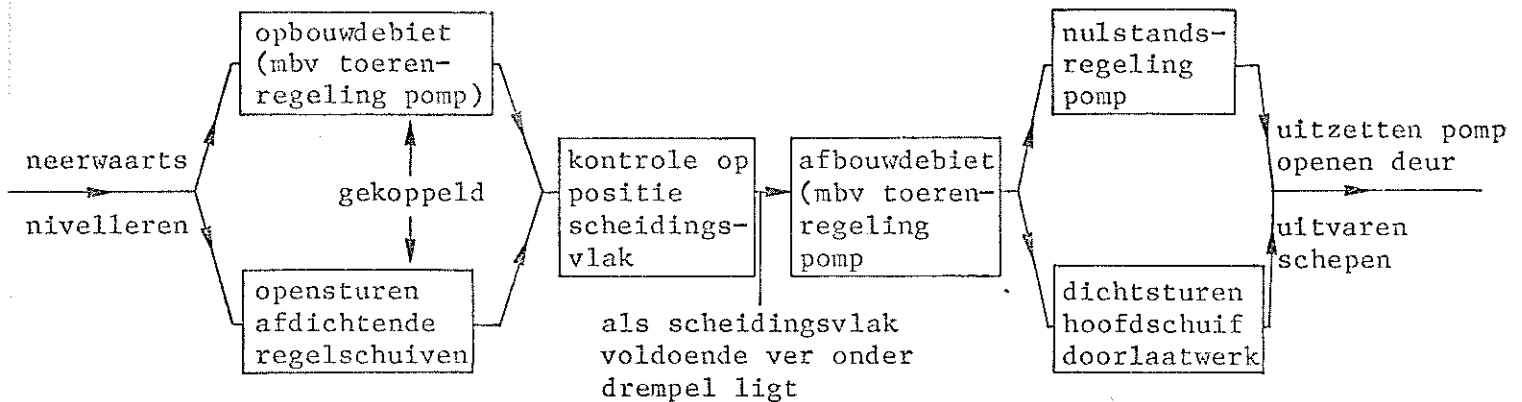
Figuur 9.1.1 Sturing neerwaarts nivelleren (hoogwatersituatie; methode C)

Het open respectievelijk dichtsturen van hoofdschuif doorlaatwerk respectievelijk hoofdschuif gemaal kan net zoals bij methode B geschieden tijdens het sluiten van de draaideur (zie hfdst. 10).

9.2 Neerwaarts uitwisselen in de hoogwatersituatie (H3)

In deze fase wordt weer gebruik gemaakt van de pomp. De sturing is ongeveer

hetzelfde als bij sturingsmethode A en B (zie fig. 6.2.1), alleen de sturing van op- en afbouw van het debiet geschiedt bij deze sturingsmethode met behulp van de toerenregeling van de pomp.



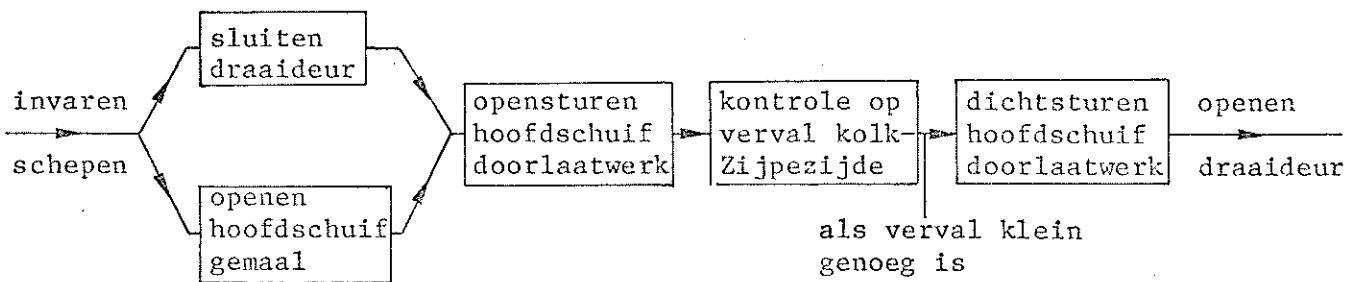
Figuur 9.2.1 Sturing neerwaarts uitwisselen hoogwatersituatie, methode C

Aan het einde van het uitwisselproces dient de hoofdschuif in het doorlaatwerk te worden gesloten om een scheiding aan te brengen tussen Zoommeer en Zijpe. Deze scheiding is niet voor lange tijd te garanderen via de nulstandsregeling van de pomp.

9.3 Opwaarts nivellieren in de hoogwatersituatie (H5)

Deze fase van het schutproces geschiedt onder vrij verval. Er wordt gestuurd met de hoofdschuif in het doorlaatwerk. De hoofdschuif in het gemaal dient dan eerst te worden geheven, dit vormt een voldoende grote verbinding tussen kolk en Zijpe; bij deze sturingsmethode treedt er ook terugstromen door de pomp op maar de weerstand van de pomp is dusdanig groot (weerstandskoefficiënt orde 40 à 80 (gebaseerd op $A_r = 7,5 \text{ m}^2$) zie fig. 6)) dat het debiet vrij gering blijft.

Het opensturen van de hoofdschuif in het gemaal kan geschieden tijdens het sluiten van de draaideur aan Zoommeerzijde.



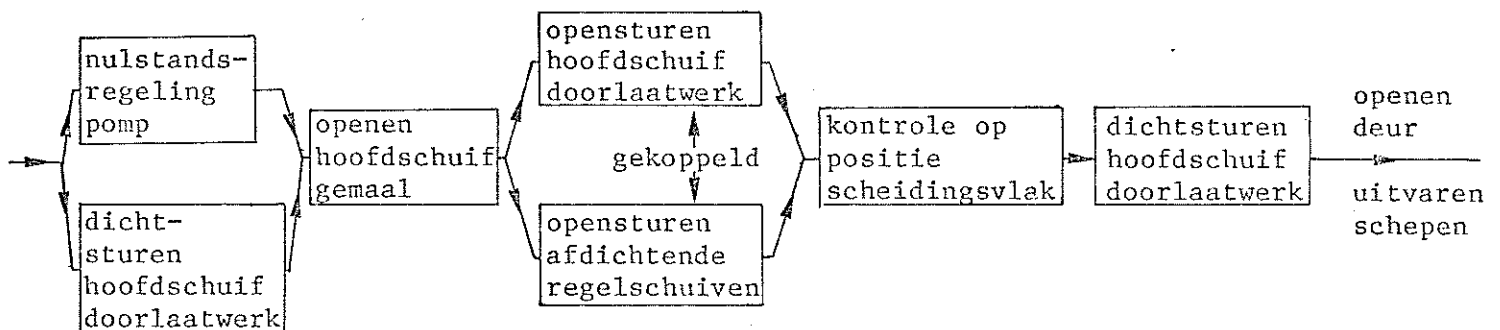
Figuur 9.3.1 Sturing opwaarts nivellieren hoogwatersituatie; sturingsmethode C

9.4 Opwaarts nivellieren in de laagwatersituatie (L2)

Het opwaarts nivellieren in de laagwatersituatie geschiedt met behulp van pompen. De sturing geschiedt hierbij op een zelfde wijze als bij de hoogwatersituatie, zie paragraaf 9.1, alleen de pomprichting is omgedraaid.

9.5 Neerwaarts uitwisselen in de laagwatersituatie (L3)

Deze fase van het schutproces vindt plaats onder vrij verval. Daar in de vorige schutfase de pomp is gebruikt dient eerst de hoofdschuif in het doorlaatwerk te worden gesloten voordat het pompen (nulstandsregeling) kan worden gestopt. Het uitwisselen kan worden gestart als de hoofdschuif in het gemaal geopend is, er treedt evenals bij opwaarts nivellieren in de hoogwatersituatie (par. 9.3) ook stroming door de pomp op. De sturing van de fase ziet er als volgt uit:



Figuur 9.5.1 Sturing neerwaarts uitwisselen laagwatersituatie, sturingsmethode C

Het uitwisselen geschiedt verder op een zelfde wijze als bij sturingsmethode B (zie par. 8.5).

Het neerwaarts nivellieren in de laagwatersituatie (L5) geschiedt vooralsnog met behulp van deurschuiven en niet via de riolen (zie par. 6.6).

9.6 Kalamiteitssituaties bij sturing volgens methode C

De kalamiteitssituaties van sturingsmethode B en C zijn voor wat de extremen ongeveer gelijk. Bij sturingsmethode C treedt de kalamiteitssituatie "weigerende regelklep" niet meer op. Dit betekent dat het aantal mogelijke kalamiteitgevallen vermindert.

De kritieke punten, welke volgen uit de analyse van de in dit hoofdstuk gepresenteerde analyse van sturingsmethode C, zijn in onderstaande tabel samengevat. Deze kritieke punten behoeven nader onderzoek.

fase van het schutproces	normale situaties		kalamiteitssituaties	
	pomp	vrij verval	pomp	vrij verval
neerw.niv. hoogw.sit. (H2)	schachtslingeringen nulstandsregeling		-- pomputval	terugstromen door de pomp
neerw. uitw. hoogw.sit. (H3)	schachtslingeringen relatie met afd.reg. schuif		-- pomputval	terugstromen door de pomp
opwaarts niv. hoogw.sit. (H5)		manipulatie met rioolschuiven		te snel openen/te hoog heffen riols.
opwaarts niv. laagw.sit. (L2)	schachtslingeringen nulstandsregeling		-- pomputval	terugstromen door de pomp
neerw. uitw. laagw.sit. (L3)		manipulatie met rioolschuiven en schachtslingeringen relatie met afd.reg. schuiven		snel/hoog heffen rioolschuif
neerw.niv. laagw.sit. (L5)		via deurschuiven		-- afgeregeld op maxi- mum verval

Tabel 9.6.1 Samenvatting kritieke punten bij normale en kalamiteitssituaties sturingsmethode C

10 Afschatten schutcyclusduur van de verschillende sturingsmethoden

De schutcyclusduur van de verschillende sturingsmethoden is een belangrijke parameter bij de keuze van de sturingsmethode voor de jachtensluizen. Van de in de hoofdstukken 6 t/m 9 genoemde sturingsmethoden A, B en C is de schutcyclusduur bepaald. De uitgangspunten die hiervoor zijn gehanteerd zijn gegeven in paragraaf 10.1. De resultaten zijn te vinden in paragraaf 10.2 (hoogwatersituatie) en paragraaf 10.3 (laagwatersituatie). In paragraaf 10.4 zijn de resultaten samengevat en zijn tevens de hoeveelheid schuif- en/of klepbewegingen gegeven per schutcyclus. Dit laatste geeft een idee omtrent de gevoeligheid van een sturingsmethode voor storingen in schuif- of klepsturing (meer schuif- en/of klepbewegingen heeft meer kans op storingen).

10.1 Uitgangspunten

De schutcyclusduur van de jachtensluizen is voor drie verschillende besturingsmethoden (A, B en C) afgeschat.

Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

waterstanden (en peilen):

- waterstand Zoommeer NAP
- waterstand Zijpe NAP +0,75 respektievelijk -0,75 m (hoogwater- of laagwatersituatie). Dit is ongeveer 60% van de getij-amplitude en geeft dus een situatie weer bij een gemiddelde waterstand
- neerwaarts uitwisselen tot NAP -3,60 m, waarbij het scheepsvolume wordt verwaarloosd (zie par. 1.1.2).

debietprogramma's:

- een maximum debiet van $4,2 \text{ m}^3/\text{s}$; alleen voor het geval van nivelleren onder vrij verval wordt (bij deze analyse) de mogelijkheid van overschrijding van dit maximum debiet opgehouden
- een maximum verandering van debiet per tijdseenheid (dQ/dt) bij uitwisselen en nivelleren van $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (par. 3.3.1). In het geval van nivelleren onder vrij verval is het mogelijk dat deze dQ/dt niet gehaald kan worden, deze dQ/dt zal dan verlaagd dienen te worden. In het geval van de pomp met regelklep wordt de dQ/dt bepaald door de snelheid van de regelklep (lineaire

toename Q bij openen vlinderklep). De openingstijd van de vlinderklep is gesteld op 60 seconden.

Het kolkoppervlak is gesteld op $9,5 * 80 \approx 800 \text{ m}^2$; in dit oppervlak is tevens de ruimte achter het remmingwerk mee in beschouwing genomen. Als maximum snelheid van de hoofdschuiven in het doorlaatwerk en het gemaal is 0,06 m/s aangehouden; deze snelheid kan voor wat betreft de situaties zonder verval nog groter worden (orde 0,10 m/s). Het maximum openingspercentage van de hoofdschuif in het gemaal is gesteld op 35% (debietbeperking bij kalamiteiten).

De in- en uitvaartijden van de jachten zijn afgeschat met behulp van [18]. De invaartijd is gesteld op 11 minuten, de uitvaartijd van de jachten is gesteld op 5 minuten. De openingstijd respectievelijk sluitingstijd van de draaideur is gesteld op 2,5 minuut (volgens opgave Direktie Bruggen ongeveer 130 seconden).

De berekende tijden voor de verschillende onderdelen zijn, in verband met onnauwkeurigheden in de berekeningen en niet ingekalkuleerde tijdsduur tussen twee opvolgende fasen, afgerond op hele of halve minuten.

10.2 Schutcyclusduur hoogwatersituatie

Uitgaande van de in paragraaf 10.1 genoemde uitgangspunten kunnen voor de verschillende sturingsmethoden de tijdsduur van de verschillende fasen van het schutproces in de hoogwatersituatie worden bepaald. In tabel I t/m III en figuur 8 zijn de resultaten van deze berekeningen weergegeven. De schuif- en klepbewegingen van de verschillende sturingsmethoden zijn weergegeven in tabel VII. De verschillen in schutcyclusduur in de hoogwatersituaties tussen sturingsmethode A en B zijn vrijwel nihil. Dit doordat de extra schuifbewegingen bij methode B (zie tabel VII)(4 schuifbewegingen meer dan methode A) geschieden tijdens het sluiten van de draaideur.

Het verschil in schutcyclusduur tussen methode A of B en methode C wordt veroorzaakt door het sluiten van de doorlaatschuif na het neerwaarts uitwisselen (tijdens de nulstandsregeling van de pomp). Dit geeft een verlenging van de schutcyclusduur van 1,5 minuut. Deze verlenging wordt gedeeltelijk goedge maakt doordat het debiet in de situatie zonder vlinderklep sneller op- en afgebouwd kan worden (orde 30 s per debietprogramma). De verlenging van de schutcyclusduur van methode C wordt dan slechts 0,5 min ten opzichte van die

van methode A en B.

Het aantal schuif- en klepbewegingen per schutcyclus is bij methode B het grootst, en bij methode A en C gelijk (zie tabel VII).

10.3 Schutcyclusduur laagwatersituatie

De resultaten van de berekeningen van de tijdsduur van de schutcyclus van de verschillende sturingsmethoden in de laagwatersituatie zijn gepresenteerd in tabel IV t/m VI en figuur 9.

De verschillen in schutcyclusduur tussen methode A en B wordt veroorzaakt door de extra schuif manipulaties tussen het nivelleren naar Zoommeerpeil en het neerwaarts uitwisselen. Hetzelfde geldt voor het verschil tussen methode A en C; alleen bij methode C wordt de schutcyclusduur weer iets verkort door het sneller op- en afbouwen van het debiet ten gevolge van het weglaten van de vlinderklep bij de pomp.

Evenals in de hoogwatersituatie is bij methode B het aantal schuif- of klepbewegingen per schutcyclus (10) het grootst (zie tabel VII), dan volgt methode C (8), methode A heeft het minste schuif- of klepbewegingen per schutcyclus (6).

10.4 Gemiddelde schutcyclusduur

De resultaten welke zijn beschreven in paragraaf 10.2 en 10.3 zijn in onderstaande tabel samengevat. Naast de schutcyclusduur is ook het aantal schuifbewegingen per schutcyclus weergegeven. De gemiddelde schutcyclusduur en aantal schuifbewegingen per schutcyclus van de sluizen is bepaald door middeling van hoog- en laagwatersituatie (afgerond op halve minuten of gehele schuifbewegingen).

	hoogwatersituatie		laagwatersituatie		gemiddeld	
	schut- cyclus- duur [min]	aantal schuif- of klepbewe- gingen	schut- cyclus- duur [min]	aantal schuif- of klepbewe- gingen	schut- cyclus- duur [min]	aantal schuif- of klepbewe- gingen
methode A	59,5	6	59	6	59,5	6
methode B	59,5	10	60,5	10	60,0	10
methode C	60,0	6	60,0	8	60,0	7

Tabel 10.4.1 Samenvatting resultaten schutcyclusduur en aantal schuif- of klepbewegingen per schutcyclus

Uit bovenstaande tabel volgt dat het verschil in schutcyclusduur tussen de verschillende sturingsmethoden zeer gering is, orde 0,5 minuut. Het aantal schuif- of klepbewegingen is in het geval van methode A en C duidelijk geringer dan in het geval van methode B.

11 Konklusies

In de voorgaande hoofdstukken is het schutproces geanalyseerd uitgaande van de verschillende stuurmethoden (methode A, B en C) van het debiet in het zout-riool (riool Oosterschelde-kolk). Uit deze analyse kunnen de volgende konklusies worden getrokken:

- de verschillen in de sturing van de verschillende fasen in het schutproces tussen de verschillende sturingsmethoden, sturen op hoofdschuif in het gemaal bij vrij verval (methode A), sturen op hoofdschuif in het doorlaatwerk bij vrij verval (methode B) en sturen op hoofdschuifdoorlaatwerk en weglaten vlinderklep bij pomp (methode C) zijn voor wat betreft het schutproces gering. Dit geldt zowel onder normale als onder kalamiteitsomstandigheden
- de verschillen in schutcyclusduur tussen de verschillende sturingsmethoden is gering, orde 0,5 minuut (ongeveer 1% van de schutcyclusduur). Sturingsmethode A heeft de geringste schutcyclusduur (59,5 min), sturingsmethode B en C hebben een schutcyclusduur van ongeveer 60 minuten
- het aantal schuifbewegingen bij het toepassen van sturingsmethode B is groter (ongeveer faktor 1,6) dan in bij het toepassen van sturingsmethode A of C. Bij methode B en C moet er een extra beveiliging op de schuifstanden van hoofdschuif in het gemaal en hoofdschuif in het doorlaatwerk worden aangebracht. Dit maakt het stuurproces iets ingewikkelder. Het voordeel van sturingsmethode C ten opzichte van A en B is dat één storingselement in het schutproces, de vlinderklep bij de pomp, is verdwenen.

Uitgaande van bovenstaande konklusies van de in dit rapport gepresenteerde analyse van het schutproces van de jachtensluizen, is niet direkt af te leiden welke sturingsmethode gekozen dient te worden.

Op grond van kostenoverwegingen en het feit dat de klep bij de pomp geen wezenlijke functie meer had als afsluitelement* is door Directie Bruggen de voorkeur uitgesproken om te kiezen voor sturingsmethode C.

Verder kunnen voor wat betreft kalamiteitsomstandigheden de volgende konklusies worden getrokken.

* Opmerking: In een eerder ontwerp van de jachtensluizen waren er twee pompen per riool aangebracht. Indien een pomp uitviel moest deze afgesloten kunnen worden.

- Het maximum debiet in het riool bij vrij verval kan op eenvoudige manier worden vermindert door de hefhoogte van de hoofdschuif in het gemaal te beperken (tot 30 à 40% van de maximale hefhoogte).
- Het leeg- of volpompen van de kolk bij het optreden van storingen in de sturing van de regelklep in de pomp kan worden bereikt door waterstandsverklidders aan te brengen in kolk en Zoommeer (vervalmeting).
- In het geval van pompuitval treden er waarschijnlijk vrij grote langskrachten op de schepen. In de verdere analyse zal hier nog enige aandacht aan worden besteed.

In het geval van het sturen van het normale schutproces zijn de volgende problemen naar boven gekomen:

- Er ontstaan slingeringen in het schutsysteem kolk-pompschacht bij het afbouwen van het debiet. Deze slingeringen hebben invloed op de sturing van de volgende fase (bijvoorbeeld: het begin van het neerwaarts uitwisselen na het nivelleren na Zoommeerpeil). Bij afbouw van het pompdebiet is de bovengrens van de slingeramplitude in de pompschacht afgeschat op 0,70 m; dit betekent in de kolk een maximum amplitude van 0,035 m. Bij vrij verval kunnen er ten gevolge van de grotere maximum debieten grotere slingeramplituden ontstaan.
- In de analyse is geen aandacht besteed aan het lucht aanzuigen door schachten. Het idee is dat dit wel zal optreden maar alleen bij een uit de kolk gerichtte stroming (neerwaarts uitwisselen onder vrij verval). Door de vrij hoge ligging van het plafond van het gemaalrioel (NAP -2,50 m) ten opzichte van de minimum waterstand waarbij geschut wordt (NAP -2,35 m) is dit ook niet te voorkomen. De lucht wordt echter niet naar de kolk getransporteerd en zal uit dien hoofd dus geen invloed hebben op de processen in de kolk.

REFERENTIES

- 1 "Duwvaartsluizen in de Philipsdam, beschrijving van de sluis, het schutproces en het onderzoek",
WL-WT rapport, R1253-I/F77.10C.00.
juni 1978.
- 2 "Terugwinnen zoet water jachtensluis Philipsdam",
Notitie Deltadienst-WWO,
mei 1979.
- 3 "Analyse geperforeerde vloer jachtensluizen Philipsdam",
WL-notitie,
februari 1979.
- 4 "Selektief afzuigen ter plaatse van het schort",
WL-notitie (voor ontwerpgroep Philipsdamsluizen)
maart 1979.
- 5 "Evaluatie ontwerp complex Philipsdam",
rapport WWO, DD.WWO 80-20.005,
medio 1980.
- 6 "Duwvaartsluizen Philipsdam, tweedimensionaal onderzoek",
(verdere titel nog niet bekend),
WL-rapport M1529-III,
(nog uit te brengen).
- 7 "Dichtheidsstromen en interne golven",
Technische Hogeschool Delft, Afdeling der Civiele Techniek,
College handleiding b81 (Prof. dr. ir. Schönfeld en dr. ir. C. Kra-
nenburg),
1977 (koncept).
- 8 "Duwvaartsluizen Philipsdam, schachten in riolen, maximum schacht
waterstanden en slingerverschijnselen",
WL-notitie R1517-I,
juni 1980.

REFERENTIES (vervolg)

- 9 "Langskrachten op schepen in sluizen met vul- of ledigingssysteem in de hoofden of deuren",
WL-rapport R1222/M1481-I,
februari 1978.
- 10 "Oesterdamsluis, afschatting zout/zoetverliezen bij diverse beheersmogelijkheden",
WL-notitie R1518-0,
maart 1980.
- 11 "Oesterdamsluis, zoutverlies door scheepsbewegingen boven een onbeschermde grensvlak, onderzoek ten behoeve van de liftsluis",
WL-rapport M1463-II,
maart 1981.
- 12 "Duwvaartsluis Philipsdam, mogelijke besturingssystemen uitgaande van uitwissel- en nivelleervolume",
WL-rapport R1507,
augustus 1980.
- 13 "Jachtensluizen Philipsdam"
WL-notitie (voor ontwerpgroep Philipsdamsluizen)
7 juni 1977 (M 1359, J.A.C.).
- 14 "Jachtensluizen Philipsdam, bepalen stortebedden voorhavens en gemaal"
WL-notitie (koncept)
R1650-2 (sept. 1981).
- 15 "Vaststellen pompvermogen jachtensluis"
Notitie Directie Bruggen (voor ontwerpgroep Philipsdamsluizen)
16 dec. 1980 (OPS 107).
- 16 "Gemaal jachtensluizen, Functie vlinderklep"
Notitie Dir. Bruggen (voor ontwerpgroep Philipsdamsluizen)
nr. OPS 119; 05 juni 1981.

REFERENTIES (vervolg)

- 17 "Philipsdamsluizen, Bepalen rioollengtes en weerstandskoëfficiënten
riolen en schuiven"
WL-rapport R1422
december 1979.

- 18 "De afwikkeling van pleziervaart via sluizen"
Symposium pleziervaart en verkeerskunde
Ir. J. Hillen en Ing. C.C. den Hartog
Rijkswaterstaat, dienst Verkeerskunde.

APPENDIX A - Selektief afzuigen bij aansluiting riool en kolk

In paragraaf 1.1.2 is genoemd waardoor selektief afzuigen ontstaat. Met behulp van de in [4] gegeven vergelijkingen is een afschatting gemaakt bij welke omstandigheden dit selektief afzuigen een rol gaat spelen. Dit is zowel voor het neerwaarts uitwisselen als voor het neerwaarts nivelleren naar Oosterscheldepeil gedaan. In beide gevallen kan er namelijk zoet water in het riool komen, dit dient om verschillende redenen (zie par. 1.1.2) te worden tegengegaan.

Uitgaande van onderstaande uitgangspunten is afgeleid bij welke omstandigheden selektief afzuigen gaat optreden:

- drempel van de kolk Zoommeerzijde op NAP -2,70 m
- dikte menglaag 1,20 m
- extra marge in scheidingsvlakniveau voor interne golven ongeveer 0,40 m
- dichtheidsverschil ongeveer 15 à 20 kg/m³ (ϵ 0,015 à 0,20)
- een debiet van 4,2 of 8 m³/s afhankelijk van de situatie (pomp- of vrij verval situatie).

Uit bovenstaande uitgangspunten volgt o.a. dat het eindniveau van het scheidingsvlak ongeveer NAP -3,60 m wordt. Met behulp van deze uitgangspunten en de in [4] gegeven vergelijkingen volgt:

debiet [m ³ /s]	relatief dichtheids- verschil (ϵ)	scheidingsvlak positie waarbij selektief afzuigen optreedt
4,2	0,015	NAP -4,60 m
4,2	0,020	NAP -4,85 m
8,0	0,015	NAP -3,40 m
8,0	0,020	NAP -3,75 m

*

Tabel 1.1.2.1 Scheidingsvlakniveaus waarbij selektief afzuigen gaat optreden

* Opmerking: bij deze berekeningen is aangenomen dat de breedte bij de intree van het riool 7,3 m, en de hoogte van het riool 1,7 m is.

neerwaarts uitwisselen

Uit de gegevens van bovenstaande tabel en de aanname dat het scheidingsvlakniveau bij neerwaarts uitwisselen niet lager komt dan NAP -3,60 m volgt dat onder de meeste omstandigheden geen selektief afzuigen optreedt. Alleen in het geval van een groot debiet ($8 \text{ m}^3/\text{s}$) en een wat geringer dichtheidsverschil tussen Zijpe en Zoommeer ($\varepsilon = 0,015$) zou het selektief afzuigen optreden. In het bovenstaande is echter geen rekening gehouden met het afbouwen van het debiet. Wordt dit in rekening gebracht (scheidingsvlak op ongeveer NAP -3,40 m als debiet gaan afnemen) dan treedt er ook in deze situatie nog net geen selektief afzuigen op.

neerwaarts nivelleren

Bij het neerwaarts nivelleren naar Oosterscheldepeil dient er een schuttschijf "zout" water naar de Oosterschelde af te vloeien. De grote van de schuttschijf (verval) en de snelheid waarmee dit geschiedt (debiet) is bepalend voor het al of niet optreden van selektief afzuigen. Natuurlijk speelt ook het scheidingsvlakniveau na het neerwaarts uitwisselen een rol, daar dit in feite de beginpositie is van het neerwaarts bewegende scheidingsvlak.

De onderstaande afschatting van bovengenoemde maximum vervallen respektievelijk waterstanden gaat uit van de in het begin van deze appendix genoemde aannamen. Dat wil zeggen na het neerwaarts uitwisselen ligt het scheidingsvlak op NAP -3,60 m. Het peil van het Zoommeer is aangenomen op NAP +0,25 m, terwijl de waterstand op het Zijpe is gesteld op NAP -0,75 respektievelijk NAP -1,00 m. Worden nu de in tabel 1.1.2.1 genoemde getallen aangehouden dan volgt dat bij kleinere debieten (tot $4,2 \text{ m}^3/\text{s}$) er nog geen selektief afzuigen optreedt (eindniveau scheidingsvlak is NAP -4,60 respektievelijk NAP -4,85). Worden er grotere debieten aangehouden bij het neerwaarts nivelleren, dit is uit oogpunt van schuifsnelheden, rioolweerstand en traagheid mogelijk, dan zal er zoet water in de riolen komen.

APPENDIX B - Interne golven bij afbouwen uitwisseldebiet en in- en uitvaren
van schepen

Afbouwen uitwisseldebiet

Bij het afbouwen van het uitwisseldebiet (neerwaarts uitwisselen) ontstaat er een translatiegolf in de kolk. De golf aan het oppervlak kan benaderd worden met:

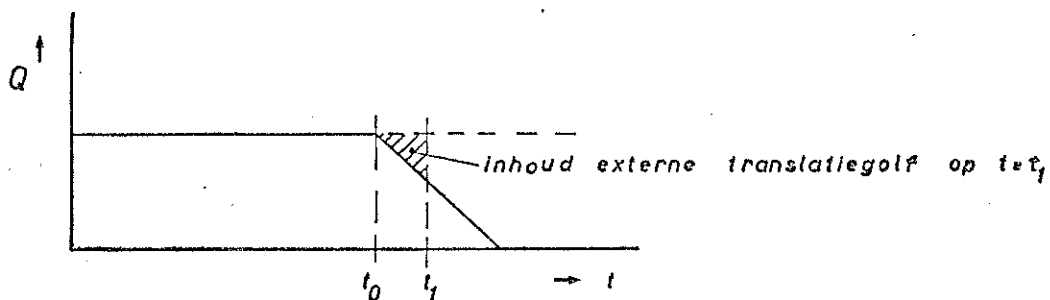
$$\frac{dQ}{dt} \approx g \cdot i \quad (\text{uit R1222/M1481 [9]}) \quad [\text{A.1}]$$

$\frac{dQ}{dt}$ is de afgeleide van Q naar t

waarin dQ/dt	= verandering van debiet	$[\text{m}^3/\text{s}^2]$
A_k	= kolkoppervlak (vertikale vlak)	$[\text{m}^2]$
g	= versnelling van de zwaartekracht (9.81)	$[\text{m}/\text{s}^2]$
i	= waterspiegelhelling	$[-]$

Aan het einde van het neerwaarts uitwisselen is er echter een gelaagdheid in de kolk aanwezig. Op het scheidingsvlak tussen zout en zoet water ontstaat, naast een invloed van de translatiegolf aan het oppervlak, ook een interne translatiegolf. Dit kan als volgt worden verklaard:

- De invloed van de translatiegolf aan het oppervlak is gelijk aan het verschil tussen de bij permanentie ingebrachte hoeveelheid water en de bij de afbouw van het debiet ingebrachte hoeveelheid water (zie fig. A.1).



Figuur A.1 Inhoud translatiegolf

- De invloed van de translatiegolf neemt evenredig af met de diepte. Op het scheidingsvlak geldt dan ook:

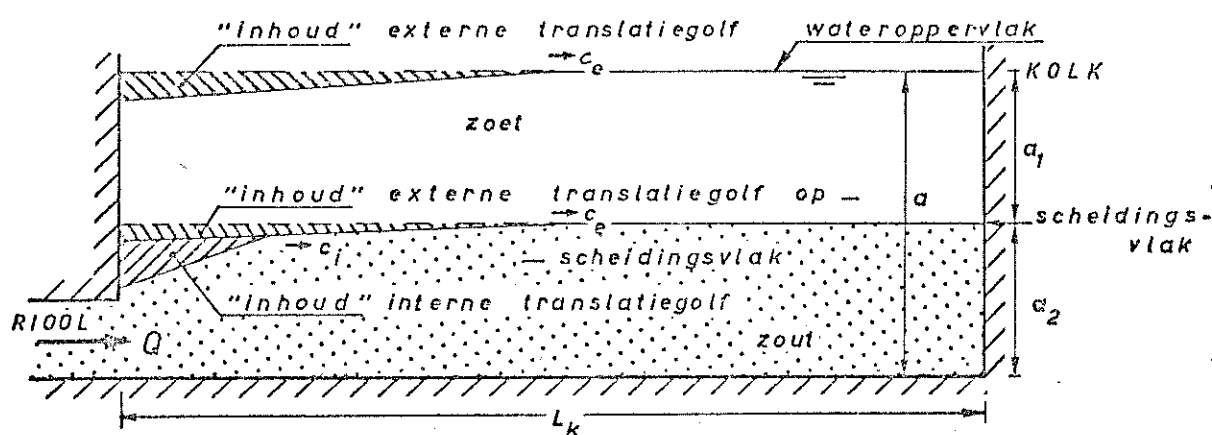
$$i_s = \frac{a_2}{a} \cdot i \quad [A.2]$$

waarin i_s = helling grensvlak ten gevolge van externe translatiegolf [-]

a_2 = dikte zoute laag [m]

a = totale laagdikte (zout + zoet) [m]

De inhoud van de translatiegolf op het grensvlak is dus een faktor a_2/a kleiner dan aan het oppervlak. Het debiet wordt echter in de zoute laag afgebouwd. Dit betekent dat er nog extra zout water moet worden verplaatst. Er ontstaat dan ook een golf op het scheidingsvlak, de interne translatiegolf. Daar de interne translatiegolf zich langzamer voortplant aan de externe translatiegolf, wordt de hoogte van de interne golf ook groter.



Figuur A.2 Inhouden translatiegolven op wateroppervlak en scheidingsvlak

Uitgaande van het bovenstaande volgt:

inhoud externe translatiegolf:

$$V = (Q_0 - (Q_0 - \frac{dQ}{dt} \cdot (t-t_0)) \cdot (t_1-t_0)/2 \quad [A.3]$$

waarin V = "inhoud" externe translatiegolf [m³]

Q_0 = debiet bij permanentie [m³/s]

t_0 = tijdstip waarop debiet Q_0 verandert [s]

t_1 = tijdstip waarop inhoud wordt bepaald ($t_1 - t_0 < Q_0 / (dQ/dt)$) [s]

inhoud externe translatiegolf op scheidingsvlak:

$$V_s = \frac{a_2}{a} \cdot V \quad [A.4]$$

waarin V_s = "inhoud" externe translatiegolf op het scheidingsvlak [m³]

inhoud interne golf:

$$V - V_s = \frac{a - a_1}{a} \cdot V = \frac{a_1}{a} \cdot V = \frac{1}{2} \cdot c_i^2 \cdot (t_1 - t_0)^2 \cdot b_k \cdot i_i \quad [A.5]$$

waarin V = volume [m³]

a_1 = dikte zoete laag [m]

c_i = translatiegolfsnelheid interne golf [m/s]

b_k = breedte kolk [m]

i_i = helling interne translatiegolf

Invullen van vergelijking [A.3] in [A.5] geeft:

$$a_1 \cdot \frac{dQ}{dt} / A_k = c_i^2 \cdot i_i \quad [A.6]$$

waarin

$$c_i = \sqrt{\epsilon g \frac{a_1 a_2}{a}} \quad (\text{uit [7]}) \quad [A.7]$$

waarin ϵ = dichtheidsverschil ($\Delta\rho/\rho$) [-]

De maximale golfhoogte kan worden bepaald uit de tijd waarin het debiet wordt afgebouwd:

$$t_{af} = Q_{\max} / (dQ/dt) \quad [A.8]$$

$$\eta_i^{\max} = i_i \cdot t_{af} \cdot c_i \quad [A.9]$$

daar geldt dat:

$$Q_{\max} = t_{af} \cdot dQ/dt \quad [A.10]$$

kan vergelijking [A.9] ook worden geschreven als

$$\eta_i^{\max} = \frac{Q_{\max} \cdot a_1}{c_i \cdot A_k} = \frac{Q_{\max} \cdot c_i}{\epsilon \cdot g \cdot b_k \cdot a_2} \quad [A.11]$$

waarin $\eta_i^{\max}$ = maximale interne golfhoogte [m]

c_i = interne translatiegolfsnelheid [m/s]

t_{af} = tijd waarin het debiet wordt afgebouwd [s]

Hierbij geldt echter dat de lengte van de interne golf niet groter mag zijn dan de kolk lengte. Er treedt anders reflectie op en dan zijn de afgeleide formules niet meer korrekt.

$$t_{af} < L_k / c_i$$

waarin L_k = lengte kolk

Op bovenstaand beschreven wijze wordt de totale golfhoogte van de interne golf bepaald. De (enkelvoudig) amplitude is dus de helft van deze golfhoogte. Daar er op de kolkeinden reflecties optreden is het, in verband met overslag van zout water over de drempel aan de Zoommeerzijde, aan te raden het scheidingsvlak af te bouwen bij een positie op meer dan een interne golfhoogte onder de drempel aan Zoommeerzijde (NAP -2,70 m).

Hierna volgend wordt een voorbeeld gegeven van een interne golfhoogte berekening.

Stel: waterstand kolk : NAP
 bodem kolk : NAP -6,90 m
 positie scheidingsvlak: NAP -3,20 m
 debiet : 4,2 m³/s
 afbouwdebiet in 30 seconden
 dichtheidsverschil ϵ : 0,02 ($\Delta\rho = 20$ kg/m³)
 kolkbreedte : 9,1 m
 lengte kolk : 75 m

Uit bovenstaande gegevens volgt:

$$i_i = \frac{3,2(4,2/30)}{(6,9 \cdot 9,1) \cdot 0,02 \cdot 9,81 \cdot \frac{3,2 \cdot 3,7}{6,9}} = 0,0212$$

$$\eta_i^{\max} = 0,0123 \cdot 30 \cdot \sqrt{0,02 \cdot 9,81 \cdot \frac{3,2 \cdot 3,7}{6,9}} = 0,37 \text{ m}$$

$$(t_{af} = 30 < L_k/c_i = 129 \text{ s})$$

Uit- en invaren schepen

Er kunnen niet alleen golven op het scheidingsvlak ontstaan ten gevolge van het afbouwen van het uitwisseldebiet. Ook bij het in- en uitvaren van schepen in de kolk ontstaan golven op het grensvlak. In R1518-0 [10] is afgeleid dat de hoogte van een interne golf ten gevolge van een schip kan worden afgeleid met behulp van

$$\eta_i = \frac{a_2}{a} \cdot \frac{Q}{b_k \cdot c_i} \quad [\text{A.12}]$$

Bovenstaande formule kan worden vergeleken met formule [A.11]. In formule [A.11] wordt van een debiet in de zoute laag uitgegaan, terwijl in bovenstaande formule wordt uitgegaan van een debiet in de zoete laag. Dit geeft ook aanleiding tot een klein verschil; in formule A.12 is a_1 (dikte zoete laag) uit formule [A.11] vervangen door a_2 (dikte zoute laag).

Bij een konstante laagdikte verhouding a_1/a_2 is de hoogte van de interne golf alleen nog afhankelijk van het debiet ten gevolge van het schip. In R1518-0 [13] is afgeleid dat dit ook inderdaad volgde uit modelproeven van M1463 [11]. Uitgaande een schip met een oppervlak van een grootspant van $9,5 \times 2,5$ en een snelheid van 1 m/s is in M1463 [11] een interne golfhoogte van 1,50 m gevonden. Uitgaande van de hierboven voorgestelde schattingsmethode en vergelijking A.12 kan het volgende worden afgeleid (waterstand NAP):

soort schip	A_s [m ²]	V_s [m/s]	A_s/A_s vgl. [-]	V_s/V_s vgl. [m]	η_i^{geschat} [m]	η_i^{ber} (vgl. A.12) [m]
groot jacht	3,5*1,5	1,5	0,22	1,5	0,50	0,75
klein jacht	2,5*0,5	1,5	0,053	1,5	0,12	0,18

Tabel B.1 Interne golfhoogtes ten gevolge van in- en uitvaren van jachten

Uit bovenstaande tabel volgt dat de interne golfhoogtes ten gevolge van het in- en uitvaren van kleine jachten verwaarloosbaar is. Voor grotere jachten is dit zeer zeker niet het geval.

In het bovenstaande is de golfvorm bij het uitvaren van schepen nog niet ter sprake geweest.

In feite is er uitgegaan van een sinusvormige golf, dit is niet geheel juist zoals blijkt uit [11].

Het golfdal is lang en ondiep, de golftop is kort en hoog. Als een gemiddelde van de resultaten van het onderzoek uit [11] kan worden aangehouden dat de scheidingsvlakverhoging (golftop) ongeveer 2/3 van de totale golfhoogte is (golfhoogte is tweemaal amplitude η_i). Dit betekent dus dat als er geen zoutverlies mag optreden het scheidingsvlak iets verder moet worden weggetrokken dan volgde uit de sinusvorm van een interne golf.

Opmerking: De interne golf ten gevolge van het afbouwen van het debiet en het uitvaren van de jachten ontstaan niet al te lange tijd na elkaar (ongeveer 2 minuten). Het kan zijn dat de interne golf ten gevolge van dit varen nog moet worden gesuperponeerd op een inmiddels gedeeltelijk uitgedempte interne golf ten gevolge van het afbouwen van het debiet.

Tabel I Tijdsduur schutproces sturingsmethode A (hoogwatersituatie)

handelingen en fases tijdens het schutproces	tijd [min]
* sluiten draaideur (Zijpe)	2,5
* neerwaarts nivelleren door pompen (zie laagw.sit., methode A)	3,5
* neerwaarts uitwisselen door pompen; Volume = 2800 m ³ maximum debiet: 4,2 m ³ /s; op-, afbouwtijd debiet: 60 s	12,0
* openen draaideur (Zoommeer)	2,5
* uit- en invaren schepen (Zoommeer)	16,0
* sluiten draaideur (Zoommeer)	2,5
* opwaarts nivelleren onder vrij verval via riolen; $dQ/dt=0,2 \text{ m}^3/s^2$ maximum debiet volgt uit nivelleervolume en nivelleertijd $V = 600 \text{ m}^3 \rightarrow Q_{\text{max}} 10 \text{ m}^3/s$	2,0
* openen draaideur (Zijpe)	2,5
* uit- en invaren schepen (Zijpe)	16,0
schutcyclusduur	59,5

Tabel II Tijdsduur schutproces sturingsmethode B (hoogwatersituatie)

handelingen en fases tijdens het schutproces	tijd [min]
* sluiten draaideur (Zijpe); sluiten gemaalschuif (30 s) openen doorlaatschuif (75 s)	2,5
* neerwaarts nivelleren door pompen (zie A)	3,5
* neerwaarts uitwisselen door pompen (zie methode A)	12,0
* openen draaideur/uit- en invaren schepen	18,5
* sluiten draaideur (Zoommeer): sluiten doorlaatschuif (75 s) openen gemaalschuif (30 s)	2,5
* opwaarts nivelleren onder vrij verval nivelleertijd bepaald bij methode A	2,0
* openen draaideur/uit- en invaren schepen	18,5
schutcyclusduur	59,5

Tabel III Tijdsduur schutproces sturingsmethode C (hoogwatersituatie)

handelingen en fases tijdens het schutproces	tijd [min]
* sluiten draaideur (Zijpe); sluiten gemaalschuif (30 s) openen doorlaatschuif (75 s)	2,5
* neerwaarts nivelleren door pompen; $dQ/dt=0,2 \text{ m}^3/s^2$; $Q_{\text{max}}=4,2 \text{ m}^3/s$	3,0
* neerwaarts uitwisselen door pompen; $dQ/dt=0,2 \text{ m}^3/s^2$; $Q_{\text{max}}=4,2 \text{ m}^3/s$ Volume: 2800 m ³	11,5
* nulstandsregeling pompen sluiten doorlaatschuif (75 s)	1,5
* openen draaideur/uit- en invaren schepen/sluiten draaideur (Zoommeer)	21,0
* opwaarts nivelleren onder vrij verval nivelleertijd bepaald bij methode A	2,0
* openen draaideur/uit- en invaren schepen (Zijpe)	18,5
schutcyclusduur	60,0

Tabel IV Tijdsduur schutproces sturingsmethode A (laagwatersituatie)

handelingen en fases tijdens het schutproces	tijd [min]
* sluiten draaideur (Zijpe)	2,5
* opwaarts nivelleren door pompen: Volume $0,75 \cdot 800 = 600 \text{ m}^3$ maximum debiet $4,2 \text{ m}^3/\text{s}$, debiet op- en afbouw in 60 s (openingstijd van vlinderklep)	3,5
* neerwaarts uitwisselen onder vrij verval; Volume: $3,6 \cdot 800 \approx 2800 \text{ m}^3$; $Q_{\text{max}} = 4,2 \text{ m}^3/\text{s}$, $dQ/dt = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}^2$ (schuifsnelheid gemaal schuif niet maatgevend)	11,5
* openen draaideur (Zoommeer)	2,5
* uit- en invaren schepen (Zoommeer)	16,0
* sluiten draaideur (Zoommeer)	2,5
* neerwaarts nivelleren onder vrij verval via deurschuiven ($t_{\text{niv}} = (\sqrt{2g\Delta h \cdot F_k}) / (2g \cdot \alpha \cdot A_d) + \frac{1}{2}th$; zie R1650-2)	2,0
* openen draaideur (Zijpe)	2,5
* uit- en invaren schepen (Zijpe)	16,0
schutcyclusduur	59,0

Tabel V Tijdsduur schutproces sturingsmethode B (laagwatersituatie)

handelingen en fases tijdens het schutproces	tijd [min]
* sluiten draaideur (Zijpe); sluiten gemaalschuif (30 s) doorlaatschuif open (75 s)	2,5
* opwaarts nivelleren door pompen (zie methode A)	3,5
* neerwaarts uitwisselen onder vrij verval: - sluiten doorlaatschuif (0,04 m/s) - openen gemaalschuif (35%)(0,10 m/s) neerwaarts uitwisselen → zie methode A	1,5
* openen draaideur Zoommeer/uit- en invaren schepen/sluiten draaideur Zoommeer	11,5
* neerwaarts nivelleren onder vrij verval via deurschuiven (zie A)	21,0
* openen draaideur/uit- en invaren schepen	2,0
schutcyclusduur	18,5
	60,5

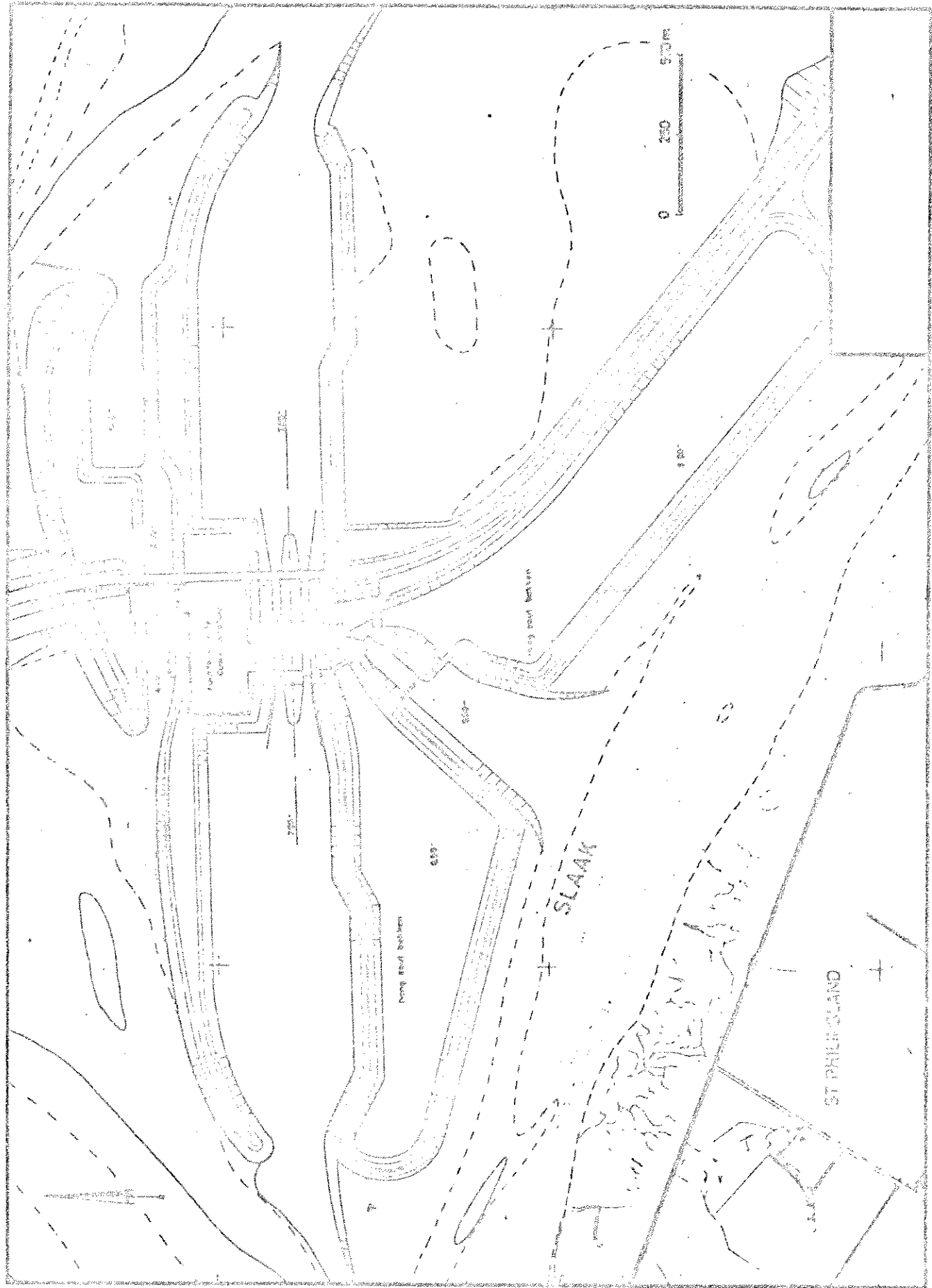
Tabel VI Tijdsduur schutproces sturingsmethode C (laagwatersituatie)

handelingen en fases tijdens het schutproces	tijd [min]
* sluiten draaideur (Zijpe); sluiten gemaalschuif (30 s) doorlaatschuif open (75 s)	2,5
* opwaarts nivelleren door pompen: $dQ/dt = 0,2$	3,0
* neerwaarts uitwisselen onder vrij verval (zie B)	13,0
* openen draaideur/uit- en invaren schepen/sluiten draaideur	21,0
* neerwaarts nivelleren (zie methode A)	2,0
* openen draaideur/uit- en invaren schepen	18,5
schutcyclusduur	60,0

Tabel VII Aantal schuif- en klepbewegingen per schutcyclus

sturings- methode	tussen- fase	nivelleren (Zoommeer)	tussen- fase	uitwis- selen	tussen- fase	nivelleren (Zijpe)	totaal
methode A (laagw.sit.)	-	2 (k)	-	2 (s)	-	2 (ds)	6
methode B (laagw.sit.)	2 (s)	2 (k)	2 (s)	2 (s)	-	2 (ds)	10
methode C (laagw.sit.)	2 (s)	-	2 (s)	2 (s)	-	2 (ds)	8
methode A (hoogw.sit.)	-	2 (k)	-	2 (k)	-	2 (s)	6
methode B (hoogw.sit.)	2 (s)	2 (k)	-	2 (k)	2 (s)	2 (s)	10
methode C (hoogw.sit.)	2 (s)	-	-	-	2 (s)	2 (s)	6

k = klep, s = schuif, ds = deurschuif

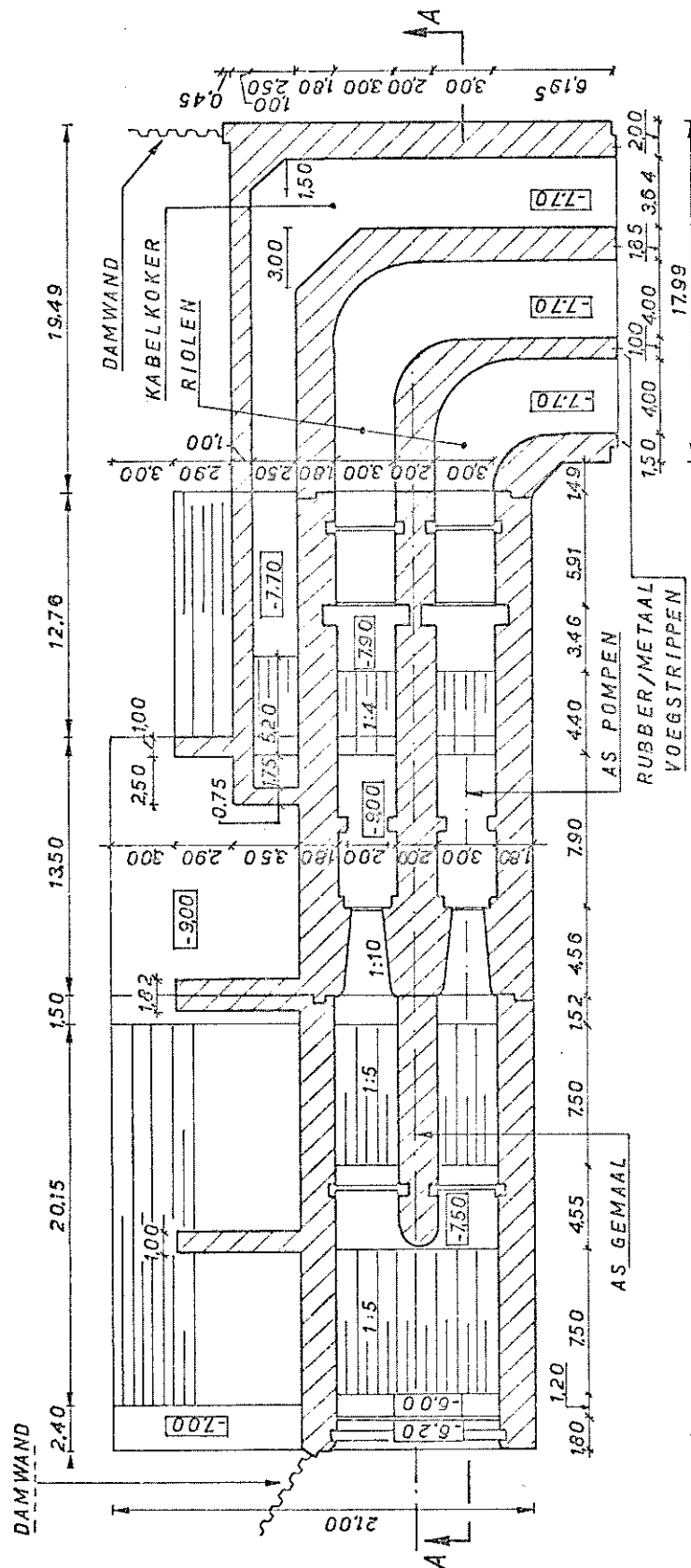


SITUATIE PHILIPSDAMSLUIZEN
(OVERGEKOMEN UIT DE NOTA LICHTENSLUIS PHILIPSDAM
VAN DE RIJCHTERSTADT-DELTADIENST AFDELING W.W.O.)

WATERLOO-KUNSTEN LABOORATOIRUM

R 1650

FIG. 1

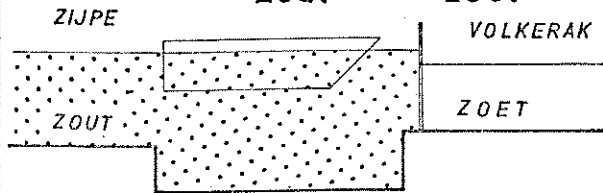


HORIZONTALE DOORSNEDE B-B (ZIE FIG. 3) maten in meters

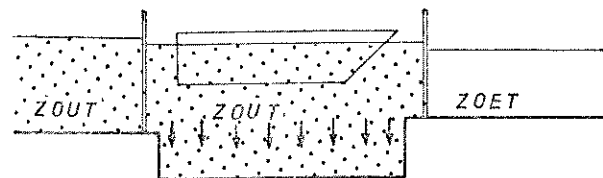
HORIZONTALE DOORSNEDE R100
BIJ GEMAAL EN DOORLAAT

HOOGWATERSITUATIE

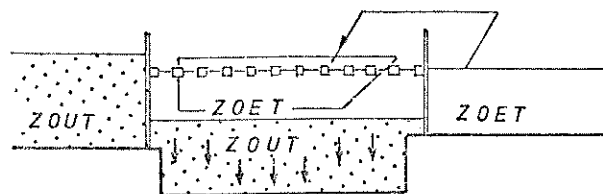
$$(h_{\text{zout}} > h_{\text{zoet}})$$



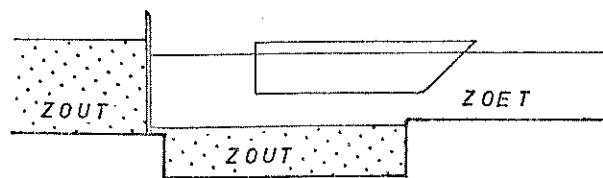
FASE H_1 INVAREN SCHEPEN (ZIJPE)



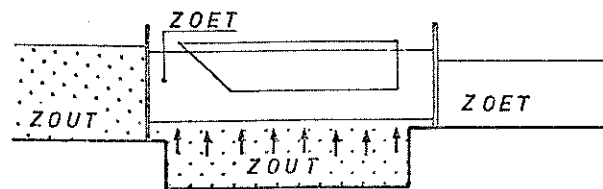
FASE H_2 NEERWAARTS NIVELLEREN



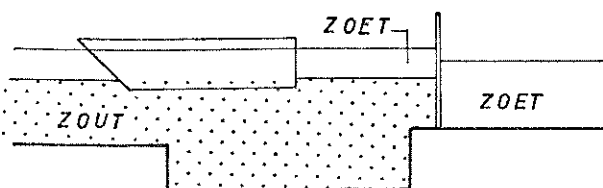
FASE H_3 NEERWAARTS UITWISSELEN



FASE H_4 UIT- EN INVAREN SCHEPEN (VOLKERAK)



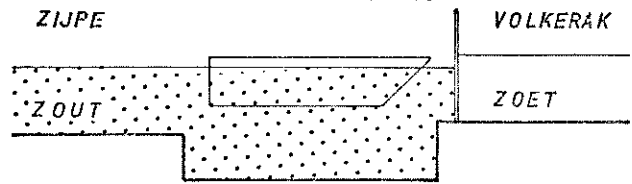
FASE H_5 OPWAARTS NIVELLEREN



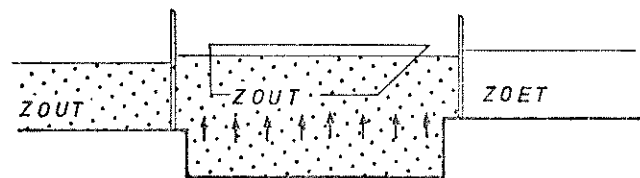
FASE H_6 UITVAREN SCHEPEN (ZIJPE)

LAAGWATERSITUATIE

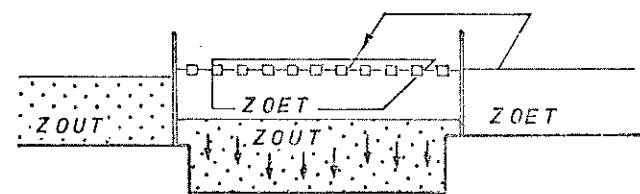
$$(h_{\text{zout}} < h_{\text{zoet}})$$



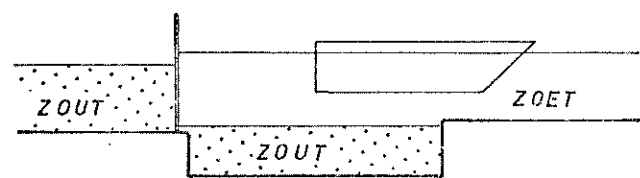
FASE L_1 INVAREN SCHEPEN (ZIJPE)



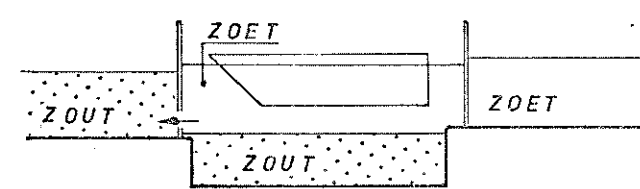
FASE L_2 OPWAARTS NIVELLEREN



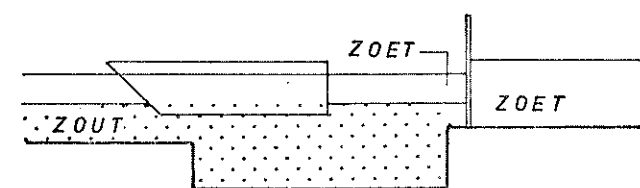
FASE L_3 NEERWAARTS UITWISSELEN



FASE L_4 UIT- EN INVAREN SCHEPEN

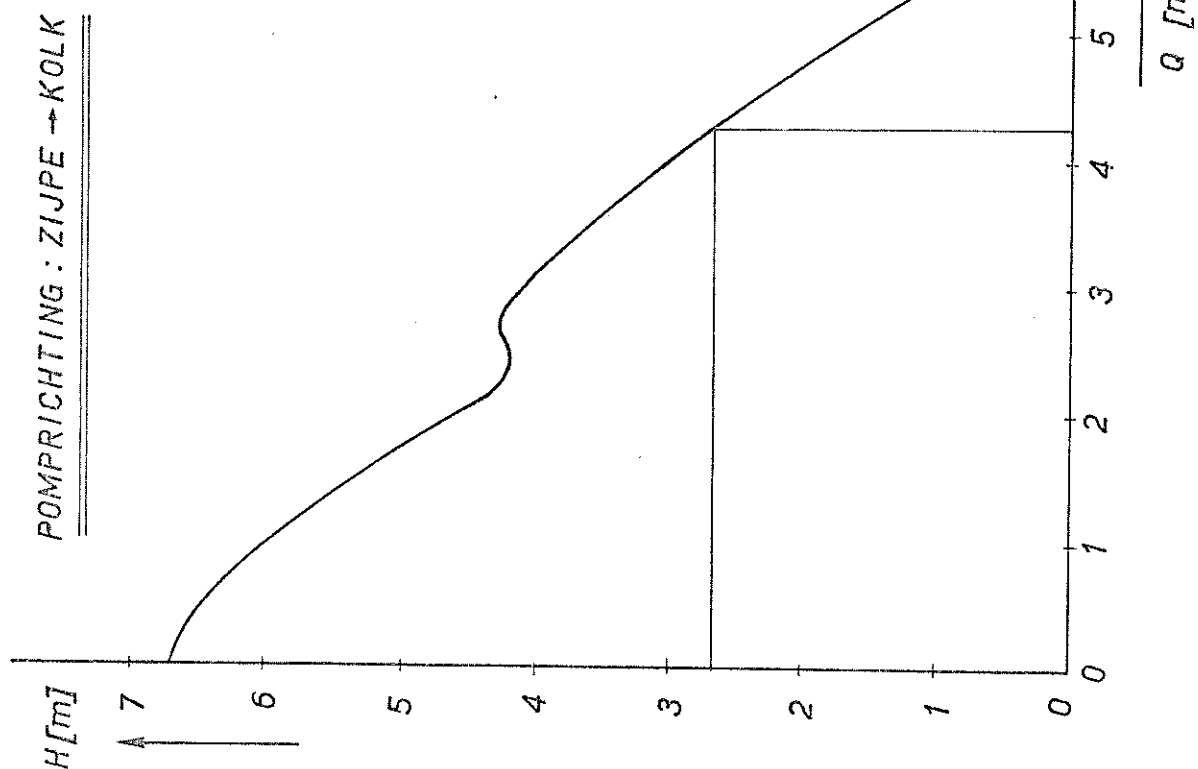
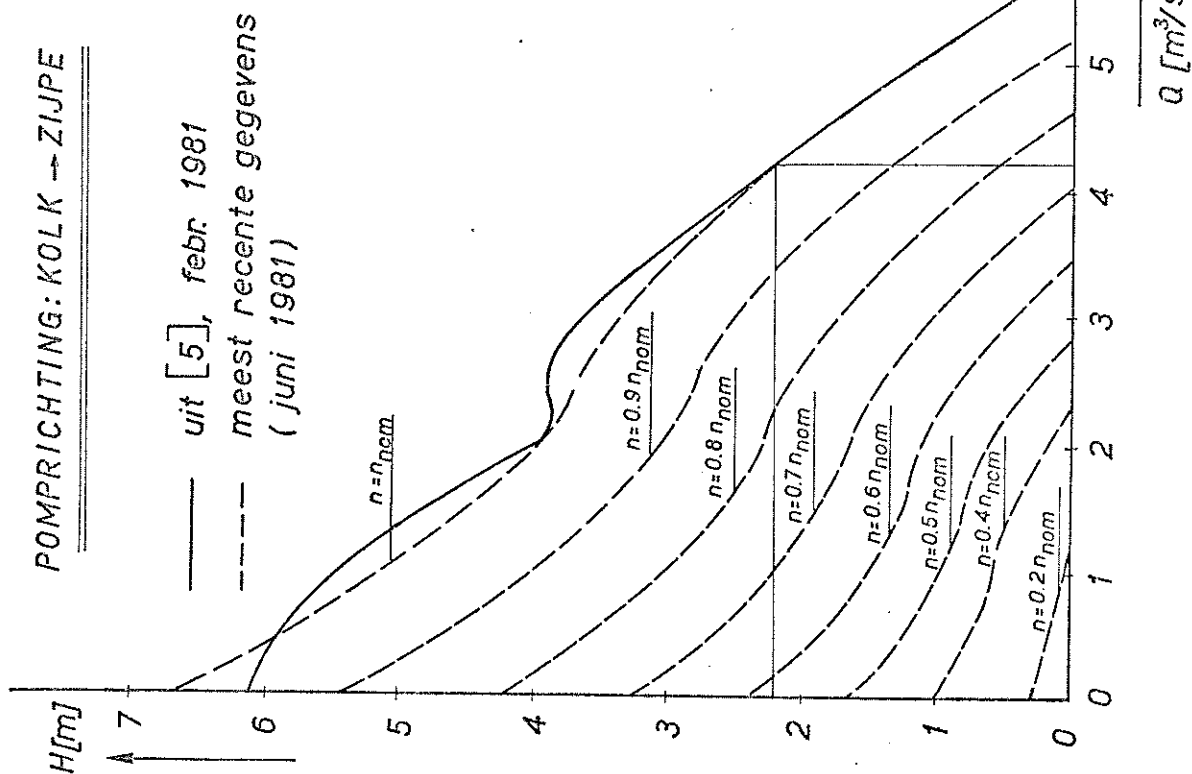


FASE L_5 NEERWAARTS NIVELLEREN

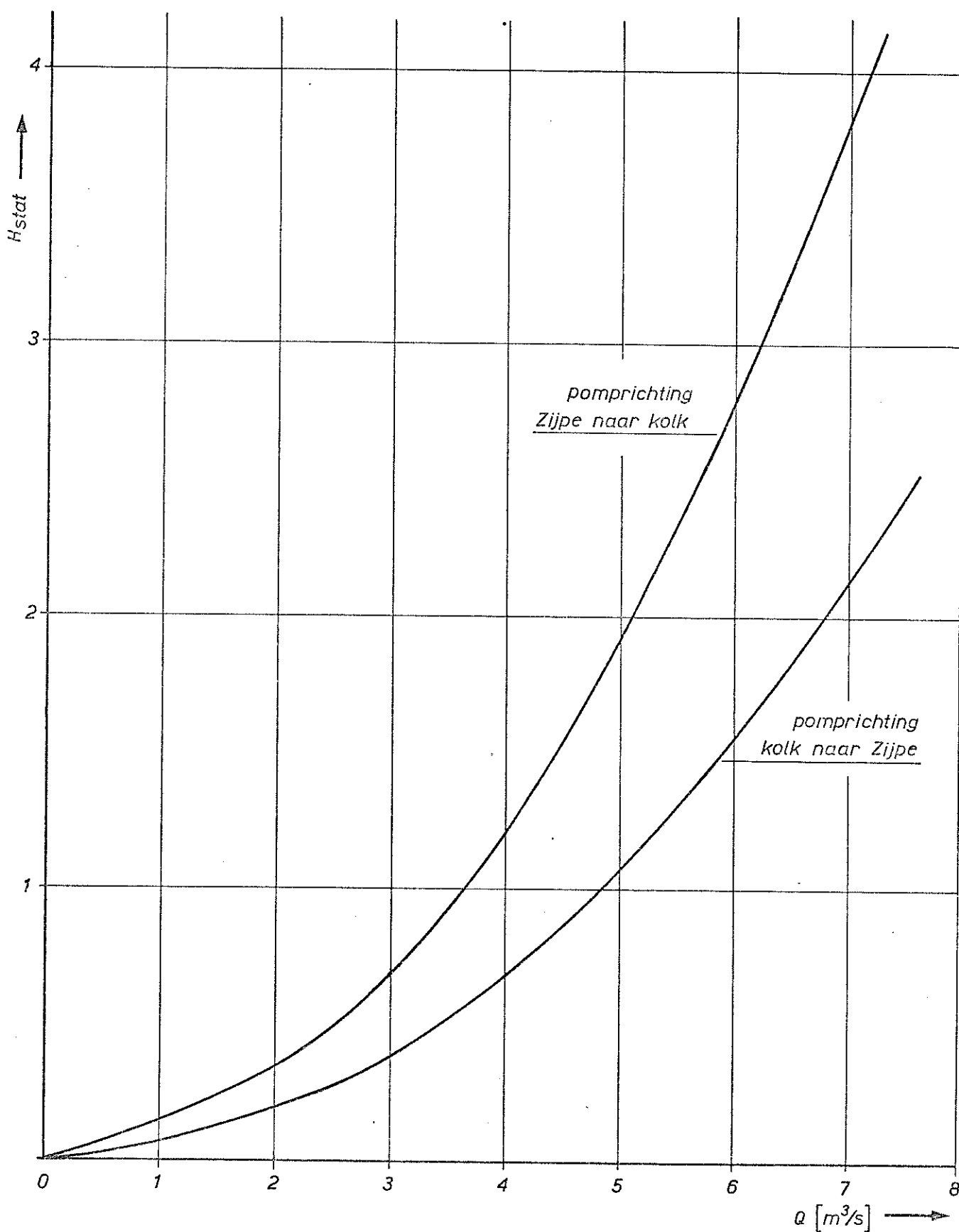


FASE L_6 UITVAREN SCHEPEN (ZIJPE)

SCHUTPROCES JACHTENSLUIZEN
PHILIPSDAM



POMPKARAKTERISTIEKEN VOOR BEIDE POMPRICHTINGEN VAN DE POMPEN IN HET GEMAAL VAN DE JACHTENSLUIZEN.



POMPKARAKTERISTIEKEN VOOR TERUGSTROMEN DOOR
DE POMPEN IN HET GEMAAL VAN DE JACHTENSLUIZEN

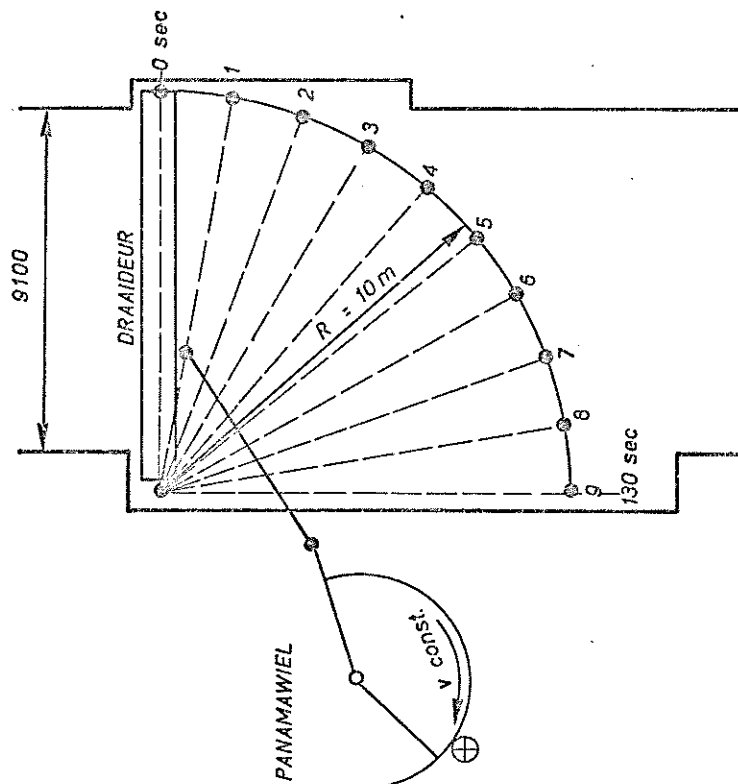
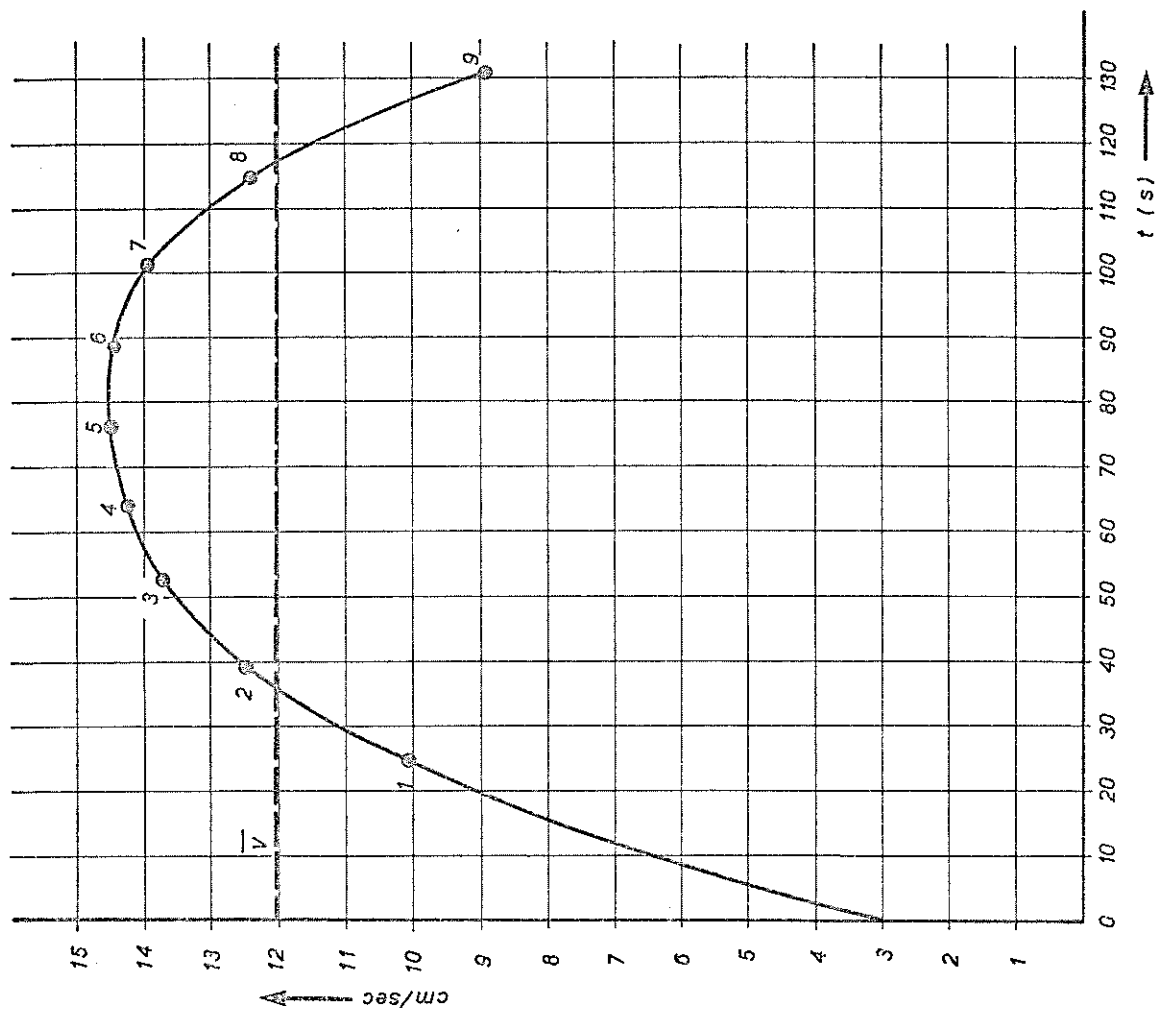
juni 1981

A4

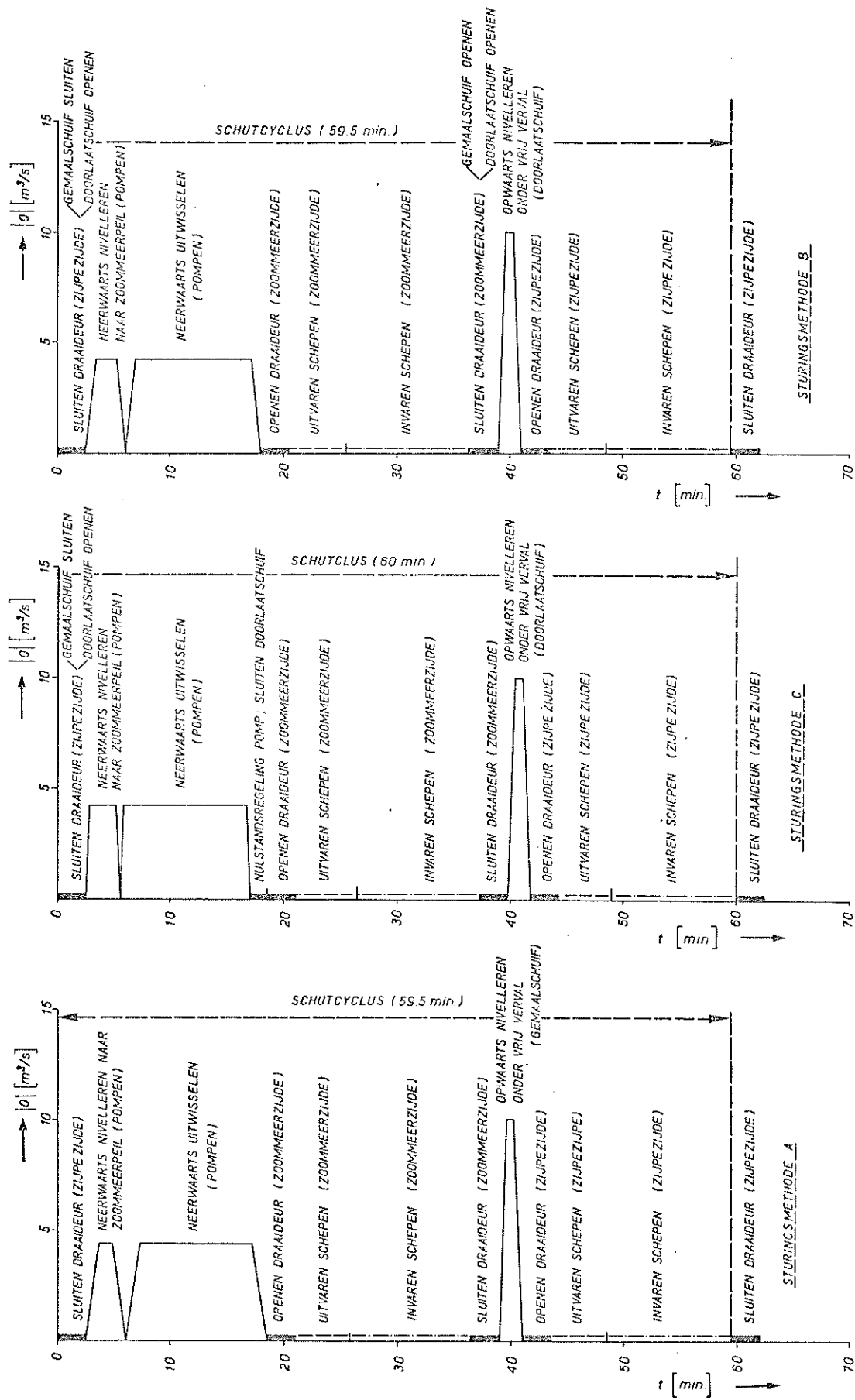
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1650

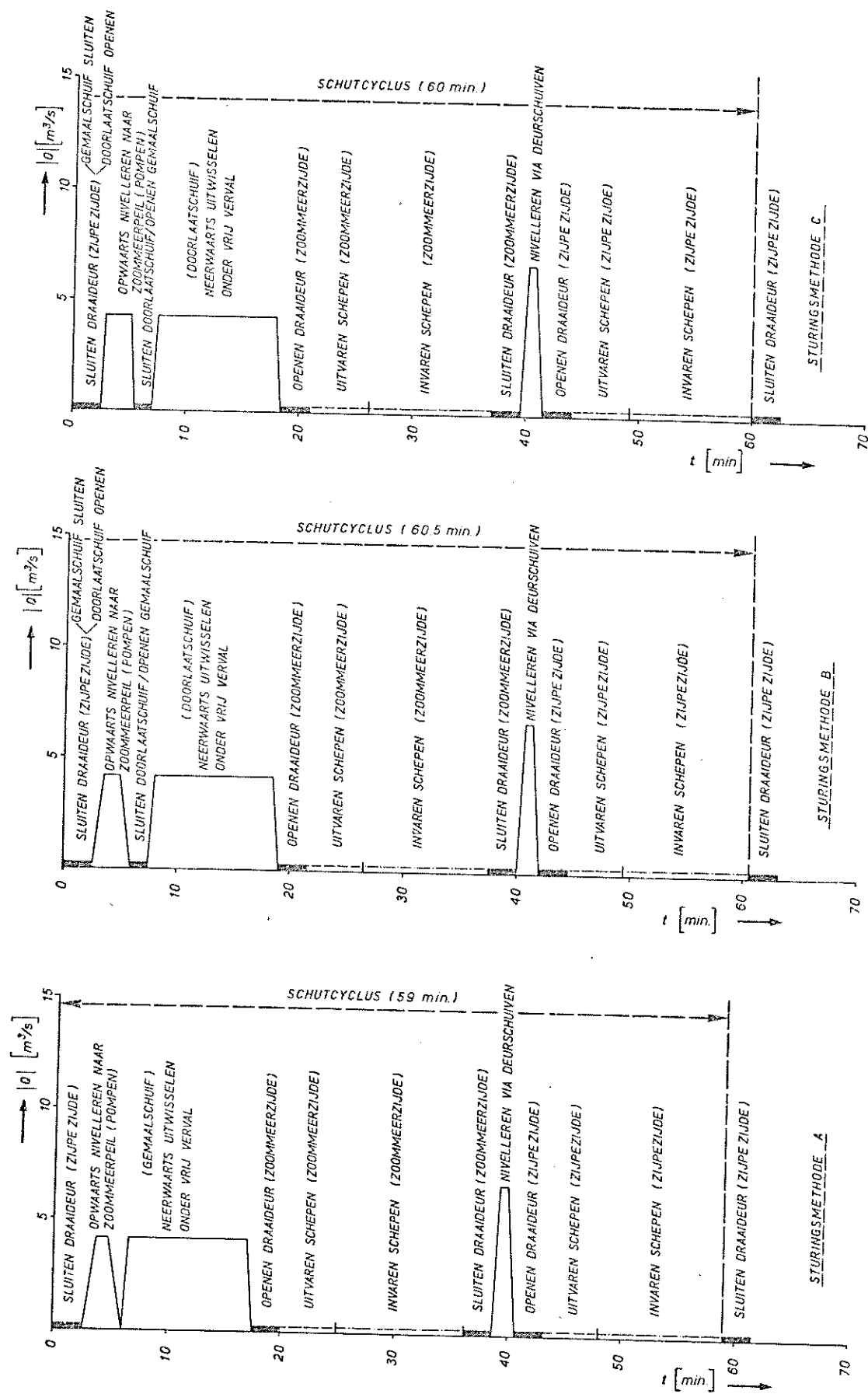
FIG 6



PLAATS EN SNELHEID VAN DE DRAAIDEUR VAN DE
JACHTENSLUIZEN ALS FUNKTIE VAN DE TIJD



SCHUTCYCLUSDUUR HOOGWATERSITUATIE STURINGS-
METHODEN A, B EN C



SCHUTCYCLUSDUUR LAAGWATERSITUATIE STURINGS-
METHODEN A, B EN C

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1650-0

FIG 9

A4

