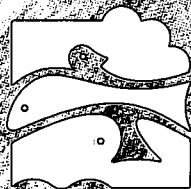
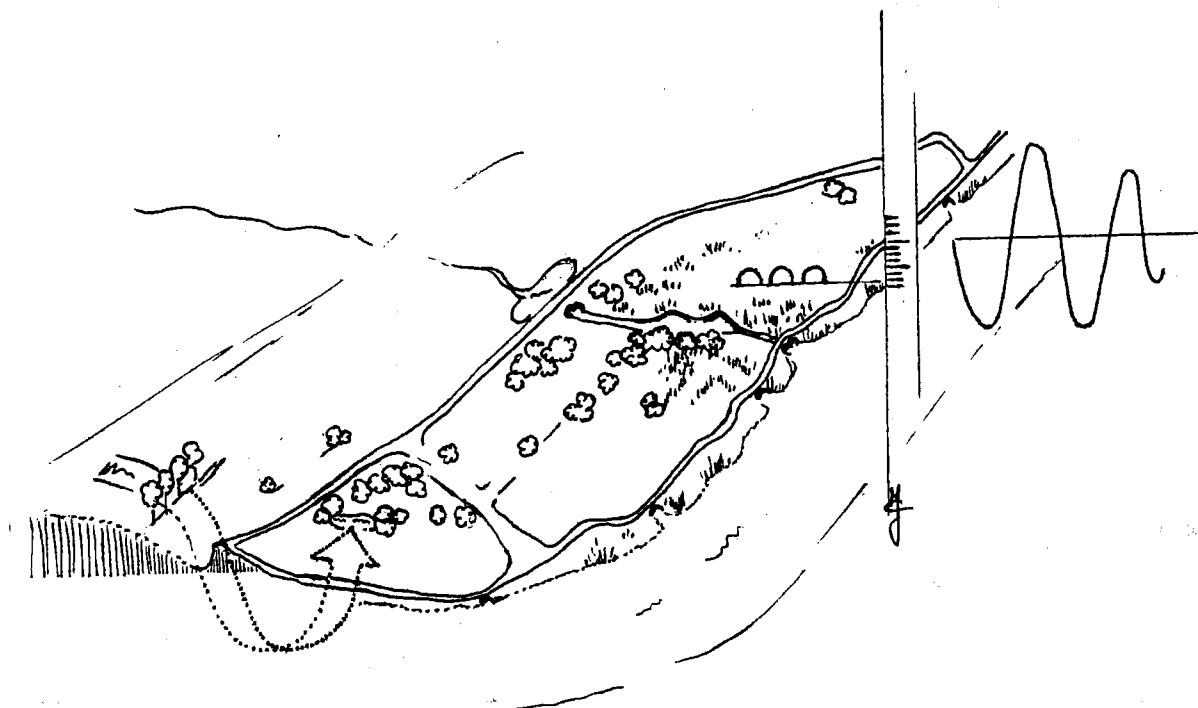


Inrichting van het gecontroleerd overstromingsgebied

Kruikeke - Bazel - Rupelmonde

Berekeningen i.v.m. de toepassing van een
gereduceerd getij in de polder van Kruikeke

Jos Hennissen & Patrick Meire



Instituut voor Natuurbehoud

**Inrichting van het gecontroleerd
overstromingsgebied
Kruibeke - Bazel - Rupelmonde**

**Berekeningen i.v.m. de toepassing van een
gereduceerd getij in de polder van Kruibeke**

Jos Hennissen & Patrick Meire

Instituut voor Natuurbehoud
Kliniekstraat 25
1070 Brussel

Rapport IN 98/32

December 1998

Waterbouwkundig Laboratorium
Borgerhout

BIBLIOTHEEK

Colofon

Tekst : Jos Hennissen & Patrick Meire

Eindredactie en lay-out : Jos Hennissen

Wijze van citeren : Hennissen, J., Meire, P. : Berekeningen i.v.m. de toepassing van een gereduceerd van Kruikeke, Rapport Instituut voor Natuurbehoud 98/27 , Brussel

© 1998 Instituut voor Natuurbehoud

Brussel

ISBN 90 618 0000 0

Inhoudsopgave

Samenvatting

I - Inleiding	1
1. Achtergrond	1
2. Gecontroleerd Gereduceerd Getij (GGG) - Principiële werking	1
3. Technische realisatie	3
4. Onzekerheden	4
5. Doelstelling van het onderzoek	4
6. Afbakening en beperkingen	5
7. Opbouw van dit rapport	5
II - Uitgangspunten / Randvoorwaarden	7
1. Situering	7
2. Beschikbare gegevens voor het gebied	8
3. Afbakening gemodelleerd gebied	8
4. Huidige plannen voor het gecontroleerd overstromingsgebied	9
5. Beschikbare gegevens voor de Schelde	10
III - Beschrijving model	11
1. Overzicht	11
2. Model tij rivier	12
2.1. Sinusoïdaal model	12
2.2. Stapsgewijze derdegraadsbenadering	13
2.3. Verbeterde benaderingen van de werkelijke getijkromme	14
2.4. Wisselwerking tussen rivier en overstromingsgebied	15
3. Model polder	16
4. Model sluizen	19
5. Model overlooptdijk	20
6. Berekeningsschema	21
IV - Verkennende studie	23
1. Werkwijze	23
2. Simulatie 1 : hoge inlaat	23
3. Simulatie 2 : lage inlaat	25
4. Simulatie 3 : te hoge uitlaat	26
5. Conclusies	27

V - Studie van de invloed van de sluisparameters	29
1. Inleiding	29
2. Ontwatering bij gemiddeld getij	30
2.1. de hoeveelheid water die binnengelaten wordt tijdens de hoogwaterperiode	30
2.2. het waterpeil in de polder - het bodemniveau van de polder	31
2.3. de afvoercoëfficiënt van de uitwateringssluis	32
2.4. de totale oppervlakte van de uitwateringssluizen	32
2.5. het drempelniveau van de uitwateringssluizen	33
2.6. Het micro-reliëf in de polder	35
2.7. Conclusie	35
3. Ontwateringsproblemen voor 'niet gemiddeld'-getij	36
4. Stroomsnelheid ter hoogte van de sluizen	37
5. Overstromingsduur bij gemiddeld getij	39
5.1. Invloed oppervlakte / drempelniveau uitwateringssluis	39
5.2. Invloed drempelniveau inwateringssluis	39
5.3. Invloed oppervlakte inwateringssluis / maximum waterhoogte in polder	43
5.4. Invloed karakteristieken van de polder	43
5.5. Conclusie	43
6. Verschillen Springtij / Doodtij - cyclus	46
7. Evaluatie	48
VI - Berekeningen met inwateringssluizen op 2 niveaus	49
1. Wijzigingen in model t.o.v. vorig hoofdstuk	49
1.1. Model tij rivier	49
1.2. Model polder	49
1.3. Model sluizen	49
2. Overstromingsduur bij gemiddeld normaal tij	49
3. Variatie van de overstromingsduur over een springtij/doodtij-cyclus	51
4. Berekening gereduceerd getij in polder met tijgegevens 1996	53
4.1. Verantwoording	53
4.2. Parameters voor sluis en overstromdijk	53
4.3. Voorbeeld : simulatie gereduceerd getij in periode 1-15 maart 1996	53
4.4. Voorbeeld : simulatie stormtij augustus '96	54
4.5. Samenvattende resultaten simulatie volledig jaar '96	57
4.6. Conclusie	59
VII - Optimalisatie keuze sluisparameters - ontwerpkenmerken	61
1. Uitwateringssluis	61
1.1. Probleem : moeilijke ontwatering	61
1.2. Verlaging van het drempelniveau	62
1.3. Vergroting van de sluisoppervlakte	63
2. Inwateringssluis	65
2.1. Inleiding	65
2.2. Verband sluisoppervlakte - hoeveelheid instromend water bij gemiddeld getij	66
2.3. Verband sluisoppervlakte -drempelniveau	67
2.4. Verband drempelniveau - springtij-doodtij variatie	68
2.5. Toepassing : controleberekening op gegeven sluisconfiguratie	69
2.6. Toepassing : Optimalisatie sluisontwerp	70
2.7. Berekeningsvoorbeeld	70

3. Conclusies	72
VIII - Vergelijking met resultaten 2D - model	73
1. Inleiding	73
2. Doelstelling	73
3. Beschrijving van het model	73
4. Resultaten	74
5. Conclusies en Beperkingen	75
IX - Conclusies en suggesties voor verder onderzoek	77
1. Conclusies	77
2. Suggesties voor verdere berekeningen	78
X - Literatuurlijst	79
 Lijst van figuren en tabellen	
 Bijlagen	
Appendix A : Model voor stroming door sluis	1
Appendix B : Berekening afvoercoëfficiënt sluis	3
1. Algemeen	3
2. De afvoercoëfficiënt voor de inwateringssluis	4
1.1 verlies ten gevolge van de aanwezigheid van (terugslag)kleppen	4
1.2 verlies ten gevolge van contractie bij de instroom	4
1.3 verlies ten gevolge van wrijving met de wand	4
1.4 verlies ten gevolge van de weerstand van het water aan de andere kant van de sluis.	5
1.5 totaalverlies	5
3. De afvoercoëfficiënt voor de uitwateringssluis	5
Appendix C : benadering getijkromme voor gekende uiterste waarden.	6
Appendix D : Model voor stroming over overloopdijk	8
1. Theorie i.v.m. overlaten	8
2. Implementatie in model voor waterdebiet over dijk (met instelbare parameters)	10
Appendix E : Hoogteligging polders Kruibekke-Bazel-Rupelmonde	11

Samenvatting

Momenteel worden de plannen voorbereid voor de inrichting van het gecontroleerd overstromingsgebied Kruikeke-Bazel-Rupelmonde. Als één van de mogelijke scenario's wordt de mogelijkheid onderzocht de functies veiligheid en natuurontwikkeling te verzoenen in een nieuw concept : het gecontroleerd gereduceerd getij.

Voorliggend rapport onderzoekt de mogelijkheden van dit nieuw concept aan de hand van een simulatiemodel. Dit simulatiemodel vertrekt van een sterk vereenvoudigde representatie van het riviertij (sinusmodel), de sluisgeometrie en de geometrie van de polder (doosmodel). Als resultaat van simulaties geeft dit model (bij gegeven getij en sluisparameters) :

- de variatie van de (gemiddelde) hoogte van het water in de polder als functie van de tijd
- het debiet gewisseld tussen Schelde en polder als functie van de tijd

Afgeleide grootheden zijn :

- de stroomsnelheid ter hoogte van de sluisen
- de overstromingsduur voor locaties op gegeven hoogte binnen de polder
- de polderoppervlakte die gedurende een zekere tijd overstroomt

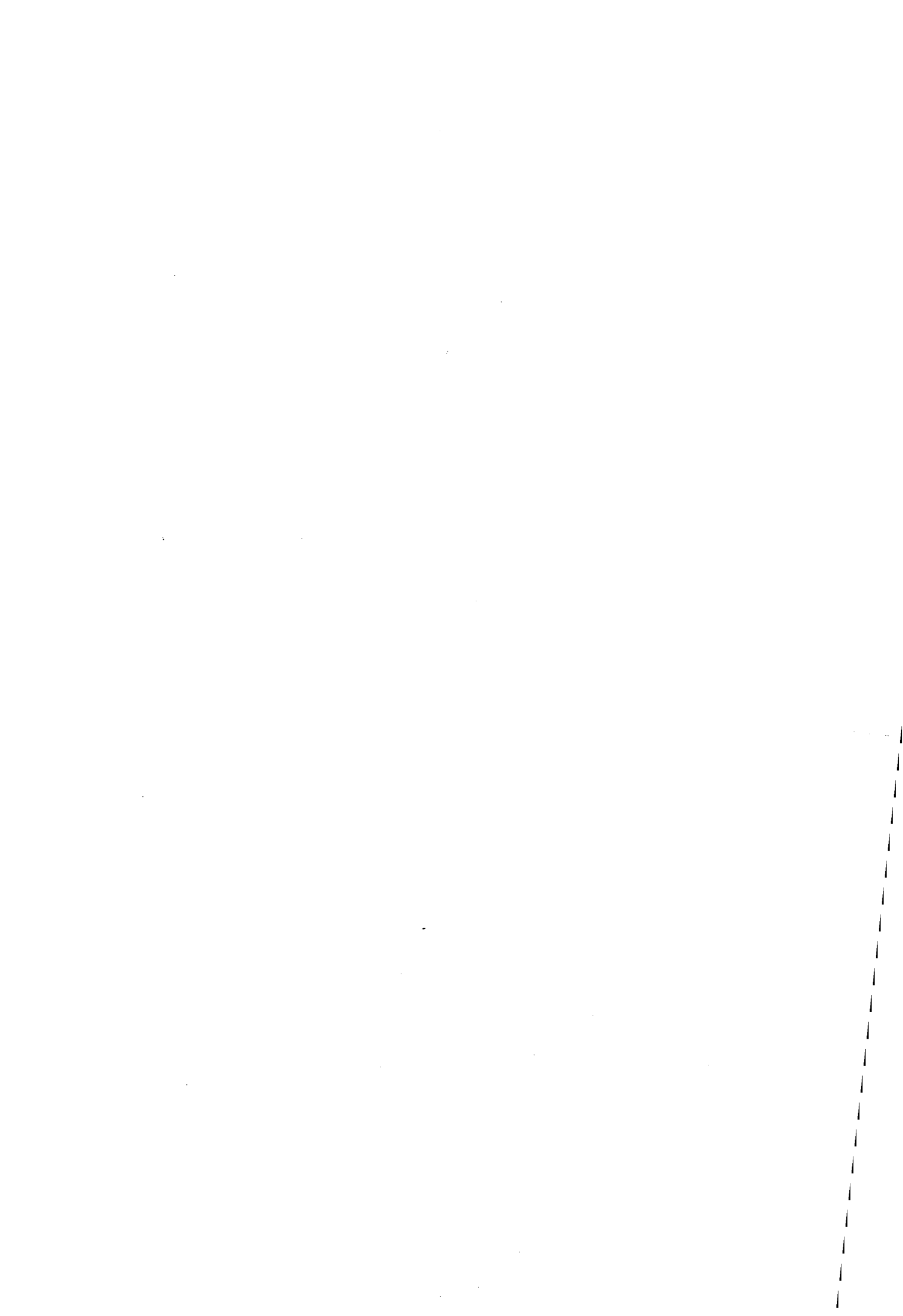
Simulaties met dit model geven een beeld van de te verwachten overstromingsdynamiek, en van mogelijkheden om deze overstromingsdynamiek door een gepaste keuze van positie en afmetingen van de sluisen te beïnvloeden.

Uit de simulaties blijkt dat het overstromingsregime dat voor schorren in de Schelde geldt, niet kan bereikt worden voor de bodem in de polder. De overstromingsduur is vrij lang, beduidend langer dan voor schorren in de Schelde. De overstromingshoogte daarentegen is minder.

Doordat de polder van Kruikeke slechts weinig hoger ligt dan de optredende laagwaterstand is de ontwatering van de polder niet eenvoudig. Een goede keuze van de uitwateringssluizen is noodzakelijk.

Het gereduceerd getij in de polder hangt sterk af van de configuratie van de inwateringssluizen. Het drempelniveau van de inwateringssluizen blijkt van cruciaal belang.

Op basis van criteria als de overstromingsduur, de overstromingsfrequentie, de overstromingshoogte, de variatie over springtij-doodtij, dient een optimale keuze van een realiseerbaar getij te worden gemaakt, in functie van de gewenste natuurontwikkeling. In voorliggend rapport is een methodiek ontwikkeld om uitgaande van de gemaakte keuzes een optimaal sluisontwerp te bekomen.



I - Inleiding

1. Achtergrond

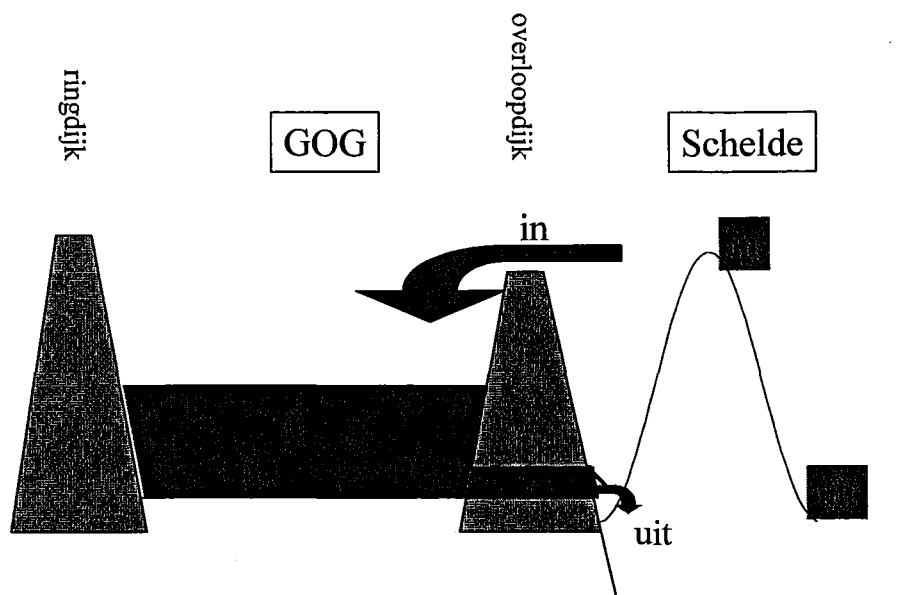
Onder invloed van de getijwerking vormt zich aan de Schelde een ecologisch waardevol schor- en slikkensysteem. De schorren langsheen het zoetwatergetijdengebied zijn een op Europese schaal zeer zeldzaam en waardevol biotoop (MEIRE ET AL., 1992). Deze schorren verminderen echter voortdurend, zowel in oppervlakte als in kwaliteit, door menselijke activiteiten.

Door inpoldering, vaargeulverdieping en zeespiegelstijging treden er op de Schelde steeds vaker extreme vloedstanden op (VANWIJCK, 1997). In het kader van het Sigmaplan wordt de beveiliging tegen dergelijke stormvloeden uitgewerkt door de verhoging van de dijken langs de Schelde en door de aanleg van gecontroleerde overstromingsgebieden. Het grootste (578 ha) en belangrijkste overstromingsgebied is de polder van Kruikebe, Bazel en Rupelmonde (VANWIJCK, 1997).

In de huidige plannen wordt als één van de mogelijke scenario's de mogelijkheid onderzocht de functies veiligheid en natuurontwikkeling te verzoenen in een nieuw concept : het gecontroleerd gereduceerd getij. Hierbij wordt (een deel van) het gecontroleerd overstromingsgebied Kruikebe-Bazel-Rupelmonde aangepast zodat binnen dit gebied een getijwerking ontstaat.

2. Gecontroleerd Gereduceerd Getij (GGG) - Principiële werking

Een 'gecontroleerd overstromingsgebied' bestaat uit een met dijken omringd gebied aan een tijrivier. Een overstroombare dijk tussen het gebied en de tijrivier, de 'overloofdijk', maakt overstroming van het gebied mogelijk bij verhoogde waterstanden in de rivier. De 'ringdijk' houdt de overstromingen beperkt tot het daartoe bestemde gebied. De bedoeling van gecontroleerde overstromingsgebieden is om bij stormtij vloedwater uit de rivier naar naastgelegen gronden te brengen, om zo de hoogte van de storm-hoogwatergolf te verlagen (VANWIJCK, 1997). Via de uitwateringssluizen in de overloofdijk kan water dat via de overloofdijk het gebied is ingestroomd terug naar de rivier stromen op het moment dat het tij in de rivier voldoende gedaald is. Figuur I-1 geeft een principiële voorstelling van dit concept.



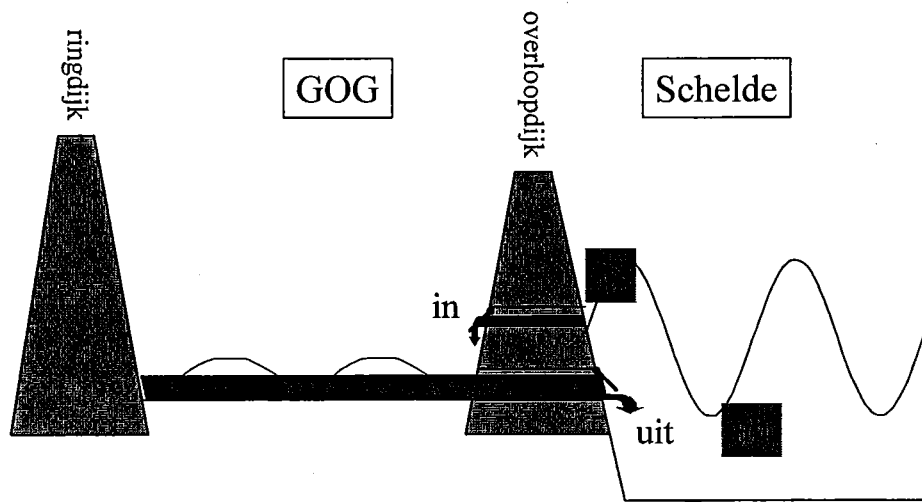
Figuur I-1 : principe werking gecontroleerd overstromingsgebied (GOG)

Als dusdanig uitgevoerde gecontroleerde overstromingsgebieden worden slechts zeer sporadisch door de rivier onder water gezet. In dergelijke gebieden zal een ecosysteem tot ontwikkeling komen dat

helemaal niet aangepast is aan overstromingen. Wanneer meer frequente overstromingen plaatsvinden kan het ecosysteem zich hieraan aanpassen en gaan de overstromingen één van de belangrijkste drijvende krachten worden in het gebied (MEIRE ET AL., 1992). Indien een overstromingsregime wordt verkregen dat sterk analoog is aan wat de buitendijkse schorren ondervinden, is wellicht een vergelijkbare schorontwikkeling mogelijk. Een dergelijke schorontwikkeling zou de natuurwaarde van het gebied gevoelig verhogen. Het concept 'gecontroleerd gereduceerd getij' komt hieraan tegemoet.

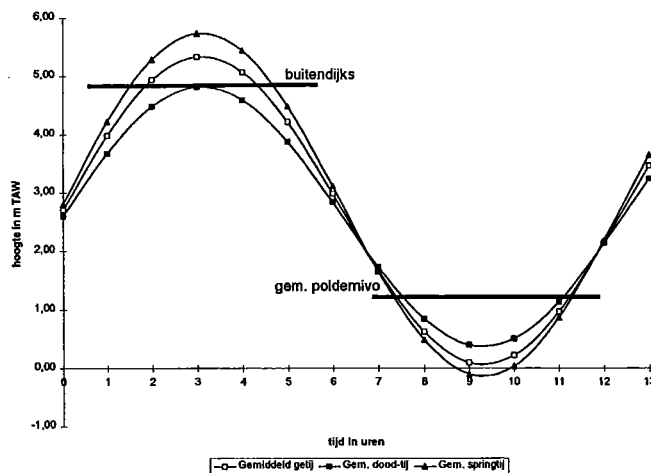
Het begrip gecontroleerd gereduceerd tij houdt in dat het waterpeil binnen het gecontroleerd overstromingsgebied, of een gedeelte ervan, meebeweegt met het tij van de rivier. Het getijregime wordt 'gecontroleerd' door de conciëpering van de sluizen in de overlooptdijk.

Het is namelijk mogelijk om de sluizen in de overlooptdijk aan te passen, zodat ook bij gemiddelde hoogwaterstanden een hoeveelheid water (een gedeelte van) het gebied kan instromen. Bij laag water in de rivier kan het water dan terug naar de rivier stromen. Als het ware wordt in het gebied een getijregime geïnduceerd. Figuur I-2 geeft een principiële voorstelling van dit concept.



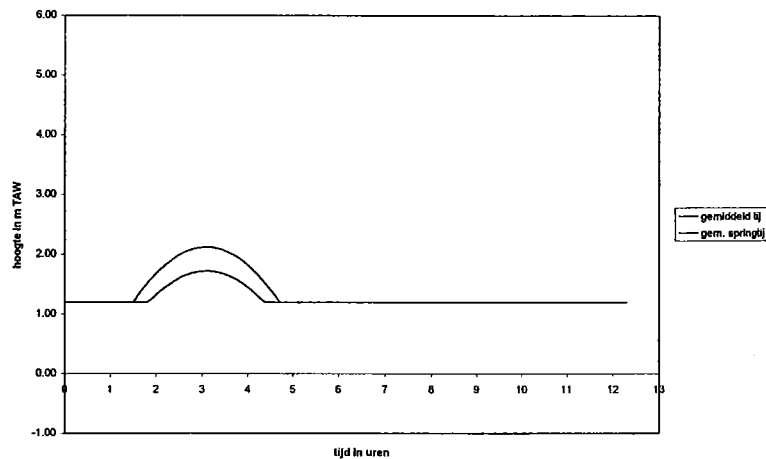
Figuur I-2 : principe werking gecontroleerd gereduceerd getij (GGG)

De buitendijkse schorren zijn terug te vinden vanaf ca. gemiddeld doottij-hoogwaterpeil in de Schelde (HOFFMANN, 1993). Het gemiddelde bodemniveau binnen de polder ligt beduidend lager. Figuur I-3 situeert het gemiddeld bodemniveau van de polder in Kruibeke t.o.v. de optredende gemiddelde tijcycli in de Schelde ter hoogte van Kruibeke.



Figuur I-3 : hoogteligging van polder en buitendijkse schorren in relatie tot getij in rivier uit (HETTINGA ET AL., 1997)

Om een overstromingshoogte in het overstromingsgebied te bekomen, analoog aan wat de buitendijkse schorren ondervinden, moet de hoogwaterstand in de polder veel lager blijven dan de hoogwaterstand in de rivier. Het sturend riviergetij moet als het ware 'gereduceerd' worden. De getij-amplitudes in het gebied, bij toepassing van een gereduceerd getij, zullen dus beduidend kleiner zijn dan die in de rivier. Figuur I-4 geeft een voorbeeld weer van een mogelijke getijcurve in het gecontroleerd overstromingsgebied. De voorgestelde getijcurve is zodanig gekozen dat voor het bodemniveau in de polder hetzelfde getijregime wordt bekomen als dat van de buitendijkse schorren van figuur I-3.



Figuur I-4 : voorbeeld van gereduceerd getij (1 periode)

Deze 'reductie' van de getij-amplitude is ook gunstig voor de verenigbaarheid van dit concept met de veiligheidsfunctie die het gebied als overstromingsgebied heeft. Immers, zelfs als het gereduceerd getij zijn maximale waterstand heeft, neemt de bergingscapaciteit van het overstromingsgebied slechts weinig af.

3. Technische realisatie

De inrichting als gecontroleerd overstromingsgebied impliceert dat tussen het gebied en de tijrivier een overlooppdijk aanwezig is, zodat het gebied slechts overstroomt bij een vooraf bepaalde stormvloedhoogte. Voor de hoogte van de overlooppdijk wordt een waarde van + 6.80 TAW vooropgesteld (VANWIJCK, 1997).

Bij de werking als gecontroleerd overstromingsgebied zijn uitwateringssluizen nodig (sluizen die enkel stroming van polder naar rivier toelaten), die voor de veilige werking van het gecontroleerd overstromingsgebied voldoende groot moeten zijn. Dezelfde sluizen kunnen ook bij de toepassing van het gereduceerd getij voor de ontwatering van het gebied instaan.

Om een gereduceerd getij in het gebied te realiseren moet ook op de ene of de andere manier water de polder kunnen instromen. Dit systeem moet zodanig ontworpen zijn dat de veilige werking van het gebied als overstromingsgebied niet in het gedrang komt. Systemen die zo weinig mogelijk externe controle vergen (elektronisch of manueel) verdienen de voorkeur, omdat ze de kans op falen reduceren. Voorliggend rapport bestudeert de haalbaarheid van een mechanisch concept dat kan functioneren zonder menselijke of elektronische ingrepen : de getijwerking wordt volledig bestuurd door de getijvoorwaarden in de rivier en de geometrie van de sluisconstructie in de dijk.

Technische uitvoeringswijzen van dit concept zouden bijvoorbeeld kunnen zijn :

- Een nieuwe sluisconstructie (koker, ...) in de dijk die zorgt voor een verbinding tussen Schelde en polder, naar het model van de huidige uitwateringssluizen, maar met 'uitwateringskleppen' aan de landzijde, zodat in feite een 'inwateringssluis' wordt verkregen. Eventueel mogen de kleppen weggelaten worden, aangezien het geen kwaad kan dat een inwateringssluis ook als uitwateringssluis fungeert.

- Een wijziging aan de constructie van de voorziene uitwateringssluizen zodat die ook als inwateringssluizen kunnen gaan werken. Het eenvoudigst hierbij is een klep van een uitwateringssluis permanent open te houden (vb. Met behulp van staalkabel vanaf een steiger voor de sluis). Een andere mogelijkheid is het voorzien van een uitsparing in de uitwateringsklep, zodat er permanent een instromingsopening vrij blijft.

In verband met de veiligheidsfunctie verdient het de voorkeur dat alle inwateringssluizen over een voorziening beschikken om ze af te sluiten (zoals dat in de huidige ontwerpen ook met de uitwateringssluizen het geval is). Bij naderend stormtij kan men dan eventueel alle inwateringssluizen sluiten, zodat de polder maximaal kan ontwateren.

De concrete technische uitwerking van dit concept zal echter niet in deze studie aan bod komen.

4. Onzekerheden

Het concept gereduceerd getij is nieuw. Het vestigen van een gecontroleerd gereduceerd getij in een overstromingsgebied heeft ingrijpende implicaties. De gecreëerde randvoorwaarden verschillen van de randvoorwaarden die bekend zijn voor de buitendijkse schorsystemen. Omdat ervaring op een dergelijke schaal voorlopig ontbreekt is een grondige voorafgaande studie van mogelijke gevolgen noodzakelijk.

Vragen die moeten beantwoord worden zijn :

- Is realisatie van een gecontroleerd gereduceerd getij technisch haalbaar ?
- Kan de veilige werking van het gecontroleerd overstromingsgebied voldoende gewaarborgd worden ?
- Wat zijn voor een bepaalde inrichtingsvariant voor het overstromingsgebied :
 - de te verwachten sedimentatiepatronen ?
 - de te verwachten vegetatie-ontwikkeling ?
- Wat is de optimale uitvoering om de aspecten natuurontwikkeling en veiligheid optimaal in te vullen ?

Deze vragen kunnen slechts beantwoord worden indien kennis aanwezig is over de implicaties van de voorgestelde ingrepen op de waterhuishouding in het gebied. Voorliggend rapport tracht met behulp van een mathematisch model het inzicht in deze gewijzigde waterhuishouding te vergroten.

5. Doelstelling van het onderzoek

Doel van deze studie is een vereenvoudigend mathematisch model te ontwikkelen dat de waterhuishouding in de polder kan voorspellen bij toepassing van een gecontroleerd gereduceerd getij in het gebied. Het mathematisch model gaat er hierbij van uit dat het gereduceerd getij wordt gerealiseerd met een mechanisch werkend sluizensysteem zoals hierboven beschreven. Simulaties met het ontwikkeld model moeten bijdragen tot de gedachtevorming rondom het concept en volgende deelvragen beantwoorden :

- Naar veiligheid toe
 - Kan de veilige werking van het gebied als gecontroleerd overstromingsgebied gecombineerd worden via het voorgestelde technische kader met de werking onder gereduceerd getij ?
 - Kan het gebied voldoende snel ontwateren ?
 - Suggesties voor concrete inrichting van het gebied
- Naar natuurontwikkeling toe
 - Is een overstromingsdynamiek vergelijkbaar met buitendijkse toestand realiseerbaar ?
 - Wat zijn de verschillen met het getijregime dat de buitendijkse schorren ondervinden ?
 - Welke factoren kunnen deze verschillen verminderen ?
 - Suggesties voor concrete inrichting van het gebied ?

6. Afbakening en beperkingen

Het hier ontwikkelde model is een vereenvoudigde representatie van de werkelijkheid. Het heeft daardoor ook een beperkte toepasbaarheid. De berekeningen met dit model zijn niet bruikbaar als maatgevende getallen voor de technische uitvoering van het project. Hiervoor zijn de gemaakte benaderingen en vereenvoudigingen te drastisch. Wel kunnen ze een aanduiding betekenen voor de haalbaarheid van het concept als dusdanig. Bovendien brengen ze inzicht bij over de werking van dit gereduceerd getij, en maken ze de belangrijkste factoren die de vorm van het getij bepalen aanschouwelijk. De resultaten van dit onderzoek kunnen de discussie verrijken over de concrete inrichtingsplannen voor het gebied. Ook kan deze studie aanwijzingen geven voor de elementen die verder onderzoek behoeven.

7. Opbouw van dit rapport

In hoofdstuk II worden de gegevens opgesomd waarvan gebruik werd gemaakt voor de simulaties.

Hoofdstuk III beschrijft de fysische achtergrond van het model, en de veronderstellingen die voor de ontwikkeling van het model werden gemaakt.

In hoofdstuk IV worden de resultaten van een eerste reeks simulaties getoond, die toelaten het concept gereduceerd getij beter te begrijpen.

In hoofdstuk V wordt iets grondiger ingegaan op een aantal simulaties om invloedsfactoren te identificeren die de vorm van het getij beïnvloeden. Bekeken wordt hoe de sluisparameters het verkregen getijregime beïnvloeden, en in hoeverre het getijregime afwijkt van het regime waaraan buitendijkse schorren zijn blootgesteld.

In hoofdstuk VI worden enkele verbeteringen aan het basismodel aangebracht, zodat een simulatie mogelijk wordt van de waterhuishouding in de polder bij opeenvolgende tijcycli met variërende maxima. Ter demonstratie worden enkele situaties doorgerekend.

In hoofdstuk VII wordt een methodiek ontwikkeld die een optimale keuze van de sluisconfiguratie mogelijk maakt, als duidelijkheid bestaat over het gewenste getijregime in de polder.

Hoofdstuk VIII tenslotte zet de belangrijkste conclusies uit dit onderzoek op een rijtje en geeft een aantal suggesties voor verder onderzoek.

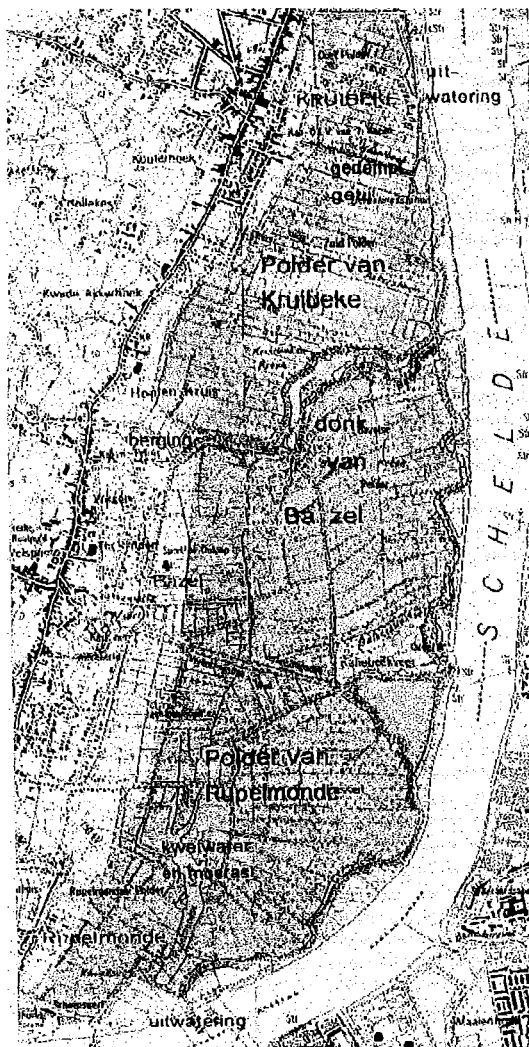


II - Uitgangspunten / Randvoorwaarden

1. Situering

Het geplande overstromingsgebied (GOG) Kruikeke - Bazel - Rupelmonde (KBR) is gelegen in de provincie Oost-Vlaanderen, binnen de driehoek Antwerpen-Beveren-Temse op de linkeroever van de Schelde. Het GOG ligt binnen de polders van de drie deelgemeenten Kuibeke, Bazel en Rupelmonde. De polders bestrijken een oppervlakte van ongeveer 750 ha. Het geplande GOG zal ongeveer 578 ha groot zijn. Het gebied wordt ten noorden begrensd door de industriezone Kruikeke-Noord, ten zuiden door de dorpskern van Rupelmonde, ten oosten door de Schelde en ten westen door de dorpskernen van Kruikeke en Bazel (NACHTERGALE, 1994).

In de huidige plannen wordt de mogelijkheid bekeken om een deel van dit gebied aan een gereduceerd getij bloot te stellen. In figuur II-1 wordt het inrichtingsscenario getoond waarbij de polder van Kruikeke, en het deel in de polder van Bazel ten oosten van de donk van Bazel (tussen de donk van Bazel en de rivierdijk) aan het gereduceerd getij worden blootgesteld.



figuur II-1 : inrichtingsplan Gecontroleerd overstromingsgebied Kruikeke-Bazel-Rupelmonde uit (Hettinga et al., 1997)

2. Beschikbare gegevens voor het gebied

Bepalend voor het gedrag van het getij is de geometrie van de polder, en op een detailniveau voor een tijdsafhankelijk onderzoek wellicht ook de bodemstructuur en aanwezige vegetatie. Voor het hier ontwikkelde eenvoudig model kan volstaan worden met de geometrie van de polder. De in deze studie gebruikte gegevens zijn afkomstig van hoogtemetingen uitgevoerd door Koppen (KOPPEN, 1995), en beschikbaar als een ASCII-file van punten, voor de respectievelijke polders Kruibeke, Bazel en Rupelmonde (BIESEMANS ET AL., 1996). Tabel II-1 toont een uittreksel uit het bestand met de terreingegevens voor Kruibeke. De eerste twee kolommen beschrijven de ligging van het meetpunt (afstand in m, volgens N-Z richting / O-W richting), gerefereerd naar een hoekpunt van het gemeten rooster, de derde kolom geeft de bijhorende hoogtewaarde (in cm). Appendix E geeft een kleurenrepresentatie van de hoogteligging van het gebied (figuren E-1, E-2 en E-3), volgens de beschikbare digitale bestanden.

1027.50	2162.50	426
1032.50	2162.50	426
1037.50	2162.50	369
1042.50	2162.50	369
1047.50	2162.50	259
1052.50	2162.50	259
1057.50	2162.50	151
1062.50	2162.50	151
1067.50	2162.50	272
1072.50	2162.50	272
1077.50	2162.50	379
1082.50	2162.50	379

Tabel II-1 : uittreksel uit bestand met hoogte-informatie Kruibeke

3. Afbakening gemodelleerd gebied

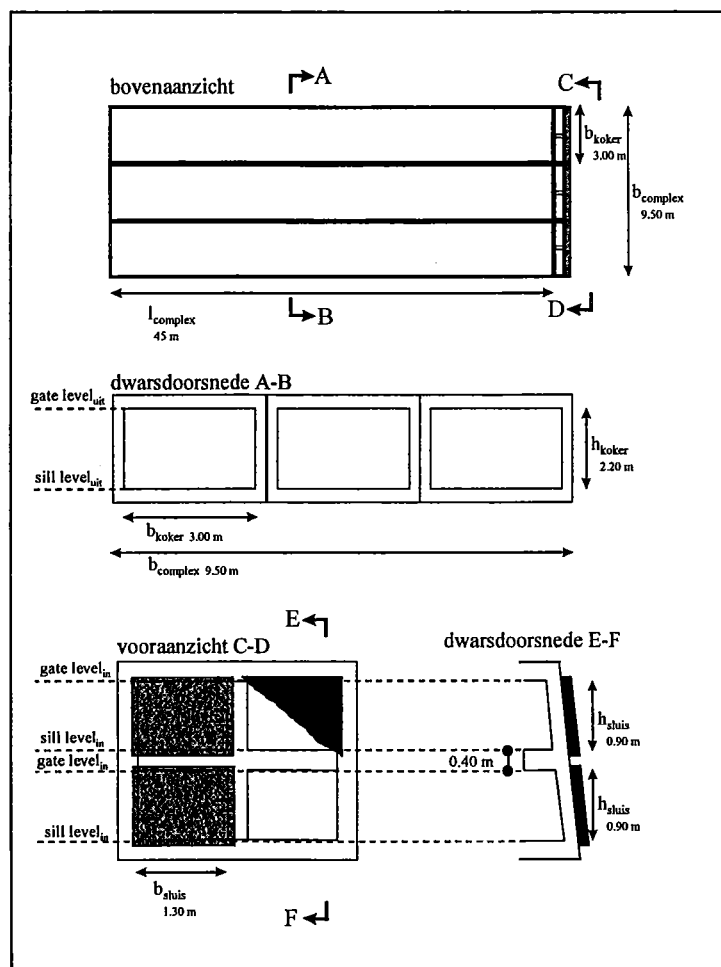
Het model dat in de verdere studie wordt ontwikkeld gaat ervan uit dat slechts de polder van Kruibeke (het overstromingsgebied ten noorden van de Barbierbeek) aan een gereduceerd getij wordt blootgesteld. Deze beperking is niet opgelegd door concrete inrichtingsplannen voor het gebied, en slechts een gevolg van praktische keuzes op een moment dat er nog geen eenstemmigheid over het te realiseren inrichtingsplannen was. Eén van de discussiepunten die mee zal bepalen welk gebied uiteindelijk aan een gereduceerd getij zal worden blootgesteld is de mogelijke inpassing van de Barbierbeek in het overstromingsgebied, waarbij de dijken van de Barbierbeek deels geslecht worden. In het model dat in de verdere studie wordt ontwikkeld is de Barbierbeek niet opgenomen in het overstromingsgebied.

Het model is eenvoudig uitbreidbaar tot andere overstromingsgebieden (voorzover de geometrische gegevens beschikbaar zijn). Invloedsfactoren afgeleid voor de werking van het gereduceerd getij in de hier beschouwde polder zijn ook van toepassing als andere delen van de polder mee in het overstromingsgebied worden opgenomen, al zullen cijferwaarden voor bijvoorbeeld maximaal waterpeil of benodigde sluisoppervlakte wellicht verschillen. Reeds eerder werd gesteld dat de in deze studie uitgevoerde berekeningen niet rechtstreeks bruikbaar zijn als maatstaf voor de technische realisatie van het overstromingsgebied. In de fase van de technische realisatie van het overstromingsgebied zal een berekening in diepgaander detail nodig zijn, rekening houdend met de werkelijke poldergeometrie die aan het gereduceerd getij wordt blootgesteld, om concrete afmetingen en posities in de dijk van sluizen en kunstwerken te bepalen.

4. Huidige plannen voor het gecontroleerd overstromingsgebied

In de huidige plannen voor de inrichting van het gecontroleerd overstromingsgebied Kruikeke-Bazel-Rupelmonde is het volgende voorzien (NOLLET, 1997).

- De overlaatdijk wordt aangelegd op cota 6.8 m TAW.
- De landinwaartse ringdijk wordt aangelegd met een kruinpeil op hoogte 8,35 m TAW.
- Alle te bouwen uitwateringssluizen zijn van hetzelfde type. Figuur II-2 geeft een beeld van een uitwateringssluiscomplex. Een dergelijk sluiscomplex bevat 3 kokers die afgesloten zijn aan de rivierzijde door kleppen op twee niveaus. In totaal bevat het sluiscomplex 12 ontwateringskleppen (2 niveaus van 2 kleppen per koker). De afmeting van het uitstroomoppervlak per klep bedraagt 0.9 x 1.3 m, zodat het totale feitelijk uitstroomoppervlak voor een sluiscomplex ongeveer 14,4 m² bedraagt.



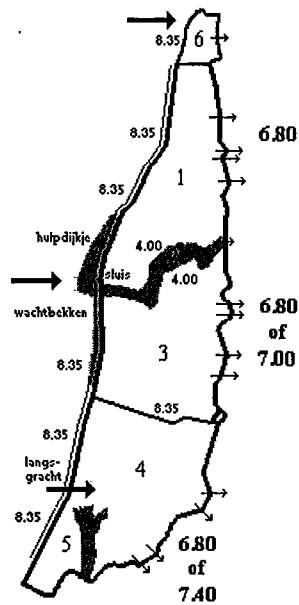
figuur II-2 : afmetingen geplande uitwateringssluizen (uit (NOLLET, 1997))

In het huidig ontwerp worden per compartiment (Kruikeke, Bazel, Rupelmonde) 4 dergelijke sluiscomplexen voorzien. Voor de polder van Kruikeke ten noorden van de Barbierbeek is dus een uitstroomoppervlak van 57.6 m² voorzien.

De vloer van de uitwateringssluizen (verder het drempelniveau genoemd) wordt voor de diverse compartimenten op verschillende hoogtes aangelegd nl. :

- polder van Kruikeke en Bazel op cota +0.8 m TAW
- polder van Rupelmonde op cota +1.0 TAW

Voor de langpositie in de dijk geeft figuur II-3 een principiële voorstelling van de op het moment van deze studie meest waarschijnlijke optie.



figuur II-3 : inplanting van de uitwateringssluizen (uit (NOLLET, 1997))

5. Beschikbare gegevens voor de Schelde

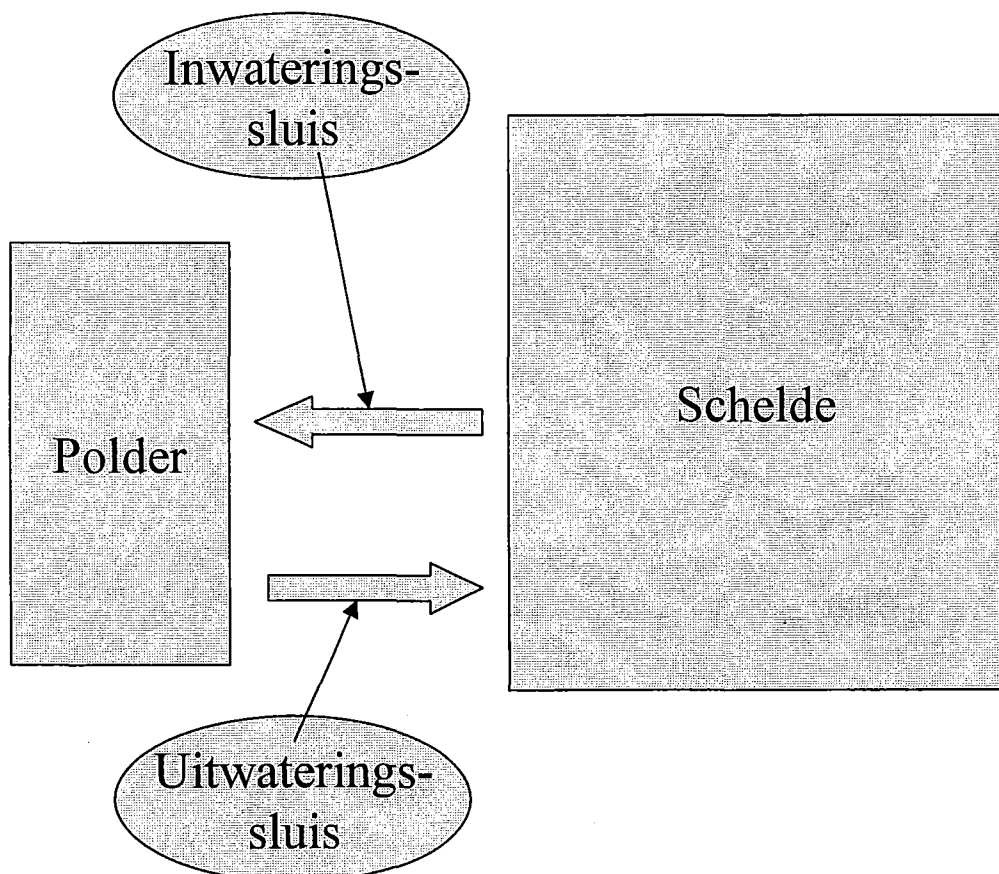
De Schelde is een dynamisch systeem dat wat betreft getijvariaties een zeer onregelmatig patroon heeft. Voor realistische waarden van getij-amplitudes werd voornamelijk gebruik gemaakt van getijgegevens opgenomen door AWZ tussen 1981 en 1990, aan de getijpost Hemiksem, die zich bevindt ter hoogte van Kruibeke, aan de tegenoverliggende oever van de Schelde (CLAESSENS ET AL., 1994). Verder werd gebruik gemaakt van een door AWZ afdeling Maritieme Schelde aangeleverd bestand dat voor het jaar 1996 een opeenvolging van de opeenvolgende hoogwater- en laagwaterstanden geeft ter hoogte van deze getijpost (TAVERNIERS, 1997).

III - Beschrijving model

1. Overzicht

Doel van het simulatiemodel is de waterhuishouding in de polder van Kruibeke (gebied ten noorden van de Barbierbeek) te kunnen voorspellen bij toepassing van een gecontroleerd gereduceerd getij in het gebied, voor een gegeven geometrie van het sluizensysteem. Voor zover de randvoorwaarden gekend zijn moet het model een benadering opleveren van de variatie van het waterpeil in de polder als functie van de tijd.

Het opbouwen van een werkbaar model vereist een aantal vereenvoudigingen van de werkelijkheid. Het hier ontwikkelde model gaat ervan uit dat de voornaamste bron van water in de polder de in- en uitstroming vanuit de rivier is. Het maakt abstractie van het water dat de polder op andere manieren binnenstroomt. Er wordt geen rekening gehouden met inputs afkomstig van neerslag, of van aanvoer vanuit de cuesta. Evenmin worden de effecten van verdamping of grondwaterstromingen in beschouwing genomen. Zo wordt het complexe systeem dat de waterhuishouding in de polder reguleert herleid tot 3 eenheden : de rivier, de polder en de verbinding tussen deze twee - de overloopdijk met inbegrip van de sluis. Figuur III-1 geeft een aanschouwelijke weergave van dit vereenvoudigd systeem.



Figuur III-1 : representatie gemodelleerd systeem

In volgende paragrafen wordt per component weergegeven welke aannames voor het model werden gemaakt.

2. Model tij rivier

De Schelde is onderhevig aan een getijcyclus, een cyclische variatie van de waterstand tussen uiterste waarden. De hoog- en laagwaterstanden variëren in de tijd, enerzijds o.i.v. voorspelbare astronomische gegevens (spring-, dood-, normaaltij), anderzijds o.i.v. onvoorspelbare meteorologische omstandigheden.

2.1. Sinusoïdaal model

Om de getijcyclus te modelleren is in eerste instantie gewerkt met een sinusoïdaal model van het getij (met periode 12.42 uur). Meer bepaald wordt de waterstand in de rivier op een gegeven ogenblik berekend met de vergelijking :

Vergelijking III-1

$$GV(t) := Z + A \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{12.42} \cdot t + \phi\right)$$

Hierin is :

GV(t)	:	hoogte van het getij op ogenblik t
A	:	amplitude van het getij
Z	:	gemiddelde waterpeil
ϕ	:	fazeverschuiving van de basisamplitude
t	:	tijd in uren

Amplitude en gemiddelde waarde van de sinusgolf zijn zodanig gekozen dat maximum en minimum waarde overeenkomen met werkelijk optredende hoog/laag waterstanden. Tabel III-1 bevat de gemiddelden van de hoog- en laagwaterstanden, opgenomen tussen 1981 en 1990 ter hoogte van Hemiksem.

	Hoog water (m TAW)	laag water (mTAW)
Gemiddeld tij	5.34	0.06
Springtij	5.74	-0.14
Doodtij	4.82	0.37

tabel III-1 : gemiddelde waterstanden 1981-90, waarnemingspost Hemiksem (CLAESSENS ET AL., 1994)

Met 'HW' als symbool voor de hoogwaterstand, en 'LW' als symbool voor de laagwaterstand worden amplitude en gemiddelde waarde als volgt berekend :

Vergelijking III-2

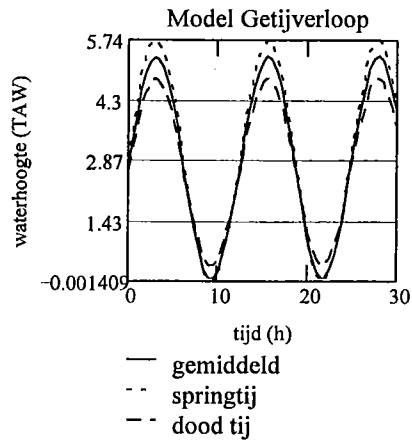
$$A := \frac{HW - LW}{2}$$

Vergelijking III-3

$$Z := \frac{HW + LW}{2}$$

De fazeverschuiving ϕ heeft voor een periodisch systeem enkel belang voor het vastleggen van de beginvoorwaarden van het systeem. In de meeste hier uitgevoerde berekeningen werd deze fazeverschuiving gelijk gesteld aan 0.

Het zo gemodelleerde spring- dood-, gemiddeld getij wordt weergegeven in figuur III-2.



Figuur III-2 : getijkromme : sinusoidaal model

In hoofdstukken IV en V worden simulaties met dit model voor het riviertij weergegeven.

2.2. Stapsgewijze derdegraadsbenadering

De hoog- en laagwaterstanden variëren in de tijd, enerzijds o.i.v. voorspelbare astronomische gegevens (spring-, dood-, normaaltij), anderzijds o.i.v. onvoorspelbare meteorologische omstandigheden. Het sinusoidaal model dat hierboven werd beschreven kan dergelijke variërende getij-amplitudes niet beschrijven. Een simulatie die meer dan 1 tijcyclus bekijkt, laat het getij schommelen tussen constante uiterste waarden. Onderstaande benadering verhelpt aan deze tekortkoming.

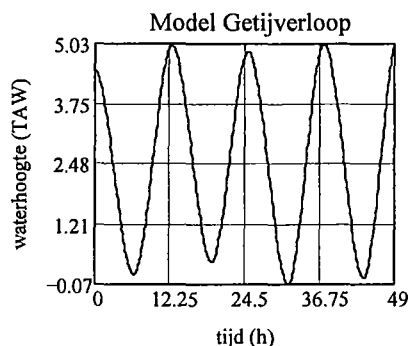
Vertrekpunt voor deze benadering is een set meetgegevens met opeenvolgende waarden (met bijhorend tijdstip) voor hoog- en laagwaterstanden. Voor deze benadering is dus vereist dat de opeenvolgende maximale en minimale waterstanden van het getij en het tijdstip waarop ze optreden vooraf gekend zijn. Een praktisch voorbeeld :

Tijd (uur)	0	6.48	12.51	19.13	24.95	31.58	37.36	43.98	49.66
Waterpeil (m TAW)	4.45	0.14	5.0	0.4	4.87	-0.07	5.03	0.06	5.21

Tabel III-2 : voorbeeld van set meetgegevens met opeenvolgende hoog/laag-waterstanden

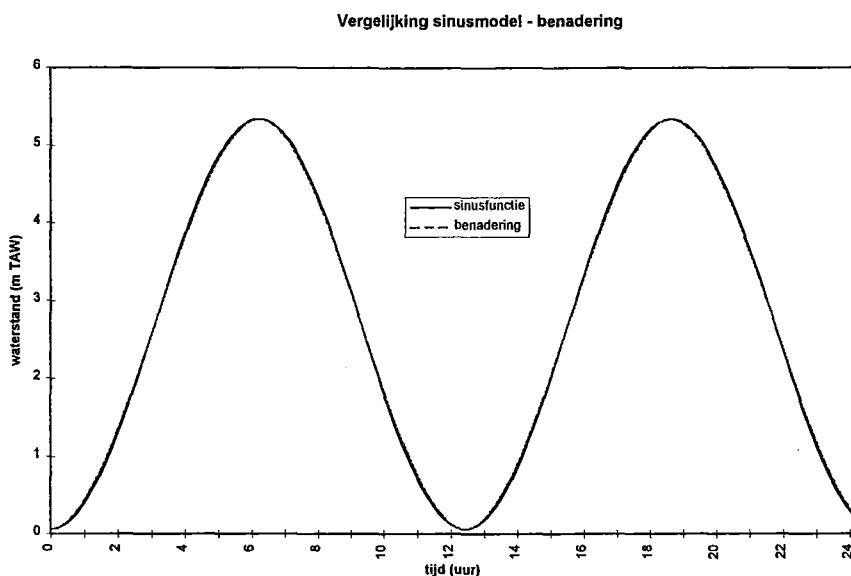
In een wiskundig algoritme wordt nu een benaderend verloop berekend van het getij tussen deze opeenvolgende tijdstippen. Deze curve wordt gegenereerd met behulp van een stapsgewijze derdegraadsbenadering. Appendix C geeft een meer uitvoerige beschrijving van dit algoritme.

Als resultaat levert dit een continue functie op die de variatie van de waterhoogte in de rivier als functie van de tijd beschrijft, met correcte representatie van de uiterste waterstanden en kwalitatief goede benaderingen van de waterstand op andere ogenblikken. Figuur III-3 geeft een voorbeeld van de benadering die voortkomt uit de hierboven in tabel III-2 gegeven set van meetgegevens.



figuur III-3 : voorbeeld van benaderend getijverloop

Het is nog steeds mogelijk een simulatie te maken voor constante uiterste waterstanden. Het ligt derhalve voor de hand de stapsgewijze derdegraadsbenadering te vergelijken met het hogervermelde sinusoïdaal model, voor een gegevensset waarvan de opeenvolgende uiterste waarden (hoog en laag water) samenvallen qua tijdstip en waarde. In figuur III-4 wordt het resultaat van een dergelijke vergelijking getoond. De afwijking tussen de sinuscurve en de met de stapsgewijze derdegraadsbenadering gegenereerde curve is nauwelijks zichtbaar. De maximale afwijking tussen de twee curven bedraagt amper 0.056 m TAW.



figuur III-4 : vergelijking sinusmodel - stapsgewijze derdegraadsbenadering

De stapsgewijze derdegraadsbenadering leidt dus tot een curve die de sinusfunctie zeer nauw benadert, maar ook variërende hoog- en laagwaterstanden in de rivier simuleerbaar maakt. Simulaties met deze benaderingsfunctie zijn weergegeven in hoofdstuk VI.

2.3. Verbeterde benaderingen van de werkelijke getijkromme

De werkelijke tijdkromme wijkt ook qua vorm beduidend af van de sinuscurve.

De voortplantingssnelheid van de getijdegolf in de rivier hangt af van de plaatselijke waterdiepte. Ten gevolge van dit effect blijkt het profiel van de getijdegolf meer en meer af te wijken van het sinusoïdaal profiel naarmate de afstand tot de riviermonding toeneemt. De asymmetrie in het profiel resulteert in een verkorting van de hoogwaterperiode t.o.v. wat op basis van een sinusvormig profiel wordt verondersteld. De curve zelf krijgt een meer gepiekte vorm.

Er zijn zeker betere benaderingen mogelijk van de optredende rivierkromme. Door 'curve fitting' op basis van gedetailleerde metingen van het getijverloop ter hoogte van Kruikebe / Bazel kan een model

van het riviertij ontwikkeld worden dat nauwer bij de werkelijke tijkromme aansluit. Een andere denkpiste is het ontwikkelen van een algemener model, uitgaande van de gemiddeld getijkromme. Nog een alternatieve benadering is het berekenen van deze getijkromme ter hoogte van Kruike uit een dynamisch model van de Schelde (vb. Duflow, Scalwest). Elk van deze benaderingen stelt specifieke eisen wat betreft meetgegevens, beschikbare software, validatie.

In het bestek van deze opdracht werden geen simulaties uitgevoerd met dergelijke meer nauwkeurige benaderingen van de getijkromme.

2.4. Wisselwerking tussen rivier en overstromingsgebied

De getijdeweg in de rivier wordt beïnvloed door de werking van de inwateringssluizen. Het water dat stroomt naar de polder zal zorgen voor een indeukingseffect op de getijdeweg, dat groter zal zijn naarmate meer water de polder wordt ingelaten. Dit effect treedt alleszins in sterke mate op bij de werking van de polder als overstromingsgebied bij stormgetijden. Vanwijck vermeldt een mogelijke vermindering van de piekhoogte in de rivier met 0.5 m bij extreme hoogwaters (VANWIJCK, 1997). Voor de volumina die gewisseld worden bij werking onder gereduceerd getij is dit effect veel minder uitgesproken, en wellicht verwaarloosbaar.

Een berekening van dit indeukingseffect vereist een programma dat de terugkoppeling doorvoert, dat met andere woorden het effect berekent dat het naar de polder stromend debiet heeft op de tijkromme. Een programma als Duflow (zie o.a. (BIESEMANS ET AL., 1995)) of Scalwest (zie (ARENDS, 1997)) kan dergelijke effecten correct doorrekenen.

Het hier ontwikkelde model verwaarloost dit terugkoppelingseffect. Het gaat ervan uit dat de getijkromme van de rivier niet beïnvloed wordt door de stroming van water van of naar de polder. Zo kan uitgegaan worden van een vooraf gekend verloop van het getij in de rivier om het verloop van het getij in de polder te berekenen.

3. Model polder

Stromingspatronen van water in de polder kunnen zeer complex zijn. Er zijn de aanwezige grachten en geulen, de vegetatie die het water afbuigt, sedimentatiepatronen die het landschap vormgeven, lokale depressies waarin het water stilstaat, ...

Bij het ontwikkelen van een model voor de polder is abstractie gemaakt van dit detailniveau. De polder wordt hier voorgesteld als een 'doos' die zich kan vullen langs de inwateringssluizen en weer leegloopt via de uitwateringssluizen.

In het doosmodel wordt rekening gehouden met informatie over het reliëf in de polder. De wateropslagcapaciteit als functie van de waterhoogte in de doos komt overeen met die van de werkelijke polder. De beschikbare oppervlakte voor water neemt toe naarmate het waterpeil stijgt en meer en meer van de bodem onder water komt te staan.

In de 'doos' treedt echter geen ruimtelijke variatie op van de waterhoogte. Van zodra water de 'doos' instroomt, verspreidt dit zich ogenblikkelijk over de hele doos, en bij het uitstromen uit de doos blijft nergens water staan op hogere niveaus.

Deze vereenvoudiging leidt tot correcte berekeningen voorzover het watervolume in de polder ook maatgevend is voor de hoogte van het water aan de polderkant van de sluis, zodat de debieten die op basis van deze hoogte worden berekend ook de werkelijke debieten zijn. De toelaatbaarheid van deze aanname hangt af van de grootte van de hydraulische vertragingseffecten die veroorzaakt worden door verder afgelegen gebieden.

Een andere karakteristiek van de polder die de waterhuishouding in het gebied beïnvloedt, maar in het model niet meegenomen wordt, is de aanwezigheid van lokale depressies in het polderreliëf.

Locale depressies zullen water ophouden in de ontwateringsfase, en pas beginnen vullen met water na overschrijding van een zeker drempelpeil in de rest van de polder. Indien het net van grachten en geultjes voldoende dicht is, zodat lokale depressies verbonden zijn met de rest van de polder via dergelijke geultjes, zullen drempel effecten zoals hierboven geschetst sterk gemilderd worden. Desondanks kunnen lokale depressies toch een belangrijk vertragend effect hebben op het vrijgeven van het water.

Enkel het compartiment ten noorden van de Barbierbeek (de polder van Kruibeke) werd in de berekeningen betrokken.

Voor de berekening van de wateropslagcapaciteit, het waterbergingsvolume wordt een numerieke benadering toegepast, uitgaande van het gedetailleerd digitaal terreinmodel beschreven in hoofdstuk II. Ook de overstroomde oppervlakte bij een bepaald waterpeil in de polder wordt met deze techniek berekend.

De methode verdeelt de polder in een aantal elementaire vlakjes (afmetingen 5 x 5 m). Van elk vlak wordt verondersteld dat het als bodemniveau de hoogte heeft van het punt uit het geleverd digitaal bestand dat erin vervat zit. De overstroomde oppervlakte van de polder als het waterpeil in de polder een bepaalde hoogte heeft, wordt dan bekomen uit de sommatie van alle oppervlakken die zich beneden dit waterpeil bevinden. Het waterbergingsvolume van de polder bij een bepaald waterpeil in de polder verkrijgt men uit de sommatie van de waterbergingsvolume per oppervlak.

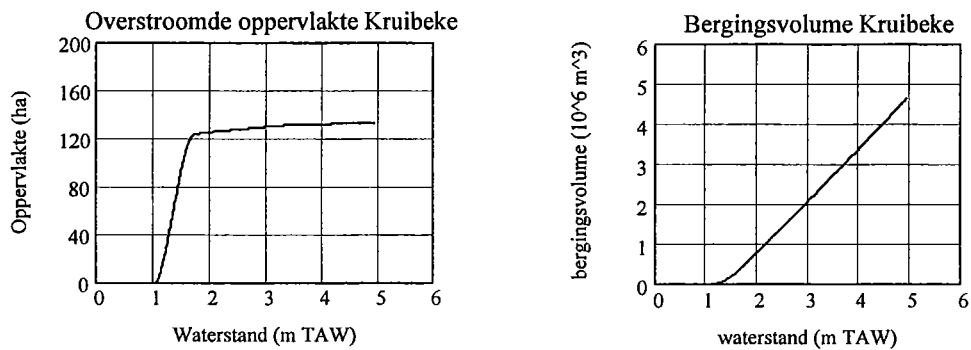
Resultierend bekomt men :

- * waterbergingsvolume van de polder als functie van de hoogte van het water in de polder
- * overstroomde oppervlakte van de polder als functie van de hoogte van het water in de polder.

Tabel III-3 geeft voor een aantal waterpeilen het bijhorend waterbergingsvolume en overstroomde oppervlakte weer voor de polder van Kruibeke. Figuur III-4 stelt dezelfde verbanden voor in grafiek :

Waterpeil in polder m TAW	Waterbergings - volume $\times 10^6 \text{ m}^3$	Overstroomde oppervlakte ha	Overstroomde oppervlakte %
0,0	0.000	0.000	0,0
1.0	5E-6	0.015	0,0
1.2	0.013	21.480	16,1
1.3	0.048	45.915	34,4
1.4	0.107	71.115	53,3
1.5	0.192	95.165	71,3
1.6	0.297	113.25	84,8
1.7	0.417	122.60	91,8
1.8	0.541	124.40	93,2
1.9	0.666	125.20	93,8
2.0	0.791	125.70	94,2
2.5	1.426	127.90	95,8
3.0	2.070	130.10	97,5
4.0	3.386	132.45	99,2
4.8	4.450	133.50	100,0

tabel III-3 : waterbergingsvolume en overstroomde oppervlakte als functie van de waterhoogte in de polder van Kruibeke.



figuur III-4 : waterbergingsvolume en overstroomde oppervlakte als functie van de waterhoogte in de polder van Kruibeke.

Het digitale terreinmodel (DTM) is in een aantal aspecten onnauwkeurig :

- Slechts van een beperkt aantal punten in de polder is de hoogte bekend
Het digitaal terrein model bevat weliswaar meetwaarden om de 5 m, maar dit is de resultante van een interpolatietechniek, uitgaande van terreinmeetgegevens (KOPPEN, 1995) met niet-systematische tussenafstanden tussen de meetpunten (tussenafstand ca. 40 m).
- De polder is niet volledig vervat in het digitaal terreinmodel
De dijken zijn grotendeels niet opgenomen in het beschikbare digitale terreinmodel. Voor grote waterhoogten in de polder zou in feite rekening moeten gehouden worden met het extra bergingsvolume veroorzaakt doordat de dijken een zekere helling hebben (aan de kruin smaller dan aan de basis). Nu wordt verondersteld dat aan de rand van het meetrooster een loodrechte wand het overstromingsgebied afscheidt van de omgeving. De werkelijke overstromde oppervlakte is voor grote waterhoogten in de polder groter dan in deze berekeningen gevonden, evenals het beschikbare waterbergingsvolume.
Anderzijds zijn de metingen gebaseerd op het huidige dijktracé. Het uitvoeren van de werken voor de realisatie van het gecontroleerd overstromingsgebied zal leiden tot verschuivingen in de positie van de dijken en dus ook het beschikbare waterbergingsvolume bij een gegeven waterhoogte beïnvloeden.
- Er zijn geen gegevens beschikbaar over de waterlopen
In de polder is een stelsel van grachten en sloten aanwezig waarvan in het terreinmodel niets kan worden teruggevonden.

4. Model sluisen

Belangrijke sluisparameters zijn :

- het drempelniveau
- de hoogte
- de breedte
- het aantal sluisen

In de uitgevoerde simulaties werden de geometrische parameters voor de uitwateringssluiss gebaseerd op de reële sluisafmetingen aangegeven in hoofdstuk II. Voor de inwateringssluiss zijn de variatiemogelijkheden groter, aangezien deze sluisen nog moeten ontworpen worden. Tabel III-4 geeft voor de verschillende parameters de gekozen waarden weer.

	Breedte m	Hoogte m	Aantal	Oppervlakte m ²	Drempelniveau m TAW
Uitwateringssluiss	7.8 (6 x 1.3)	1.8 (2 x 0.9)	4	56.16	0.5 of 0.8 (1.0)
Inwateringssluiss	1.3	0.9	1 tot 20	1.17 tot 23.4	1.8 tot 4.8

Tabel III-4 : Sluisparameters voor modelberekeningen

Voor berekening van het debiet door in - en uitwateringssluizen is een formule gebruikt van de vorm :

$$q_v = m \cdot A \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta H_{\text{tot}}}$$

Vergelijking III-4

Hierin is :

- q_v = debiet [m³/s]
- m = afvoercoëfficiënt
- A = natte doorsnede van de sluis
- g = gravitatieconstante (9.81 m/s²)
- ΔH_{tot} = het in rekening te brengen energiehoogteverschil [m]

Appendix A en B gaan dieper in op het gebruik en de betekenis van deze formule.

De afvoercoëfficiënt m is een factor voor de weerstand die het water ondervindt bij het passeren van het kunstwerk. Deze weerstand is een gevolg van wrijvingsverliezen in de sluis. De exacte waarde van deze coëfficiënt is sterk afhankelijk van de detailvormgeving van de sluis. Een nauwkeurige waarde kan slechts door proefondervindelijk onderzoek verkregen worden. Voor uitwateringssluizen wordt doorgaans de waarde 0.5 gebruikt in berekeningen (VANWIJCK, 1997). Berekeningen op basis van de geometrische gegevens van de sluis, gebruik makend van empirische correlaties uit de literatuur, leiden tot een waarde van ca. 0.6 (zie appendix B). Indien mogelijk wordt deze coëfficiënt best experimenteel bepaald. Bij de meeste berekeningen in dit verslag is ofwel een waarde 0.6 ofwel een waarde 0.5 aangenomen.

De berekening van het in rekening te brengen energiehoogteverschil hangt af van de respectievelijke hoogten van het waterpeil in rivier en polder. Appendix A zet de 6 verschillende situaties op een rij.

5. Model overlooppdijk

Als de rivier een waterpeil aanneemt dat hoger komt dan de kruinhoogte van de overlooppdijk zal dit een overstroming van de dijk veroorzaken. Naast het debiet dat via de sluisen de polder binnenstroomt zal nu ook een debiet via de overlooppdijk de polder binnenstromen. In hoofdstuk VI worden een aantal simulaties gedaan met reële tijden, waarbij gedurende een zekere periode waterstanden optreden hoger dan de dijkkruinhoogte. Appendix D zet de berekeningsprocedure uiteen die gevolgd wordt voor de berekening van dit via de dijkkruin uitgewisseld debiet.

Neemt men als symbolen aan :

Q	=	debiet [m ³ /s]
C _{vl}	=	overloopcoëfficiënt voor volkomen overlaat
C _{ol}	=	overloopcoëfficiënt voor onvolkomen overlaat
L	=	dijk lengte [m]
h ₁	=	waterstand aan zijde met hoogste waterpeil (rivier of polder) [m]
h ₂	=	waterstand aan zijde met laagste waterpeil (polder of rivier) [m]
hkruin	=	hoogte kruin dijk [m]
g	=	gravitatieconstante (9.81 m/s ²)

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen 3 verschillende situaties :

- 1) $h_1 \leq h_{kruin}$: geen stroming over dijk
- 2) $h_1 > h_{kruin}$ en $(h_2 - h_{kruin}) > \frac{2}{3} (h_1 - h_{kruin})$: werking als onvolkomen overlaat
- 3) $h_1 > h_{kruin}$ en $(h_2 - h_{kruin}) \leq \frac{2}{3} (h_1 - h_{kruin})$: werking als volkomen overlaat

De formules die gebruikt worden voor de berekening van het debiet zijn :

a) Voor de werking als volkomen overlaat :

$$Q = C_{vl} b (h_1 - h_{kruin})^{3/2} \quad \text{Vergelijking III-5}$$

b) Voor de werking als onvolkomen overlaat :

$$Q = C_{ol} b (h_2 - h_{kruin}) \sqrt{2 g (h_1 - h_2)} \quad \text{Vergelijking III-6}$$

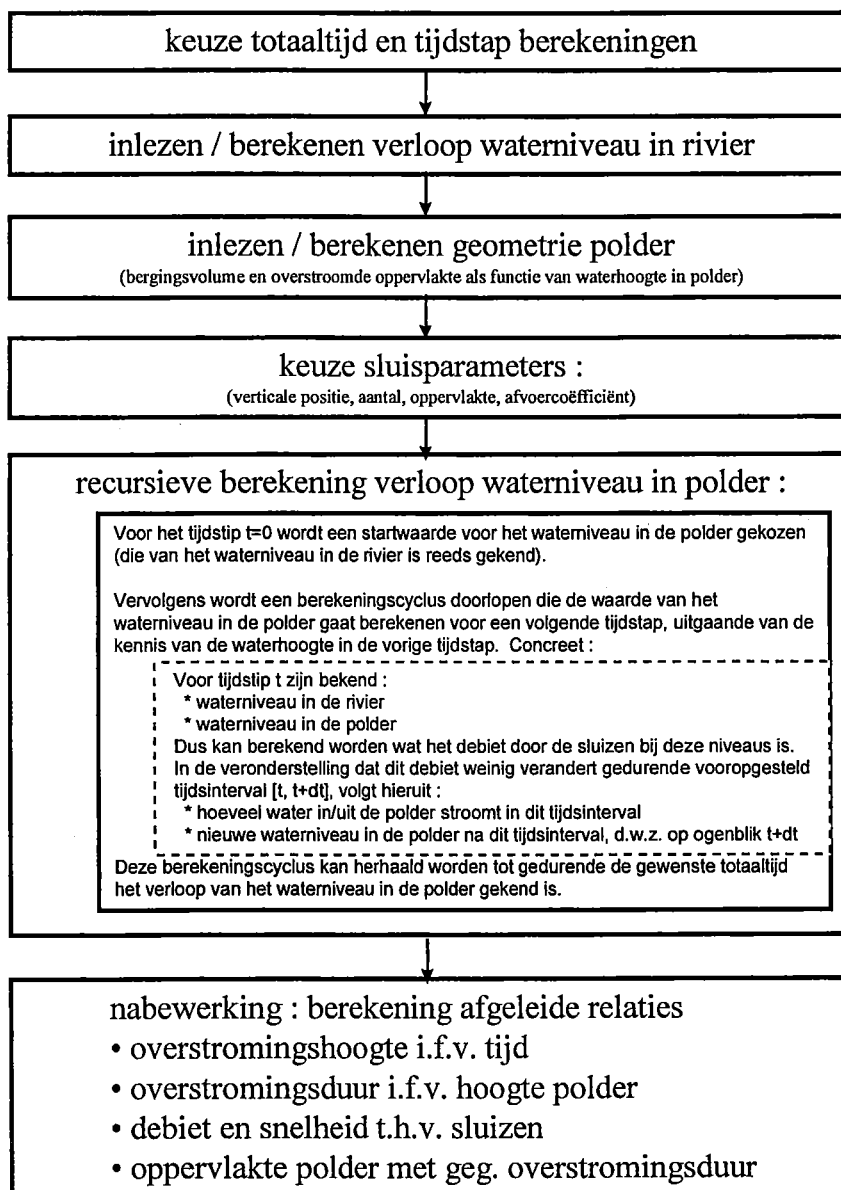
Hierbij werden voor de invariabele parameters uit de formule volgende waarden aangehouden :

hkruin (dijkkruinhoogte)	:	6.8 m
b (dijk lengte voor polder Kruibeke)	:	1470 m
C _{ol} (onvolkomen overlaatcoëfficiënt)	:	0.87
C _{vl} (volkomen overlaatcoëfficiënt)	:	1.5 (1.72 x 0.87)

6. Berekeningsschema

Doordat het koppelingseffect tussen de getijgolf in de rivier en de stroming naar de polder verwaarloosd wordt, kan uitgegaan worden van een vooraf gekend verloop van het getij in de rivier om het verloop van het getij in de polder te berekenen. Dit vergemakkelijkt aanzienlijk de berekening van het getijverloop in de polder voor gegeven getijvoorwaarden en sluisparameters.

De hierboven aangegeven formules (vergelijkingen III-4, III-5 en III-6) maken een voorspelling mogelijk van het debiet (hoeveelheid water per tijdseenheid) dat stroomt van Schelde naar polder of omgekeerd, voor gegeven waterpeilen in polder en rivier. Steunend op deze formules is met behulp van het softwarepakket Mathcad een iteratieprocedure ontwikkeld, om het waterpeil in de polder voor een gegeven tij en sluisparameters te berekenen. Figuur III-4 stelt een flowchart van deze berekeningsprocedure voor.



figuur III-4 : berekeningsschema voor verloop gereduceerd getij

Als resultaat geeft dit model (bij gegeven getij en sluisparameters):

- de variatie van de hoogte van het water in de polder als functie van de tijd
- het debiet gewisseld tussen Schelde en polder als functie van de tijd

Afgeleide grootheden zijn :

- stroomsnelheden ter hoogte van de sluizen
- gemiddelde overstromingsduur voor locaties op gegeven hoogte binnen de polder
- polderoppervlakte die gedurende een zekere tijd overstroomt

De nauwkeurigheid van de iteratieprocedure hangt af van de gekozen tijdstap. De verschillen tussen simulatieresultaten voor een tijdstap 0.5 u en simulatieresultaten voor een tijdstap 0.1 u zijn klein (afwijkingen qua waterhoogte $< 1\%$). Hieruit wordt geconcludeerd dat een tijdstap van 0.1 u. voldoet qua nauwkeurigheid.

IV - Verkennende studie

1. Werkwijze

Om inzicht te verwerven in de werking van het gereduceerd getij zullen in dit hoofdstuk de resultaten weergegeven worden van een aantal met het model doorgekende scenario's. Wat betreft de vorm van het getij van de rivier wordt gebruik gemaakt van het sinusoidaal model beschreven in vorig hoofdstuk. Voor de parameters van de uitwateringssluizen zijn de afmetingen overgenomen van de geplande uitwateringssluizen van het overstromingsgebied. Aangezien over het drempelniveau van de uitwateringssluizen nog discussie bestaat, worden hier een aantal simulaties weergegeven met verschillende drempelniveaus voor deze uitwateringssluizen. Voor de parameters van de inwateringssluizen is meer speelruimte beschikbaar, aangezien het ontwerp van deze sluisen nog niet vastligt. Verondersteld wordt hier dat alle inwateringssluizen op hetzelfde drempelniveau ingebouwd zijn. Dit drempelniveau wordt voor een bepaalde simulatie arbitrair vastgelegd, evenals de hoogte en de breedte van een individuele inwateringssluizen. Vervolgens wordt het aantal sluisen tastenderwijs aangepast tot de simulaties een aanvaardbaar getij in de polder als resultaat geven. Tabel IV-1 vat de gemaakte veronderstellingen voor het riviertij samen. Tabel IV-2 geeft de numerieke waarden voor de sluisparameters uit de simulaties van dit hoofdstuk.

Model	Sinusoidaal model
Hoog water	5.34 m TAW
Laag water	0.06 m TAW
Periode	12.42 u.
Waterpeil in rivier bij begin simulatie	0.8 m TAW

Tabel IV-1 : gemodelleerd riviertij voor simulaties uit dit hoofdstuk

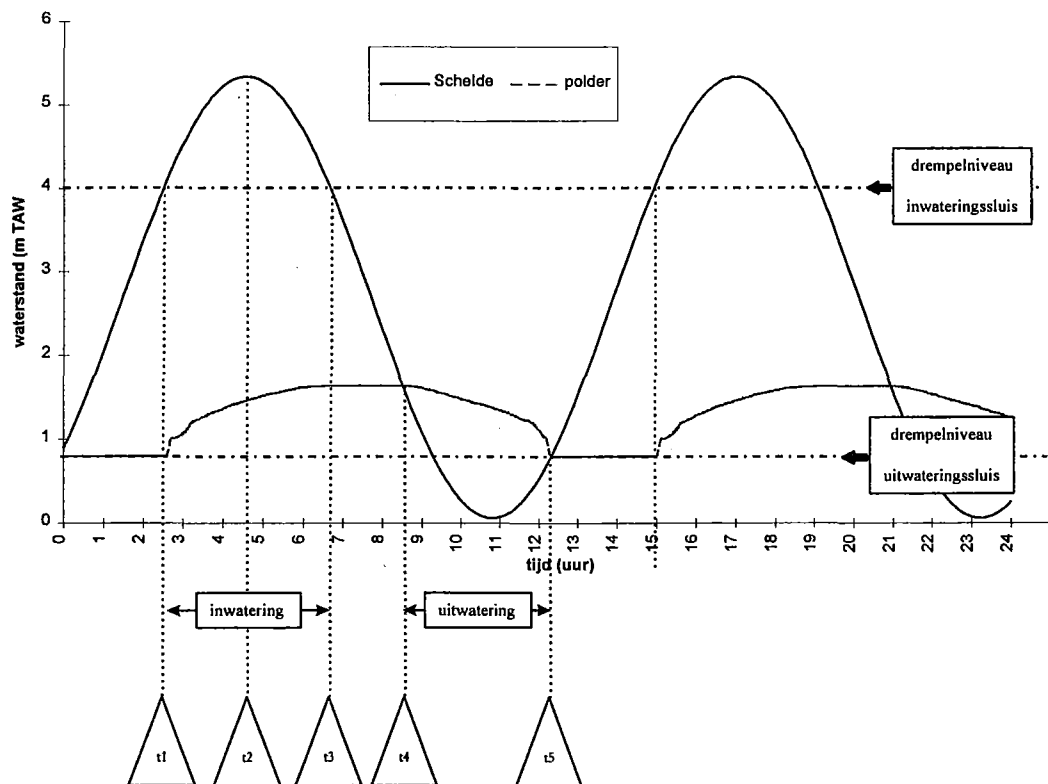
Sluisparameters	Eenheid	Uitwateringssluizen	Inwateringssluizen
Drempelniveau	(m TAW)	0.8 / 0.8 / 1.0	4.0 / 1.2 / 4.0
Hoogte	(m)	1.8	0.9
Breedte	(m)	7.8	1.3
Aantal		4	13 / 3 / 13
Oppervlakte	(m ²)	56.2	15.25 / 3.51 / 15.25
Debietscoëfficiënt		0.5	0.5

Tabel IV-2 : sluisparameters voor simulatie 1 / 2 / 3 uit dit hoofdstuk

2. Simulatie 1 : hoge inlaat

Voor een eerste simulatie werd het drempelniveau van de inwateringssluizen vrij hoog in dijk gekozen (4.0 m TAW). Na een aantal berekeningen met verschillende keuzes voor het aantal inwateringssluizen blijkt dat de waarde 13 een aanvaardbaar getij induceert. De maximale waterstand in de polder voor deze keuze bedraagt 1.6 m TAW. Figuur IV-1 geeft het resultaat van deze simulatie weer in grafiek. Voor een te groot aantal inwateringssluizen in de dijk blijkt de polder niet te ontwateren, een lagere waarde voor het aantal inwateringssluizen leidt ook tot een lagere maximale waarde voor het waterpeil in de polder, maar voor de rest wordt een gelijkaardig verloop bekomen.

GGG - simulatie 1



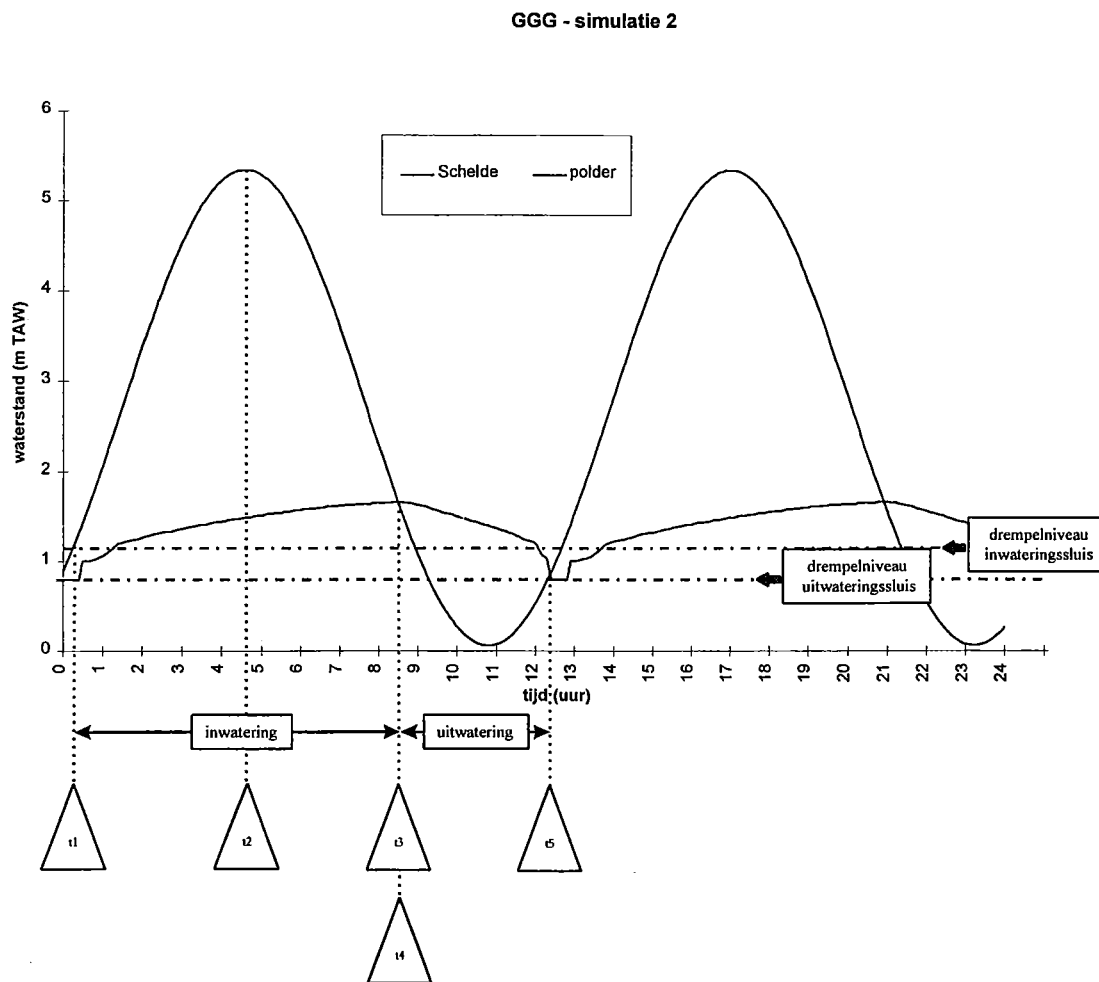
figuur IV-1 : getijverloop in Schelde en Polder : simulatie 1

Het verloop van het getij in de rivier en de hieruit volgende waterpeilvariatie in de polder zijn in deze figuur zichtbaar. Enkele cruciale tijdstippen :

- * t1 : Het waterpeil in de polder begint toe te nemen. Dit is het moment waarop het (stijgend) waterpeil in de Schelde de drempelhoogte van de inwateringssluis bereikt.
- * t2 : Het waterpeil in de Schelde bereikt zijn maximale waarde. Het niveau in de polder neemt nog steeds toe.
- * t3 : Het waterpeil in de polder bereikt zijn maximale waarde. Dit is het ogenblik waarbij de toevoer van water uit de Schelde stopt omdat de Schelde tot onder het drempelniveau van de inwateringssluis daalt
- * t4 : Het waterpeil in de polder begint terug af te nemen. Dit is het ogenblik waarop het waterpeil in de Schelde zakt tot beneden het niveau in de polder.
- * t5 : Het waterpeil in de polder bereikt zijn minimale waarde. Dit is het ogenblik waarop het niveau in de polder is gezakt tot op het drempelniveau van de uitwateringssluis. Vanaf dan is het wachten tot het waterpeil in de Schelde weer voldoende gestegen is om inwatering mogelijk te maken.

3. Simulatie 2 : lage inlaat

Voor een tweede simulatie werd het drempelniveau van de inwateringssluis eerder laag in dijk gekozen (1.2 m TAW). Na een aantal berekeningen met verschillende keuzes voor het aantal inwateringssluizen blijkt dat heel wat minder sluisoppervlakte nodig is om een aanvaardbaar getij voort te brengen. Eenzelfde maximale waterstand in de polder als in simulatie 1 werd hier bekomen met 3 inwateringssluizen. Figuur IV-2 geeft het resultaat van deze simulatie weer in grafiek.



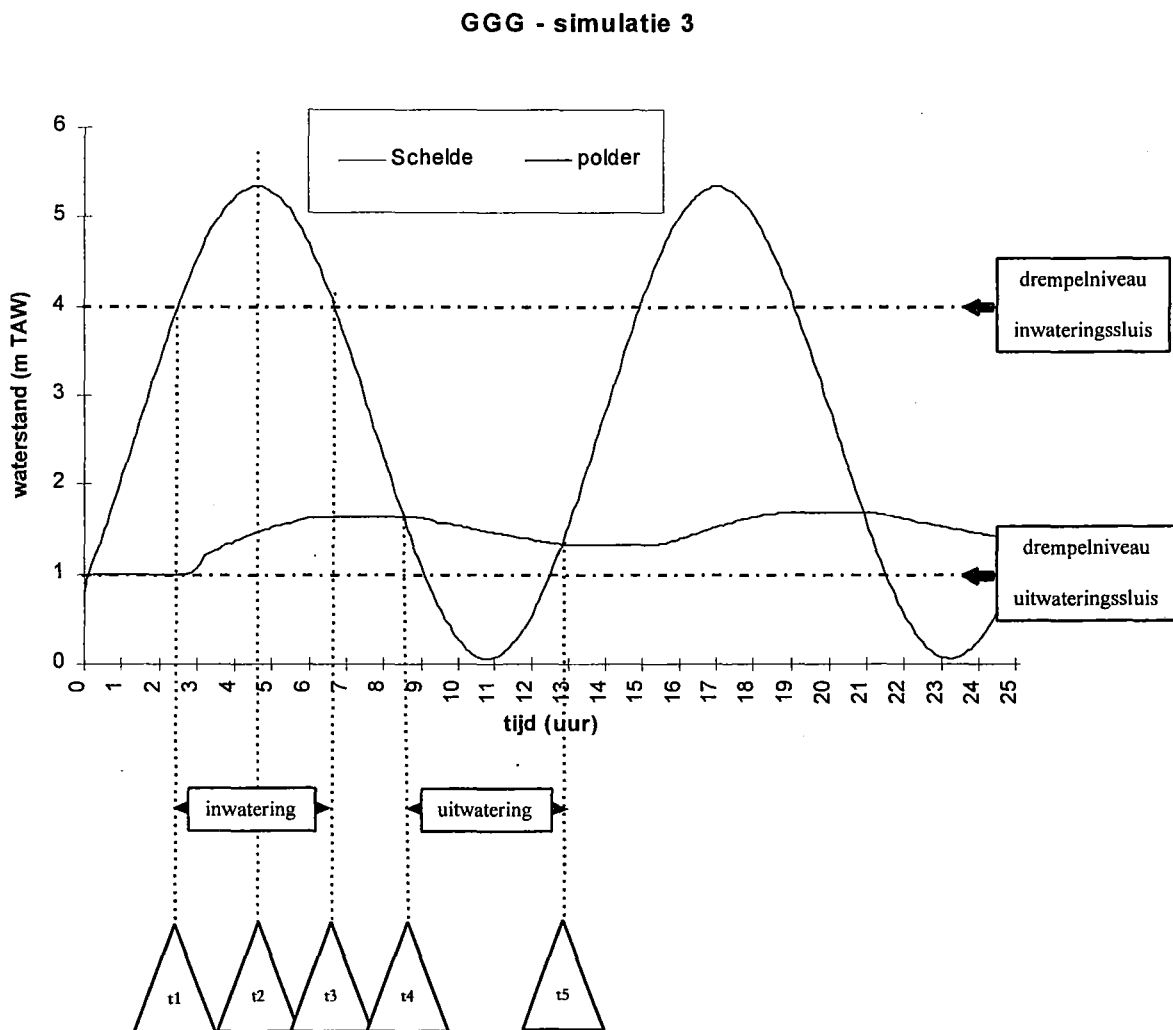
figuur IV-2 : getijverloop in Schelde en polder : simulatie 2

De aangeduide tijdstippen hebben dezelfde betekenis als in figuur IV-1. Toch zijn er enkele belangrijke verschilpunten :

- * t1 : Het drempelniveau van de inwateringssluis is zodanig laag gekozen dat het begin van de inwateringsperiode veel vroeger valt dan in figuur 1.
- * t3 : Het einde van de inwateringsfase is nu niet meer het moment waarop het waterpeil in de rivier zakt tot onder het drempelniveau van de inwateringssluis, maar het moment waarop het waterpeil in de rivier zakt tot onder het waterpeil in de polder.
- * t4 : Het ogenblik waarop het waterpeil in de polder terug begint af te nemen valt hier samen met ogenblik t3. In tegenstelling met figuur 1 begint na de inwateringsperiode onmiddellijk de ontwateringsperiode, er is hier geen periode van 'stilstaand water' in de polder.

4. Simulatie 3 : te hoge uitlaat

Een derde simulatie vertrekt opnieuw met de sluisparameters uit simulatie 1, maar het drempelniveau van de uitwateringssluis wordt een weinig hoger gelegd (1.0 m TAW i.p.v. 0.8 m TAW). Hoewel de randvoorwaarden slechts weinig verschillen met die uit simulatie 1 wordt toch een heel ander verloop verkregen voor het getij in de polder. Figuur IV-3 geeft het verloop van het getij weer in rivier en polder. Hoewel het getij in de rivier sinusoidaal varieert wordt in de polder geen perfect repetitief verloop verkregen. Het gemiddeld waterpeil in de polder neemt langzaam toe.



figuur IV-3 : getijverloop in Schelde en Polder : simulatie 3

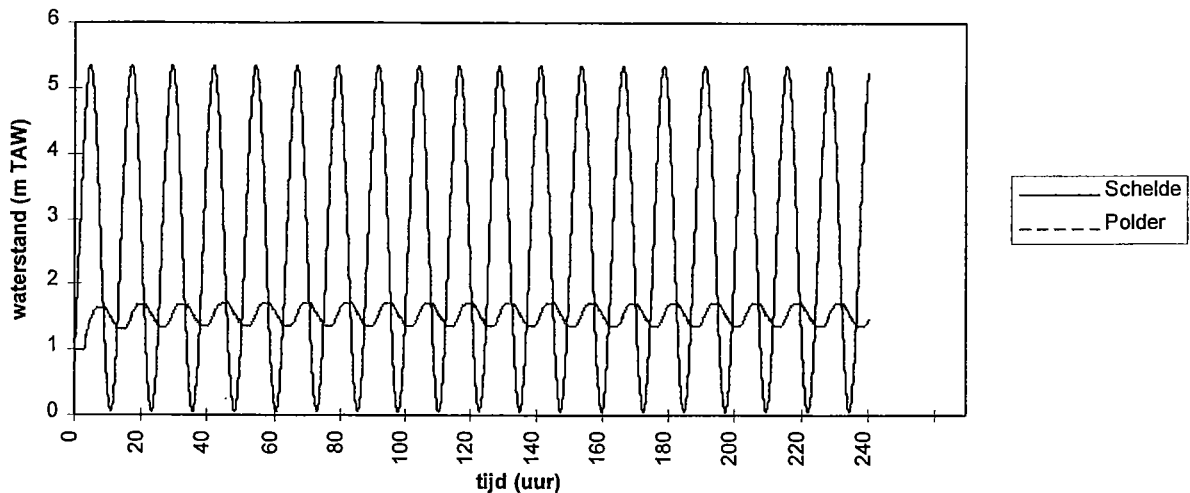
De aangeduide tijdstippen hebben dezelfde betekenis als in figuur IV-1. Eén belangrijk verschilpunt moet vermeld worden :

- * t5 : (Het ogenblik waarop het waterpeil in de polder zijn minimale waarde bereikt). In tegenstelling met simulaties 1 en 2, is de polder nog niet ontwaterd tot op het drempelniveau van de uitwateringssluis, op ogenblik t5. Toch eindigt hier de ontwateringsfase omdat intussen het waterpeil in de Schelde reeds gestegen is tot op het niveau van het water in de polder.

De ontwateringsfase verloopt te traag om de polder volledig te kunnen ontwateren. Doordat ook in de volgende cyclus meer water binnenkomt tijdens de inwateringsfase dan tijdens de ontwateringsfase kan geloosd worden, neemt het gemiddeld waterpeil in de polder langzaam toe.

Het niet repetitief karakter van deze situatie is tijdelijk. Op de lange duur zal zich hier eveneens een periodische waterpeilvariatie instellen. Zoals in figuur IV-4 wordt getoond, zal het gemiddeld waterpeil in de polder zich uiteindelijk stabiliseren op een beduidend hogere waarde.

GGG - simulatie 3



figuur IV-4 : getijverloop in Schelde en Polder : simulatie 3 (meerdere cycli)

Een dergelijk getijregime vormt geen bedreiging voor de veiligheidsfunctie die het gebied als gecontroleerd overstromingsgebied vervult. De maximale waterstand in de polder blijft klein zodat het watervolume dat bij een overstroming kan opgevangen slechts weinig vermindert. Voor natuurontwikkeling echter is een dergelijk getij, waarbij een groot gedeelte van de polder permanent onder water blijft staan, wellicht ongewenst.

5. Conclusies

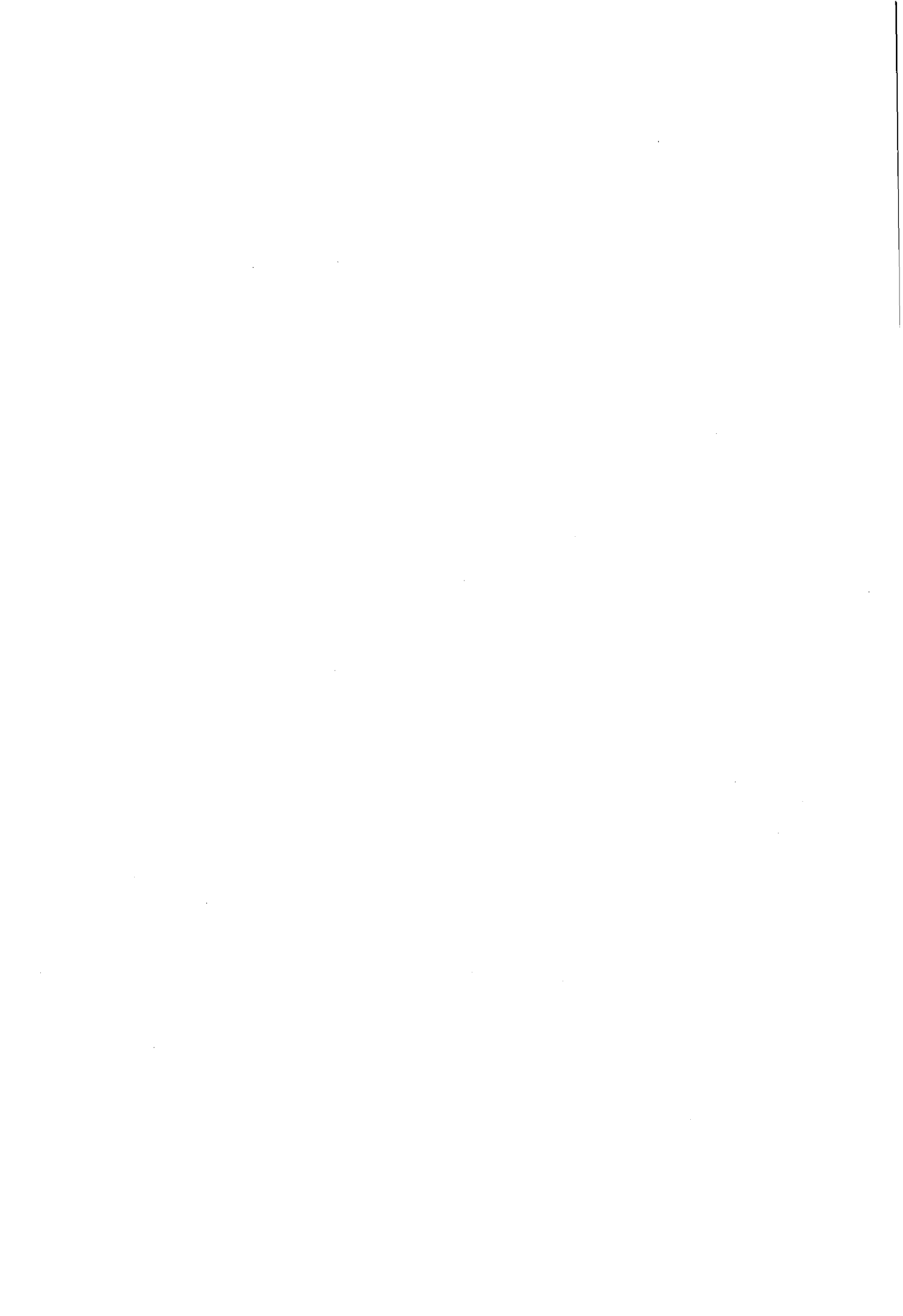
Met het in hoofdstuk I voorgestelde technisch kader (een geheel van inwaterings- en uitwateringssluizen) kan zonder extra ingrepen een gereduceerd getij in de polder gerealiseerd worden. Het gereduceerd getij is beïnvloedbaar door keuze van de sluisparameters.

De hoogte van het getij is bijvoorbeeld aanpasbaar door wijziging van de beschikbare instromingsoppervlakte (oppervlakte of aantal sluisen). De hoogte van het getij kan echter niet onbeperkt gevarieerd worden. Met de gegeven uitwateringssluizen kan slechts een beperkte maximale waarde voor het waterpeil in de polder worden toegelaten, indien men volledige ontwatering bij laag water wil verkrijgen.

De vorm van de getijkromme is eveneens beïnvloedbaar door keuze van de sluisparameters. De getijkrommen van simulaties 1 en 2 verschillen duidelijk. Een verandering van het drempelniveau van de inwateringssluizen doet de vorm van de getijkromme veranderen.

In simulatie 3 wordt geïllustreerd dat een zorgvuldige keuze van de sluisparameters noodzakelijk is. Bij een slechte keuze van het drempelniveau van de uitwateringssluizen blijkt de polder niet snel genoeg te kunnen ontwateren in de periode dat in de rivier lage waterstanden optreden.

In volgend hoofdstuk zal het effect van de keuze van de sluisparameters grondiger bestudeerd worden.



V - Studie van de invloed van de sluisparameters

1. Inleiding

Vragen die zich stellen bij een bepaalde inrichting van het overstromingsgebied zijn :

- Kan de polder voldoende ontwateren in de laagwaterperiode ?
- Kunnen de optredende snelheden in de polder en ter hoogte van de sluis ook op lange termijn aanvaard worden om een getijregime in de polder te onderhouden ?
- Ondervindt de bodem in de polder een overstromingsduur vergelijkbaar met die voor de schorren in de Schelde ?
- Wat zijn de karakteristieken van het overstromingsregime dat in de polder verkregen wordt ?
- Treedt er een variatie van het overstromingsregime (doodtij- springtijcyclus) op, zoals dat voor de schorren in de Schelde het geval is ?

Via simulatieberekeningen wordt in dit hoofdstuk de invloed van een bepaalde keuze van de sluisparameters op bovenstaande vragen verkend. Voor de simulatieberekeningen worden de basisveronderstellingen uit vorig hoofdstuk gehandhaafd, dit wil zeggen :

- Rivier : sinusmodel, beschreven in hoofdstuk III, paragraaf 2.1.
- Polder : doosmodel, beschreven in hoofdstuk III, paragraaf 3.
- Sluizen : zoals beschreven in hoofdstuk III, paragraaf 4. Alle uitwateringssluizen zijn op één drempelniveau ingebouwd, alle inwateringssluizen zijn op één drempelniveau ingebouwd.

Diverse simulaties werden uitgevoerd, waarbij sluisparameters werden gevarieerd. In de figuren die de simulatieresultaten weergeven zal telkens ook aangegeven worden welke sluisparameters hierbij gebruikt werden.

2. Ontwatering bij gemiddeld getij

In hoofdstuk IV-4 (figuur IV-3 en IV-4) is een voorbeeld getoond van een simulatie waarbij de ongewenste situatie ontstaat dat de polder permanent onder water blijft staan. In hoeverre de polder, voor een gemiddeld getij in de rivier, bij laag water in de rivier ontwatert, hangt onder andere af van :

- de hoeveelheid water die binnengelaten wordt tijdens de hoogwaterperiode
- de bodemligging in de polder
- de afvoercoëfficiënt van de uitwateringssluizen
- de totale oppervlakte van de uitwateringssluizen
- het drempelniveau van de uitwateringssluizen
- het micro-reliëf in de polder

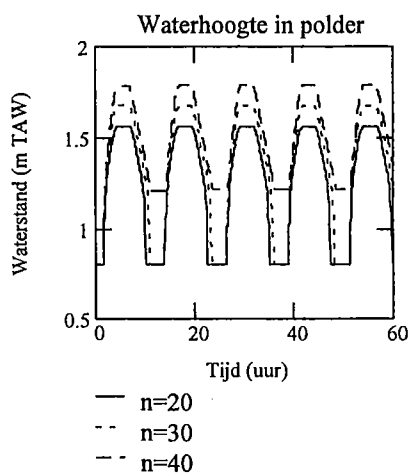
In volgende paragrafen worden deze elementen grondiger onderzocht.

2.1. de hoeveelheid water die binnengelaten wordt tijdens de hoogwaterperiode

Opdat de polder volledig kan ontwateren mag slechts een beperkte hoeveelheid water binnengelaten worden in de polder gedurende de hoogwaterperiode. Zo wordt een maximum gesteld aan de toepasbare getijslag in de polder, voor een gemiddeld getij in de rivier. Deze beperking stelt ook een grens aan de toepasbare oppervlakte voor de inwateringssluizen, aangezien deze oppervlakte rechtstreeks de hoeveelheid binnenstromend water bepaalt. Figuur V-1 toont de resultaten van 3 simulaties met verschillende afmetingen van de inwateringssluizen en dito verschillen in de binnenstromende waterhoeveelheden gedurende hoogwater.

Schelde : gemiddeld getij (HW : 5.34, LW : 0.06)

Sluisparameters	Eenheid	Uitwateringssluiz	Inwateringssluiz
drempelniveau	(m TAW)	0.8	4.5
Hoogte	(m)	1.8	0.9
Breedte	(m)	7.8	1.3
aantal		4	20 / 30 / 40
oppervlakte	(m ²)	56.2	23.4 / 35.1 / 46.8
debietscoëfficiënt		0.6	0.6

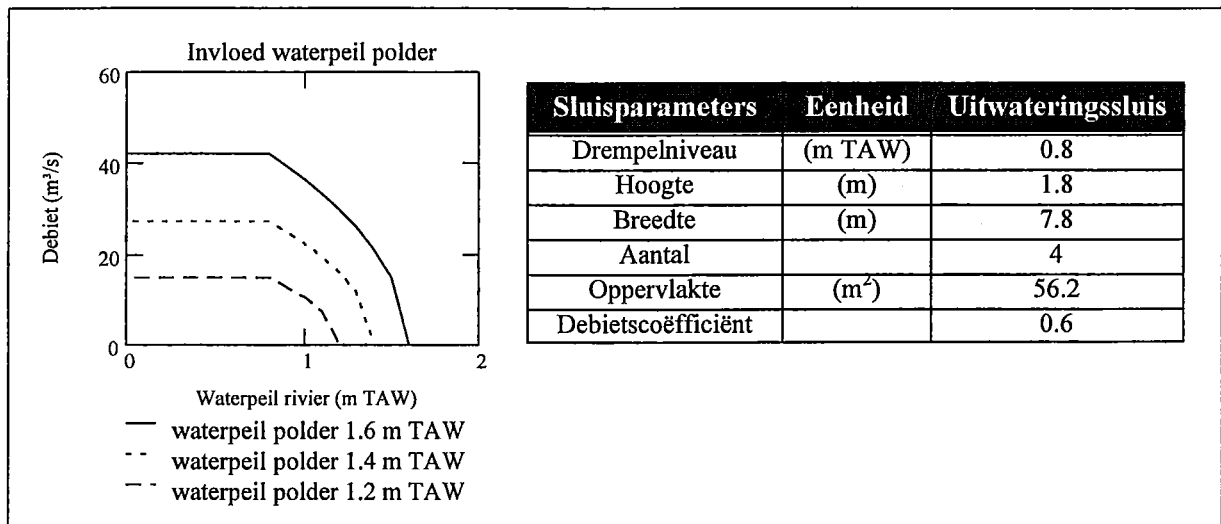


Figuur V-1 : Vergelijking ggg voor verschillende maximale waterpeilen in de polder

Uit een meer doorgedreven analyse van verschillende instroomconfiguraties blijkt dat voor de gegeven uitwateringssluiz vanaf een maximaal waterpeil van 1.71 m TAW geen volledige ontwatering meer optreedt bij gemiddelde getijvoorwaarden. De toepasbare getijslag is dus beperkt.

2.2. het waterpeil in de polder - het bodemniveau van de polder

De nodige ontwateringstijd stijgt naarmate een groter watervolume uit de polder moet stromen. Dit verband is echter niet lineair. Het debiet dat door de uitwateringssluis stroomt is sterk afhankelijk van de hoogte van de waterkolom aan weerszijden van de sluis. Figuur V-2 toont voor drie verschillende niveaus van het water in de polder de variatie van het debiet als functie van het waterpeil in de rivier.



Figuur V-2 : Basismodel - Invloed waterhoogte in polder op ontwateringsdebiet

Voor lage waarden van het waterpeil in de rivier blijkt dat het ontwateringsdebiet slechts afhankelijk is van het waterpeil in de polder (en van de karakteristieken van de sluis) : het rivierpeil is dermate laag dat het geen hinderende invloed uitoefent op de ontwatering. Als het waterpeil in de rivier verder toeneemt tot boven het drempelniveau van de sluis beïnvloedt het wel het ontwateringsdebiet : het debiet neemt af, tot een waarde 0 op het moment dat het waterniveauverschil tussen polder en rivier is opgeheven.

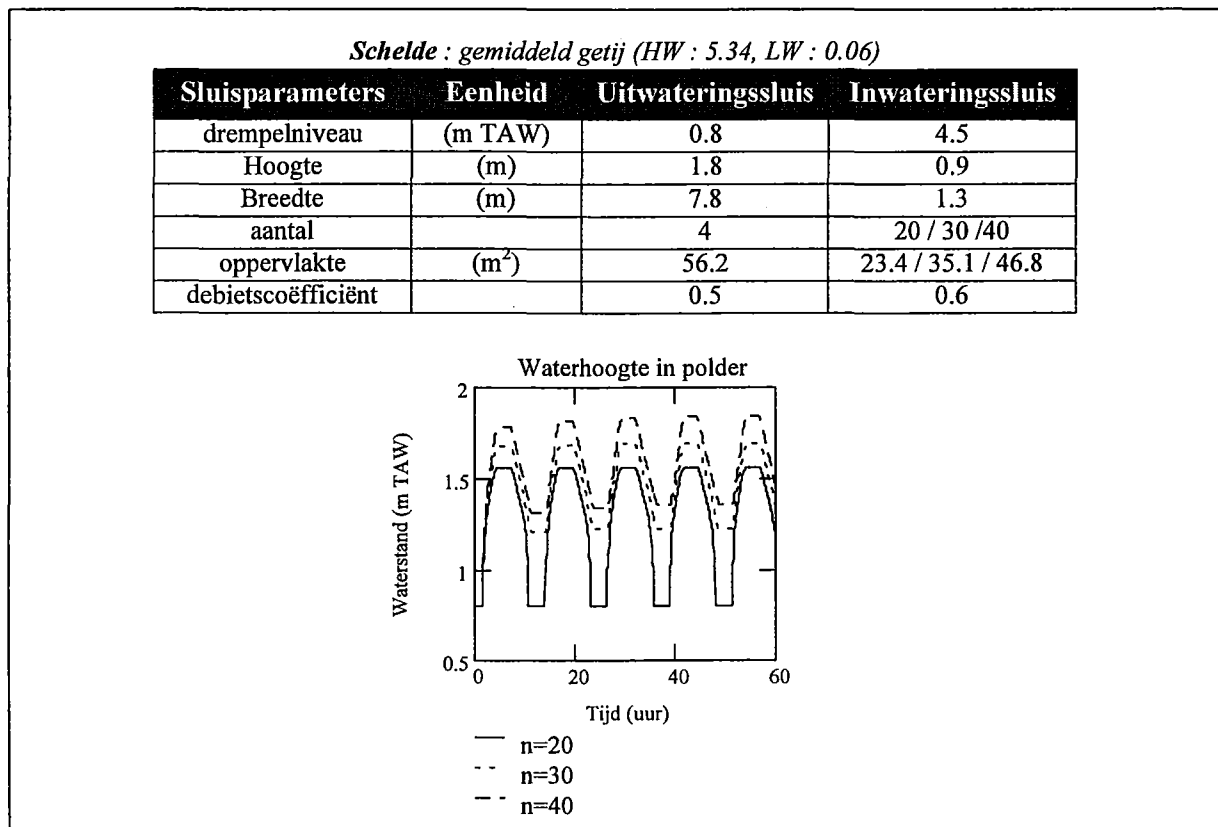
Als men nu enkel de situatie in beschouwing neemt waarbij het rivierniveau geen hinderende invloed uitoefent op de ontwatering, blijkt uit de verschillen tussen de 3 grafieken dat het debiet drastisch afneemt als het waterniveau in de polder daalt. Het zal daardoor vooral de laatste fase van de ontwateringsfase zijn, waarbij het water in de polder al laag staat, die moeizaam verloopt en dus veel tijd vergt.

Hoe hoger het gemiddeld bodempeil in de polder boven het drempelniveau van de uitwateringssluis en het laagwaterpeil in de rivier uitsteekt, hoe gemakkelijker de ontwatering zal verlopen. Daardoor zal ook een grotere getijslag toelaatbaar zijn voor polders met hoger gemiddeld bodempeil. Doordat de polder van Kruibekke slechts weinig hoger ligt dan de optredende laagwaterstand in de rivier is de ontwatering van de polder niet eenvoudig.

2.3. de afvoercoëfficiënt van de uitwateringssluis

Het debiet door een sluis verandert rechtevenredig met de waarde van de afvoercoëfficiënt. De meeste berekeningen in voorliggend verslag werden gemaakt met afvoercoëfficiënt 0.5 of 0.6. Situaties waarbij voor afvoercoëfficiënt 0.6 een goede ontwatering wordt bekomen kunnen bij een kleinere afvoercoëfficiënt toch problemen geven.

Om dit te illustreren is de simulatie uit figuur V-1 opnieuw gemaakt, maar nu met afvoercoëfficiënt m voor de uitwateringssluis gelijk aan 0.5. Figuur V-3 toont de resultaten van deze simulatie.



Figuur V-3 : Vergelijking ggg voor verschillende maximale waterpeilen in de polder, bij lagere uitstroomcoëfficiënt

De configuratie n=30, die in figuur V-1 nog een volledige ontwatering toeliet, leidt hier tot ontwateringsproblemen door de lagere waarde van de uitstroomcoëfficiënt van de uitwateringssluis. Uit een meer doorgedreven analyse van verschillende instroomconfiguraties blijkt dat voor de gegeven uitwateringssluis vanaf een maximaal waterpeil van 1.63 m TAW geen volledige ontwatering meer optreedt.

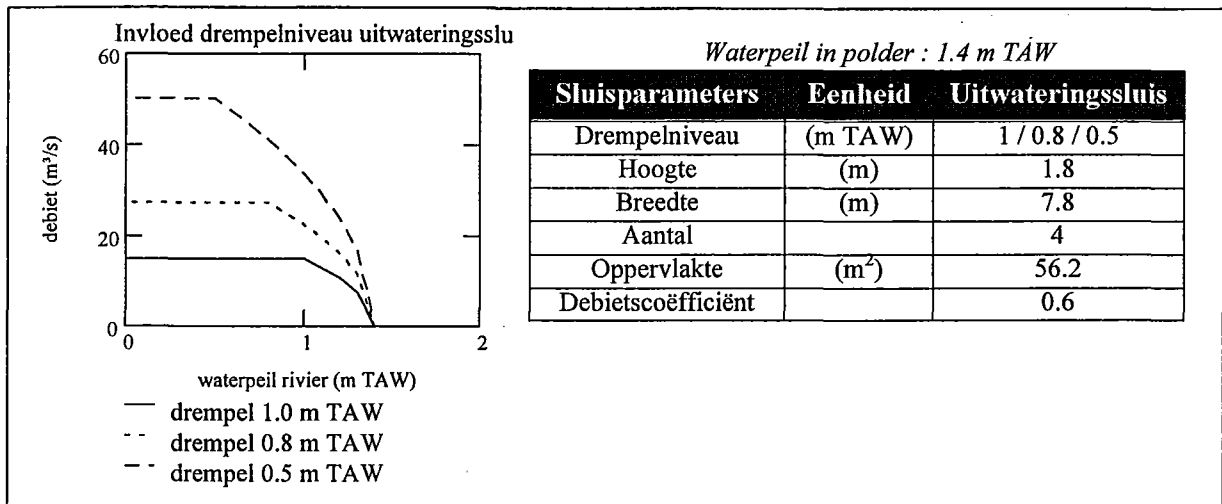
De waarde van deze afvoercoëfficiënt is dus van groot belang voor een correcte berekening van het te verwachten gereduceerd getij. Er bestaat echter een grote onzekerheid op theoretisch afgeleide waarden voor deze coëfficiënt (cf. appendices A en B). Daarom zijn modelproeven ter bepaling van deze afvoercoëfficiënt aangewezen.

2.4. de totale oppervlakte van de uitwateringssluizen

De in dit rapport uitgevoerde berekeningen gaan uit van een vaste geometrie voor de uitwateringssluizen, zoals aangegeven in hoofdstuk III paragraaf 4 (tabel III-4). Hoe groter de oppervlakte van de uitwateringssluizen, hoe vlotter de ontwatering gebeurt. Grotere sluisoppervlakten brengen echter extra kosten en technische problemen qua inbouw in de dijk met zich mee.

2.5. het drempelniveau van de uitwateringssluizen

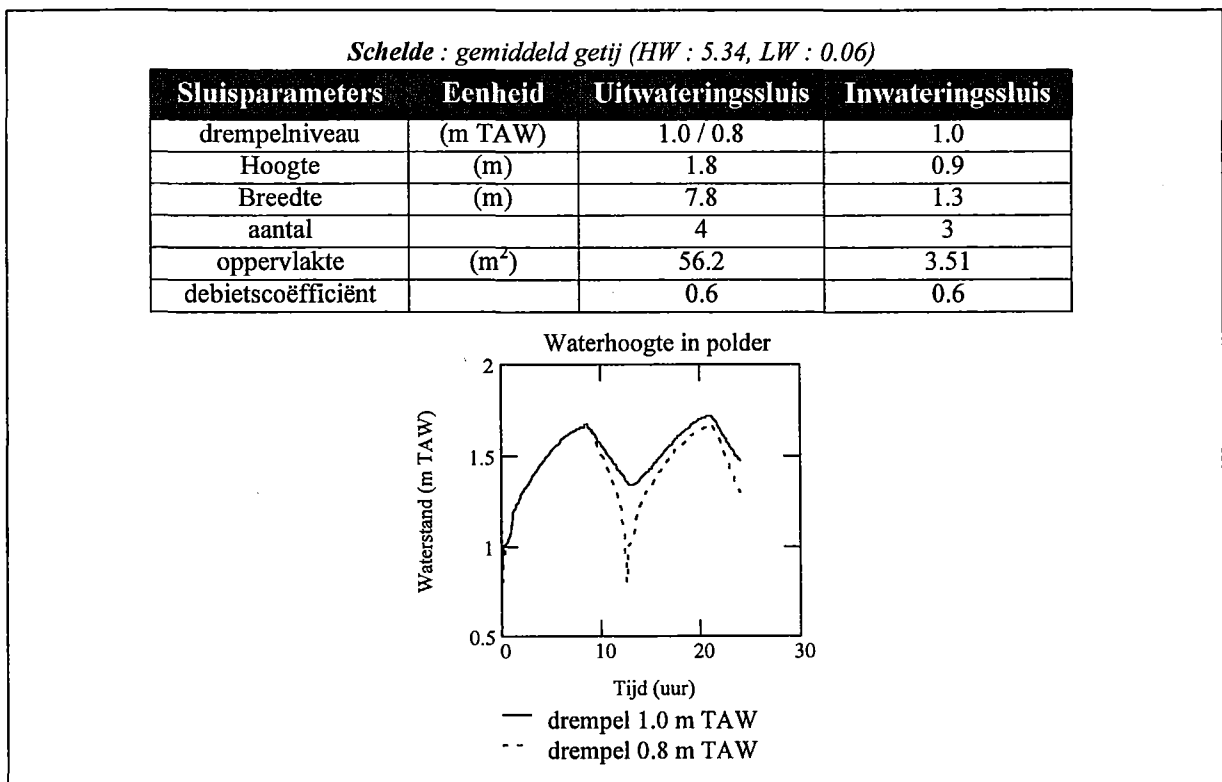
Het drempelniveau van de uitwateringssluizen beïnvloedt zeer sterk de ontwateringskarakteristieken. Figuur V-4 toont hoe het ontwateringsdebiet afhangt van het drempelniveau van de uitwateringssluis, voor een gegeven waterniveau in de polder.



Figuur V-4 : Basismodel - Invloed drempelhoogte uitwateringssluis op ontwateringsdebiet

Er blijkt dat een aanzienlijk hogere waarde voor het ontwateringsdebiet wordt bekomen als de uitwateringssluis zich lager in de dijk bevindt. Dit waarneembaar verschil tussen de 3 curves wordt meer uitgesproken naarmate het waterpeil in de polder daalt.

Doordat de keuze van het drempelniveau van de uitwateringssluis een grote invloed heeft op het ontwateringsdebiet, zal het gereduceerd getij in de polder er eveneens ingrijpend door bepaald worden. Figuur V-5 illustreert dit.

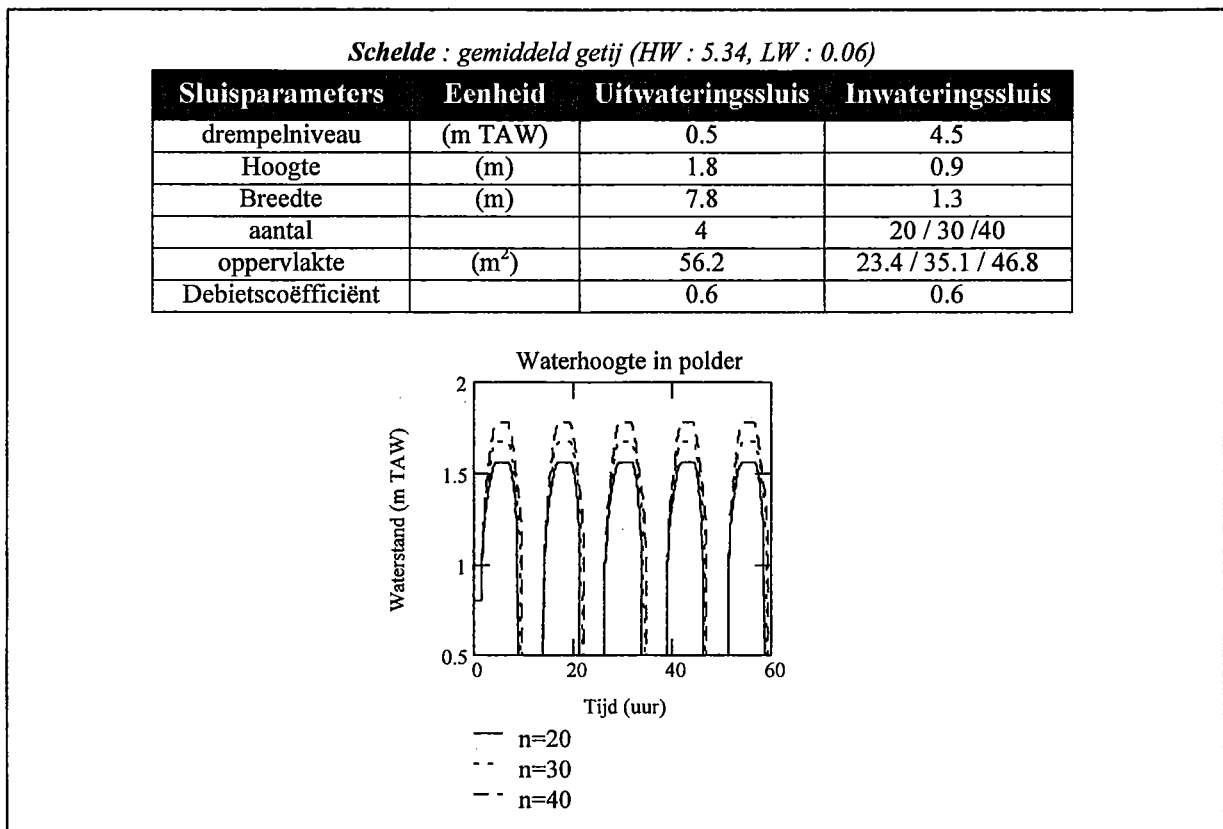


Figuur V-5 : Vergelijking ggg voor verschillende drempelhoogtes uitwateringssluis

- bij gemiddeld getij, en drempelniveau 1 m TAW blijkt de polder niet volledig te ontwateren. Het compartiment Kruibeke ligt zodanig laag dat het voor een groot gedeelte permanent onder water zou staan (figuur V-5, volle lijn).
- bij gemiddeld getij en drempelniveau 0.8 m TAW verloopt de ontwatering wel voldoende snel (figuur V-5, streeplijn).
- een verdere verlaging van het drempelniveau maakt een nog snellere ontwatering mogelijk.

Door het drempelniveau van de uitwateringssluis lager te kiezen zal een grotere getijslag toelaatbaar zijn in de polder.

Om dit te illustreren is de simulatie uit figuur V-1 opnieuw gemaakt, maar nu met als drempelniveau voor de uitwateringssluis 0.5 m TAW i.p.v. 0.8 m TAW. Figuur V-6 toont de resultaten van deze simulatie.



Figuur V-6 : Vergelijking ggg voor verschillende maximale waterpeilen in de polder, bij lagere uitstroomcoëfficiënt

Ook voor de configuratie n=40 blijkt nu volledige ontwatering mogelijk. Uit een meer doorgedreven analyse van verschillende instroomconfiguraties blijkt dat voor de gegeven uitwateringssluis een maximaal waterpeil tot 2.03 m TAW nog tot volledige ontwatering leidt. (Indien als uitstroomcoëfficiënt 0.5 wordt gebruikt is het maximaal toepasbaar waterpeil 1.96 m TAW). Het verlagen van het drempelniveau van de uitwateringssluis verhoogt dus drastisch de toepasbare getijslag.

Een cruciale parameter in het ontwerp van een uitwateringssluisc omplex is dus het drempelniveau. Enkele elementen die bij de beslissing over een keuze in rekening kunnen gebracht worden zijn :

- Een laag drempelniveau vergemakkelijkt de ontwatering, en is dus gunstig voor de veilige werking als overstromingsgebied. Veiligheidsberekeningen van het waterbouwkundig laboratorium gingen uit van een drempelniveau 0.5 m. Ook (Vanwijck, '97) raadt deze waarde aan ("om de gravitaire uitwatering te verzekeren is het aan te raden dat de drempelhoogte van de uitwateringssluizen niet hoger is dan 0.5 m.").
- Een snelle ontwatering (een laag drempelniveau) geeft een kortere overstromingsduur.
- De ontwateringssnelheid beïnvloedt de sedimentatie/erosie-patronen in de polder.
- Een te laag drempelniveau kan het gevaar vergroten van aanslibbing aan de rivierzijde ter hoogte van de uitwateringssluis. Anderszijds kan gesteld worden dat de regelmatige 'spoelingen' van deze uitwateringssluis bij toepassing van een gereduceerd getij het gevaar op een dergelijke aanslibbing zal verkleinen, indien de ontwateringssnelheden voldoende groot zijn.

2.6. Het micro-reliëf in de polder

Locale depressies kunnen een belangrijk vertragend effect hebben op het vrijgeven van het water. Ook de hydraulische vertraging door locale landschapselementen (het afwateringsgrachtenstelsel, begroeiing, nieuwgevormde geulen, micro-reliëf, ...) kan de ontwatering van de polder bemoeilijken. Over dergelijke effecten kan met het huidige (1D)-model geen uitspraak gedaan worden.

2.7. Conclusie

Een snelle ontwatering van de polder is zowel uit veiligheidsoverwegingen als met het oog op de aanslibbings-sedimentatiebalans gewenst. Wil men het aantal uitwateringssluizen beperken en toch een betekenisvolle amplitude van het gereduceerd getij in de polder handhaven, dan lijkt vooral een verlaging van het drempelniveau van de uitwateringssluis een aangewezen ingreep. Verder onderzoek moet uitwijzen in hoeverre deze ingreep door praktische bezwaren wordt geremd.

3. Ontwateringsproblemen voor 'niet gemiddeld'-getij

Het reëel getij beperkt zich niet tot de gemiddelde hoog- gemiddeld- laagwatergetijden. Gebeurlijk treden verhoogde hoogwaterstanden / laagwaterstanden op.

Verhoogde hoogwaterstanden in de rivier leiden tot een groter watervolume dat de polder gedurende de hoogwaterperiode binnenstroomt. De verandering van het volume dat de polder instroomt ten gevolge van deze verandering van de randvoorwaarden in de rivier blijkt afhankelijk van de configuratie van de sluizen. Het blijkt dat sluizen die hoog in de dijk zijn aangebracht veel gevoeliger zijn qua debiet dan inwateringssluizen laag in de dijk. Daardoor zullen ook de ontwateringsproblemen ten gevolge van verhoogde hoogwaterstanden vooral een probleem vormen als het merendeel van de inwateringssluizen hoog in de dijk zijn aangebracht.

In vorige paragrafen werd reeds een analyse gemaakt van het effect van de hoeveelheid water die binnengelaten wordt tijdens de hoogwaterperiode op de ontwatering tijdens de laagwaterperiode.

Wanneer een verhoogde hoogwaterstand gekoppeld is aan een verlaagde laagwaterstand (zoals dat voor het gemiddeld springtij geldt) dan kan dit effect van een verhoogde hoogwaterstand gecompenseerd worden door de vergemakkelijkte ontwatering tijdens laagwater.

Vooraf verhoogde laagwaterstanden kunnen zorgen voor ontwateringsproblemen. Dat de polder gedurende een eenmalige tijcyclus niet kan ontwateren hoeft geen probleem te zijn. Naar de veiligheid van het gebied als overstromingsgebied toe rijst alleszins geen probleem. De hoeveelheid water in de polder blijft beperkt, zelfs als bij drie opeenvolgende cycli water wordt binnengelaten zonder dat de polder volledig kan ontwateren. De inwateringssluizen kunnen trouwens altijd gesloten worden als dit opportuun lijkt (vb. bij voorspeld stormtij).

Langdurige overstromingen van de polder kunnen echter nefast zijn voor de vegetatie-ontwikkeling van de polder. Het gedurende een aantal dagen aansluitend voorkomen van hoge laagwaterstanden kan derhalve voor problemen zorgen.

In (CLAESSENS ET AL., 1994) wordt een tabel gegeven met frequentiegegevens (ter hoogte van Antwerpen) voor het optreden van een bepaalde laagwaterstand. Tabel V-1 bevat een uittreksel uit deze tabel.

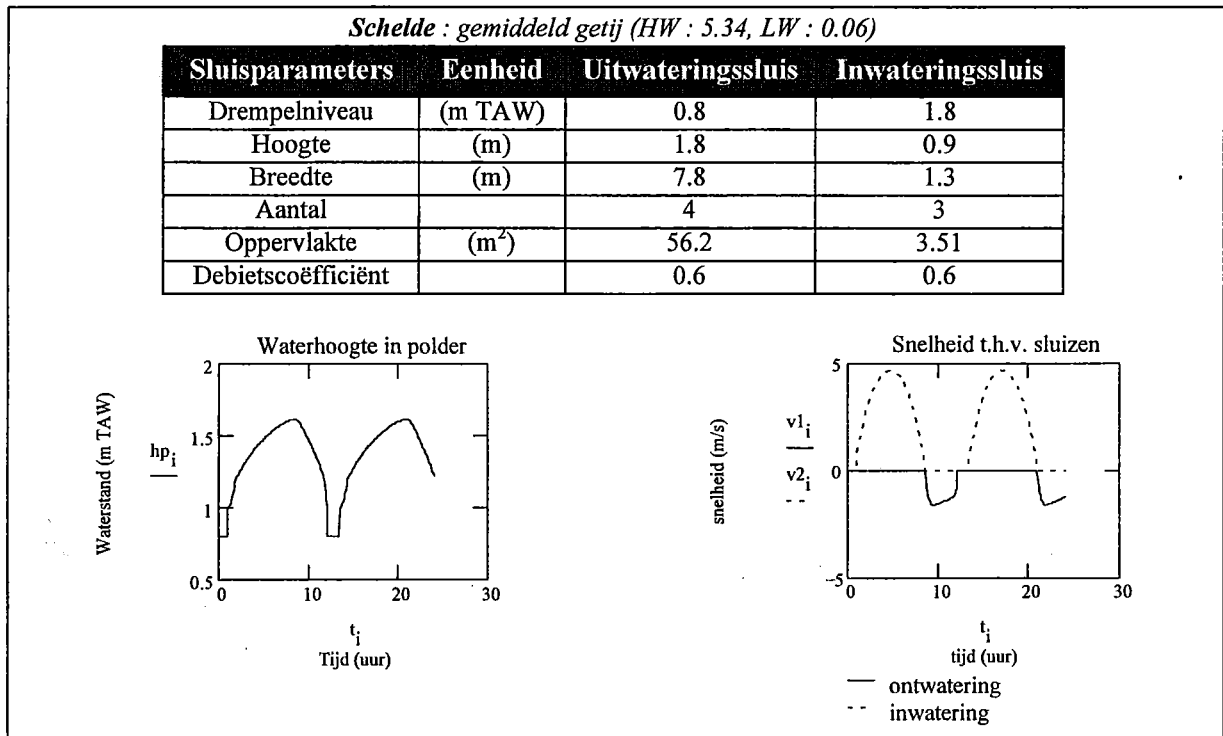
Waterstand mTAW	Getij met Laagwater > Waterstand %
0,5	11,88
0,8	4,34
1,0	2,37
1,2	1,22
1,5	0,5

Tabel V-1 : frequentie van overschrijding bepaalde laagwaterstand

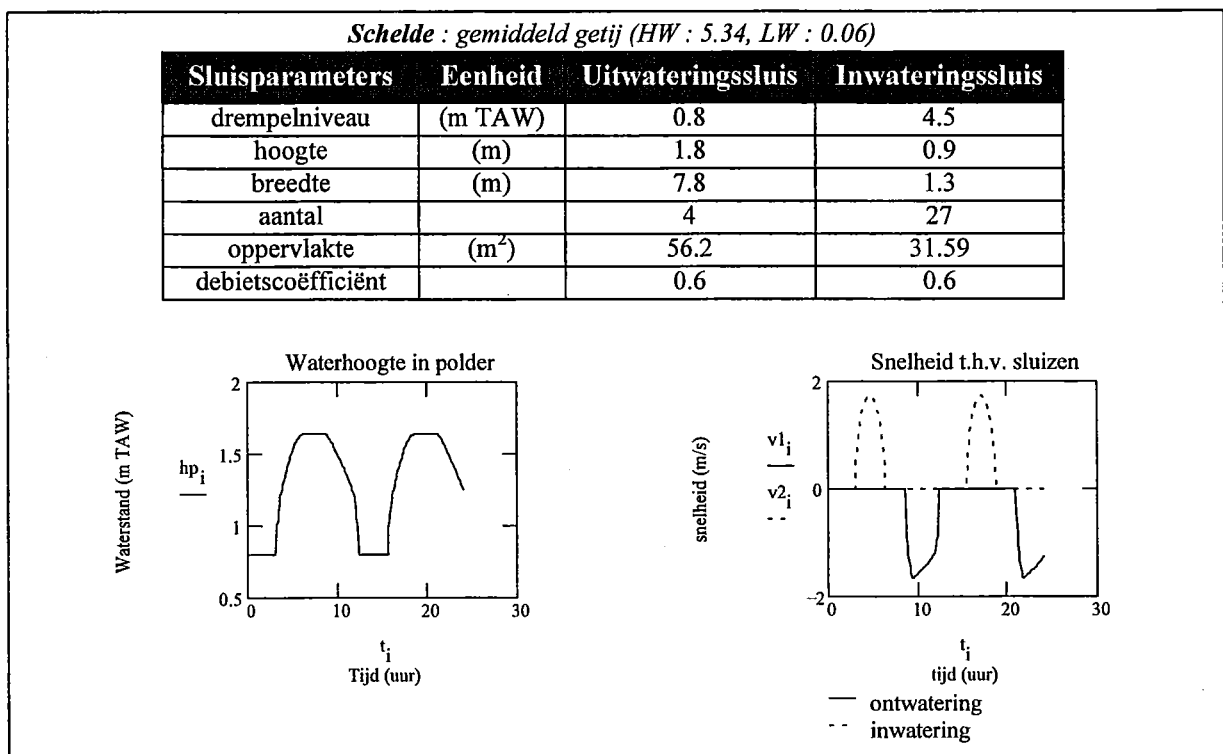
Er blijkt dat iets minder dan 5 % van de getijden een laagwaterstand hoger dan 0.8 m TAW kent. Men kan op basis van dit gegeven stellen dat voor ca. 5 % van de getijden geen volledige ontwatering van de polder zal optreden. Of dit zal leiden tot langdurige overstromingen van de polder hangt af van de opeenvolging van deze hoge laagwaterstanden. Uit de in (CLAESSENS ET AL., 1994) gepubliceerde getijgegevens valt niet af te lezen met welke frequentie langdurige periodes van hoge laagwaterstanden optreden. Hiervoor zijn meer gedetailleerde tijgegevens nodig. In hoofdstuk VI zal het probleem van de opeenvolging van hoge laagwaterstanden onderzocht worden aan de hand van tijgegevens voor het jaar 1996.

4. Stroomsnelheid ter hoogte van de sluizen

Figuur V-7 toont een typische variatie van de stroomsnelheid in functie van de tijd voor een lage positie van de inwateringssluis, figuur V-8 geeft een soortgelijke grafiek voor een hoge positie van de inwateringssluis.



Figuur V-7 : Basismodel - Stroomsnelheid ter hoogte van de sluizen - Inwateringssluis laag



Figuur V-8 : Basismodel - Stroomsnelheid ter hoogte van de sluizen - Inwateringssluis hoog

Bij lage watersnelheden ter hoogte van de sluisen veroorzaakt de ontwatering van de polder geen spoelingseffect in de uitwateringssluizen en is aanslibbing aan de uitwateringssluizen mogelijk. Bij te hoge watersnelheden worden de erosieve krachten op de sluisen ongewenst groot (Het Waterbouwkundig Laboratorium hanteert de waarde 4.5 m/s als grenswaarde (BIESEMANS ET AL., 1995).

Zoals uit figuren V-7 en V-8 blijkt, is de snelheid ter hoogte van de inwateringssluis vrij hoog te zijn, zeker bij lage positie van de inwateringssluis.

Tabel V-3 geeft voor een aantal simulaties met het gemiddeld tij als rivierrandvoorwaarde (HW : 5.34 m TAW, LW : 0.06 m TAW) de berekende maximum snelheden voor een aantal relevante keuzes van inwaterings- en uitwateringssluizen. De kenmerken van de gekozen inwaterings- en uitwateringssluizen zijn samengevat in tabel V-2.

Sluisparameters	Eenheid	Uitwateringssluis	Inwateringssluis
Drempelniveau	(m TAW)	0.8 / 0.5	1.8 / 4.5
Hoogte	(m)	1.8	0.9
Breedte	(m)	7.8	1.3
Aantal		4	3 / 27
Oppervlakte	(m ²)	56.2	3.17 / 31.59
Debietscoëfficiënt		0.6	0.6

tabel V-2 : sluisparameters gebruikt voor tabel V-3

Drempel Inwaterings-sluis	Drempel Uitwaterings-sluis.	Max. Waterpeil Polder	Max. Debiet Inwatering	Max. Snelheid Inwatering	Max. Debiet Uitwatering	Max. Snelheid Uitwatering
(m TAW)	(m TAW)	(m TAW)	m ³ /s	m/s	m ³ /s	m/s
1.8	0.8	1.61	16.4	4.67	37.6	1.63
1.8	0.5	1.61	16.4	4.67	54.4	1.84
4.5	0.8	1.64	50.7	1.72	56.7	1.86
4.5	0.5	1.64	50.7	1.72	39.5	1.64

tabel V-3 maximale stroomsnelheden ter hoogte van de sluisen

Conclusie

De maximale stroomsnelheden ter hoogte van de inwateringssluis / uitwateringssluis zijn hoog, maar blijven aanvaardbaar voor de beschouwde sluisparameters. Voor lage posities van de inwateringssluis (lager dan 1.8 m TAW) zijn de erosieve krachten op de sluis wellicht te groot.

5. Overstromingsduur bij gemiddeld getij

De overstromingsduur van een bepaald gebied in de polder, bij een gegeven tij in de rivier, kan beïnvloed worden via :

- de oppervlakte van de uitwateringssluis / het drempelniveau van de uitwateringssluis
- het drempelniveau van de inwateringssluis
- de oppervlakte van de inwateringssluis / maximum waterhoogte in polder
- het micro-reliëf in de polder

5.1. Invloed oppervlakte / drempelniveau uitwateringssluis

Verlaging van het drempelniveau van de uitwateringssluis of vergroting van de beschikbare doorstroomoppervlakte maakt een snellere ontwatering mogelijk. De overstromingsduur zal dalen als de ontwatering sneller verloopt. Figuur V-9 toont hoe de overstromingsduur afneemt als het drempelniveau 0.5 m TAW wordt genomen i.p.v. 0.8 m TAW, figuur V-10 toont hetzelfde voor een andere positie en grootte van de inwateringssluis.

5.2. Invloed drempelniveau inwateringssluis

Water stroomt van de Schelde naar de polder als het water in de Schelde hoger staat dan dat in de polder en als het bovendien boven het drempelniveau van de inwateringssluis staat.

Het drempelniveau voor de inwateringssluizen kan zowel bovenin in de dijk als meer naar onder gekozen worden. Bij een hoog drempelniveau is er slechts een korte tijd beschikbaar voor instroming van water. Bij gelijkblijvend doorstroomoppervlak t.o.v. het geval waarbij voor een laag drempelniveau wordt gekozen, zou dit betekenen dat beduidend minder water de polder binnenstroomt gedurende de hoogwaterperiode. Door echter de doorstroomoppervlakte groter te kiezen (aangepaste keuze van de sluisoppervlakte / het aantal sluisen) kan toch de gewenste waterhoeveelheid worden binnengebracht in de polder.

In hoofdstuk IV (o.a. figuur IV-1) werd een situatie beschreven met hoog drempelniveau van de inwateringssluis. Als het water in de Schelde terug zakt tot beneden het drempelniveau van de inwateringssluis, volgt een fase waarin geen water tussen Schelde en polder wordt uitgewisseld, een 'stagnant water'-periode. Pas op het moment dat het water in de Schelde lager komt dan dat in de polder kan de polder beginnen ontwateren.

Een 'stagnant water'-periode kan men vermijden door de inwateringssluis voldoende laag te kiezen (het drempelniveau van de inwateringssluis moet dan lager gekozen worden dan het maximum waterniveau in polder). In dat geval stroomt er gedurende een langere tijd een kleiner debiet de polder in, en wordt onmiddellijk overgeschakeld van instroming naar uitstroming, op het moment dat het waterniveau in de Schelde daalt tot onder het waterniveau in de polder. Simulatie 2 uit hoofdstuk IV (o.a. figuur IV-2) behandelde een dergelijke situatie.

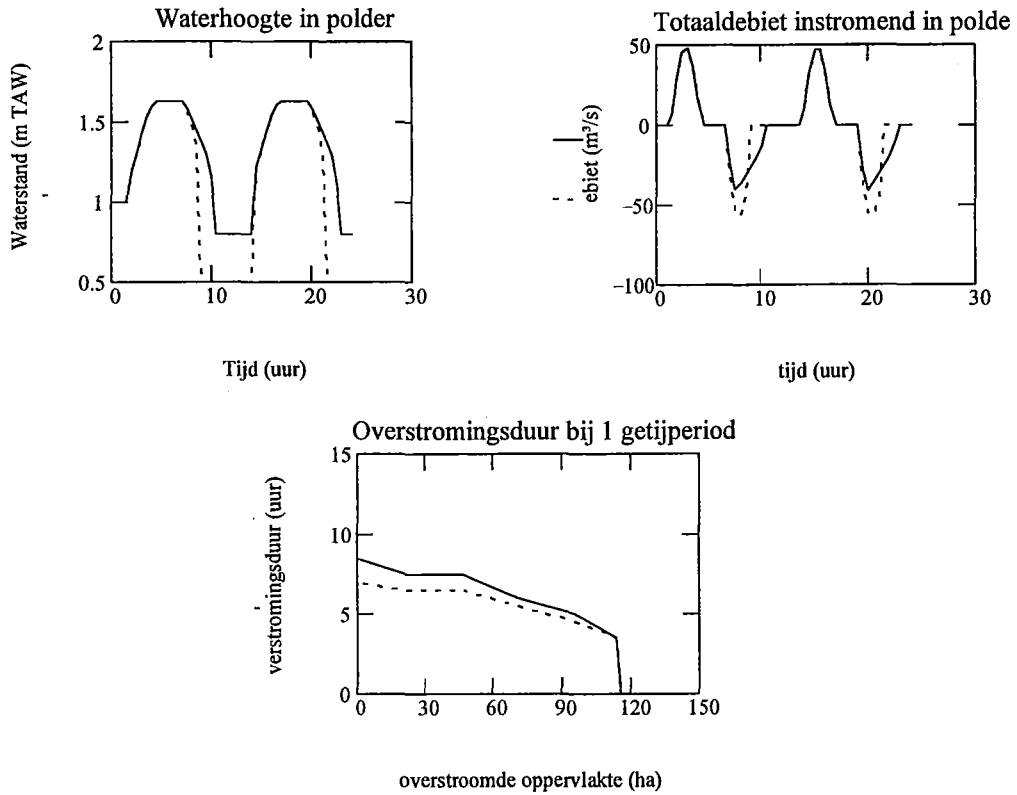
Deze twee randgevallen vertalen zich in essentieel verschillende curven voor de overstromingsduur, zoals wordt geïllustreerd in figuur V-11 :

- Bij de optie hoge inlaat zullen de hooggelegen gebieden relatief lang onder water staan. De variatie in overstromingsduur tussen laaggelegen en hooggelegen gebieden is beperkt.
- Bij de optie lage inlaat treedt een duidelijke variatie op in overstromingsduur naargelang de hoogteligging van het gebied. Laaggelegen gebieden zullen beduidend langer onder water staan dan bij de optie hoge inlaat, hooggelegen gebieden minder lang.

Schelde : gemiddeld getij (sinusbenadering)

Sluisparameters	Eenheid	Uitwateringssluiss	Inwateringssluiss
Drempelniveau	(m TAW)	0.8 / 0.5	4.5
Hoogte	(m)	1.8	0.9
Breedte	(m)	7.8	1.3
Aantal		4	27
Oppervlakte	(m ²)	56.2	31.59
Debietscoëfficiënt		0.6	0.6

Legende : volle lijn : uitwateringssluiss 'hoog'
 stippellijn : uitwateringssluiss laag

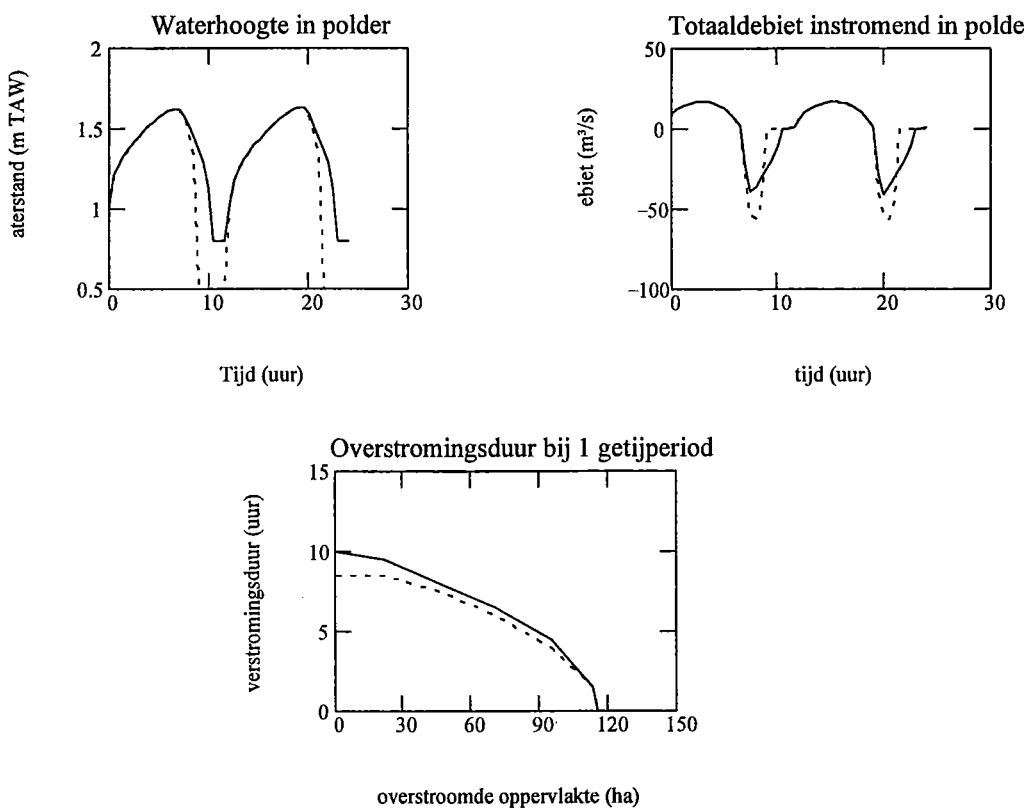


Figuur V-9 : Basismodel - Invloed drempelniveau uitwateringssluiss op overstromingsduur (Inwateringssluiss hoog)

Schelde : gemiddeld getij (sinusbenadering)

Sluisparameters	Eenheid	Uitwateringssluis	Inwateringssluis
drempelniveau	(m TAW)	0.8 / 0.5	1.6
hoogte	(m)	1.8	0.9
breedte	(m)	7.8	1.3
aantal		4	3
oppervlakte	(m ²)	56.2	3.51
debietscoëfficiënt		0.6	0.6

Legende : volle lijn : uitwateringssluis 'hoog'
 stippellijn : uitwateringssluis laag

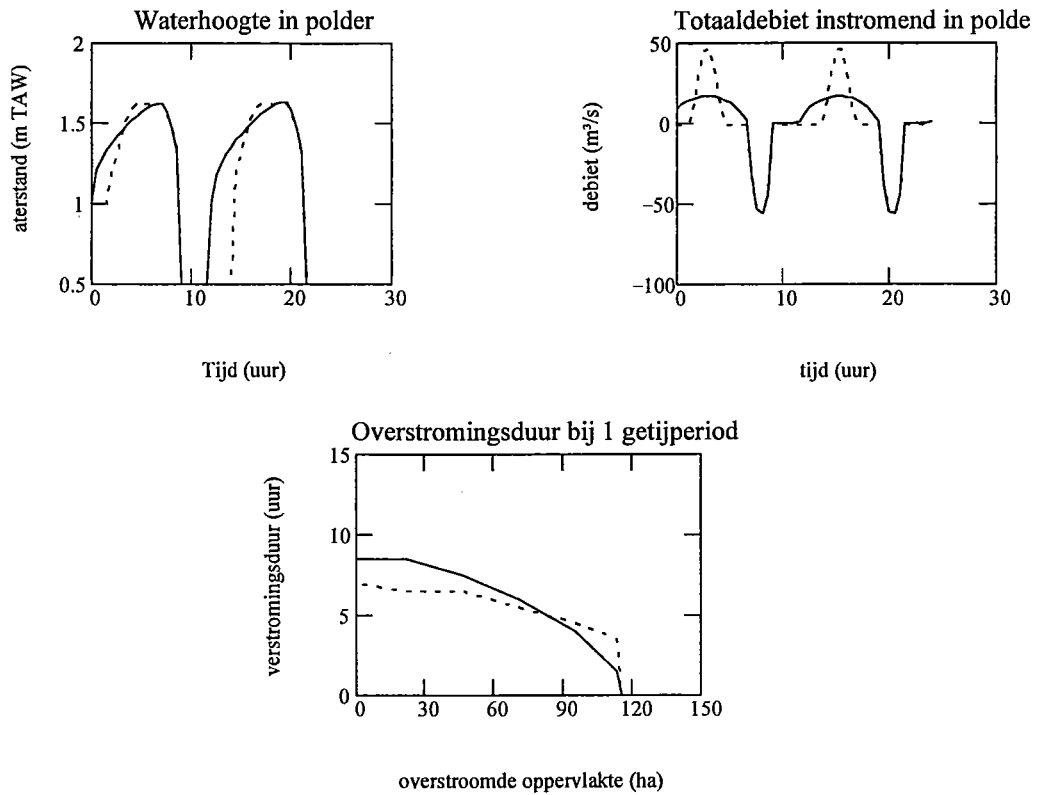


Figuur V-10 : Basismodel : Invloed drempelniveau uitwateringssluis op overstromingsduur (Inwateringssluis laag)

Schelde : gemiddeld getij (sinusbenadering)

Sluisparameters	Eenheid	Uitwateringssluiss	Inwateringssluiss
drempelniveau	(m TAW)	0.5	1.6 / 4.5
hoogte	(m)	1.8	0.9
breedte	(m)	7.8	1.3
aantal		4	3 / 27
oppervlakte	(m ²)	56.2	3.51 / 31.59
debietscoëfficiënt		0.6	0.6

Legende : volle lijn : inwateringssluiss laag
 stippellijn : inwateringssluiss hoog



figuur V-11 : Invloed drempelniveau inwateringssluiss op overstromingsduur

5.3. Invloed oppervlakte inwateringssluis / maximum waterhoogte in polder

De maximale waterhoogte in de polder wordt bepaald door de hoeveelheid water die de polder instroomt tijdens de hoogwaterperiode. Bij gegeven drempelniveau van de inwateringssluis kan dit geregeld worden door gepaste keuze van de oppervlakte van de inwateringssluis. De overstromingsduur is ook afhankelijk van deze maximale waterhoogte.

Figuur V-12 en V-13 illustreren de invloed van een vermindering van de beschikbare doorstroomoppervlakte van de inwateringssluizen op de overstromingsduur.

Het blijkt dat men de overstromingsduur kan verminderen door de toegelaten waterhoeveelheid per getij in de polder te beperken, dit wil zeggen door slechts kleine doorstroomopeningen voor de inwateringssluizen te kiezen.

5.4. Invloed karakteristieken van de polder

Door hydraulische vertragingseffecten zal niet op elke plaats in de polder op hetzelfde moment het water even hoog staan. De hydraulische vertraging wordt sterk beïnvloed door de lokale landschapselementen (het afwateringsgrachtenstelsel, begroeiing, nieuwgevormde geulen, micro-reliëf, ...). Over dergelijke effecten kan met het huidige (1D)-model geen uitspraak gedaan worden.

5.5. Conclusie

Ter beperking van de overstromingsduur voor een gegeven gebied in de polder lijkt vooral een snelle ontwatering van belang. Vooral een lage keuze van het drempelniveau van de uitwateringssluis kan hiertoe bijdragen.

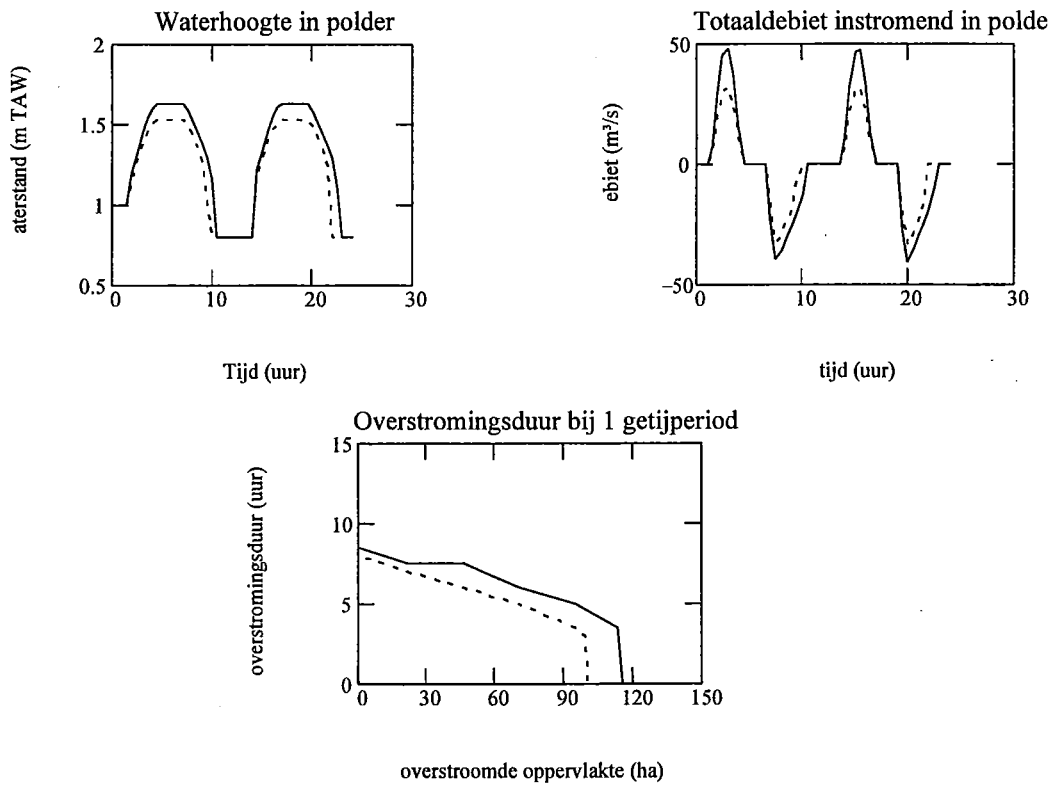
Wat betreft de keuze van het drempelniveau van de inwateringssluis is de situatie minder duidelijk. Bij de optie hoge inlaat zullen de hooggelegen gebieden relatief lang onder water staan. De variatie in overstromingsduur tussen laaggelegen en hooggelegen gebieden is beperkt. Bij de optie lage inlaat treedt een duidelijke variatie op in overstromingsduur naargelang de hoogteligging van het gebied. Laaggelegen gebieden zullen beduidend langer onder water staan dan bij de optie hoge inlaat, hooggelegen gebieden minder lang.

Ook de amplitude van het getij in de polder beïnvloedt de overstromingsduur. Deze amplitude wordt voor een gegeven getij in de rivier vastgelegd door de keuze van drempelniveau en doorstroomingsoppervlakte van de inwateringssluizen.

Schelde : gemiddeld getij (sinusbenadering)

Sluisparameters	Eenheid	Uitwateringssluys	Inwateringssluys
Drempelniveau	(m TAW)	0.5	4.5
hoogte	(m)	1.8	0.9
breedte	(m)	7.8	1.3
aantal		4	27 / 18
oppervlakte	(m ²)	56.2	31.59 / 21.06
Debietscoëfficiënt		0.6	0.6

Legende : volle lijn : oppervlakte inwateringssluizen 'groot'
 stippellijn : oppervlakte inwateringssluizen 'verkleind'

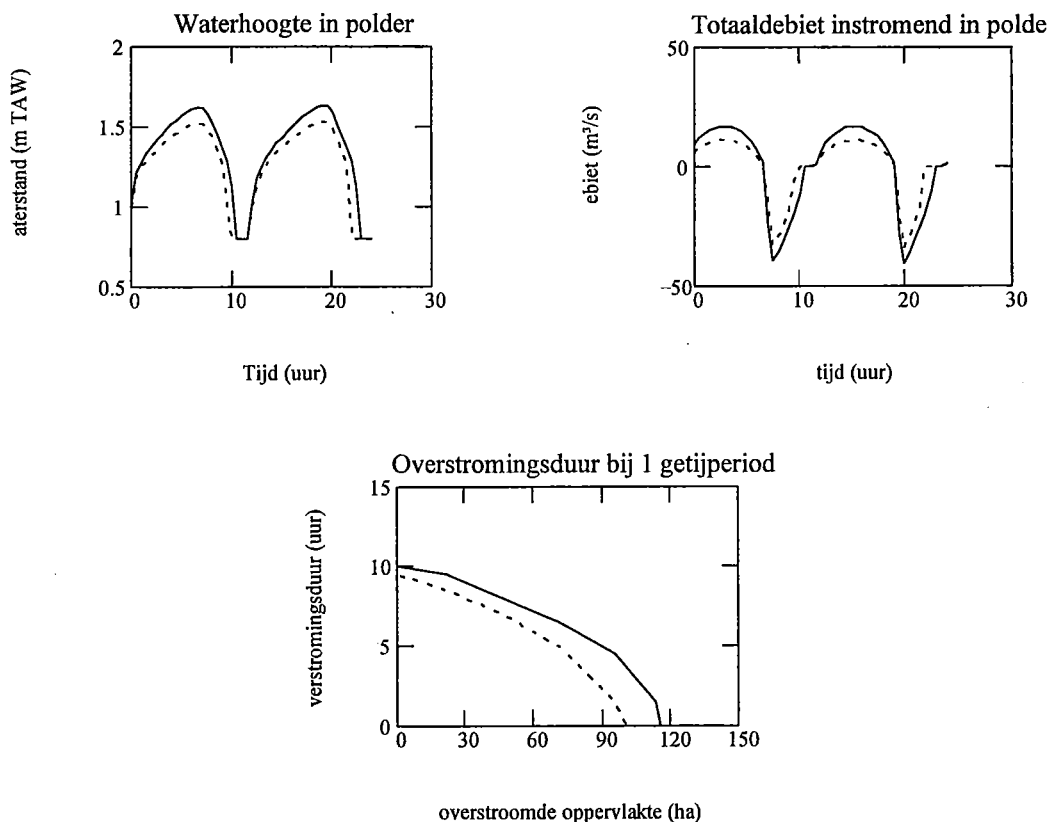


Figuur V-12 : Basismodel - Invloed overstromingshoogte op overstromingsduur - Inwateringssluys hoog

Schelde : gemiddeld getij (sinusbenadering)

Sluisparameters	Eenheid	Uitwateringssluys	Inwateringssluys
Drempelniveau	(m TAW)	0.8	1.6
hoogte	(m)	1.8	0.9
breedte	(m)	7.8	1.3
aantal		4	3 / 2
oppervlakte	(m ²)	56.2	3.51 / 2.34
Debietscoëfficiënt		0.6	0.6

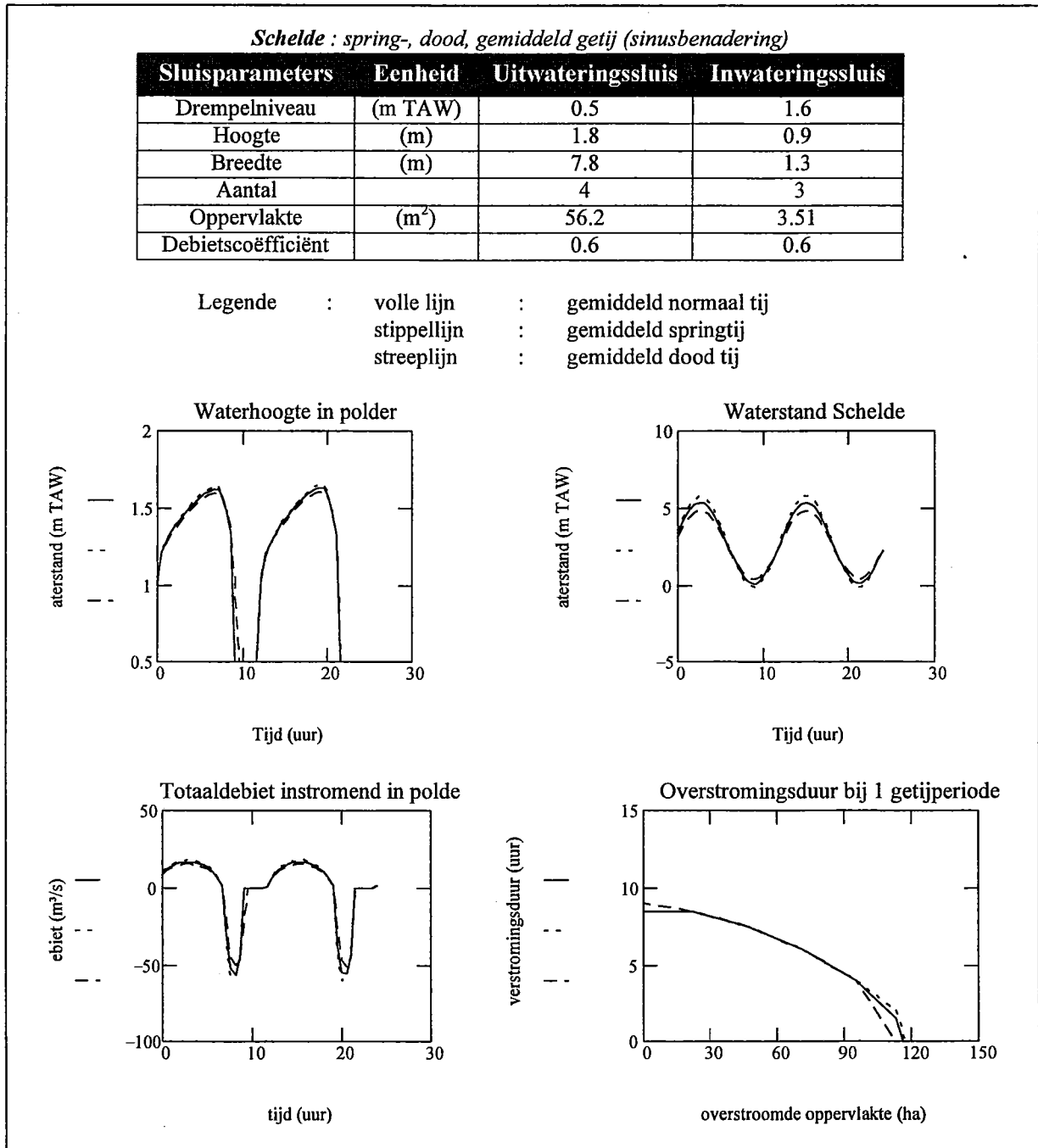
Legende : volle lijn : oppervlakte inwateringssluizen 'groot'
 stippellijn : oppervlakte inwateringssluizen 'verkleind'



Figuur V-13 : Basismodel - Invloed overstromingshoogte op overstromingsduur - Inwateringssluys laag

6. Verschillen Springtij / Doodtij - cyclus

Figuur V-14 en V-15 bestuderen variaties in de overstromingsduur t.g.v. variaties in het getij, en dit voor 2 randsituaties voor de positie van de inwateringssluis, figuur V-14 voor een lage positie van de inwateringssluis, figuur V-15 voor een hoge positie.

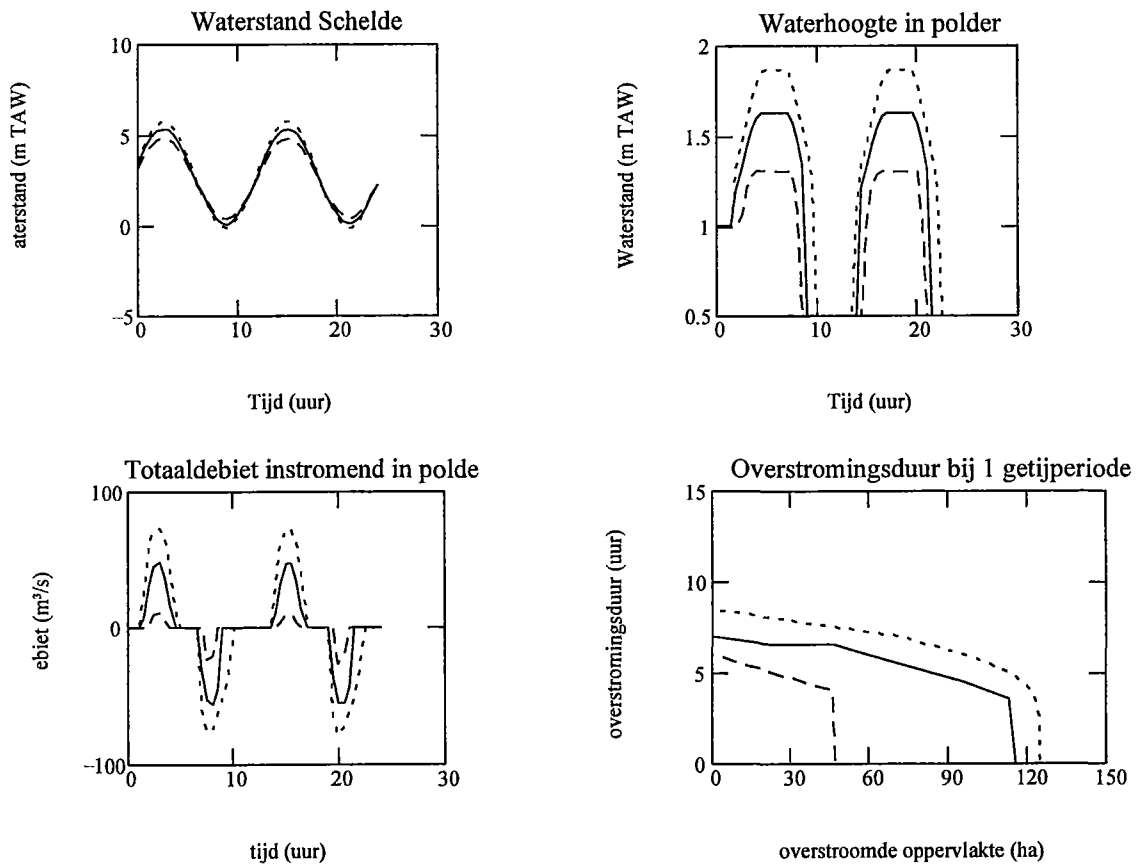


Figuur V-14 : Basismodel - Vergelijking Spring - Dood - Gemiddeld getij - Inwateringssluis laag / uitwateringssluis laag

Schelde : spring-, dood, gemiddeld getij (sinusbenadering)

Sluisparameters	Eenheid	Uitwateringsslu	Inwateringsslu
drempelniveau	(m TAW)	0.5	4.5
hoogte	(m)	1.8	0.9
breedte	(m)	7.8	1.3
aantal		4	27
oppervlakte	(m ²)	56.2	31.59
debietscoëfficiënt		0.6	0.6

Legende : volle lijn : gemiddeld normaal tij
 stippellijn : gemiddeld springtij
 streeplijn : gemiddeld dood tij



Figuur V-15 : Basismodel - Vergelijking Spring - Dood - Gemiddeld getij - Inwateringsslu hoog / uitwateringsslu laag

Wat betreft de variaties in getijregime blijkt uit deze figuren het volgende :

- bij een laag drempelniveau van de inwateringsslu (figuur V-14) treden nauwelijks verschillen op tussen dood-, gemiddeld-, springtij.
- bij een hoog drempelniveau van de inwateringsslu (figuur V-15) wordt wel een sterke variatie bekomen.

Conclusie

Om een doottij-springtijvariatie te verkrijgen is het nodig een inwateringsslu hoger in de dijk te plaatsen.

7. Evaluatie

Wat betreft de berekeningen moet het voorbehoud gemaakt worden voor de beperkte nauwkeurigheid. De 1D-benadering gaat voorbij aan de kleinschalige elementen die vooral voor lage waterstanden in de polder het stromingsregime kunnen doen afwijken van het hier berekende. Een andere bron van onzekerheid is de toepasbare afvoercoëfficiënt van de uitwateringssluis. Een experimentele bepaling van deze coëfficiënt is aan te bevelen. Toch kunnen op basis van deze studie een aantal vaststellingen worden gedaan die ook bij een verbeterde nauwkeurigheid geldig blijven.

Het overstromingsregime dat voor de schorren in de Schelde geldt, kan niet gekopieerd worden naar dat wat bij toepassing van een gereduceerd getij in de polder kan bereikt worden. De overstromingsduur is vrij lang, beduidend langer dan voor schorren in de Schelde. De overstromingshoogte daarentegen is minder, door de beperkte getij-amplitude in de polder. Doordat de polder van Kruikeke slechts weinig hoger ligt dan de optredende laagwaterstand in de rivier is de ontwatering van de polder niet eenvoudig.

De uitwateringssluis moet voldoende laag gepositioneerd worden om ontwateringsproblemen te voorkomen en de overstromingsduur zoveel mogelijk te beperken. Een drempelniveau van maximum 0.5 m TAW is aangewezen.

Wat betreft de positionering van de inwateringssluis zijn er een aantal argumenten die pleiten voor een lage positionering van de inwateringssluis :

- beperking van de nodige sluisoppervlakte
- kortere overstromingsduur voor hogergelegen gebieden
- gradiënt wat betreft overstromingsduur tussen laag- en hooggelegen gebieden
- vermijden van stagnant water - periode
- vermindering van 'watersprong'

De voornaamste argumenten tegen een lage positionering zijn :

- nauwelijks variatie wat betreft spring-, dood-, normaal - tijcyclus
- weinig speelruimte wat betreft verdeling sluizen over dijk lengte, tenzij de individuele sluis kleppen kleiner uitgevoerd worden dan hierboven aangenomen
- hoge stroomsnelheden ter hoogte van de inwateringssluis

Daarentegen pleiten ook een aantal argumenten voor de hoge positionering :

- grotere sluisoppervlakte geeft meer speelruimte w.b. verdeling sluizen over dijk lengte
- kortere overstromingsduur voor lagergelegen gebieden
- grote variatie in spring / dood / normaal - tij - cyclus
- waterval gepaard met hoge inlaat kan eventueel gunstig aangewend worden (vb. naar zuurstofhuishouding toe)

De voornaamste argumenten tegen hoge positionering zijn :

- stagnant waterperiode in polder
- van zodra gebied onder water komt staat het ook ca. 4 uur onder water, weinig gradatie in overstromingsduur voor verschillende hoogtes
- grote 'val' hoogte water naar polder toe.

Als compromis kan geopteerd worden voor een combinatie van de twee concepten :

- een aantal inwateringssluizen hoog in de dijk zorgen voor een springtij - doortijcyclus
- 1 of 2 kleine inwateringssluizen laag in de dijk doen de stagnant water-periode verdwijnen

In hoofdstuk VI zullen enkele berekeningen met dit verbeterd concept getoond worden.

VI - Berekeningen met inwateringssluizen op 2 niveaus

1. Wijzigingen in model t.o.v. vorig hoofdstuk

1.1. Model tij rivier

Voor het tij in de rivier wordt een stapsgewijze derdegraadsbenadering gehanteerd. Ten opzichte van vorig hoofdstuk zijn nu ook getijden doorgerekend, waarbij de hoogwaterstanden en laagwaterstanden variëren over opeenvolgende getijcycli.

Voor de optredende getijcycli is voorlopig uitgegaan van een constante periode (12.42 u). Er is nog geen rekening gehouden met het asymmetrisch karakter van de getijkromme in de rivier. Stijgtijd en daaltijd kennen in de hier gemodelleerde getijden een gelijke duur.

1.2. Model polder

Het model voor de polder uit het basismodel blijft behouden.

1.3. Model sluizen

Voor de uitwateringssluizen blijft het basismodel behouden.

Bij de inwateringssluizen wordt de mogelijkheid voorzien sluizen op twee verschillende drempelniveaus in te rekenen.

In een aantal simulaties worden getijden gemodelleerd waarbij de hoogwaterstand hoger komt dan de overstroombijk. In dat geval stroomt ook water via de overstroombijk van de Schelde naar de polder. De berekeningsmethode voor deze situatie staat beschreven in hoofdstuk III-paragraaf 5 en in appendix D.

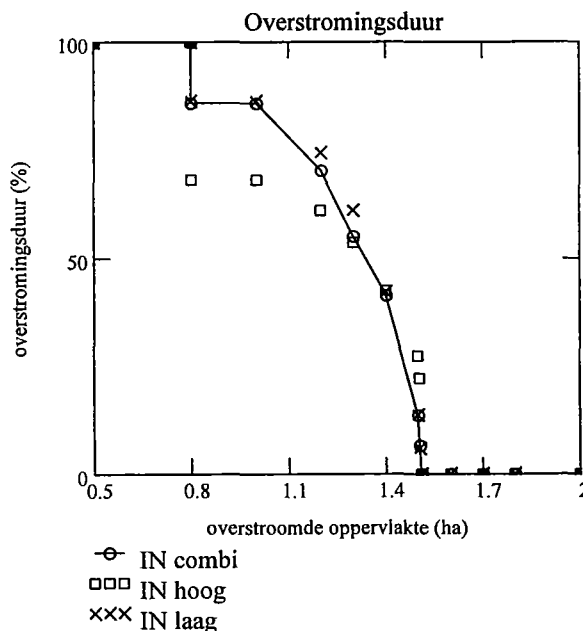
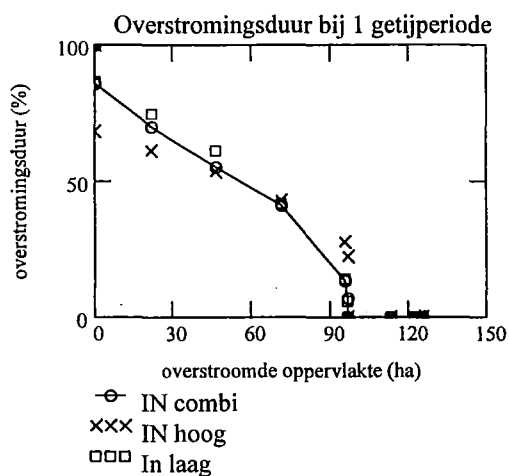
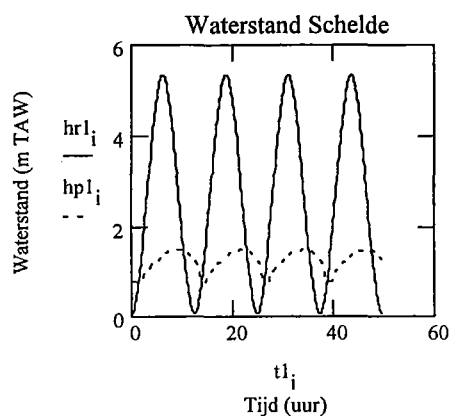
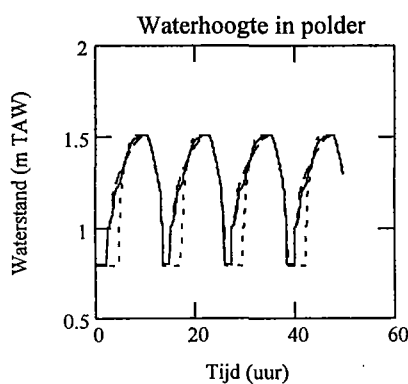
2. Overstromingsduur bij gemiddeld normaal tij

Zoals in vorig hoofdstuk aangetoond werd, kan het voordelig zijn een combinatie toe te passen van inwateringssluizen hoog in de dijk en inwateringssluizen laag in de dijk. Als voorbeeld wordt in figuur VI-1 de resultaten getoond van een simulatie met inwateringssluizen op twee drempelniveaus, waarbij het riviertij evolueert volgens het gemiddeld normaal tij, dat ook in vorige hoofdstuk werd bekeken. De parameters van de inwateringssluizen zijn zodanig gekozen dat ongeveer de helft van het instromend water via de hoge inwateringssluizen binnenkomt en de andere helft via de lage inwateringssluizen. Ter vergelijking zijn de curven toegevoegd voor de situatie waarbij dezelfde maximale hoogte in de polder wordt verkregen met gebruik van inwateringssluizen op één drempelhoogte (afmetingen tussen haakjes in tabel van figuur VI-1).

Schelde : gemiddeld getij (sinusbenadering) (HW : 5.34 m TAW, LW : 0.06 m TAW)

Opmerking : 2 niveaus voor inwateringsssluis, oppervlakte zodanig dat max. waterhoogte in polder ca. 1.51 m TAW

Sluisparameters	Eenheid	Uitwateringsssluis	Inwateringsssluis	
			1	2
Drempelniveau	(m TAW)	0.8	1.8	4.5
Hoogte	(m)	1.8	0.9	0.9
Breedte	(m)	7.8	1.3	1.3
Aantal		4	1 (2)	8 (17)
Oppervlakte	(m ²)	56.2	1.17 (2.34)	9.36 (19.89)
Debietscoëfficiënt		0.5	0.6	0.6



figuur VI-1 : berekening gereduceerd getij - gemiddeld normaal tij

Hoewel de watermassa ongeveer gelijkwaardig verdeeld wordt tussen de hoge en de lage inwateringsssluis, blijkt de karakteristiek voor de overstromingsduur eerder bij die van de lage inwateringsssluis aan te leunen. Er is een duidelijke gradiënt tussen hoger- en lager-gelegen gebieden qua overstromingsduur. Doordat er bijna heel de tijd water met de Schelde wordt gewisseld, treedt geen stagnant water-periode op in de polder. De overstromingsduur voor lageregelegen gebieden

neemt slechts weinig af voor deze sluisconfiguratie t.o.v. de situatie waarbij enkel lage inwateringssluizen worden toegepast.

3. Variatie van de overstromingsduur over een springtij/doodtij-cyclus

Positionering van een inwateringssluis hoog in de dijk heeft als voordeel dat een variatie in overstromingspatronen wordt bekomen over een springtij-doodtij-cyclus. Met het gecombineerd gebruik van inwateringssluizen hoog in de dijk en inwateringssluizen laag in de dijk blijft dit voordeel gehandhaafd.

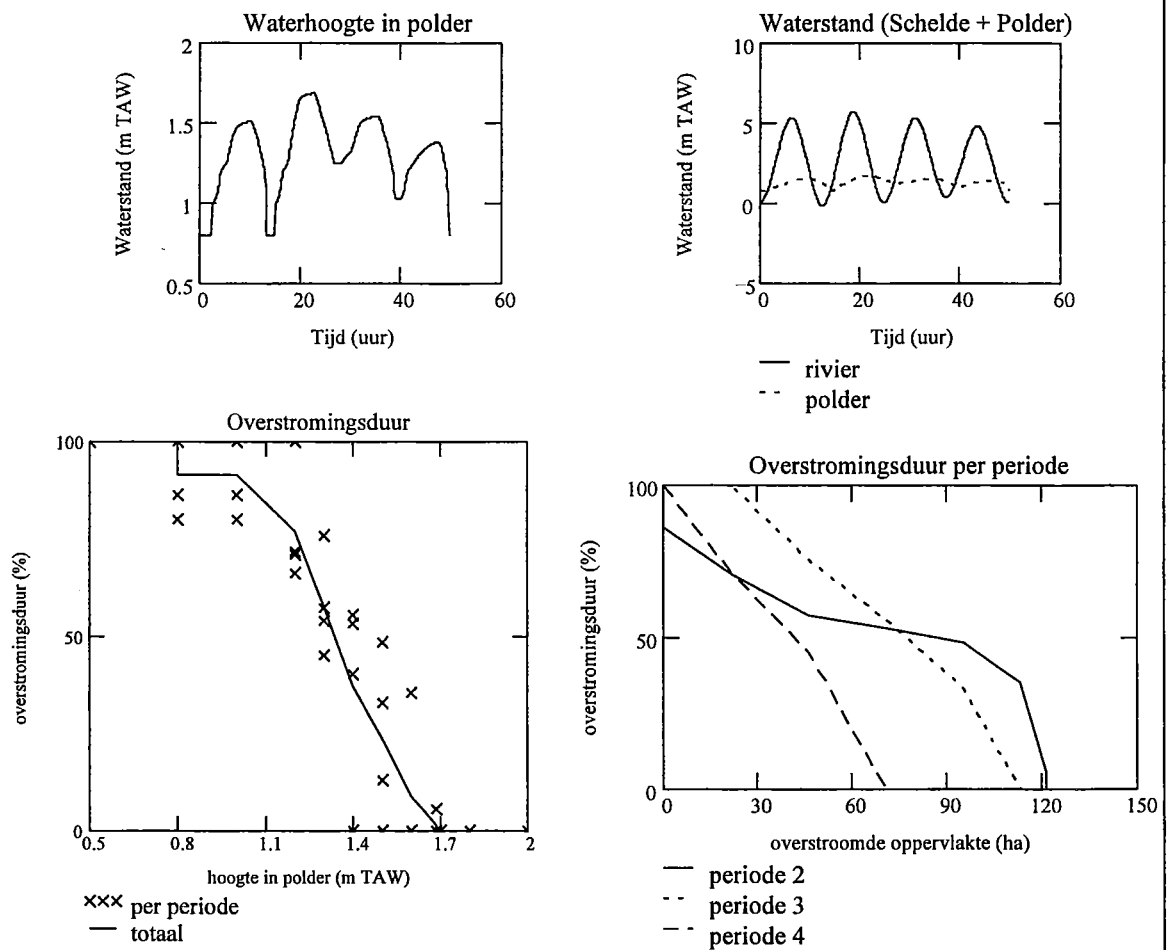
Als voorbeeld wordt in figuur VI-2 de resultaten getoond van een simulatie met inwateringssluizen op twee drempelniveaus, waarbij het riviertij evolueert volgens een geheel kunstmatige opeenvolging van amplitudes, die overeenkomen met de normaal-spring-normaal-doodtij voorwaarden. Door de overstromingskarakteristieken te vergelijken die worden bekomen voor de verschillende periodes van het getij krijgt men een idee van de optredende variaties voor een springtij-doodtijcyclus. Deze variaties blijken betekenisvol te zijn.

Waterniveau Schelde : opeenvolging gemiddeld normaal spring normaal dood tij

Tijd (uur)	0	6.21	12.42	18.63	24.84	31.05	37.26	43.47	49.68
Waterstand (m TAW)	0.06	5.34	-0.14	5.74	0.06	5.34	0.37	4.82	0.06

Sluizen : 2 niveaus voor inwateringsluis
oppervlakte zodanig dat max. waterhoogte in polder ca. 1.51 m TAW bij gemiddeld tij

Sluisparameters	Eenheid	Uitwateringsluis	Inwateringsluis	
			1	2
Drempelniveau	(m TAW)	0.8	1.8	4.8
Hoogte	(m)	1.8	0.9	0.9
Breedte	(m)	7.8	1.3	1.3
Aantal		4	1	20
Oppervlakte	(m ²)	56.2	1.17	23.4
Debietscoëfficiënt		0.5	0.6	0.6



Figuur VI-2 : Berekening gereduceerd getij - kunstmatige springtij-doodtij-cyclus

4. Berekening gereduceerd getij in polder met tijgegevens 1996

4.1. Verantwoording

Naast de voorspelbare astronomische invloeden beïnvloeden ook wisselvalige meteorologische omstandigheden de getij-amplitude. Door enkel met gemiddelde getijkrommen te rekenen onderschat men de mogelijke amplitudevariaties in het Scheldetij. In volgende paragraaf zal de simulatie doorgevoerd worden van een getij waarbij een de werkelijk opgetreden opeenvolging van hoog-en laagwaterstanden als randvoorwaarde werd ingevuld voor de simulatie. Hiervoor werden de gegevens van 1996, opgemeten te Hemiksem, ingevuld als hoog-en laagwaterstanden.

4.2. Parameters voor sluis en overstroomdijk

Tabel VI-1 geeft de sluisparameters weer die in de verdere berekeningen werden gebruikt (simulatie met inwateringssluizen op 2 drempelniveaus):

Sluisparameters	Eenheid	Uitwateringssluis	Inwateringssluis	
			1	2
Drempelniveau	(m TAW)	0.8	1.8	4.8
Hoogte	(m)	1.8	0.9	0.9
Breedte	(m)	7.8	1.3	1.3
Aantal		4	1	20
Oppervlakte	(m ²)	56.2	1.17	23.4
Debietscoëfficiënt		0.6	0.6	0.6

tabel VI-1 : sluisparameters voor berekeningen ggg met tijgegevens 1996.

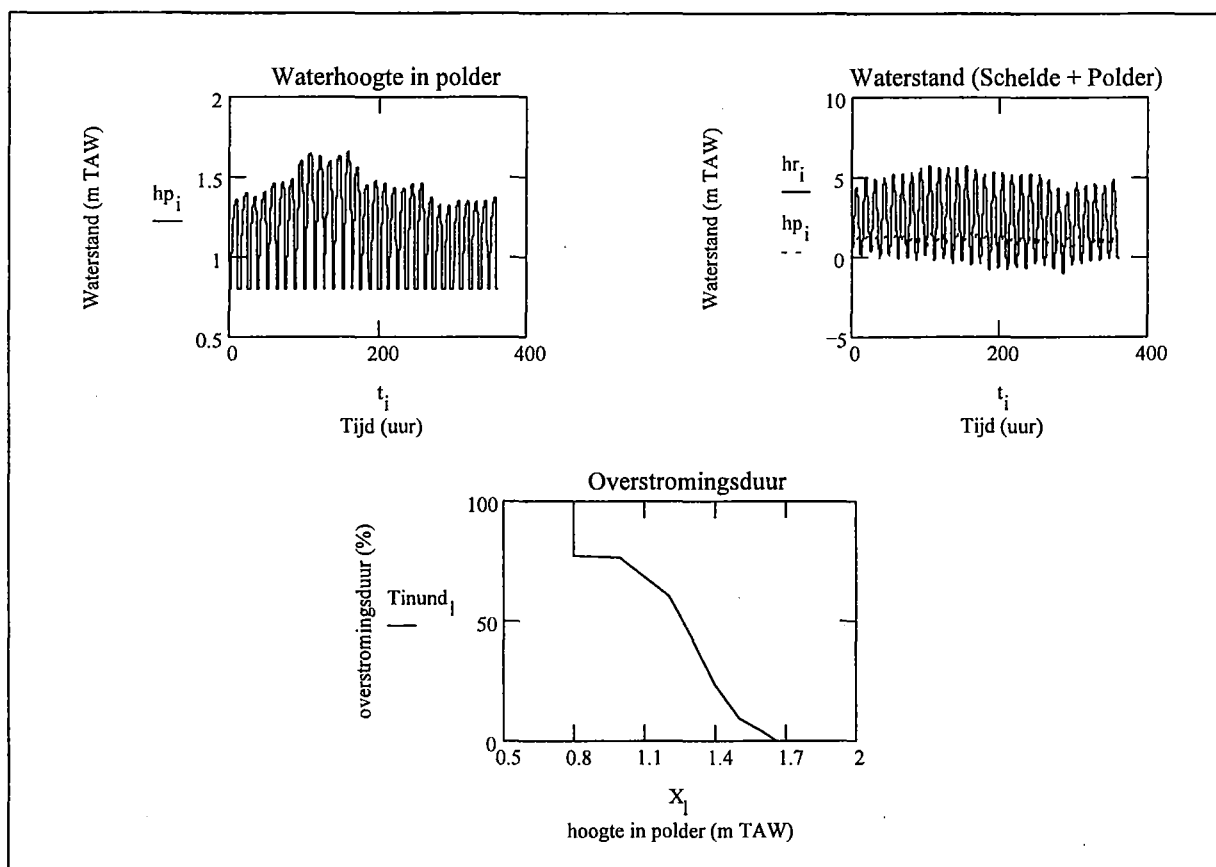
Voor de parameters voor de overloofdijk wordt verwezen naar hoofdstuk III-5.

4.3. Voorbeeld : simulatie gereduceerd getij in periode 1-15 maart 1996

In figuur ^{VI-3}5.4. wordt een voorbeeld gegeven van de simulatieresultaten voor de periode van 1 tot 15 maart 1996, indien op dat moment reeds een gecontroleerd gereduceerd getij in de polder van Kruibeke werkzaam zou zijn geweest.

De uiterste hoogwaterstanden in de Schelde die gedurende deze periode optraden waren respectievelijk 4.07 m TAW (laagste waarde) en 5.67 m TAW (hoogste waarde).

In de polder treedt een duidelijke variatie qua overstromingsduur op voor de verschillende hoogtes in de polder binnen het bereik 1.1-1.6 m TAW. Het maximum waterpeil in de polder blijft onder 1.7 m TAW. Bij elke laagtijperiode blijkt een volledige ontwatering van de polder op te treden.



Figuur VI-3 : Berekening gereduceerd getij - periode 1 - 15 maart 1996

4.4. Voorbeeld : simulatie stormtij augustus '96

Voor het gecontroleerd overstromingsgebied Kruikeke-Bazel-Rupelmonde is de hoogte van de geplande overlooptdijk vastgesteld op 6.80 m TAW (VANWIJCK, 1997). Bij waterstanden in de trivier hoger dan deze hoogte zal water via de overstromingsdijk de polder instromen. Analyse van de hoogwaters opgetreden in 1996 levert 4 waarden op hoger dan 6.80 m TAW, 3 opeenvolgende rond 29 augustus '96 (7.05, 7.10 en 6.81 m TAW), en één geïsoleerde op 31 oktober '96 (6.87 m TAW). Vooral de periode rond eind augustus is belangwekkend voor de analyse van de werking van het overstromingsgebied. Tabel VI-2 geeft een overzicht van de opeenvolgende hoog- en laagwaterstanden in de Schelde ter hoogte van Hemiksem, in de relevante periode, met bijgevoegd de in de simulatie veronderstelde tijdstippen waarop deze uiterste waterstanden optraden.

Datum		29/08				30/08			31/08
Rel. tijd (uur)	0	6.21	12.4	18.6	24.8	31.0	37.3	43.5	49.7
Waterstand (m TAW)	-0.18	7.05	0.96	7.10	0.57	6.81	0.33	6.55	-0.27

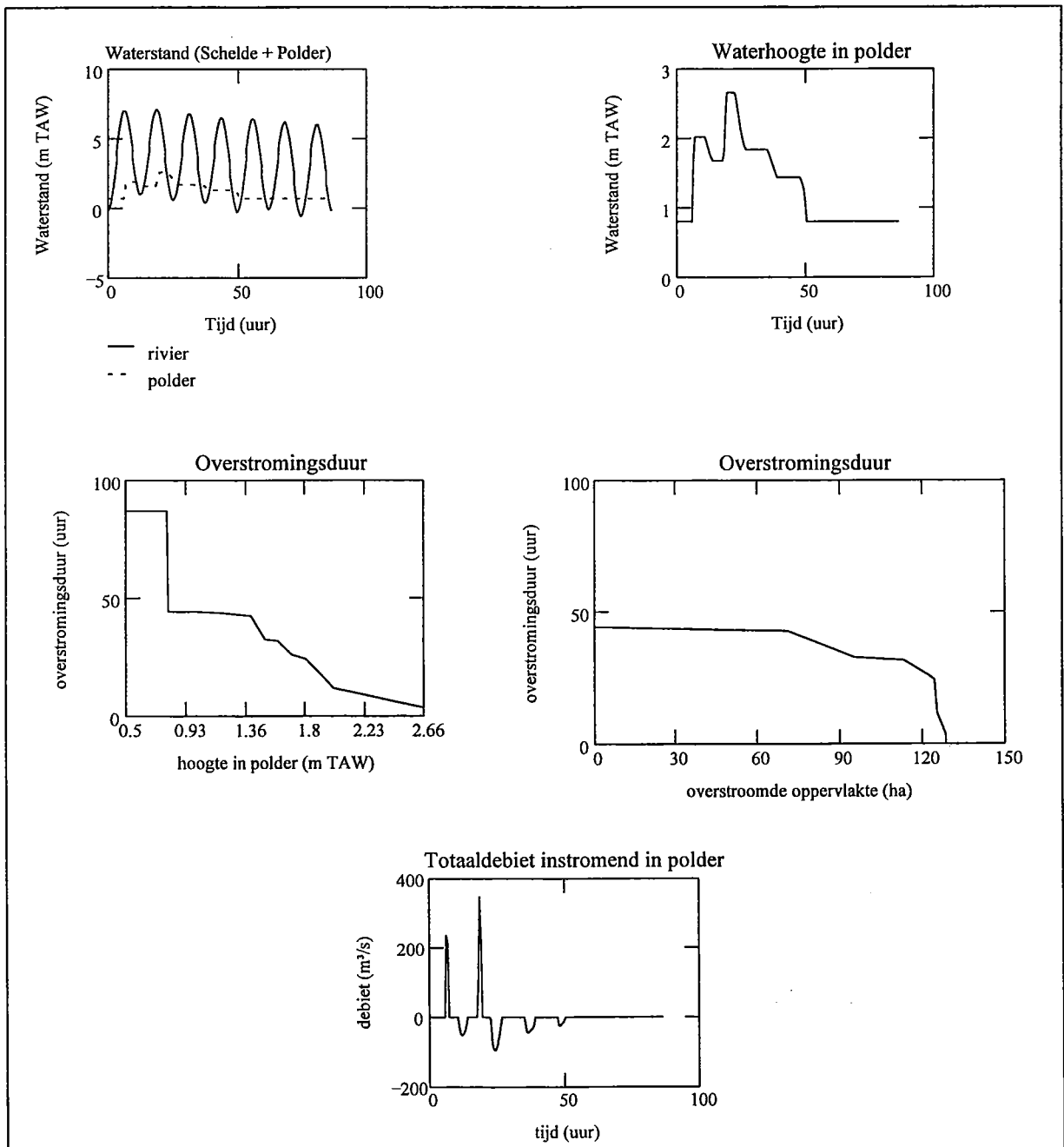
Datum	31/08				1/09		
Rel. tijd (uur)	49.7	55.9	62.1	68.3	74.5	80.7	86.9
Waterstand (m TAW)	-0.27	6.44	-0.08	6.18	-0.58	6	-0.31

Tabel VI-2 : uiterste waterstanden Schelde te Hemiksem, eind augustus '96

De modellering van de stroming via de overstromdijk heeft slechts een beperkte nauwkeurigheid. Van zodra water via de overstromdijk de polder instroomt zal dit een belangrijk indeukingseffect veroorzaken op het getij in de rivier. Dit effect wordt hier geheel verwaarloosd. Anderszijds zijn ook de gekozen stromingscoëfficiënten onzeker. Vooral de waarde van de overlaatcoëfficiënt C_{vl} heeft een grote invloed op het berekende getij. De berekeningsresultaten moeten dus met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden.

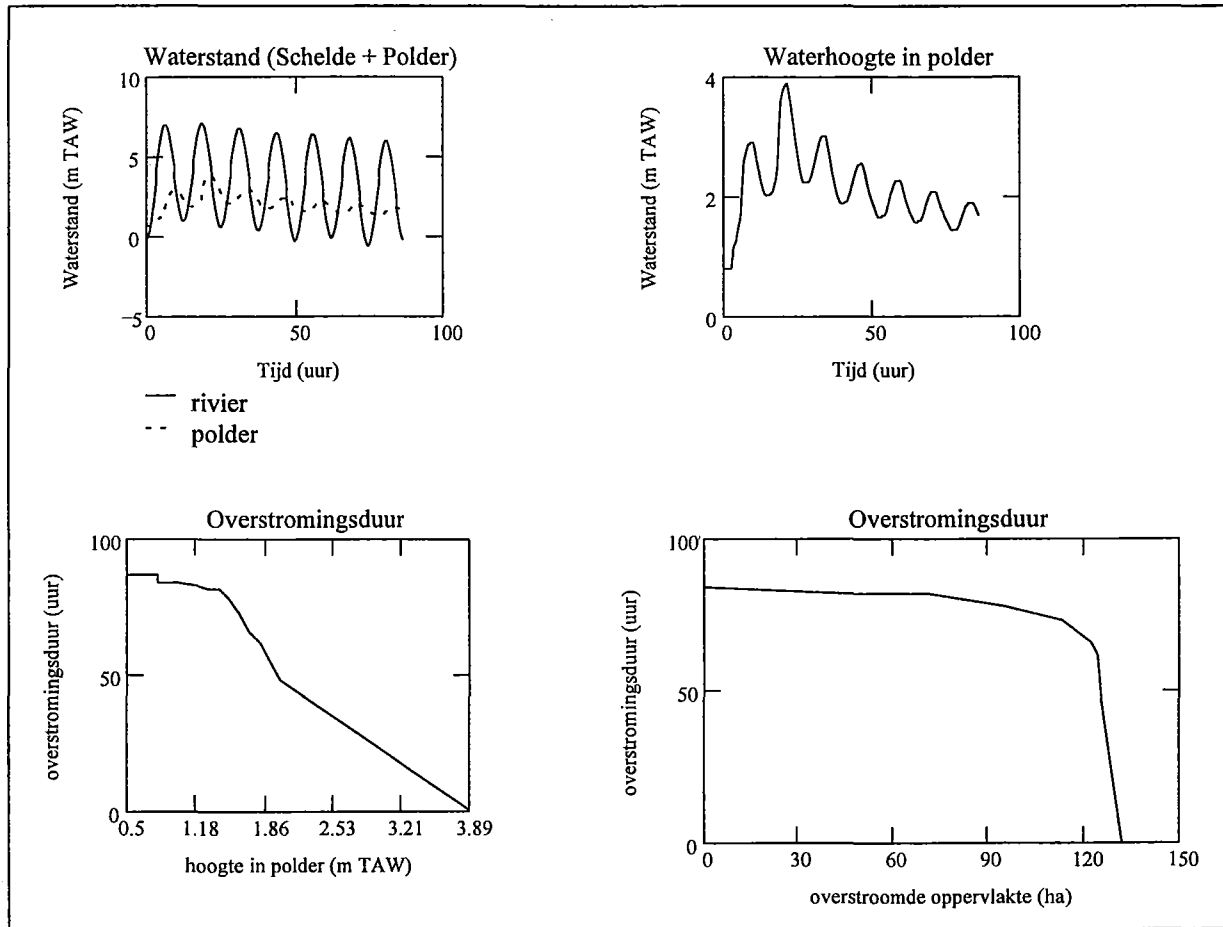
In een eerste simulatie wordt ervan uitgegaan dat de inwateringsluizen gesloten blijven, zodat water enkel via de overlooptdijk de polder kan binnenkomen (In drie opeenvolgende cycli gebeurt dit). De uitwateringsluizen werken wel op de normale manier. De sluisparameters voor de uitwateringsluis werden reeds in tabel VI-1 aangegeven.

Figuur VI-4 stelt de voornaamste berekeningsresultaten voor deze simulatie in grafiekvorm voor.



figuur VI-4 Simulatie stormtij augustus '96, inwateringsluizen gesloten

Figuur VI-5 geeft de berekeningsresultaten voor dezelfde omstandigheden, maar met de inwateringssluizen geopend. Het is evident dat dit tot hogere waterstanden in de polder leidt. Dat blijkt ook uit de berekeningen.



figuur VI-5 : simulatie stormtij augustus '96, met open inwateringssluizen

Tabel VI-3 en tabel VI-4 geven de resulterende overstromingsduur, voor de voorgaande simulaties weer, voor verschillende hoogtes in de polder.

Hoogte m TAW	Overstroomde Oppervlakte Ha	Overstromings- duur Uur
0.5	0.0075	87
0.8	0.01	87
0.8	0.01	44
1	0.01	44
1.2	21.48	43.5
1.3	45.92	43
1.4	71.11	42.5
1.5	95.17	32.5
1.6	113.3	31.5
1.7	122.6	26
1.8	124.4	24
2	125.7	11.5
2.66	128.6	3.5
> 2.66	128.6	0

tabel VI-3: resultaten simulatie stormtij augustus '96, inwateringsluis gesloten

Hoogte m TAW	Overstroomde Oppervlakte ha	Overstromings- duur Uur
0.5	7.5E-3	87
0.8	0.01	87
0.8	0.01	84
1	0.01	84
1.2	21.48	83
1.3	45.92	82
1.4	71.11	82
1.5	95.17	78
1.6	113.3	73
1.7	122.6	66
1.8	124.4	61.5
2	125.7	48
3.89	132.15	0.5
> 3.89	132.15	0

tabel VI-4: resultaten simulatie stormtij augustus '96, inwateringsluis open

Met de inwateringssluizen permanent open wordt de bereikte overstromingshoogte gevoelig meer, ook de ontwatering vertraagt. Na 4 dagen is de polder nog niet volledig ontwaterd.

4.5. Samenvattende resultaten simulatie volledig jaar '96

Met de sluisparameters uit tabel V-1 en de parameters voor de overloopdijk uit hoofdstuk III-5 is op basis van de getijgegevens van 1996 voor het volledige jaar 1996 doorgerekend, wat het getijregime in de polder zou geweest zijn, moest het ggg op dat moment reeds gerealiseerd zijn geweest. Bij deze simulatie wordt ervan uitgegaan dat de inwateringsluis gedurende gans het jaar op dezelfde manier blijft werken, dus niet gesloten wordt bij naderend stormtij.

Tabel VI-5 geeft van het globale jaar en de verschillende maanden de volgende berekeningsresultaten :

ghw	:	gemiddeld hoog water in de polder, voor relevante tijdsperiode
hhw	:	hoogste waarde hoog water in de polder, voor relevante tijdsperiode
lhw	:	laagste waarde hoog water in de polder, voor relevante tijdsperiode
glw	:	gemiddeld laag water in de polder, voor relevante tijdsperiode
hlw	:	hoogste waarde laag water in de polder, voor relevante tijdsperiode
llw	:	laagste waarde laag water in de polder, voor relevante tijdsperiode

1996	hoogwater			laagwater		
	ghw	hhw	lhw	glw	hlw	llw
Januari	1,45	1,71	1,33	0,83	1,31	0,80
Februari	1,52	2,15	1,34	0,89	1,58	0,80
Maart	1,50	1,79	1,32	0,86	1,24	0,80
April	1,52	1,72	1,35	0,85	1,23	0,80
Mei	1,55	1,96	1,36	0,89	1,45	0,80
Juni	1,55	1,74	1,37	0,90	1,33	0,80
Juli	1,55	1,80	1,38	0,91	1,37	0,80
Augustus	1,66	3,89	1,37	0,97	2,18	0,80
September	1,58	2,13	1,36	0,95	1,62	0,80
Oktober	1,57	2,57	1,35	0,91	1,81	0,80
November	1,69	2,09	1,38	1,15	1,59	0,80
December	1,53	1,87	1,36	0,90	1,56	0,80
Jaar	1,56	3,89	1,32	0,92	2,18	0,80

tabel VI-5 : berekeningsresultaten uiterste waterstanden in polder, simulatie 1996

Voor augustus en oktober worden hoge waarden voor de hoogwaterstand in de polder bereikt, deze maanden zijn ook de maanden waarbij extreme hoogwaterstanden in de Schelde optraden. De hoge laagwaterstanden in augustus, september en oktober zijn eveneens de resultante van dergelijke stormgetijden.

Toch valt op dat ook in de andere maanden hoge hoogwaterstanden en laagwaterstanden worden bereikt (vb. Februari : maximum hoogwater 2.15, maximum laagwater 1.58) hoewel hier geen water via de overstroombijk de polder binnenkomt. Via de inwateringssluizen komt echter ook al een aanzienlijke hoeveelheid water binnen tijdens één springtij met verhoogde hoogwaterstanden. Dit wordt mee veroorzaakt door de grote afmetingen van de hoge inwateringssluis. Het debiet door deze inwateringssluis wordt aanzienlijk groter dan het ontwerpdebiet (uit de gemiddeld getij berekeningen), als de hoogwaterstand in de Schelde ook hoger wordt dan bij de ontwerpberekeningen. Deze gevoeligheid aan de variatie van de hoogwaterstanden in de Schelde kan verminderd worden door het drempelniveau van de hoge inwateringssluis lager te kiezen. Uiteraard vermindert dit de variatie wat betreft springtij- doottijregime. Een andere mogelijke maatregel is het beperken van de totale hoeveelheid water die de polder binnenkomt, door de sluisen kleinere afmetingen te geven. Dit vermindert de amplitude van het getijregime in de polder.

Tabel VI-6 en tabel VI-7 geeft een beeld van de frequentie van voorkomen van 'uitzonderlijke' getijden in de polder.

Hoogwaterstanden in de polder lager dan bepaald waterpeil, simulatie 1996

Waterpeil (m TAW)	Frequentie van voorkomen	Cumulatief %
1,2	0	,00%
1,3	0	,00%
1,4	128	18,26%
1,5	194	45,93%
1,6	156	68,19%
1,7	111	84,02%
1,8	59	92,44%
2	37	97,72%
2,4	11	99,29%
2,8	2	99,57%
3,2	2	99,86%
hoger	1	100,00%

Tabel VI-6 : Frequentiedistributie hoogwaterstanden in de polder , simulatie 1996

Laagwaterstanden in de polder lager of gelijk aan bepaald waterpeil, simulatie 1996

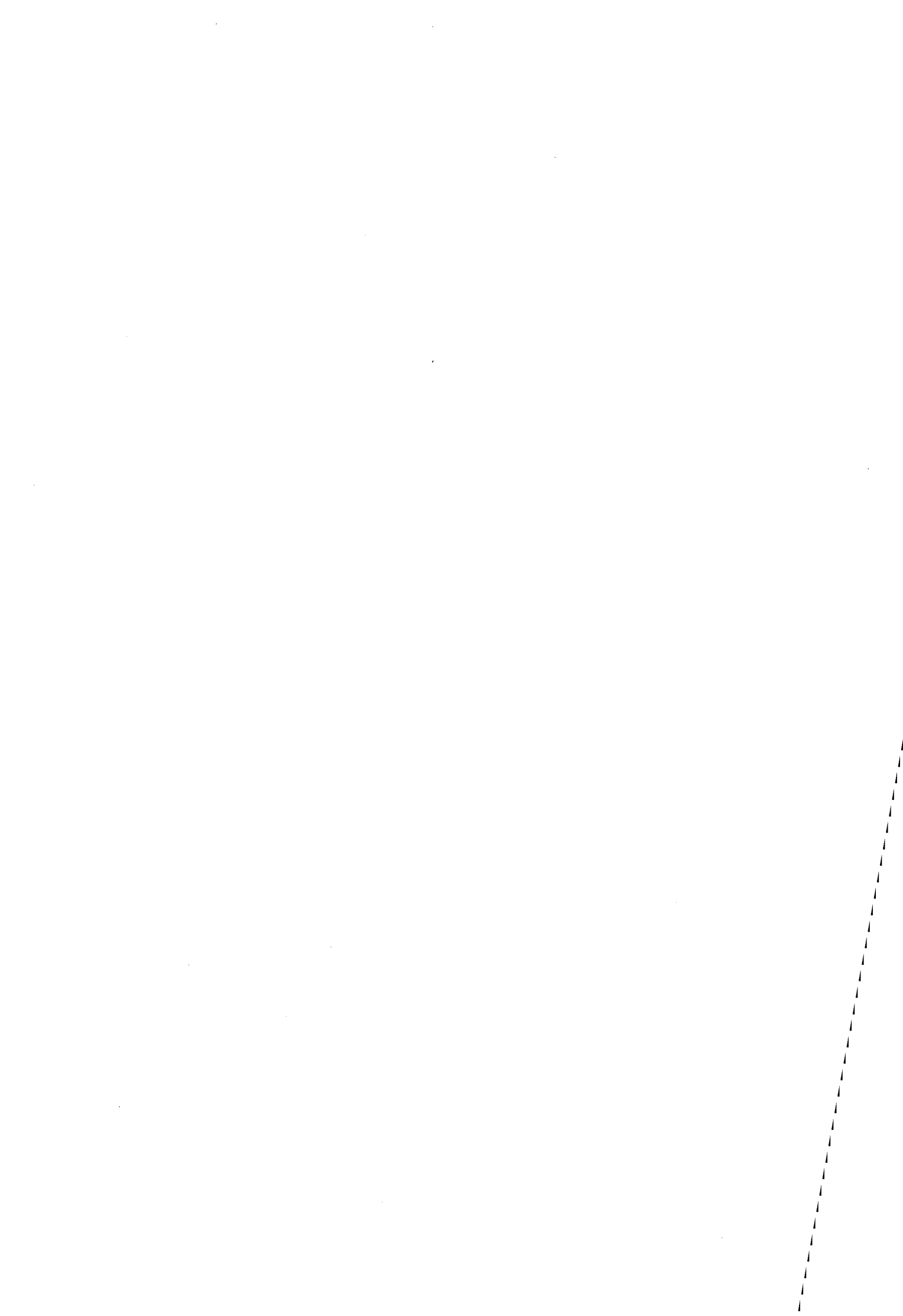
Waterpeil	Frequentie van voorkomen	Cumulatief %
0,8	535	76,32%
1	0	76,32%
1,2	46	82,88%
1,3	50	90,01%
1,4	29	94,15%
1,5	20	97,00%
1,6	14	99,00%
1,8	3	99,43%
2	2	99,71%
2,4	2	100,00%
2,8	0	100,00%
hoger	0	100,00%

Tabel VI-7 : Frequentiedistributie laagwaterstanden in de polder , simulatie 1996

4.6. Conclusie

De berekeningen leiden tot grote variaties wat betreft getij-amplitude in de polder. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de hoge waarde van drempelniveau en oppervlakte van de hoge inwateringssluis. Een lagere waarde van drempelniveau of oppervlakte verdient de voorkeur, al wordt hiermee enigszins afbreuk gedaan aan de springtij-doodtijcyclus.

Het ontwerp van een sluisconfiguratie blijft voorlopig een trial and error-proces. In volgend hoofdstuk zal een methodiek worden ontwikkeld die de keuze van de sluisparameters op een meer systematische manier aanpakt.



VII - Optimalisatie keuze sluisparameters - ontwerpkenmerken

1. Uitwateringssluizen

1.1 Probleem : moeilijke ontwatering

De parameters van de uitwateringssluizen zijn vooral bepalend voor de ontwateringsmogelijkheden voor de polder.

In het huidige ontwerp van het gecontroleerd overstromingsgebied Kruibeke-Bazel-Rupelmonde worden voor het compartiment Kruibeke 4 sluiscomplexen voorzien, zoals beschreven in hoofdstuk II-4. In de gekozen configuratie is een totaal uitstroomoppervlak van 56.16 m² voorzien, waarbij het drempelniveau van de uitwateringssluizen op 0.8 m TAW ligt.

In hoofdstuk V-2 werd aangetoond dat de ontwatering bij de toepassing van een dergelijke configuratie niet evident is. Bij een gemiddeld getij in de rivier is het maximaal waterpeil dat toelaatbaar is in de polder om volledige ontwatering mogelijk te maken 1.62 m TAW (voor een debietscoëfficiënt $m=0.5$). Dit moet echter verminderd worden met een noodzakelijk in acht te nemen veiligheidsfactor.

Wil men bovendien ook bij verhoogde waterstanden in de rivier een volledige ontwatering mogelijk maken, en een betekenisvolle springtij-doodtij variatie introduceren, dan zal men voor het maximaal toepasbaar waterpeil bij gemiddeld getij een nog lagere waarde moeten hanteren. Het minimum bodempeil in de polder van Kruibeke bedraagt ca. 1.2 m TAW. Met de gekozen configuratie kan dus slechts een minieme getij-amplitude toegelaten worden in het gebied.

Om een grotere speelruimte bij de introductie van dit gereduceerd getij te verkrijgen, verdient het aanbeveling de uitwateringssluizenconfiguratie aan te passen zodat de ontwatering vergemakkelijkt. Twee mogelijkheden staan ter beschikking : een verlaging van het drempelniveau van de uitwateringssluizen en een vergroting van de oppervlakte (het aantal) van de uitwateringssluizen. Van beide ingrepen wordt hier een gevoeligheidsanalyse gemaakt. Tabel VII-1 toont de sluisparameters die werden gebruikt voor deze gevoeligheidsanalyse.

Sluisparameters	Eenheid	Uitwateringssluizen	
		Gevoeligheidsanalyse 'Verlaging van het drempelniveau'	Gevoeligheidsanalyse 'Vergroting van de sluisoppervlakte'
Drempelniveau	(m TAW)	Variabel	0.8
Hoogte	(m)	2 x 0.9	2 x 0.9
Breedte	(m)	1.3	1.3
Aantal		2 x 24	Variabel
Oppervlakte	(m ²)	56.2	Variabel
Debietscoëfficiënt		0.5	0.5

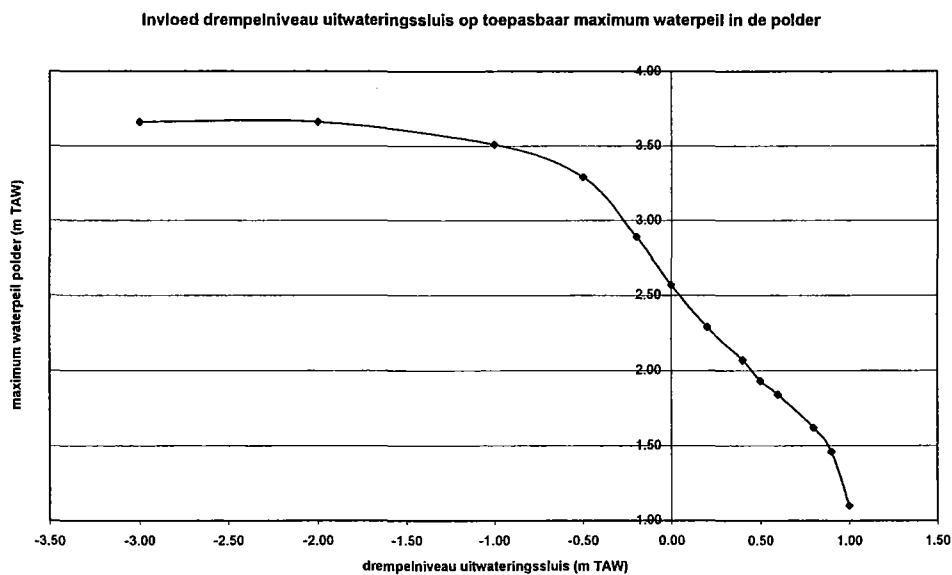
Tabel VII-1 : sluisparameters uitwateringssluizen

1.2 Verlaging van het drempelniveau

In eerste instantie wordt het effect nagegaan van een verlaging van het drempelniveau bij behoud van dezelfde sluisafmetingen. Voor verschillende drempelniveaus werd nagegaan tot welk waterpeil water in de polder mag ingelaten worden om nog volledige ontwatering mogelijk te maken, voor een gemiddeld tij in de rivier (sinusmodel). Figuur VII-1 toont de resultaten van deze gevoeligheidsanalyse. Tabel VII-2 toont dezelfde resultaten in tabelvorm.

Drempelniveau (m TAW)	1.00	0.90	0.80	0.60	0.50	0.40	0.20	0.00	-0.20	-0.50	-1.00	-2.00	-3.00
Waterpeil (m TAW)	1.10	1.46	1.62	1.84	1.93	2.07	2.29	2.57	2.89	3.29	3.51	3.66	3.66

Tabel VII-2 : invloed drempelniveau uitwateringssluis op toepasbaar maximum waterpeil in de polder (voor gegeven sluisafmetingen)



Figuur VII-1 : invloed drempelniveau uitwateringssluis op toepasbaar maximum waterpeil in polder (voor gegeven sluisafmetingen)

Uit de berekeningsresultaten blijkt dat een verlaging van het drempelniveau van de uitwateringssluizen leidt tot een gevoelige toename van de hoeveelheid water die de polder mag instromen tijdens de hoogwaterperiode, terwijl toch een volledige ontwatering in de laagwaterperiode mogelijk blijft. Het maximum waterpeil in de polder dat nog volledige ontwatering toelaat neemt toe. Bij toepassing van een drempelniveau van 0.5 m TAW voor de uitwateringssluis blijkt volledige ontwatering van de polder mogelijk voor een maximum waterpeil in de polder van 1.9 m TAW (terwijl bij een drempelniveau van 0.8 m TAW het maximum waterpeil 1.62 m TAW bedraagt). Een verdere verlaging van het drempelniveau van de uitwateringssluis leidt tot een bijkomende verhoging van het maximum toelaatbaar waterpeil in de polder. Hierdoor wordt ook een grotere getij-amplitude mogelijk in de polder.

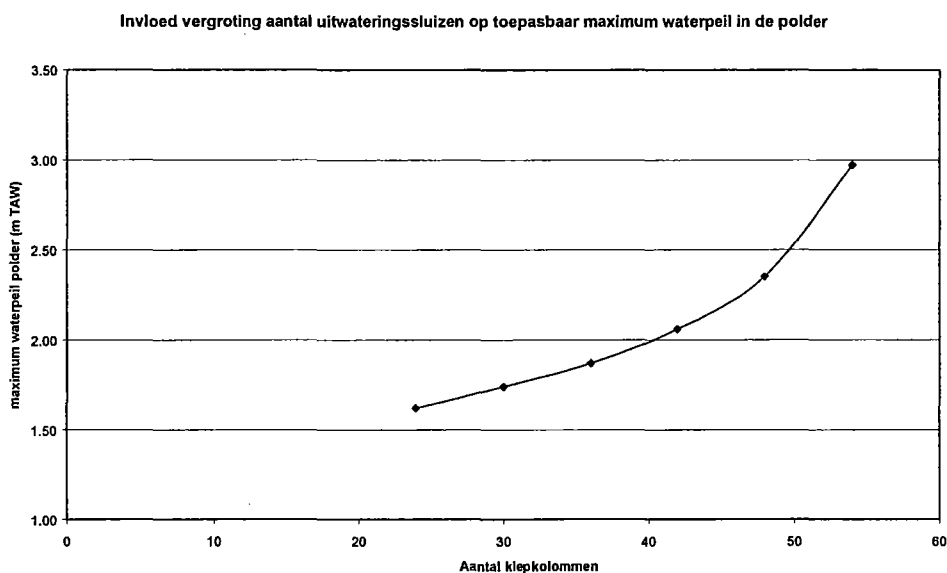
Toepassing van een te laag drempelniveau stuit op praktische bezwaren. Aanslibbing vanuit de rivier kan immers op lange termijn de werking van de uitwateringssluis in het gedrang brengen. Onderzoek op het terrein van de mogelijkheden tot verlaging van het drempelniveau van de uitwateringssluis is noodzakelijk.

1.3 Vergroting van de sluisoppervlakte

Een tweede mogelijkheid voor een verbeterde ontwatering is de vergroting van de oppervlakte van de uitwateringssluizen. Dit kan bijvoorbeeld verkregen worden door het aantal uitwateringssluiscomplexen te verhogen, of door het aantal sluiszoekers per sluiscomplex uit te breiden. De technische aspecten van dit verhaal worden in voorliggende studie niet behandeld, maar om de gedachte te vestigen wordt hier het effect berekend van een horizontale uitbreiding van het aantal uitwateringszoekers- en kleppen in de dijk, uitgaande van de configuratie voorgesteld in hoofdstuk II-4.

In deze configuratie werden 4 sluiscomplexen voorzien, waarin sluiszoekers zijn afgesloten met uitwateringskleppen op 2 niveaus. Voor elk sluiscomplex zijn er 6 uitwateringskleppen aanwezig per niveau. Om de terminologie te vereenvoudigen zal voor het vervolg de term 'klepkolom' gebruikt worden. Onder deze benaming is de combinatie vervat van 2 uitwateringskleppen boven elkaar, in overeenstemming met de afmetingen van de huidig geplande configuratie : de breedte van beide uitwateringskleppen bedraagt 1.3 m en de hoogte 0.9 m, en de bovenste klep is ingebouwd 0.4 m boven de bovenrand van de onderste klep. Een standaard sluiscomplex telt dus 6 klepkolommen. Volgens de bepalingen van hoofdstuk II-4 zijn in het huidige ontwerp 24 klepkolommen gepland.

Voor een gemiddeld tij in de rivier (sinusmodel), werd voor een verschillend aantal klepkolommen nagegaan tot welk waterpeil water in de polder mag ingelaten worden om nog volledige ontwatering mogelijk te maken. Figuur VII-2 toont de resultaten van deze gevoeligheidsanalyse. Tabel VII-3 toont dezelfde resultaten in tabelvorm.



Figuur VII-2 : invloed aantal klepkolommen op toepasbaar maximum waterpeil in polder (voor gegeven drempelniveau en sluisstype)

Aantal klepkolommen	24	30	36	42	48	54
Oppervlakte (m ²)	56.16	70.20	84.24	98.28	112.32	126.36
Waterpeil (m TAW)	1.62	1.74	1.87	2.06	2.35	2.97

Tabel VII-3 : invloed oppervlakte uitwateringssluizen op toepasbaar maximum waterpeil in de polder (voor gegeven drempelniveau en sluisstype)

Ook hier blijkt een betekenisvolle winst mogelijk. Door toepassing van 5 sluiscomplexen i.p.v. 4 (30 klepkolommen i.p.v. 24; 70,2 m² sluisoppervlak i.p.v. 56,16 m²) neemt het toepasbaar waterpeil reeds toe tot 1.72 m TAW.

Praktische hindernissen voor de uitbreiding van het aantal sluisen zijn de kostprijs en de beperkte beschikbaarheid van goede locaties in de dijk voor de sluis. Een locatie is niet aan te bevelen voor de inbouw van een sluis als aan de rivierzijde van de dijk een preferentiële aanslibbingszone bestaat, of als een breed schor zich hier ontwikkeld heeft. Onderzoek op het terrein van de mogelijkheid tot de uitbreiding van het aantal uitwateringssluizen is noodzakelijk.

2. Inwateringssluiss

2.1. Inleiding

De afmetingen en het drempelniveau van de inwateringssluiss zullen bepalen hoeveel water per getij de polder instroomt. Het drempelniveau van de inwateringssluiss zal bovendien een aantal andere eigenschappen van het gereduceerd getij in de polder bepalen (bijvoorbeeld de springtij-doodtijvariatie), zoals in hoofdstuk V werd aangetoond.

Bij een bepaalde keuze van het drempelniveau van de inwateringssluiss hangt de hoeveelheid water die binnenkomt in de polder per getij af van de afmetingen van de sluis. In paragraaf 2.2. wordt voor een gemiddeld getij in de rivier (sinusmodel) het verband sluisoppervlakte-waterpeil in de polder berekend voor een sluis van het type dat in hoofdstuk II-4 werd beschreven, ingebouwd op een drempelniveau 2 m TAW. Enkel de oppervlakte van de inwateringssluiss wordt gevarieerd en voor elke keuze van de oppervlakte wordt gekeken welke overeenkomstige hoeveelheid water de polder binnenkomt, en wordt het hierbij horend maximum waterpeil in de polder bepaald.

Nu gelden deze resultaten enkel voor deze concrete configuratie van de inwateringssluiss. Afhankelijk van vorm, stromingskarakteristieken en drempelniveau zal een andere oppervlakte aan inwateringssluizen een zelfde volume water doen instromen in de polder. Reeds in vorige hoofdstukken werd geïllustreerd dat de oppervlakte voor sluisen met hoge drempelniveaus veel groter is dan voor sluisen met lage drempelniveaus. Paragraaf 2.3. zal een kwantitatief beeld geven van dit verband tussen drempelniveau en sluisoppervlakte.

In vorige hoofdstukken werd geïllustreerd dat om een merkbare springtij-doodtij cyclus te krijgen sluisen hoog in de dijk moeten geplaatst worden. Paragraaf 2.4. zal een kwantitatief beeld geven van het effect van een bepaalde keuze van het drempelniveau op de springtij-doodtij-variatie.

De karakteristieken berekend in paragraaf 2-3 en 2.4. worden uitgedrukt in dimensieloze vorm. Gecombineerd met de resultaten van paragraaf 2.2. kan nu voor elke sluisconfiguratie bepaald worden wat de hoeveelheid water is die er in de hoogwaterperiode zal binnenkomen bij gemiddeld tij, en in hoeverre deze hoeveelheid zal veranderen bij spring- en dood tij. Dit wordt in paragraaf 2.5. geïllustreerd. Omgekeerd kunnen deze karakteristieke curven ook gebruikt worden om vertrekkend van een aantal eisen waaraan het gereduceerd getij in de polder moet voldoen te komen tot een optimaal sluisontwerp. In paragraaf 2.6. worden deze mogelijkheden geïllustreerd aan de hand van een concreet voorbeeld.

Bij de hiernavolgende berekeningen wordt steeds dezelfde typische afmeting voor één inwateringssluiss aangenomen. Tabel VII-4 vat deze sluisparameters samen.

Sluisparameter	Eenheid	Waarde
Drempelniveau	(m TAW)	Variabel
Hoogte	(m)	0.9
Breedte	(m)	1.3
Aantal		Variabel
Oppervlakte	(m ²)	Variabel
Debietscoëfficiënt		0.6

Tabel VII-4 : sluisparameters inwateringssluiss

2.2. Verband sluisoppervlakte - hoeveelheid instromend water bij gemiddeld getij

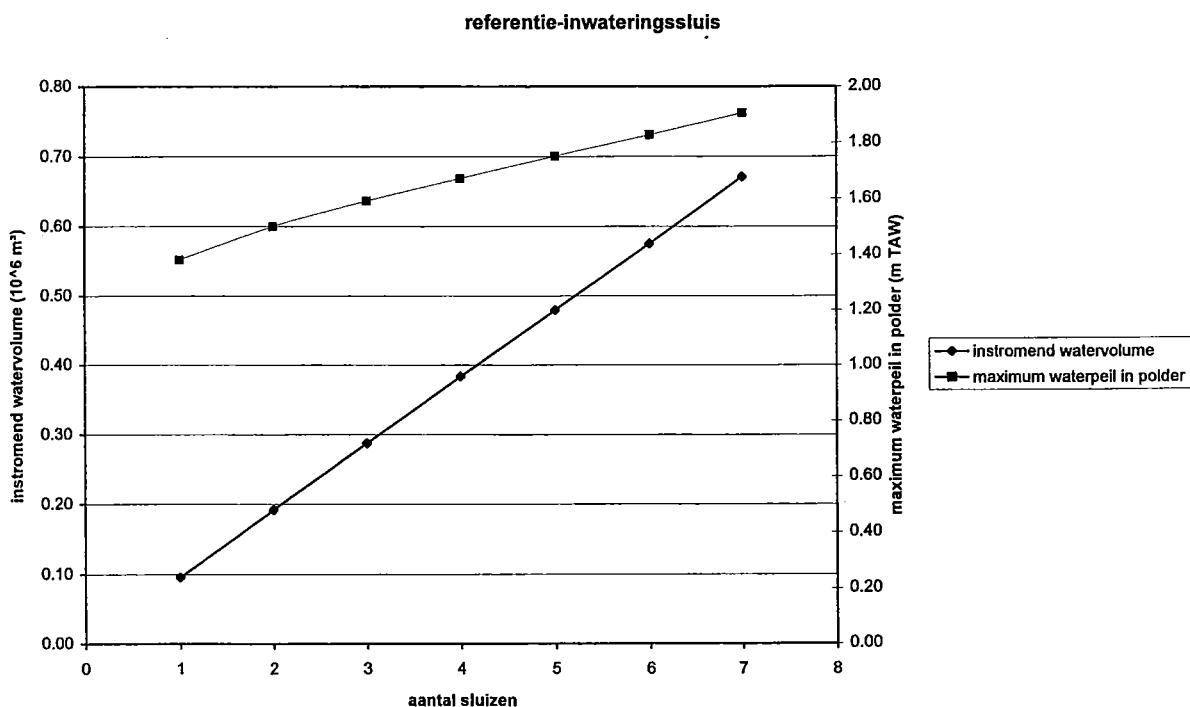
Bij de hiernavolgende berekeningen wordt uitgegaan van een inwateringssluis volgens de specificaties van tabel VII-4, en wordt bovendien gekozen voor een vast drempelniveau van 2 m TAW.

De hoeveelheid water die binnenkomt in de polder per getij hangt af van de afmetingen van de sluis. Voor een gemiddeld getij in de rivier (sinusmodel) wordt nu berekend wat het verband is tussen 'sluisoppervlakte' en 'maximum waterpeil in de polder'. Enkel de oppervlakte van de inwateringssluis wordt gevarieerd (het drempelniveau ligt vast op 2 m TAW). Voor elke keuze van de sluisoppervlakte wordt gekeken welke overeenkomstige hoeveelheid water de polder binnenkomt. Indien de uitwateringssluizen zodanig zijn geconcipieerd dat de polder in de laagwaterfaze volledig kan ontwateren, zal de waterhoeveelheid die na de hoogwaterfaze de polder is ingestroomd leiden tot het maximum waterpeil in de polder (bij gemiddeld getij in de rivier).

Tabel VII-5 geeft de parameters van de inwateringssluis weer. Tabel VII-6 en figuur VII-3 stellen het berekende verband voor tussen sluisoppervlakte en hoeveelheid instromend water, resp. waterpeil in de polder.

Sluisparameters	Eenheid	Waarde
Drempelniveau	(m TAW)	2
Hoogte	(m)	0.9
Breedte	(m)	1.3
Aantal		Variabel
Oppervlakte	(m ²)	Variabel
Debietscoëfficiënt		0.6

Tabel VII-5 : sluisparameters referentie-inwateringssluis



Figuur VII-3 : verband sluisoppervlakte - instromend watervolume voor referentiesluis op drempelniveau 2 m TAW

Inwateringssluis-oppervlakte (m²)	1.17	2.34	3.51	4.68	5.85	7.02	8.19
Aantal inwateringssluizen (0.9 x 1.3 m)	1	2	3	4	5	6	7
Totaal instromend watervolume (10⁶ m³)	0.10	0.19	0.29	0.38	0.48	0.58	0.67
Maximum waterpeil in polder (m TAW)	1.38	1.50	1.59	1.67	1.75	1.83	1.90

Tabel VII-6 : verband sluisoppervlakte-instromend watervolume voor referentiesluis op drempelniveau 2 m TAW

De hoeveelheid water die binnenkomt verandert ongeveer lineair met de toegepaste sluisoppervlakte. Indien het water binnen de polder geen hinderende invloed uitoefent op de instroming is dit zelfs een perfect lineair verband. Dit is het geval als het waterpeil in de polder onder het drempelniveau van de inwateringssluis blijft. Het maximum waterpeil in de polder neemt bijna rechtevenredig toe met de toegepaste sluisoppervlakte.

Met behulp van deze tabel of grafiek kan geschat worden wat de nodige sluisoppervlakte is om een bepaald maximum waterpeil in de polder te realiseren, bij toepassing van een sluisconfiguratie op drempelniveau 2 m TAW. Omgekeerd kan ook bepaald worden welke sluisoppervlakte nodig is om een bepaald maximum waterpeil in de polder te kunnen verkrijgen voor een gemiddeld getij (sinusmodel) in de rivier.

2.3. Verband sluisoppervlakte -drempelniveau

In paragraaf 2.2. werd het verband afgeleid tussen sluisoppervlakte en hoeveelheid instromend water voor een sluis op drempelniveau 2 m TAW. Men kan nu deze berekening herhalen voor andere drempelniveaus en voor elk drempelniveau gelijksoortige grafieken en tabellen genereren. Het is echter mogelijk dezelfde informatie met een beperktere set van grafieken en tabellen te verkrijgen.

Kiest men vooraf het watervolume dat moet binnenstromen in de polder tijdens de hoogwaterperiode, dan kan deze waterhoeveelheid met verschillende combinaties van sluisoppervlakte en drempelniveau worden bekomen.

Voor een bepaald vooraf gekozen watervolume wordt bij verschillende drempelniveaus van de inwateringssluis berekend welke sluisoppervlakte er effectief voor zorgt dat de juiste hoeveelheid water binnenkomt. In figuur VII-4 wordt dit berekende functioneel verband tussen sluisoppervlakte en drempelniveau grafisch weergegeven.

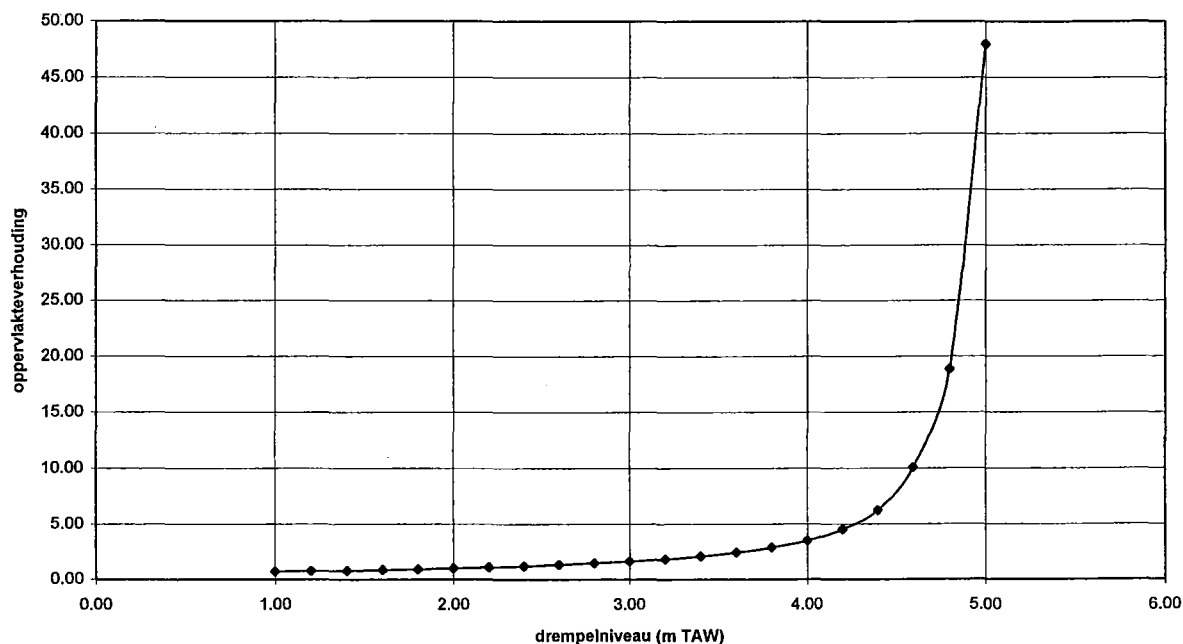
De absolute waarden voor de sluisoppervlakte zijn uiteraard afhankelijk van de keuze van het vooraf gekozen instromend watervolume. Indien het water in de polder geen hinderende invloed uitoefent op de instroming verandert de binnenstromende hoeveelheid water rechtevenredig met de sluisoppervlakte. Deze evenredigheidsfactor blijft dezelfde voor alle drempelniveaus. De vorm van de curve die het verband tussen sluisoppervlakte en drempelniveau weergeeft verandert dus niet als een ander instromend watervolume wordt gekozen, enkel de absolute waarde van de sluisoppervlakte zal veranderen. In figuur VII-4 en tabel VII-7 zijn de oppervlaktes weergegeven in dimensieloze vorm : de berekende sluisoppervlakte bij een bepaald drempelniveau wordt gedeeld door de sluisoppervlakte berekend bij een referentiedrempelniveau. Het voordeel van deze voorstellingswijze is dat de resultaten onafhankelijk worden van het vooraf gekozen instromend watervolume.

Als referentiedrempelniveau is hier 2 m TAW gekozen.

Drempelniveau (m TAW)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Oppervlakteverhouding	0.70	1.00	1.63	3.50	47.95

Tabel VII-7 : Inwateringssluis : Afhankelijkheid Sluisoppervlakte van Drempelniveau, voor zelfde totaalinstroming bij gemiddeld getij (referentiedrempelniveau 2 m TAW)

Invloed drempelniveau op oppervlakte inwateringssluizen



Figuur VII-4 : Inwateringssluis : Afhankelijkheid Sluisoppervlakte van Drempelniveau, voor zelfde totaalinstroming bij gemiddeld getij (referentiedrempelniveau : 2 m TAW)

Uit figuur VII-4 valt op dat de nodige sluisoppervlakte vanaf een zekere hoogte van het drempelniveau spectaculair blijkt toe te nemen.

Door combinatie van figuren VII-3 En VII-4 (tabellen VII-6 en VII-7) kan nu voor elke sluisconfiguratie (drempelniveau en inwateringssluis) bepaald worden hoeveel water er binnenkomt, bij gemiddeld getij in de rivier. Omgekeerd kan voor een bepaald gewenst watervolume (of maximum waterpeil in de polder) worden bepaald welke inwateringssluisoppervlakte nodig is bij een bepaald drempelniveau.

2.4. Verband drempelniveau - springtij-doodtij variatie

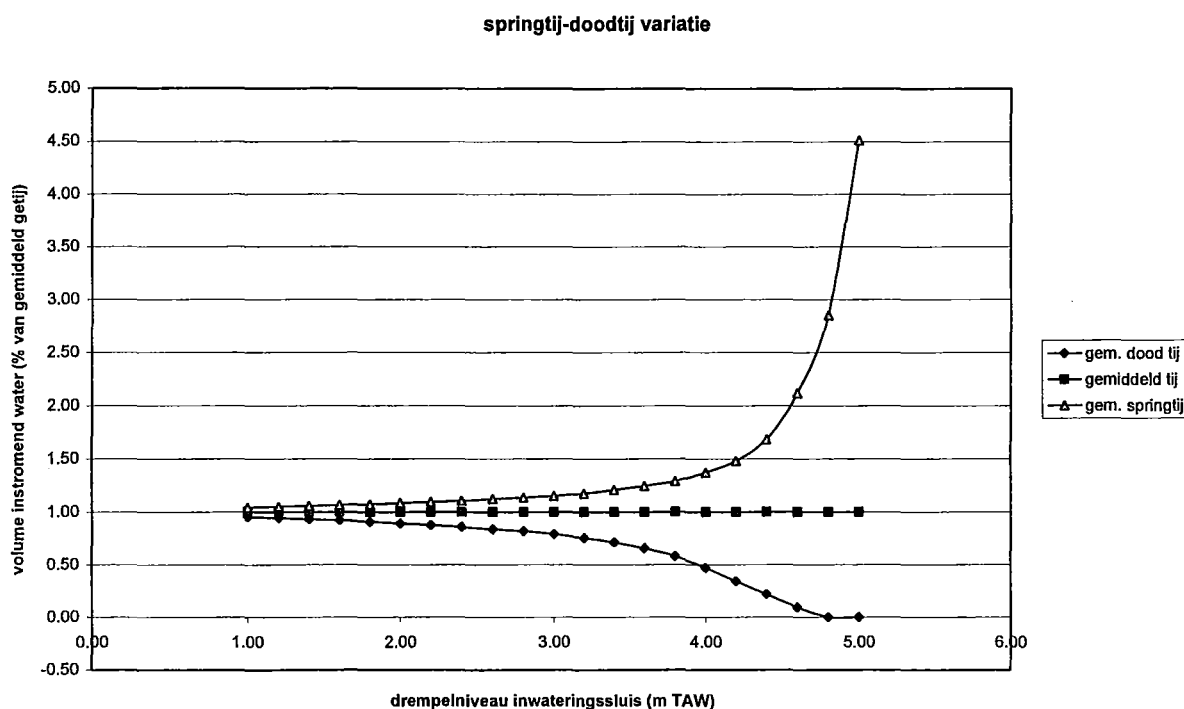
In hoofdstuk V werd reeds geïllustreerd dat sluisen hoog in de dijk aanleiding zullen geven tot een belangrijke springtij-doodtij variatie van het getij in de polder, in tegenstelling tot inwateringssluizen laag in de dijk.

Ook dit kan kwantitatief uitgewerkt worden. Voor dezelfde sluisconfiguratie (oppervlakte en drempelniveau) wordt nu achtereenvolgens berekend wat de binnenkomende waterhoeveelheid is bij dood-, gemiddeld- en springtij (sinusmodel). De veronderstelling uit vorige paragraaf, namelijk dat het instromend water geen hinderende invloed ondervindt van het water dat reeds aanwezig is in de polder, wordt ook hier gemaakt. Door de resultaten uit te drukken in verhouding tot de ingestroomde waterhoeveelheden bij gemiddeld getij wordt een dimensieloze uitdrukking verkregen.

Figuur VII-5 en tabel VII-8 geven het resultaat van deze berekeningen weer voor verschillende drempelniveaus van de inwateringssluis.

Drempelniveau	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Instromend watervolume Verhouding dood/gemiddeld getij	0.95	0.89	0.79	0.47	0.00
Instromend watervolume Verhouding spring/gemiddeld getij	1.04	1.08	1.15	1.37	4.51

Tabel VII-8 : invloed keuze drempelniveau inwateringssluis op springtij-doodtij-cyclus



Figuur VII-5 : invloed keuze drempelniveau inwateringssluis op springtij-doodtij-cyclus

De bevinding uit hoofdstuk V dat bij een toepassing van inwateringssluizen laag in de dijk slechts weinig variatie in de getijhoogte zal optreden, wordt hier bevestigd.

2.5. Toepassing : controleberekening op gegeven sluisconfiguratie

Figuren VII-3, VII-4 en VII-5 (of tabellen VII-6, VII-7 en VII-8) kunnen als hulpmiddel dienen om een gegeven sluisconfiguratie te beoordelen op het te verwachten 'gereduceerd getij'.

Zo kan zowel voor springtij, doodtij als voor gemiddeld getij berekend worden wat de totale hoeveelheid instromend water per getijcyclus bedraagt voor de gekozen sluisconfiguratie (drempelniveau en sluisoppervlakte).

Het drempelniveau van de gegeven sluisconfiguratie kan als ingang gebruikt worden voor figuur VII-4 om te bepalen welke sluisoppervlakte van de sluis op het referentiedrempelniveau 2 m TAW tot dezelfde instromende waterhoeveelheid bij gemiddeld tij leidt. Deze berekende sluisoppervlakte kan dan als ingang gebruikt worden voor figuur VII-3, om te bepalen wat het totaal instromend

watervolume is voor gemiddeld getij. In figuur VII-5 kan aan de hand van het drempelniveau van de gekozen inwateringssluiskonfiguratie gevonden worden hoe de instromende watervolumes bij dood en springtij zich verhouden tot deze berekende waterhoeveelheid bij gemiddeld getij.

Voor combinaties van sluizen met verschillende drempelniveaus kan het totaal instromend watervolume bij gemiddeld- dood- en springtij berekend worden uit de sommatie van de deelvolumina, berekend bij de afzonderlijke sluisconfiguraties.

Omgekeerd kan, op basis van algemene beschouwingen over gewenste overstromingskarakteristieken, een gereduceerd tij vooropgesteld worden en vervolgens met behulp van figuren VII-3, VII-4 en VII-5 het optimaal sluisontwerp bepaald worden om het vooropgesteld gereduceerd getij te realiseren.

2.6. Toepassing : Optimalisatie sluisontwerp

Figuren VII-3, VII-4 en VII-5 (of tabellen VII-6, VII-7 en VII-8) kunnen als hulpmiddel dienen bij een oordeelkundige keuze van sluisparameters voor de realisatie van een gereduceerd getij.

In een optimalisatieprocedure is het van belang op voorhand een aantal criteria vast te leggen waaraan het resultaat zou moeten voldoen, in dit geval zijn dit criteria waaraan het gerealiseerde gereduceerd getij moet voldoen. Uit een studie van de respons van vegetatie op mogelijke getijregimes moet een optimale keuze van een realiseerbaar getij worden gemaakt. Parameters als de overstromingsduur, de overstromingsfrequentie, de overstromingshoogte, de variatie over springtij-doodtij kunnen hierbij als criterium dienen.

Met behulp van figuren VII-3, VII-4 en VII-5 (tabellen VII-6, VII-7 en VII-8) kan dan een sluisconfiguratie worden bepaald die leidt tot een gereduceerd getij dat zo goed mogelijk deze criteria benadert.

Bij wijze van voorbeeld zal in volgende paragraaf een optimale sluisconfiguratie worden bepaald, uitgaande van een aantal basisopties, die hier bij wijze van voorbeeld worden vooropgesteld. Deze basisopties zijn zeker vatbaar voor discussie. De gemaakte keuzes en berekeningen zijn enkel een demonstratie van de mogelijkheden van de ontwikkelde methodiek.

2.7. Berekeningsvoorbeeld

Basisopties

- De uitwateringssluiskonfiguratie van de voorlopige plannen voor het gecontroleerd overstromingsgebied blijft behouden (zie tabel VII-1).
- Bij springtij in de rivier treedt de dubbele hoeveelheid water de polder binnen t.o.v. de hoeveelheid bij gemiddeld getij.
- De hoeveelheid water binnengelaten bij springtij bedraagt 80 % van de maximaal toelaatbare waterhoeveelheid die nog volledige ontwatering toelaat voor de gegeven sluisconfiguratie bij gemiddeld getij.
- 1 inwateringssluis wordt laag in de dijk gesitueerd om de periode van stagnerend water in de polder te beperken, stel dat deze inwateringssluis op niveau 2 m TAW wordt geplaatst.
- Een aantal inwateringssluizen worden hoog in de dijk geplaatst, het aantal en het drempelniveau worden zodanig gekozen dat zo goed mogelijk aan de andere basisopties wordt voldaan.

Berekening sluizen

- Maximaal toelaatbare waterhoeveelheid in polder
 - Voor de gegeven uitwateringssluiskonfiguratie werd in tabellen VII-2 en VII-3 gevonden dat het maximaal toelaatbaar waterpeil in de polder 1.62 m TAW bedraagt. Uit tabel III-3 kan afgeleid worden dat dit overeenkomt met een getijvolume van ca. $0.32 \times 10^6 \text{ m}^3$.
- Instromend watervolume bij springtij
 - 80 % van de maximaal toelaatbare waterhoeveelheid resulteert in een instromende waterhoeveelheid van ca. $0.26 \times 10^6 \text{ m}^3$

- Deze waterhoeveelheid zorgt in de polder volgens tabel III-3 voor een waterpeil van 1.56 m TAW.
- Instromend watervolume bij gemiddeld getij
 - Bij gemiddeld getij stroomt 50 % binnen van het volume bij springtij, dit is ca. $0.13 \times 10^6 \text{ m}^3$
 - Dit volume veroorzaakt volgens tabel III-3 in de polder een waterpeil van 1.43 m TAW.
- Instromend watervolume via de lage inwateringssluis
 - Als de afmeting van de sluis op drempelniveau 2 m TAW vastligt, zorgt die volgens tabel VII-6 voor een instroomvolume van ca. $0.10 \times 10^6 \text{ m}^3$ bij gemiddeld tij en volgens tabel VII-8 voor een instroomvolume van $0.11 \times 10^6 \text{ m}^3$ bij springtij (en $0.9 \times 10^6 \text{ m}^3$ bij dood tij).
- Instromend watervolume via de hoge inwateringssluis
 - De sluis op het tweede drempelniveau moet zorgen voor de rest van het watervolume bij gemiddeld en springtij, dit resulteert in een instroomvolume van ca. $0.03 \times 10^6 \text{ m}^3$ bij gemiddeld getij en $0.15 \times 10^6 \text{ m}^3$ bij springtij.
- Drempelniveau voor de hoge inwateringssluis
 - Een verhouding tussen spring- en gemiddeld tij voor de hoge inwateringssluis bedraagt 5, uit figuur VII-5 volgt een drempelniveau dat hoger dan 5 ligt. Stel dat men het drempelniveau op 5 m TAW legt.
- Sluisoppervlakte / Aantal sluisen voor de hoge inwateringssluis
 - Om bij een drempelniveau van 5 m TAW $0.03 \times 10^6 \text{ m}^3$ water bij gemiddeld getij binnen te laten, is een sluisoppervlakte nodig die volgens figuur VII-4 48 x hoger is dan die van de referentiesluis. Van de referentiesluis zijn volgens figuur VII-3 ongeveer 0.3 sluisen nodig om deze totale hoeveelheid water in te laten. Van de sluis op drempelniveau 5 m TAW zijn dus 14.4 sluisen nodig.

Resultaat

Als resultaat krijgt men het ontwerp dat in tabel VII-9 is samengevat

Sluisparameters	Eenheid	Uitwateringssluis	Inwateringssluis 1 (laag)	Inwateringssluis 2 (hoog)
Drempelniveau	(m TAW)	0.8	2.0	5.0
Hoogte	(m)	2 x 0.9	0.9	0.9
Breedte	(m)	1.3	1.3	1.3
Aantal		24	1	14
Oppervlakte	(m ²)	56.2	1.17	16.38
Debietscoëfficiënt		0.5	0.6	0.6

Tabel VII-9 : sluisparameters configuratie berekeningsvoorbeeld

Een controleberekening met de in tabel VII-9 vermelde parameters, volgens de werkwijze uiteengezet in paragraaf 2.5., leidt tot een gereduceerd getij in de polder met volgende karakteristieken :

Tij rivier	Maximum waterpeil (m TAW)	Overstroomde oppervlakte (%)
Gemiddeld getij	1.42	57
Springtij	1.54	77
Doodtij	1.36	46

Tabel VII-10 : karakteristieken gereduceerd getij bij gekozen sluisontwerp berekeningsvoorbeeld

3. Conclusies

In dit hoofdstuk worden een aantal functionele verbanden berekend die toelaten het effect van een bepaalde keuze van de sluisconfiguratie (in- en uitwateringssluizen) op het gereduceerd getij te begroten. De methodiek ontwikkeld in dit hoofdstuk maakt het bovendien mogelijk het ontwerp van de sluisconfiguratie te optimaliseren, uitgaande van een aantal vooraf gekozen criteria voor het gereduceerd getij. De keuze van deze criteria voor het gewenst gereduceerd getij vallen echter buiten het bestek van dit werk.

Het is aan te bevelen de berekeningen uit dit hoofdstuk te herhalen met een betere representatie van het gemiddeld getij dan het sinusmodel, vooraleer effectief een concreet sluisontwerp wordt uitgewerkt.

VIII - Vergelijking met resultaten 2D - model

1. Inleiding

Op basis van de resultaten van voorliggende studie werd door RIKZ een aanvullende studie gemaakt, waarin een 2D-model van de polder werd opgezet (ARENDS, 1997). In dit onderzoek voerde RIKZ een simulatie uit van het gereduceerd getij optredend in de polder van Kruikebeke, voor één bepaalde randvoorwaarde van het getij in de Schelde.

2. Doelstelling

Het in hoofdstuk III beschreven model steunt op een sterke vereenvoudiging van de polder, het 'doosmodel'. Door RIKZ is in een aanvullende studie een meer geavanceerd model opgezet dat de ruimtelijke verschillen in de polder mee in rekening brengt. Hiervoor is een detailmodel gemaakt van de polder van Kruikebeke dat toelaat de waterbeweging in de polder in twee horizontale dimensies (dieptegemiddeld) te berekenen.

Het doel van een deze aanvullende studie is tweërlei.

In eerste instantie moet deze meer gedetailleerde modellering van de hydraulische processen toelaten de nauwkeurigheid van de grovere benadering die hierboven werd gebruikt te controleren. In het bijzonder dient op volgende vragen een antwoord gegeven te worden :

- Is de gemiddelde waterhoogte in de polder een goede maat voor de waterhoogte op een bepaalde plaats in de polder, of gaat ook de concrete ligging van het punt in de polder een belangrijke invloedsfactor zijn ?
- Is kennis van het plaatselijke bodempeil in de polder voldoende om de overstromingsduur te kunnen voorspellen, of moet expliciet rekening gehouden worden met de ligging, afstand t.o.v. de in/uitstroompunten ?
- Is de gemiddelde waterhoogte in de polder een goede maat om het ogenblikkelijk debiet gewisseld tussen Schelde en polder te berekenen
- In hoeverre zorgt de achterliggende polder voor een hydraulische vertraging wat betreft de in / uitwatering ?

Met het 2D-model kan ook aanvullende informatie bekomen worden, t.o.v. het hierboven beschreven basismodel. Zo kunnen bijvoorbeeld de stroomsnelheden lokaal in de polder berekend worden. Deze snelheden zullen de sedimentatie- en erosiepatronen in de polder bepalen, zodat ook een uitspraak kan gedaan worden over toekomstige bodemkundige ontwikkelingen in de polder. Ook het ontstaan van gradiënten in de polder kunnen slechts met een 2D-formulering van de poldergeometrie worden beschreven.

Om deze vragen te kunnen beantwoorden zijn 2D berekeningen uitgevoerd van 1 getijscenario. Ter vergelijking werd ook een simulatie van hetzelfde getij gemaakt met het doosmodel.

3. Beschrijving van het model

Voor een model van het riviertij werd een berekening gemaakt voor een typisch springtij met het SCALWEST-model van de Schelde.

De hieruit berekende getijkromme werd vervolgens als randvoorwaarde gebruikt voor een berekening van de waterhuishouding in de polder, met het programma WAQUA. Dit programma berekent het

debiet dat stroomt tussen Schelde en polder doorheen de sluizen, en het snelheidsverloop en het verloop van de waterstand in een aantal roosterpunten waarvan de hoogteligging gegeven is.

De gegevens voor het rooster dat de polder modelleert zijn gebaseerd op het digitaal bestand van de polder van Kruibeke dat in hoofdstuk II-2 werd beschreven. Van de polder werd een rooster gemaakt met 54 x 73 roosterpunten. De afstand tussen twee roosterpunten bedraagt ca. 50 m. De gemodelleerde sluisgeometrie bevat een geheel van uitwateringssluizen op drempelniveau 0.8 m TAW en inwateringssluizen op drempelniveau 2.1 m TAW.

Ter vergelijking werd met het doosmodel eveneens een simulatie van het gereduceerd getij in de polder van Kruibeke uitgevoerd, uitgaande van dezelfde sluisgeometrie, en bij benadering ook met hetzelfde riviertij als randvoorwaarde. Om het riviertij dat in dit model als randvoorwaarde werd gebruikt zo goed mogelijk te doen aansluiten bij het in het RIKZ-model gebruikte getij, werd een stapsgewijze derdegraadsbenadering (zie hoofdstuk III.2.2.) van het getij uitgevoerd, uitgaande van de opeenvolgende hoog- en laagwaterstanden (met bijhorend tijdstip) die het riviertij van het RIKZ-model kenmerken.

4. Resultaten

Voor een gedetailleerd overzicht van de resultaten wordt verwezen naar het rapport van Arends (ARENDS, 1997).

Dit rapport bevat als resultaat van de 2D-berekeningen :

- Overzichtskaarten van het gebied waaruit elk uur de watersnelheid en -richting kan worden afgelezen.
- Grafieken van het waterniveau en de snelheid als functie van de tijd voor representatieve punten in de polder
- Overzicht van het totale debiet door de sluizen, uitgezet in de tijd.

De resultaten van de simulatie met het doosmodel zijn als bijlage opgenomen in het rapport (ARENDS, 1997).

Meest opvallend verschilpunt tussen de twee simulaties is het verschil in ontwateringskarakteristieken. In de 2D-simulatie blijft het grootste deel van de polder continu onder water, terwijl de polder in het doosmodel volledig droogvalt. Een grondiger analyse van dit berekeningsresultaat leidt tot volgende vaststellingen :

- Het instromend debiet verschilt zeer weinig. Blijkbaar wijkt de in het doosmodel gebruikte debietberekening weinig af van de debietberekening van het Waqua-model, en leidt de stapsgewijze derdegraadsbenadering tot een getij dat voldoende aansluit bij het met Scalwest berekende getij.
- Het uitstromend debiet verschilt wel. Het maximaal uitstromend debiet is bij berekeningen met het doosmodel bijna anderhalve maal zo groot als bij de 2D-berekeningen.
- Dit zou kunnen wijzen op een vertragend effect van de uitstroming door de grote hydraulische weerstand in de polder. Een 2D-berekening met een duidelijk verschillende wrijvingsfactor van de polder blijkt echter weinig te veranderen aan de simulatieresultaten. Geconcludeerd wordt dat de wrijving van de polder nauwelijks van belang is voor het uitstroomdebiet van de polder. Een andere oorzaak moet aan de grondslag liggen van deze grote verschillen.
- De verklaring voor de grote verschillen blijkt te liggen in de geografie van de gemodelleerde polder. Gedeelten van de polder zijn ingesloten in hoger gelegen secties zodat ze niet kunnen afwateren. In de praktijk zullen dergelijke gebieden nog ontwateren via het in de polder aanwezige slotenstelsel, maar dergelijke grachten zijn in dit 2D-model niet gemodelleerd.
- Afgezien van deze ingesloten gebieden blijken er slechts kleine waterstandsverschillen te zijn tussen de verschillende delen van de polder, de waterstand in het zuidwesten van de polder reageert vertraagd ten opzichte van de waterstand in de buurt van de sluizen, maar de verschillen blijven gering.

Wat betreft de berekende stromingssnelheden in de polder wordt de kanttekening gemaakt dat deze slechts indicatief mogen geïnterpreteerd worden, omdat deze snelheden sterk afhankelijk zijn van de wrijvingsfactor van de polder en van lokale landschapselementen. Gemiddelde snelheden over een vak in het model bereiken waarden tot 0.3 m/s. Dit is eerder laag, zodat het weinig waarschijnlijk is dat de polder zal uitschuren onder invloed van de uitwatering.

5. Conclusies en Beperkingen

De wrijvingsweerstand in de polder beïnvloedt slechts weinig de uitstroming van de polder. Het vertragend effect van de achterliggende polder op de uitstroming is gering. De sluisen zijn maatgevend voor de afwatering, eerder dan de wrijving van de achterliggende polder

Belangrijke verschillen t.o.v. het doosmodel wat betreft lokale waterhoogtes worden slechts bereikt in zones die in een soort kom liggen, die niet kunnen afwateren omdat ze als het ware ingesloten zijn tussen hogere wallen.

De sloten die in werkelijkheid in het terrein aanwezig zijn kunnen niet in het huidig 2D-model worden geïmplementeerd, omdat het model slechts een beperkte resolutie toelaat (50 x 50 m). Voor een betrouwbare 2D-simulatie van de ontwatering van de polder is een fijnere resolutie en correcte representatie van het grachtenstelsel noodzakelijk.

De voorspelling van bodemkundige ontwikkelingen in de polder via simulaties met een 2D-model stelt problemen. De resolutie van het hierboven geïllustreerde 2D-model is te beperkt om de geulvorming in het gebied te kunnen voorspellen. Voorspelling van sedimentatie- en erosiepatronen vereist een veel fijnere resolutie van de polder, met inbegrip van plantengroei. Zelfs als een dergelijk model qua rekencapaciteit haalbaar zou zijn (wat het voorlopig niet is) is het voorlopig niet zinvol, omdat de terreingegevens niet tot het gewenste detailniveau gekend zijn.

IX - Conclusies en suggesties voor verder onderzoek

1. Conclusies

Met het in hoofdstuk I voorgestelde technisch kader (een geheel van inwaterings- en uitwateringssluizen) kan zonder extra ingrepen een gereduceerd getij in de polder gerealiseerd worden. Het gereduceerd getij is beïnvloedbaar door keuze van de sluisparameters.

Het overstromingsregime dat voor de schorren in de Schelde geldt, kan niet gekopieerd worden naar dat wat bij toepassing van een gereduceerd getij in de polder kan bereikt worden. De overstromingsduur is vrij lang, beduidend langer dan voor schorren in de Schelde. De overstromingshoogte daarentegen is minder, door de beperkte toepasbare getij-amplitude in de polder. Doordat de polder van Kruibeke slechts weinig hoger ligt dan de optredende laagwaterstand in de rivier is de ontwatering van de polder niet eenvoudig.

De uitwateringssluis moet voldoende laag gepositioneerd worden om ontwateringsproblemen te voorkomen en de overstromingsduur zoveel mogelijk te beperken. Een drempelniveau van maximum 0.5 m TAW is aangewezen. Een evenwaardige oplossing voor de ontwateringsproblematiek wordt bekomen door het aantal uitwateringssluizen gevoelig te verhogen (van 4 naar 7 sluiscomplexen).

Wat betreft de positionering van de inwateringssluis is het drempelniveau van cruciaal belang.

Een aantal argumenten pleiten voor een lage positionering van de inwateringssluis :

- beperking van de nodige sluisoppervlakte
- kortere overstromingsduur voor hogergelegen gebieden
- gradiënt wat betreft overstromingsduur tussen laag- en hooggelegen gebieden
- vermijden van stagnant water - periode

Bij een drempelniveau kleiner dan 1.8 m TAW moeten maatregelen genomen worden ter versterking van de sluis tegen hoge stroomsnelheden (>4.5 m/s) ter hoogte van de inwateringssluis.

Daarentegen pleiten ook een aantal argumenten voor de hoge positionering :

- grotere sluisoppervlakte geeft meer speelruimte w.b. verdeling sluisen over dijklenkte
- kortere overstromingsduur voor lagergelegen gebieden
- grote variatie in spring / dood / normaal - cyclus
- waterval gepaard met hoge inlaat kan eventueel gunstig aangewend worden (vb. naar zuurstofhuishouding toe)

Als compromis kan geopteerd worden voor een combinatie van de twee concepten :

- een aantal inwateringssluizen hoog in de dijk zorgen voor een springtij - doodtijcyclus
- 1 of 2 kleine inwateringssluizen laag in de dijk doen de stagnant water-periode verdwijnen

Uit een studie van de respons van vegetatie op mogelijke getijregimes moet een optimale keuze van een realiseerbaar getij worden gemaakt. Parameters als de overstromingsduur, de overstromingsfrequentie, de overstromingshoogte, de variatie over springtij-doodtij kunnen hierbij als criterium dienen. Uitgaande van de genomen basisopties kan met behulp van de in hoofdstuk VII ontwikkelde methodiek een optimaal sluisontwerp worden bekomen, om het gewenste getijregime te realiseren.

2. Suggesties voor verdere berekeningen

Mogelijke verfijningen aan het in hoofdstuk III beschreven model zijn :

- Vervangen van de debietscoëfficiënt van inwaterings- en uitwateringssluis, door een experimenteel gecontroleerde waarde van de debietscoëfficiënt.
- Vervangen van het sinusmodel door een benadering van het werkelijk gemeten gemiddeld, spring- en doottij.
- Vervangen van de stapsgewijze derdegraadsbenadering voor een willekeurig getij door werkelijk gemeten getijverloop (vb. metingen om de 5 minuten).
- Het overstromingsgebied modelleren dat werkelijk onder getij zal worden gezet (wat verschilt van de hier afgebakende polder van Kruikeke), met correcte representatie van de dijklichamen.

Na verfijning van dit model kunnen volgende berekeningen interessante resultaten opleveren :

- op basis van beschouwingen over de mogelijkheden tot natuurontwikkeling in het gebied komen tot een formulering van de gewenste eigenschappen van het gereduceerd getij.
- de berekeningen uit hoofdstuk VII uitvoeren met het verfijnd model, om karakteristieken op te stellen die toelaten een goed ontwerp van de sluisconfiguratie te maken.
- een set van ontwerpen voor de sluisconfiguratie samenstellen die op basis van beschouwingen over de gemiddeld getij het best voldoen aan de eisen voor het gereduceerd getij.
- een controleberekening uitvoeren met een werkelijk getijregime, over een lange periode (bijvoorbeeld 1 jaar), zoals gedemonstreerd in hoofdstuk VI, met een betere representatie van het riviergetij.

Het model kan eventueel uitgebreid worden, zodat ook de invloeden van neerslag, kwel en toevoer vanuit de Barbierbeek op de waterbalans in de polder worden berekend.

Aanvullend kunnen meer gedetailleerde modellen van het gereduceerd getij in de polder worden ontwikkeld. Voorbeelden van dergelijke modellen zijn :

- Een model dat een dynamische koppeling tussen rivier en polder mee in rekening brengt (zoals Duflo of Scalwest), zodat de invloed van de stroming van water naar de polder op de vorm van de getijkromme in de Schelde correct wordt berekend
- Een 2D-model van de stroming in de polder, analoog aan het door RIKZ ontwikkelde model waarnaar werd verwezen in hoofdstuk VIII. Bijzondere aandacht dient hierbij uit te gaan naar de ontwatering van locale depressies in de polder via de afwateringsgrachten. Een dergelijk 2D-model kan waardevolle resultaten leveren wat betreft de sedimentatie / erosie - problematiek, maar hiervoor moet het berekeningsrooster voldoende fijn zijn, wat impliceert dat ook gedetailleerde metingen van de poldergeometrie noodzakelijk zijn.

X - Literatuurlijst

(ANONIEM, 1997 A)

ANONIEM (1997). Gecontroleerd Overstromingsgebied Kruibeke - Bazel - Rupelmonde : Schets van de mogelijkheden voor natuurontwikkeling, Bureau Stroming , Laag-Keppel 1997.

(ANONIEM, 1997 B)

ANONIEM (1997). Gecontroleerd Overstromingsgebied Kruibeke - Bazel - Rupelmonde : Ontwikkeling van een vrij toegankelijk natuurgebied op de grens van zoet en brak, Bureau Stroming, Laag-Keppel 1997.

(BIESEMANS ET AL., 1996)

BIESEMANS, J. EN DE TROCH, F. (1996). Onderzoeksproject : Studie van de hydrologische en waterbouwkundige aspecten van de inrichting van de polder Kruibeke - Bazel - Rupelmonde als gecontroleerd overstromingsgebied van de Schelde, RUG laboratorium voor hydrologie en waterbeheer, Gent 1996.

(CLAESSENS ET AL., 1994)

CLAESSENS, J. EN MEYVIS, L. (1994). Overzicht van de tijwaarnemingen in het Zeescheldebekken gedurende het decennium 1981 - 1990, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Antwerpse Zeehavendienst, Antwerpen 1994.

(HETTINGA ET AL., 1998)

HETTINGA, O., MEIRE, P., VAN OEVELEN, D., VAN DER WELLEN, J. (1998). De inpassing van de Barbierbeek in het Gecontroleerd Overstromingsgebied Kruibeke - Bazel - Rupelmonde, Rapport Instituut voor Natuurbehoud 98/22, Brussel 1998.

(HOFFMANN, 1993)

HOFFMANN, M. (1993). Vegetatiekundig-ecologisch onderzoek van de buitendijkse gebieden langs de Zeeschelde met vegetatiekartering, universiteit Gent, Gent 1993.

(KERSTENS, 1996)

KERSTENS, 1996. Sigmaplan voor de beveiliging van het zeescheldebekken tegen stormvloed op de noordzee, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie waterwegen en zeezezen, afdeling Zeeschelde, Antwerpen, 1996.

(KOPPEN, 1995)

KOPPEN, J. (1995). Zeeschelde L.O., Overstroombaar gebied Bazel - Kruibeke - Rupelmonde, topografische gegevens. Rapport opgemaakt door het Metings- en expertisebureau van het Waasland KOPPEN & Cie B.V.B.A. in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 1995

(MEIRE ET AL., 1992)

MEIRE, P., ROSSAERT, G., DE REGGE, N., YSEBAERT, T., EN KUIJKEN, E. (1992). Het Schelde-estuarium : ecologische beschrijving en een visie op de toekomst - Rapport RUG-WWE nr. 28, Rapport Instituut voor Natuurbehoud nr. A 92.57, Hasselt, 1992.

(NACHTERGALE, 1994)

NACHTERGALE, L. (1994). Onderzoek naar de mogelijkheden voor bosontwikkeling in het gecontroleerd overstromingsgebied van de gemeente Kruibeke met behulp van een Land Informatie Systeem, Universiteit Gent, Gent, 1994.

(NOLLET, 1997)

NOLLET, S. (1997). Kruibeke-Bazel-Rupelmonde : Recentste plannen - Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie waterwegen en zeezezen, afdeling Zeeschelde, intern document, Sint-Niklaas, 1997.

(NORTIER ET AL., 1991)

NORTIER, I.N. EN DE KONING, P. (1991). Toegepaste vloeistofmechanica - Hydraulica voor waterbouwkundigen, Staml Techniek Houten 1991.

(TAVERNIERS, 1997)

TAVERNIERS, (1997). Getijgevens 1996 ter hoogte van Hemiksem (Ascii-bestand), Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie waterwegen en zeezezen, afdeling Maritieme Schelde, Antwerpen 1997.

(VANWIJCK, 1997)

VANWIJCK, J. (1997). Het gecontroleerd overstromingsgebied Kruibeke - Bazel - Rupelmonde, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap - LIN - AWZ, Sint-Niklaas 1997.

(WAT. LAB. BORGERHOUT, 1990)

WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM BORGERHOUT (1990). Model 440, rapport 3 : Wiskundig model van de Schelde, actualisatie Sigmaplan. Intern rapport, Borgerhout 1990.

(WAT. LAB. BORGERHOUT, 1995)

WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM BORGERHOUT (1995). Model 440, rapport 5 : Gecontroleerde overstromingsgebieden Kruibeke - Bazel - Rupelmonde, syntheserapport 1995. Intern rapport, Borgerhout 1995.

Lijst van Figuren en tabellen

Lijst van figuren en tabellen

figuur I-1 : principe werking gecontroleerd overstromingsgebied (GOG).....	1
figuur I-2 : principe werking gecontroleerd gereduceerd getij (GGG)	2
figuur I-3 : hoogteligging van polder en buitendijkse schorren in relatie tot getij in rivier	2
figuur I-4 : voorbeeld van gereduceerd getij (1 periode)	3
figuur II-1 : inrichtingsplan Gecontroleerd overstromingsgebied Kruibeke-Bazel-Rupelmonde	7
tabel II-1 : uittreksel uit bestand met hoogte-informatie Kruibeke	8
figuur II-2 : afmetingen geplande uitwateringssluizen (uit (NOLLET, 1997))	9
figuur II-3 : inplanting van de uitwateringssluizen (uit (NOLLET, 1997)).....	10
figuur III-1 : representatie gemodelleerd systeem.....	11
tabel III-1 : gemiddelde waterstanden 1981-90, waarnemingspost Hemiksem (CLAESSENS ET AL., 1994)	12
figuur III-2 : getijkromme : sinusoidaal model	13
tabel III-2 : voorbeeld van set meetgegevens met opeenvolgende hoog/laag-waterstanden	13
figuur III-3 : voorbeeld van benaderend getijverloop	14
figuur III-4 : vergelijking sinusmodel - stapsgewijze derdegraadsbenadering.....	14
tabel III-3 : waterbergingsvolume en overstromde oppervlakte als functie van de waterhoogte in de polder van Kruibeke.....	17
figuur III-4 : waterbergingsvolume en overstromde oppervlakte als functie van de waterhoogte in de polder van Kruibeke.....	17
tabel III-4 : Sluisparameters voor modelberekeningen	19
figuur III-4 : berekeningsschema voor verloop gereduceerd getij	21
tabel IV-1 : gemodelleerd riviertij voor simulaties uit dit hoofdstuk	23
tabel IV-2 : sluisparameters voor simulatie 1 / 2 / 3 uit dit hoofdstuk	23
figuur IV-1 : getijverloop in Schelde en Polder : simulatie 1	24
figuur IV-2 : getijverloop in Schelde en polder : simulatie 2.....	25
figuur IV-3 : getijverloop in Schelde en Polder : simulatie 3	26
figuur IV-4 : getijverloop in Schelde en Polder : simulatie 3 (meerdere cycli)	27
figuur V-1 : Vergelijking ggg voor verschillende maximale waterpeilen in de polder.....	30
figuur V-2 : Basismodel - Invloed waterhoogte in polder op ontwateringsdebiet	31
figuur V-3 : Vergelijking ggg voor verschillende maximale waterpeilen in de polder, bij lagere uitstroomcoëfficiënt	32
figuur V-4 : Basismodel - Invloed drempelhoogte uitwateringssluis op ontwateringsdebiet.....	33
figuur V-5 : Vergelijking ggg voor verschillende drempelhoogtes uitwateringssluis.....	33
figuur V-6 : Vergelijking ggg voor verschillende maximale waterpeilen in de polder, bij lagere uitstroomcoëfficiënt	34
tabel V-1 : frequentie van overschrijding bepaalde laagwaterstand.....	36
figuur V-7 : Basismodel - Stroomsnelheid ter hoogte van de sluisen - Inwateringssluis laag	37
figuur V-8 : Basismodel - Stroomsnelheid ter hoogte van de sluisen - Inwateringssluis hoog.....	37
tabel V-2 : sluisparameters gebruikt voor tabel V-3	38
tabel V-3 maximale stroomsnelheden ter hoogte van de sluisen	38
figuur V-9 : Basismodel - Invloed drempelniveau uitwateringssluis op overstromingsduur (Inwateringssluis hoog).....	40
figuur V-10 : Basismodel : Invloed drempelniveau uitwateringssluis op overstromingsduur (Inwateringssluis laag)	41
figuur V-11 : Invloed drempelniveau inwateringssluis op overstromingsduur	42
figuur V-12 : Basismodel - Invloed overstromingshoogte op overstromingsduur - Inwateringssluis hoog.....	44
figuur V-13 : Basismodel - Invloed overstromingshoogte op overstromingsduur - Inwateringssluis laag	45
figuur V-14 : Basismodel - Vergelijking Spring - Dood - Gemiddeld getij - Inwateringssluis laag / uitwateringssluis laag	46
figuur V-15 : Basismodel - Vergelijking Spring - Dood - Gemiddeld getij - Inwateringssluis hoog / uitwateringssluis laag.....	47

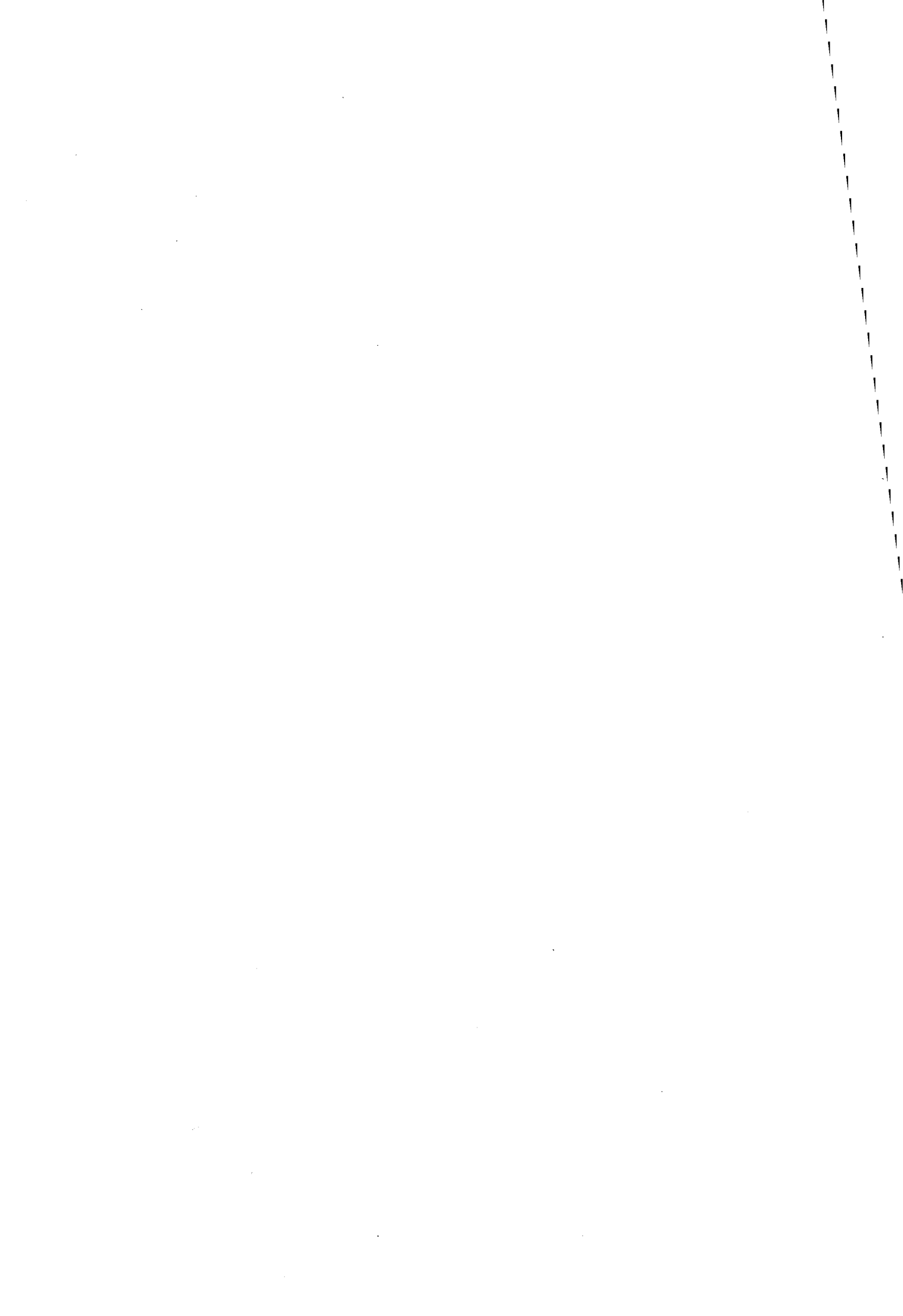
Lijst van figuren en tabellen

figuur VI-1 : berekening gereduceerd getij - gemiddeld normaal tij.....	50
figuur VI-2 : Berekening gereduceerd getij - kunstmatige springtij-doodtij-cyclus	52
tabel VI-1 : sluisparameters voor berekeningen ggg met tijgegevens 1996.....	53
figuur VI-3 : Berekening gereduceerd getij - periode 1 - 15 maart 1996.....	54
tabel VI-2 : uiterste waterstanden Schelde te Hemiksem, eind augustus '96.....	54
figuur VI-4 Simulatie stormtij augustus '96, inwateringssluizen gesloten	55
figuur VI-5 : simulatie stormtij augustus '96, met open inwateringssluizen.....	56
tabel VI-3: resultaten simulatie stormtij augustus '96, inwateringssluizen gesloten	56
tabel VI-4: resultaten simulatie stormtij augustus '96, inwateringssluizen open.....	57
tabel VI-5 : berekeningsresultaten uiterste waterstanden in polder, simulatie 1996	57
tabel VI-6 : Frequentiedistributie hoogwaterstanden in de polder , simulatie 1996.....	58
tabel VI-7 : Frequentiedistributie laagwaterstanden in de polder , simulatie 1996	58
tabel VII-1 : sluisparameters uitwateringssluizen	61
tabel VII-2 : invloed drempelniveau uitwateringssluizen op toepasbaar maximum waterpeil in de polder (voor gegeven sluisafmetingen).....	62
figuur VII-1 : invloed drempelniveau uitwateringssluizen op toepasbaar maximum waterpeil in polder (voor gegeven sluisafmetingen).....	62
figuur VII-2 : invloed aantal klepkolommen op toepasbaar maximum waterpeil in polder (voor gegeven drempelniveau en sluisstype).....	63
tabel VII-3 : invloed oppervlakte uitwateringssluizen op toepasbaar maximum waterpeil in de polder (voor gegeven drempelniveau en sluisstype)	63
tabel VII-4 : sluisparameters inwateringssluizen	65
tabel VII-5 : sluisparameters referentie-inwateringssluizen.....	66
figuur VII-3 : verband sluisoppervlakte - instromend watervolume voor referentiesluizen op drempelniveau 2 m TAW	66
tabel VII-6 : verband sluisoppervlakte-instromend watervolume voor referentiesluizen op drempelniveau 2 m TAW	67
tabel VII-7 : Inwateringssluizen : Afhankelijkheid Sluisoppervlakte van Drempelniveau, voor zelfde totaalinstroming bij gemiddeld getij (referentiedrempelniveau 2 m TAW).....	68
figuur VII-4 : Inwateringssluizen : Afhankelijkheid Sluisoppervlakte van Drempelniveau, voor zelfde totaalinstroming bij gemiddeld getij (referentiedrempelniveau : 2 m TAW).....	68
tabel VII-8 : invloed keuze drempelniveau inwateringssluizen op springtij-doodtij-cyclus.....	69
figuur VII-5 : invloed keuze drempelniveau inwateringssluizen op springtij-doodtij-cyclus	69
tabel VII-9 : sluisparameters configuratie berekeningsvoorbeeld.....	71
tabel VII-10 : karakteristieken gereduceerd getij bij gekozen sluisontwerp berekeningsvoorbeeld	71

Bijlagen

figuur B-1: Doorsnede van een sluis met wrijvingsverliezen en factoren die de afvoer van de sluis bepalen.....	4
tabel C-1 : Getijgegevens Hemiksem 1-3 Maart 1996 (uit (TAVERNIERS, 1997))	6
figuur E-1 : hoogteligging polder van Kruibeke	11
figuur E-2 : hoogteligging polder van Bazel.....	12
figuur E-3 : hoogteligging polder van Rupelmonde.....	13

Bijlagen



Appendix A : Model voor stroming door sluis

Voor berekening van het debiet door in - en uitwateringssluizen werd uitgegaan van volgende formule (NORTIER ET AL., 1991) :

$$Q = m \cdot A \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta H_{\text{tot}}} \quad \text{Vergelijking A-1}$$

Hierin is :

- Q = debiet [m^3/s]
- m = afvoercoëfficiënt
- A = natte (doorstroom)oppervlakte van de sluis
- g = gravitatieconstante (9.81 m/s^2)
- ΔH_{tot} = het in rekening te brengen energiehoogteverschil [m] tussen rivierzijde en polderzijde

Voor de berekening van het in rekening te brengen energiehoogteverschil ΔH_{tot} wordt in het programma rekening gehouden met 6 verschillende relevante gevallen wat betreft rivier- en polderwaterpeil.

Voor elk van die mogelijkheden wordt nagegaan wat het (stationair beschouwd) drukhoogteverschil tussen linker- en rechterzijde is. Dit drukhoogteverschil wordt ingevuld in de formule als ΔH_{tot} .

Verondersteld wordt dat de sluis werkt in één richting, enkel als $h_1 > h_2$ is stroming mogelijk. In het tegenovergestelde geval wordt q_v gelijkgesteld aan 0.

Neemt men als symbolen aan :

- h_1, h_2 = waterstand aan in - en uitgang van de sluis (m TAW)
- h_{gate} = hoogte bovenrand doorstroomopening (m TAW)
- h_{sill} = hoogte onderrand (drempelniveau) doorstroomopening (m TAW)
- h_c = hoogte aslijn doorstroomopening (m TAW)

Waarbij de hoogte van de aslijn van de doorstroomopening h_c wordt berekend met :

$$h_c = (h_{\text{gate}} + h_{\text{sill}}) / 2 \quad \text{Vergelijking A-2}$$

Dan wordt ΔH_{tot} als volgt berekend :

- | | | | | |
|--|---|--|--|--|
| 1) $h_1 > h_2 > h_{\text{gate}}$ | : | $\Delta H = h_1 - h_2$ | | |
| 2) $h_1 > h_{\text{gate}} > h_2 > h_{\text{sill}}$ | : | $\Delta H = h_1 - h_c - (h_2 - h_{\text{sill}}) / 2$ | | |
| 3) $h_1 > h_{\text{gate}} > h_{\text{sill}} > h_2$ | : | $\Delta H = h_1 - h_c$ | | |
| 4) $h_{\text{gate}} > h_1 > h_2 > h_{\text{sill}}$ | : | $\Delta H = (h_1 - h_2) / 2$ | | |
| 5) $h_{\text{gate}} > h_1 > h_{\text{sill}} > h_2$ | : | $\Delta H = (h_1 - h_{\text{sill}}) / 2$ | | |
| 6) $h_{\text{gate}} > h_{\text{sill}} > h_1 > h_2$ | : | $Q = 0$ | | |

Voor een inwateringssluis is enkel stroming mogelijk van de Schelde naar de polder. Voor een uitwateringssluis is enkel stroming mogelijk van de polder naar de Schelde. Om dezelfde formules te kunnen hanteren voor deze twee sluis types wordt in de formules een verschillende betekenis gegeven aan 'h1' en 'h2', naargelang het om een inwateringssluis dan wel een uitwateringssluis gaat :

- Voor een inwateringssluis is h_1 de waterstand in de Schelde, en h_2 de waterstand in de polder.
- Voor een uitwateringssluis is h_1 de waterstand in de polder, en h_2 de waterstand in de Schelde.

De beschikbare doorstroomoppervlakte is de 'natte oppervlakte'.

Neemt men als symbolen aan :

A	=	natte (doorstroom)oppervlakte van de sluis
h _l	=	waterstand in de Schelde (voor inwateringssluis) of in polder (voor uitwateringssluis) (m TAW)
h _{gate}	=	hoogte bovenrand doorstroomopening (m TAW)
h _{sill}	=	hoogte onderrand (drempelniveau) doorstroomopening (m TAW)
b	=	breedte doorstroomopening (m)
n	=	aantal doorstroomopeningen

Dan wordt de beschikbare doorstroomoppervlakte berekend op de volgende manier :

Vergelijking A-4

- 1) $h_l > h_{gate}$: $A = n \cdot b \cdot (h_{gate} - h_{sill})$
- 2) $h_{gate} > h_l > h_{sill}$: $A = n \cdot b \cdot (h_l - h_{sill})$
- 3) $h_{gate} > h_{sill} > h_l$: $A = 0$

De afvoercoëfficiënt m is een factor voor de weerstand die het water ondervindt bij het passeren van het kunstwerk. Deze weerstand is een gevolg van wrijvingsverliezen in de sluis. De exacte waarde van deze coëfficiënt is sterk afhankelijk van de detailvormgeving van de sluis. Een nauwkeurige waarde kan slechts door proefondervindelijk onderzoek verkregen worden.

Voor uitwateringssluizen wordt doorgaans de waarde 0.5 in berekeningen gebruikt (VANWIJCK, 1997). Theoretische berekeningen op basis van de geometrische gegevens van de sluis, m.b.v. correlaties uit de literatuur leiden tot een waarde van ca. 0.6 (zie appendix B).

Bij de meeste berekeningen in dit verslag is ofwel een waarde 0.6 ofwel een waarde 0.5 aangenomen.

Als afgeleide parameter wordt de snelheid ter hoogte van de sluis berekend uit volgende formule :

Vergelijking A-5

$$V = Q / A$$

Hierin is :

V	=	uitstroomsnelheid ter hoogte van de sluis [m/s]
Q	=	debiet [m ³ /s]
A	=	natte (doorstroom)oppervlakte van de sluis [m ²]

Appendix B : Berekening afvoercoëfficiënt sluis

1. Algemeen

De wiskundige vergelijkingen gebruikt in dit hoofdstuk werden overgenomen van (NORTIER ET AL., 1991).

Voor berekening van het debiet door in - en uitwateringssluizen wordt uitgegaan van volgende formule :

$$q_v = m \cdot A \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta H_{tot}} \quad \text{Vergelijking B-1}$$

waarin:

q_v	=	debiet [m ³ /s]
m	=	$1 / \sqrt{\xi_{tot}}$ = afvoercoëfficiënt [1]
A	=	natte doorsnede van de sluis
g	=	9.81 m/s ²
ΔH_{tot}	=	het verschil in energiehoogte tussen het bovenstroomse en het benedenstroomse energieniveau [m]

De afvoercoëfficiënt is een factor voor de weerstand die het water ondervindt bij het passeren van het kunstwerk. Deze weerstand is een gevolg van wrijvingsverliezen in de sluis. De wrijvingsverliezen bepalen de hoogte van de afvoercoëfficiënt en deze bepaalt op zijn beurt mede het debiet van de sluis. Er zijn verschillende factoren die wrijving kunnen veroorzaken, de factor ξ_{tot} is het totaal aan wrijvingsverlies door de sluis. In dit geval is ξ_{tot} opgebouwd uit de volgende wrijvingsverliezen:

ξ_i : verlies ten gevolge van contractie bij de instroom Vergelijking B-2

$$\xi_i = [(1 / \mu) - 1]^2$$

waarin:

$$\mu = \text{contractiecoëfficiënt [1]}$$

ξ_w : verlies ten gevolge van wrijving met de wand Vergelijking B-3

$$\xi_w = (\lambda \cdot l) / (4R)$$

waarin:

$$\lambda = \text{wrijvingsfactor afhankelijk van de wandruwheid [1]}$$

$$l = \text{lengte van de sluis [m]}$$

$$R = \text{hydraulische straal [m]}$$

De hydraulische straal R wordt berekend uit de verhouding van de 'natte' oppervlakte A (m²) en de 'natte' omtrek O (m) Vergelijking B-4

$$R = A / O$$

ξ_u : verlies ten gevolge van de weerstand van het water aan de andere kant van de sluis.

Dit verlies zal verwaarloosd worden :

$$\xi_u = 1$$

Vergelijking B-5

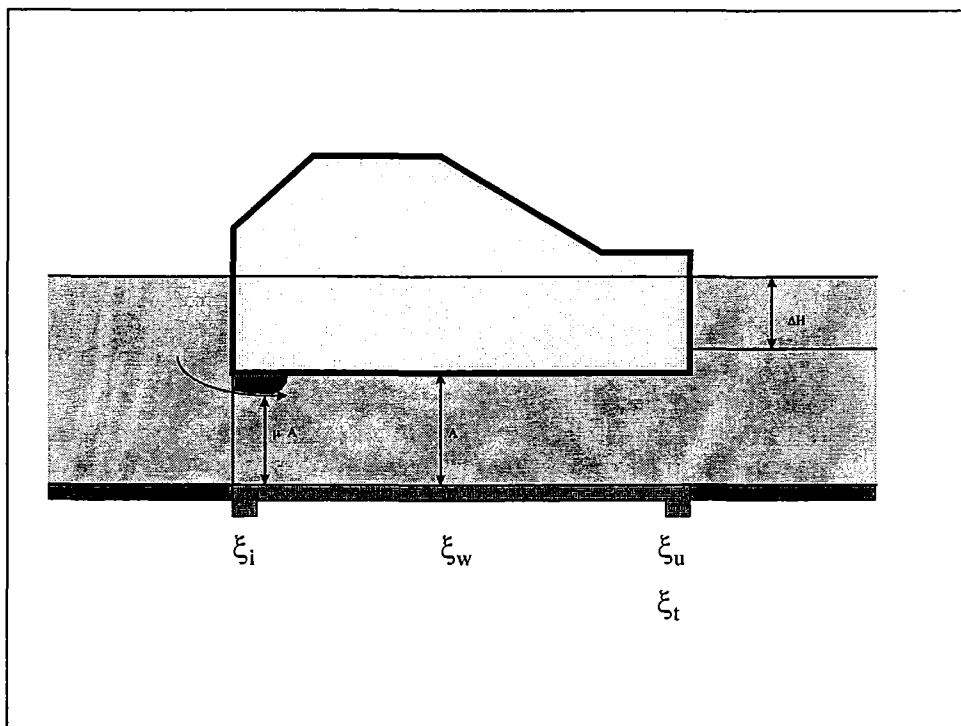
ξ_t : verlies ten gevolge van de aanwezigheid van terugslagkleppen

Dit verlies zal verwaarloosd worden :

Vergelijking B-6

$$\xi_i = 1$$

figuur B1 laat de doorsnede van een sluis zien met de factoren uit de functie en de plaats waar de wrijvingsverliezen plaatsvinden.



figuur B-1: Doorsnede van een sluis met wrijvingsverliezen en factoren die de afvoer van de sluis bepalen (naar (NORTIER ET AL., 1991))

2. De afvoercoëfficiënt voor de inwateringssluiss

1.1 verlies ten gevolge van de aanwezigheid van (terugslag)kleppen

In de veronderstelling dat de klep die voor de inwateringssluiss zit open gelaten wordt, hoeft het wrijvingsverlies van de klep niet meegerekend te worden.

Vergelijking B-7

$$\xi_i = 0$$

1.2 verlies ten gevolge van contractie bij de instroom

Proefondervindelijk werd vastgesteld dat bij rechte hoeken de contractiecoëfficiënt μ gelijk is aan 0.6 (NORTIER ET AL., 1991). Uit vergelijking B-2 volgt derhalve :

Vergelijking B-8

$$\xi_i = [(1 / 0.6) - 1]^2 = 0.444$$

1.3 verlies ten gevolge van wrijving met de wand

- De sluis zal geconstrueerd worden van beton, de wrijvingsfactor λ bij betonconstructies bedraagt 0.022 (NORTIER ET AL., 1991)
- De lengte van de sluis is 45 m (zie figuur II-2)
- Voor berekening van de hydraulische straal R wordt de wrijvingsweerstand genomen van een volle koker (voor afmetingen zie figuur II-2). Als natte doorsnede en natte omtrek worden berekent men respectievelijk :

Vergelijking B-9

$$A = 2.20 * 3.00 = 6.60$$

Vergelijking B-10

$$O = 2 * 2.20 + 2 * 3.00 = 10.4$$

Vult men deze waarden in in vergelijking B-4, dan bekomt men voor de hydraulische straal R :

$$R = 6.60 / 10.4 = 0.63$$

Vergelijking B-11

Vult men deze waarden in in vergelijking B-3 dan bekomt men :

$$\xi_w = (\lambda \cdot l) / (4R) = (0.022 * 45) / (2.54) = 0.39$$

Vergelijking B-12

1.4 verlies ten gevolge van de weerstand van het water aan de andere kant van de sluis.

$$\xi_u = 1$$

Vergelijking B-13

1.5 totaalverlies

De afvoercoëfficiënt voor de inwateringssluis wordt:

$$m = 1 / \sqrt{(0.44 + 0.39 + 1)} = 0.7$$

Vergelijking B-12

3. De afvoercoëfficiënt voor de uitwateringssluis

De uitwateringssluis is gesloten door kleppen als het water in de Schelde hoger staat dan in de polder, dit houdt in dat er extra wrijvingsverlies is ten gevolge van deze kleppen. De overige wrijvingsverliezen zijn dezelfde als die van de inlaatsluis.

De factor voor het wrijvingsverlies door de kleppen is moeilijk te bepalen, maar gemiddeld kan worden gesteld (NORTIER ET AL., 1991) dat :

$$\xi_t = 1$$

Vergelijking B-13

De afvoercoëfficiënt voor de uitwateringssluis wordt:

$$m = 1 / \sqrt{(0.44 + 0.39 + 1 + 1)} = 0.6$$

Vergelijking B-14

Appendix C : benadering getijkromme voor gekende uiterste waarden.

Meetgegevens van de opeenvolgende hoog- en laagwaterstanden zijn beschikbaar voor verschillende getijposten langsheen de Schelde, waaronder Hemiksem. Om simulaties met dergelijke getijvariëaties mogelijk te maken moet een getijkromme berekend worden tussen deze uiterste waarden.

Beschikbaar is een lijst van tijdstippen waarop het maximum / minimum optrad, en de respectievelijke waterstanden op dat moment.

Een voorbeeld, betrokken uit de getijgegevens in Hemiksem, begin maart '96 (TAVERNIERS, 1997) :

Bijvoorbeeld voor begin maart 96 werd uitgegaan van volgende gegevens :

Tijd (uur)	0	6.21	12.42	18.63	24.84	31.05	37.26	43.47	49.68	55.89	62.10
Waterpeil (cm TAW)	35	445	14	500	40	487	-7	503	6	521	-6

tabel C-1 : Getijgegevens Hemiksem 1-3 Maart 1996 (uit (TAVERNIERS, 1997))

Opmerking : ter vereenvoudiging is hier aangenomen dat het getij een strikt periodiek verschijnsel is met periode 12.42 uur, in werkelijkheid schommelt de periodelengte licht rond deze waarde, en volgt het hoogwater minder dan 6.21 uur na het laagwater. De hieronder beschreven wiskundige methode blijft toepasbaar als rekening wordt gehouden met de werkelijke tijdstippen waarop hoog respectievelijk laag water voorkomt, maar de hoeveelheid gegevens die in dat geval moet bijgehouden worden is aanzienlijk groter dan bij de huidige veronderstelling.

Een sinuscurve kan hier niet meer toegepast worden omdat zowel gemiddelde waarde als hoog en laagwaterstand variëren in de tijd op een door de meteorologische invloeden onvoorspelbare manier. Met behulp van de beschikbare dataset moet een sinusachtige functie worden opgesteld die de evolutie van de waterstand tussen deze uiterste standen beschrijft.

Benadering sinus :

Gekozen wordt voor een stuksgewijze benadering : de tijd wordt verdeeld in intervallen begrensd door 2 uiterste waarden (een hoogwaterstand en een laagwaterstand of een laagwaterstand en een hoogwaterstand), elk met hun eigen functievoorschrift. Tussen 2 opeenvolgende uiterste waarden wordt telkens een verbinding gemaakt volgens het functievoorschrift van een derdegraadspolynoom, dit is een vergelijking van de vorm :

$$y = a t^3 + b t^2 + c t + d$$

Vergelijking C-1

Hierin staat t voor de tijd en y voor de waarde van de waterstand. Kennis van coëfficiënten a, b, c, d laat dus toe de waarde van de waterstand op een bepaald ogenblik te berekenen.

De coëfficiënten a, b, c, d worden berekend uit de waarden van de 2 opeenvolgende uiterste waterstanden. Voor de berekening van de waterstand op een bepaald tijdstip wordt de waarde van deze coëfficiënten dus berekend uit de waarde van de uiterste waterstanden onmiddellijk voor en na het beschouwde tijdstip.

Voor de berekening van deze coëfficiënten werden de volgende randvoorwaarden beschouwd :

- Op ogenblik t_1 bedraagt de waterstand W_1 (uiterste waterstand 1)
- Op ogenblik t_2 bedraagt de waterstand W_2 (uiterste waterstand 2)
- Op ogenblik t_1 wordt een extremum van de functie bereikt (een maximum of minimum), de afgeleide van de functie heeft dan waarde 0.
- Op ogenblik t_2 wordt een extremum van de functie bereikt (een maximum of minimum), de afgeleide van de functie heeft dan waarde 0.

Dit levert een stelsel van 4 vergelijkingen met 4 onbekenden a, b, c, d op :

$$a t_1^3 + b t_1^2 + c t_1 + d = W_1 \quad \text{Vergelijking C-2}$$

$$a t_2^3 + b t_2^2 + c t_2 + d = W_2 \quad \text{Vergelijking C-3}$$

$$3 a t_1^2 + 2 b t_1 + c = 0 \quad \text{Vergelijking C-4}$$

$$3 a t_2^2 + 2 b t_2 + c = 0 \quad \text{Vergelijking C-5}$$

Hieruit kunnen de waarden van a, b, c en d opgelost worden.

De benadering is zodanig gekozen dat een continue aansluiting van de functie bekomen wordt tussen de verschillende stukken, niet alleen wat betreft de functiewaarde, maar ook wat betreft de eerste afgeleide van de functie (de functie heeft een horizontaal verloop aan de overgangspunten, de uiterste waarden).

Appendix D : Model voor stroming over overlooppdijk

1. Theorie i.v.m. overlatten

De inhoud van dit hoofdstuk is voornamelijk gebaseerd op (NORTIER ET AL., 1991).

De stroming van water over een dijk kan in hydraulic termen beschouwd worden als de stroming over een overlaat. Een overlaat is een vernauwing van het doorstromingsprofiel van een open waterloop. De vernauwing kan zowel door een beperking in de diepte als in de breedte worden veroorzaakt, of door een combinatie van beide. Een dijk vormt een beperking van de stroming in de diepte.

Er zijn twee soorten : de LANGE overlaat en de KORTE overlaat.

Bij de lange overlaat zijn de stroomlijnen boven of in de profielvernauwing nagenoeg recht, waarbij zich geen centrifugale krachten ontwikkelen. Met behulp van de vergelijking van Bernoulli kunnen dan theoretisch maximale waarden berekend worden voor de stroomsnelheid en waterhoogte boven de dijkkruin.

Bij een korte overlaat zijn de stroomlijnen boven of in de profielvernauwing gekromd en de stroming wordt in dit geval dus beïnvloed door centrifugale krachten. De afvoer wordt hierdoor groter dan onder gelijke omstandigheden bij een lange overlaat (max. ca. 40% groter).

In huidige berekeningen wordt de dijk beschouwd als een 'lange' overlaat.

Bij een klein verschil tussen H (de energiehoogte voor de overlaat) en h_2 (de energiehoogte benedenstrooms van de overlaat) zal het debiet Q dat over de overlooppdijk stroomt klein zijn.

Als de waterstand h_1 boven de kruin groter is dan $2/3 \times H$ (H = energiehoogte voor de dam), dan spreekt men van een ONVOLKOMEN overlaat, een overlaat met GESTUWDE afvoer. H en h_1 worden gemeten t.o.v. de kruin van de overlaat. De afvoerformule wordt :

$$Q := C_o b h_1 \sqrt{2g(H-h_1)} \quad \text{Vergelijking D-1}$$

Hierin is C_o de afvoercoëfficiënt, hetzij van de onvolkomen lange overlaat (C_{ol}), hetzij van de onvolkomen korte overlaat (C_{ok}), H is de energiehoogte voor de dam, h_1 de waterhoogte plaatselijk boven de kruin van de dijk.

Het stroombeeld van een onvolkomen overlaat vertoont aan de uitstroomzijde een bodemneer, waardoor zich langs het talud geen hoge stroomsnelheden kunnen ontwikkelen.

Waarden voor C_o variëren afhankelijk van de vormgeving en wandruwheid van de overlaat. Enkele benaderende waarden :

1. bij gladde overlaat met afgeronde hoeken en glooiende benedenloop met klein verval :
 $C_o=1.3$
2. bij ruwe dam (vb. van steen) met scherpe kruin en steile benedenloop met groot verval
 $C_o=0.9$
3. voor stroomsluizen die als onvolkomen overlaat werken, vindt men $0.7 \leq C_o \leq 1.4$

Hoe meer h_2 gaat afwijken van H , m.a.w. hoe lager het water in de polder staat, des te groter is de afvoer, het debiet. Dit kan echter NIET ONBEPERKT doorgaan. Vanaf een zekere hoogte h_2 van het water in de polder wordt voor een gegeven energiehoogte H het maximum debiet bekomen, als het waterniveau in de polder verder daalt verandert dit niets aan de waterhoogte h_1 boven de kruin van de dijk, en dus aan het debiet.

Bij een gegeven energiehoogte H blijft de minimale waterstand boven de kruin $h_1=2/3 H$ gehandhaafd, ook al verlaagt men de benedenwaterstand steeds verder. Op dat moment bereikt de waterhoogte van het overlopend water de kritische hoogte. Men spreekt van een werking als

volkomen overlaat, dit is het geval waarbij het benedenwater geen remmende invloed uitoefent op de afvoer.

Dat het debiet in dat geval onafhankelijk is van de benedenstroomse waterstand h_2 , en enkel bepaald wordt door de energiehoopte voor de overlaat, blijkt ook uit de theoretisch afleidbare formule voor de maximale waarde van het debiet :

$$Q_{max} = 1.72 b H^{3/2} \quad \text{Vergelijking D-2}$$

In de praktijk zal deze waarde lager zijn omwille van de wrijvingsverliezen. Men stelt als praktische waarde voorop :

$$Q = C_w b H^{3/2} \quad \text{Vergelijking D-3}$$

Hierin is C_{vl} de afvoercoëfficiënt van de volkomen lange overlaat.

Berekening van C_{vl} is niet mogelijk. Een vaak in de praktijk gebruikte benadering is :

$$C_{vl} := 1.72 C_{ol} \quad \text{Vergelijking D-4}$$

Hierbij is :

C_{vl} : afvoercoëfficiënt van de volkomen lange overlaat

C_{ol} : afvoercoëfficiënt van de onvolkomen lange overlaat

Enkel bij zeer gladde en gestroomlijnde overlaten zal deze waarde bereikt worden. Ongunstig gevormde stroomsluizen hebben een C_{vl} van ca. 1.1. In het waterbouwkundig laboratorium werden laborototiumproeven gedaan, waarbij de overloopcoëfficiënt empirisch werd bepaald (een model van een overstromingsdijk werd geconstrueerd, waarbij de bekleding op de overstromingsdijk uit kunstgras bestond). In het merendeel van de gevallen lag de waarde voor C_{vl} tussen 1.54 en 1.58 (VANWIJCK, 1996).

Bij een volkomen overlaat ontstaat aan de uitstroomzijde een DEKNEER of WATERSPRONG.; De afvoerstraal duikt hierdoor schietend langs het benedentalud en er treden langs dit talud hoge stroomsnelheden op. Het gevolg hiervan is dat ontgroning kan voorkomen. Dit kan de stabiliteit van het talud ernstig aantasten, zodat het talud hiertegen extra moet beschermd zijn.

2. Implementatie in model voor waterdebiet over dijk (met instelbare parameters)

Neemt men als symbolen aan :

Q	= debiet [m ³ /s]
C _{vl}	= overloopcoëfficiënt voor volkomen overlaat
C _{ol}	= overloopcoëfficiënt voor onvolkomen overlaat
L	= dijk lengte [m]
h ₁	= waterstand aan zijde met hoogste waterpeil (rivier of polder) [m]
h ₂	= waterstand aan zijde met laagste waterpeil (polder of rivier) [m]
hkruin	= hoogte kruin dijk [m]
g	= gravitatieconstante (9.81 m/s ²)

Dan wordt een onderscheid gemaakt tussen 3 verschillende situaties :

- 1) $h_1 \leq h_{\text{kruin}}$: geen stroming over dijk
- 2) $h_1 > h_{\text{kruin}}$ en $(h_2 - h_{\text{kruin}}) > 2/3 (h_1 - h_{\text{kruin}})$: onvolkomen overlaat
- 3) $h_1 > h_{\text{kruin}}$ en $(h_2 - h_{\text{kruin}}) \leq 2/3 (h_1 - h_{\text{kruin}})$: volkomen overlaat

De formules die gebruikt worden voor de berekening van het debiet zijn :

a) Voor de werking als volkomen overlaat :

Vergelijking D-5

$$Q = C_{vl} b (h_1 - h_{\text{kruin}})^{3/2}$$

In overeenstemming met de praktijk gehanteerd in (VANWIJCK, 1996) wordt hier aangenomen dat over het riviertalud van de overstromingsdijk kan aangenomen worden dat de snelheidscomponente van de wet van Bernoulli, $(v^2/2g)^{1/2}$ verwaarloosbaar is, zodat de reële waterhoogte h_1 boven de dijk kruin kan gelijkgesteld worden aan de waterhoogte h in de rivier.

De Schelde is bovendien een oneindig reservoir, zodat het overlopend debiet niet kleiner wordt omdat de rivier boven het kruinpeil van de overstromingsdijk onvoldoende eigendebiet zou hebben.

b) Voor de werking als onvolkomen overlaat :

Vergelijking D-6

$$Q = C_{ol} b (h_2 - h_{\text{kruin}}) \sqrt{2g (h_1 - h_2)}$$

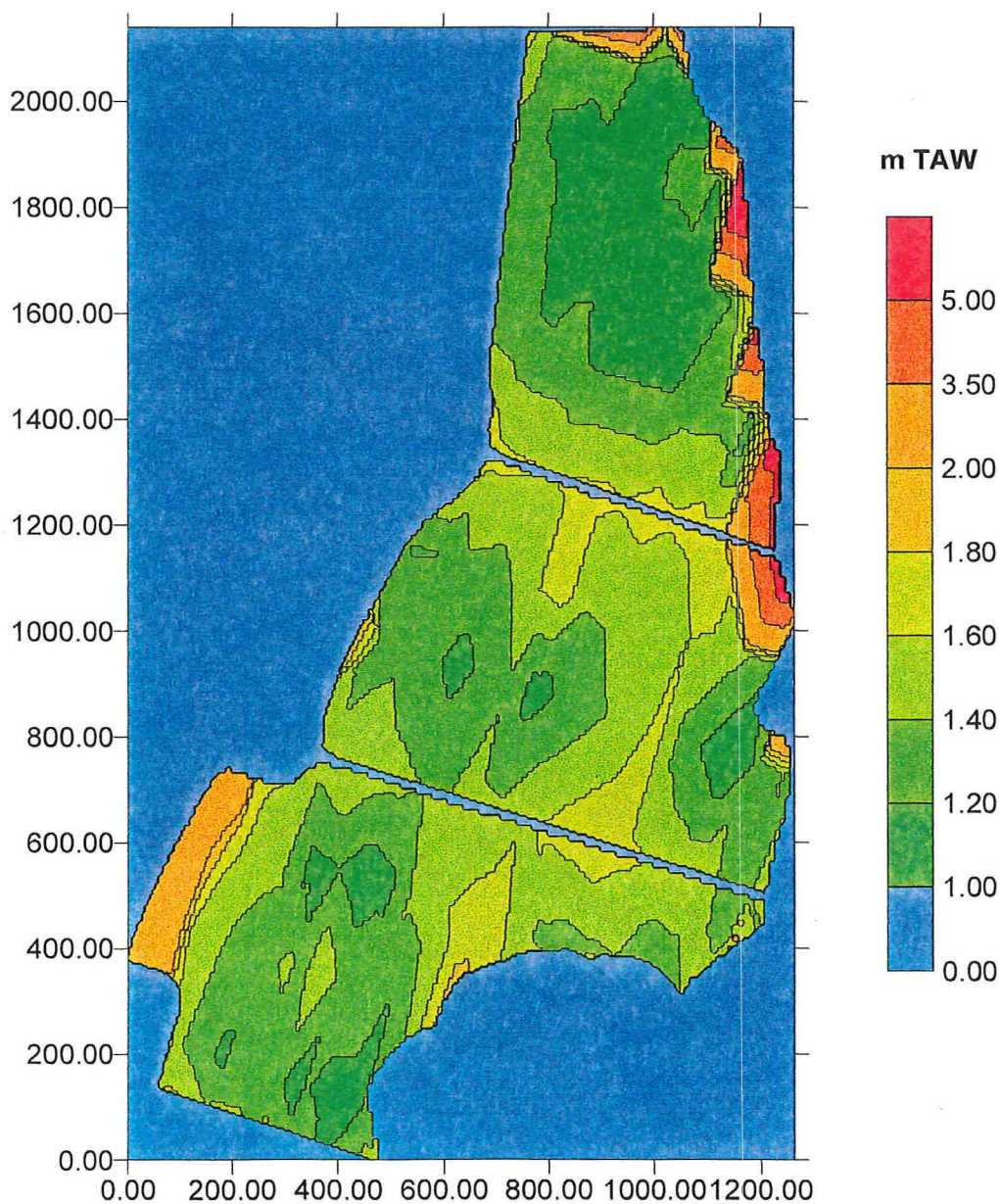
Hierbij werden voor de invariabele parameters uit de formule volgende waarden aangehouden :

hkruin (dijkkruin hoogte)	: 6.8 m
b (dijklengte voor polder Kruibeke)	: 1470 m
C _{ol}	: 0.87
C _{vl}	: 1.5 (1.72 x 0.87)

Appendix E : Hoogteligging polders Kruike-Bazel-Rupelmonde

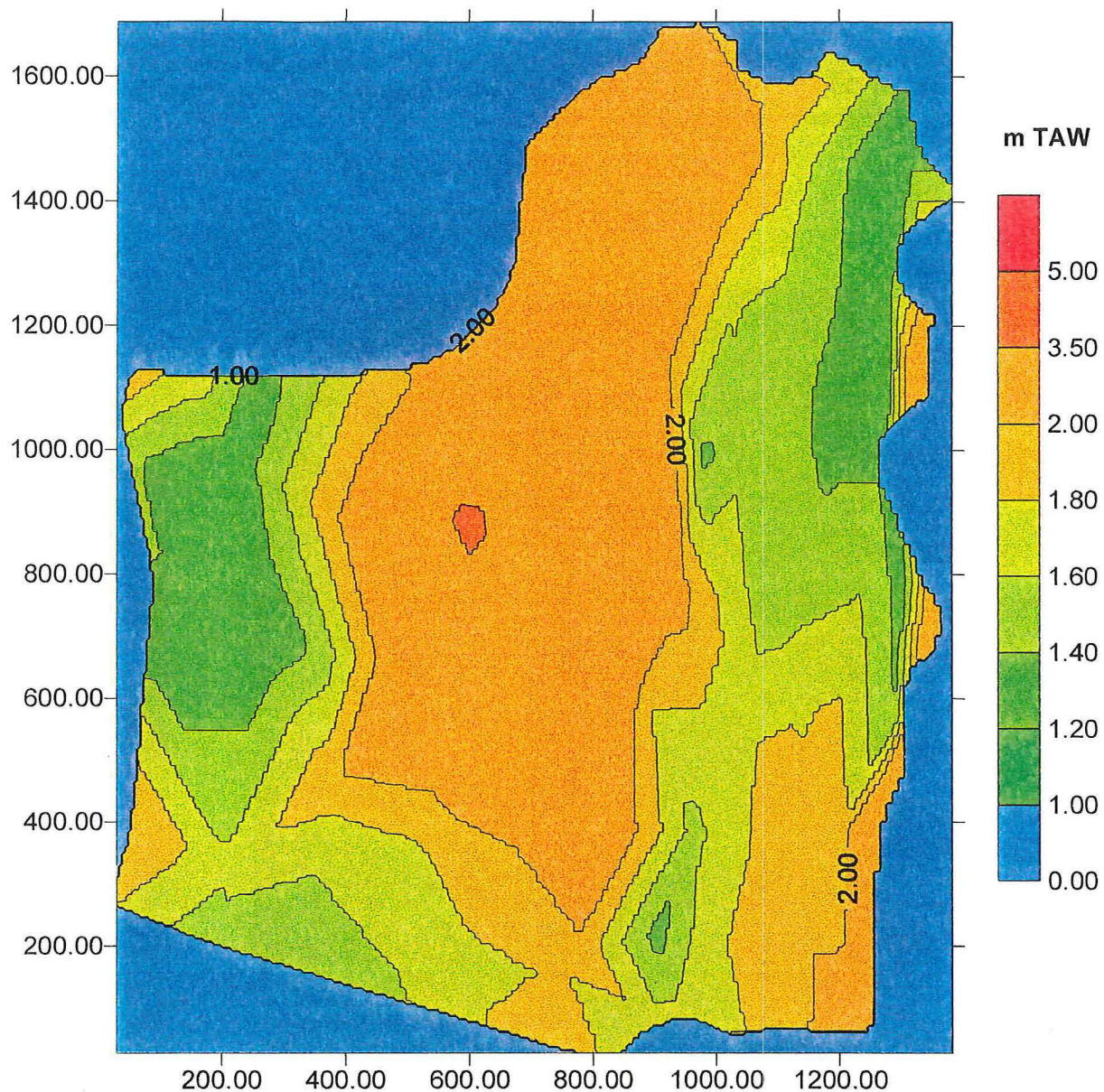
Met het programma 'surfer' werd een contourplot gemaakt van de hoogteligging van de polders van Kruike, Bazel en Rupelmonde, gebaseerd op het digitaal bestand, gebaseerd op de metingen van Koppen (KOPPEN, 1995) en (BIESEMANS ET AL., 1996).

Polder van Kruike Hoogteligging



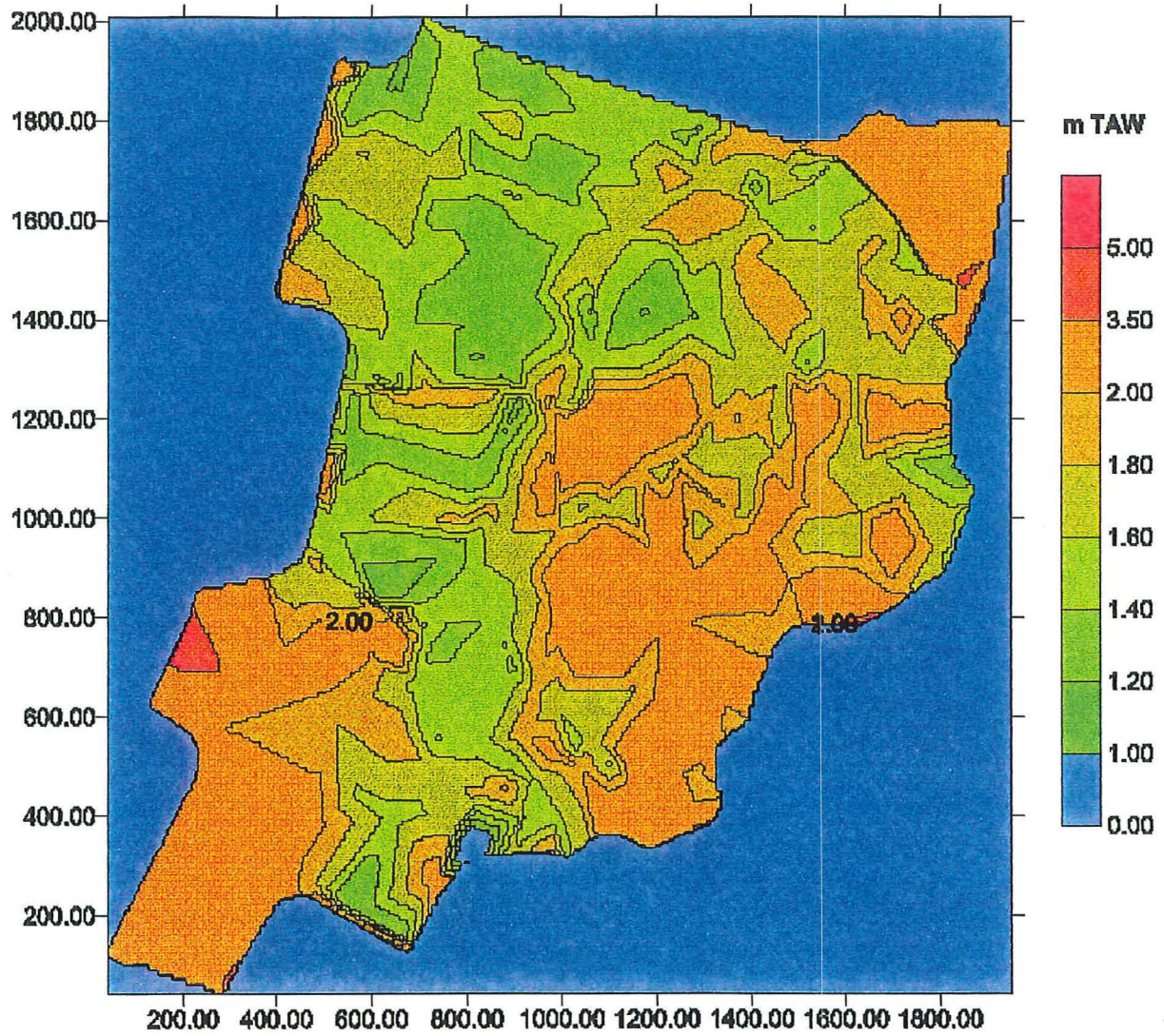
figuur E-1 : hoogteligging polder van Kruike

Polder van Bazel Hoogteligging



figuur E-2 : hoogteligging polder van Bazel

Polder van Rupelmonde Hoogteligging



figuur E-3 : hoogteligging polder van Rupelmonde

HET INSTITUUT VOOR NATUURBEHOUD

Het Instituut voor Natuurbehoud (I.N.) is een wetenschappelijke instelling van de Vlaamse Gemeenschap.

Het werd op 1 maart 1986 operationeel met als algemene taakstelling : *“alle passende wetenschappelijke studies, onderzoeken en werkzaamheden uit te voeren in verband met het natuurbehoud, inzonderheid met het oog op het uitwerken van actiemiddelen en wetenschappelijke criteria tot het voeren van een beleid inzake natuurbehoud; hiertoe verzamelt het alle nuttige documentatie, onderneemt het de nodige studies en onderzoeken, richt enquêtes in en zorgt voor de overdracht van de verworven kennis aan de bevoegde overheden...”*

Het onderzoek heeft betrekking op de biodiversiteit, meer bepaald op de inventarisatie, monitoring en ecologie van diverse plante- en diersoorten, populaties en levensgemeenschappen. In het landschapsecologisch onderzoek gaat de aandacht vooral naar ecohydrologie en habitatfragmentatie. De wetenschappelijke kennis ligt aan de basis van soortbeschermingsplannen, referentiekaders, kartering en evaluatie van natuurwaarden, gebiedsgerichte acties inzake natuurontwikkeling, -herstel en -beheer. Dit beoogt het inpassen van ruimtelijke en kwalitatieve noden van natuurbehoud in landinrichting, structuurplanning en milieubeheer.

Het Instituut is betrokken bij verschillende internationale onderzoeksprojecten en organisaties.

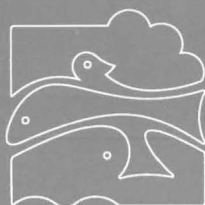
Adviesverlening is een belangrijke taak van het Instituut. Deze gebeurt zowel naar het Kabinet van de bevoegde Minister, de Vlaamse Hoge Raad voor Natuurbehoud, de Milieu- en Natuurraad van Vlaanderen, de administratieve diensten voor natuurbehoud, als naar provincies, gemeenten en diverse particuliere natuurverenigingen.

In opdracht van derden kunnen via het *Eigen Vermogen* specifieke studies, karteringen en expertises worden uitgevoerd, waarvoor contractuele medewerkers kunnen worden aangetrokken.

Directeur van het Instituut : Prof. Dr. Eckhart Kuijken.



Wetenschappelijke instelling van de Vlaamse Gemeenschap



Instituut voor Natuurbehoud

Kliniekstraat 25 - B-1070 Brussel - België - Tel. 32-2 558 18 11 - Fax 32-2 558 18 05 - <http://www.instnat.be/>