

Rijkswaterstaat

Cursusboek Beginners

WAQUA in SIMONA

oktober 2007



Rijkswaterstaat

Cursusboek Beginners

WAQUA in SIMONA

Origineel: Niek Praagman, Ingenieursbureau SEPRA BV, oktober 1999  
Revisie 1: Gijs van Banning, Alkyon Hydraulic Consultancy & Research  
BV, maart 2001  
Revisie 2: Johan Tacke, MX.*Systems* BV en Niek Praagman, Ingenieurs-  
bureau SEPRA BV, oktober 2007

oktober 2007



# Inhoud

## Lijst van figuren

1	Inleiding .....	1
2	De historie .....	2
2.1	Inleiding	2
2.2	Vergelijkingen	2
2.3	Vereenvoudigingen	2
2.4	Alternatieven	3
2.5	Digitale computers	4
2.6	Oosterscheldewerken	4
2.7	Benedenrivieren	5
2.8	WAQUA	5
3	De ondiepwatervergelijkingen .....	8
3.1	Inleiding	8
3.2	Begrippen	8
3.3	De discretisatie	10
3.4	Samenvattend	13
4	Problemen die met WAQUA opgelost kunnen worden.....	14
4.1	Inleiding	14
4.2	Stroming in een kustzee	14
4.3	Stroming in meren en rivieren	16
5	De SIMONA aanpak van Rijkswaterstaat.....	17
5.1	Inleiding	17
5.2	WAQUA-in-SIMONA	17
6	De WAQUA-in-SIMONA invoerfile.....	20
6.1	Inleiding	20
6.2	De SIMONA "keywords"	20
6.3	Voorbeeld	21
7	De simulatie.....	26
7.1	WAQPRE	26
7.2	WAQPRO	26
8	De interactieve pre- en postprocessing.....	27
8.1	Inleiding	27
8.2	De interactieve preprocessor IPW	27
8.3	De interactieve postprocessor KALGUI	27
8.4	Interactieve postprocessor WAQVIEW	29
8.5	Andere processing mogelijkheden	30
9	Kromlijnigheid.....	31



9.1	Inleiding	31
9.2	Curvilinear	31
9.3	Voorbeeld invoerfile Kromlijng model	34
10	Droogvallen en afregelen .....	40
10.1	Inleiding	40
10.2	Droogvallen	40
10.3	Afregelen	41
11	Transport .....	43
12	Rivier toepassingen .....	44
12.1	Inleiding	44
12.2	Overlaten	44
12.3	Ruwheid	44
12.4	Bodem	45
13	Dieptemiddeling, tijdmiddeling en TRIWAQ .....	46
14	Betrouwbaarheid .....	48
14.1	Inleiding	48
14.2	De schematisatie fouten	48
15	Het Zeedelta-model .....	50
15.1	Inleiding	50
15.2	Korte beschrijving	50
15.3	De invoerfile	52
15.4	Oefeningen Maasvlakte	56
15.5	3D-berekeningen	58
16	Een model van de Grensmaas .....	61
16.1	Inleiding	61
16.2	Oefening Stuwen	62
17	Het Scalwest-fijn model .....	71
17.1	Inleiding	71
17.2	Oefeningen en invoer	72
18	Geavanceerde technieken .....	81
18.1	Parallel rekenen	81
18.2	Domein Decompositie	81
18.3	Kalmanfiltering	82
19	Conclusies .....	84

Referenties

Bijlagen



## Lijst van figuren

1. Schematisatie westelijke Waddenzee met takken en gebieden
2. Voorspelling en werkelijkheid
3. Modellentrein van Oceaan tot Nederlandse Binnewateren
4. Voorbeeld van rechte lijnige schematisatie
5. Definitie WAQUA rekenrooster.
6. Voorbeeld van een "Kustzee"
7. Relatie tussen Manning en White Colebrook ruwheidswaarden
8. a. Userinterface KALGUI voor Time Series  
b. Voorbeeld KALGUI voor mapuitvoer
9. a. WAQVIEW plaatje met tijdreeksen voor een aantal waterstandsstations  
b. WAQVIEW plaatje met waterstandsveld op een zeker tijdstip
10. Kromlijnig rooster van een "Kustzee"
11. Waterstand in gebied om twaalf uur
12. Waterstand in station P3
13. Snelheid in m/sec in station 4.
14. Het watertransport, in m<sup>3</sup>/sec door de curve C1.
15. De waterstand in meters in het punt (M=4,N=12) Zwart met friction = 0.020, Rood friction = 0.030
16. De snelheid in m/s in het punt (M=4,N=12). Zwart weer 0.020, rood weer 0.030.
17. Gelaagde stroming: Reststroom in de "bovenste" en in de "onderste" laag voor de kust van Zuid Holland
18. Rekengebied van het Zeedelta model – versie 8
19. Lokaal gebied "Tweede Maasvlakte" met dammen en schotjes
20. Voorbeeld van een mogelijke Maasvlakte langs de kust. Vlakte is aangegeven via extra DAMPOINTS
21. Waterstand in punt (65,22) resp. wel/niet extra Maasvlakte
22. Verschil in waterstand in meters in punt (75,26) met resp. wel/niet extra Maasvlakte
23. Snelheid in punt (48,21) resp. wel/niet extra dunne dam
24. Snelheid in m/s in punt (48,21), 3D model, 2 lagen: Rood de bovenste laag en zwart de onderste laag.
25. Rekenrooster model Grensmaas
26. Detail met "punten" van Grensmaasmodel
27. Waterstand in twee lokaties Grensmaasmodel
28. Contouren stroomsnelheid na 1 dag van Grensmaasmodel
29. Contouren stroomsnelheid na 2 dagen Grensmaasmodel
30. Contouren Stroomsnelheid na 3 dagen Grensmaasmodel
31. Rekenrooster Scalwest model
32. Transformatie matrix van het Scalwest rooster met Grid enclosure
33. Tijdseries van waterstanden Scalwest m.b.v. KALGUI
34. Detail snelheidsveld Scalwest
35. M en N positie van het verdiepte stuk
36. Vergelijking waterstanden verdiept en niet verdiept.
37. Detail snelheidsveld Scalwest met verdieping.
38. Roosterpolygoon voor verticale doorsnede
39. Saliniteiten en snelheden in de vertikaal langs een polygoon
40. Schematisch voorbeeld horizontale en verticale domein decompositie
41. Voorbeeld effect Kalmanfilter (11 mrt. 06:00 GMT)
42. Voorbeeld effect Kalmanfilter (11 mrt. 12:00 GMT)



# 1 Inleiding

Reeds meer dan dertig jaar maakt Rijkswaterstaat gebruik van computersimulaties om ingrepen in de natuur van velerlei aard te analyseren en te bestuderen. Op waterloopkundig gebied wordt daarbij in toenemende mate gebruik gemaakt van het WAQUA pakket. WAQUA is een simulatiesysteem voor waterbeweging en waterkwaliteit in twee dimensies. De WA staat voor waterbeweging de QUA staat voor waterkwaliteit. Het driedimensionale deel van het simulatiesysteem staat bekend onder de naam TRIWAQ.

Het simulatiesysteem lost de ondiepwatervergelijkingen op. Voor de toepassing van het simulatiesysteem voor een specifiek gebied, dient het gebied in al zijn facetten te worden geschematiseerd. Een dergelijke toepassing heet een applicatie.

Het is uiteraard belangrijk dat er deskundigen beschikbaar zijn om de programmatuur van het WAQUA simulatiesysteem te onderhouden en aan te passen. Voor een organisatie als Rijkswaterstaat is het daarnaast evenwel minstens zo belangrijk dat er een aantal mensen is dat weet hoe binnen dit systeem applicaties gebouwd en gebruikt moeten worden. Deze mensen hoeven op zich, niets van de informatica-technische aspecten van de onderliggende programmatuur te weten. Des te belangrijker is het voor de toepasser van het pakket om bekend te zijn met:

- de basisbegrippen uit de hydrodynamica, waarbij het belangrijkste basisbegrip bestaat uit een gevoel voor "hoe water stroomt". Water kiest in beginsel de weg van de minste weerstand. Dat klinkt erg eenvoudig en dat is het ook. Toch is meestal jarenlange ervaring nodig alvorens men dat gevoel tot in alle details en essenties kan begrijpen en interpreteren;
- hoe een schematisatie voor WAQUA moet worden gemaakt die recht doet aan het te bestuderen probleem;
- hoe een invoer veranderd kan worden om een aantal scenario's door te kunnen rekenen en te vergelijken;
- hoe de simulatieprogramma's WAQPRE en WAQPRO gedraaid moeten worden om resultaten te kunnen genereren;
- hoe resultaten bekeken kunnen worden om ze te kunnen interpreteren (het onderwerp van de programma's WAQVIEW en KALGUI).

In dit cursusboek wordt aan de hand van een aantal verhalen en een aantal voorbeelden de mogelijkheid geboden om deze stappen onder de knie te krijgen. Ook zal van elk van de subprogramma's van WAQUA-in-SIMONA duidelijk worden gemaakt wat ze doen en waar ze voor gebruikt kunnen worden. Het boek kan gezien worden als ondersteuning bij een cursus WAQUA-in-SIMONA, maar is ook geschikt voor een gemotiveerde toekomstige gebruiker om via zelfstudie de "WAQUA-vaardigheden" onder de knie te krijgen.

Voor de goede orde zij vermeld dat de verschillende programma's op dit moment draaien op een flink aantal verschillende platforms onder verschillende besturingssystemen. Daartoe behoren UNIX, LINUX, Windows2000 en Windows XP. Tot de typen systemen waarop het pakket draait behoren HP-werkstations, maar ook multi-processor supercomputers, Linux-clusters en eenvoudige PC's. Daarbij kunnen met behulp van MPI meerdere systemen voor een simulatie worden ingezet ten behoeve van parallele verwerking. Was het pakket van oorsprong alleen geschikt voor zogenaamde mainframes, met de toenemende computerkracht komen ook zwaardere en meer gedetailleerde simulaties binnen het handbereik van de gebruiker, ook met een relatief eenvoudige PC.

Zo nu en dan wordt achtergrondinformatie in het boek zelf gegeven, soms wordt naar andere literatuur verwezen. De lezer kan zelf kunnen bepalen wat hij nog aan verdere informatie wil naslaan. In ieder geval zal de lezer aan het eind van het boek in staat zijn een simulatiemodel van een redelijk complex gebied te ontwerpen, een aantal verschillende scenario's door te rekenen en de resultaten van diverse ingrepen met elkaar te vergelijken. Overigens moet hier wel een kanttekening bij gemaakt worden. Voor het draaien van de programmatuur is de kennis van dit boek, samen met kennis van de 'User's Guide WAQUA', voldoende. Echter het trekken van conclusies moet met zeer veel zorg gebeuren, een goede kennis van de (numerieke) waterloopkunde is daarvoor onontbeerlijk.

## 2 De historie

### 2.1 Inleiding

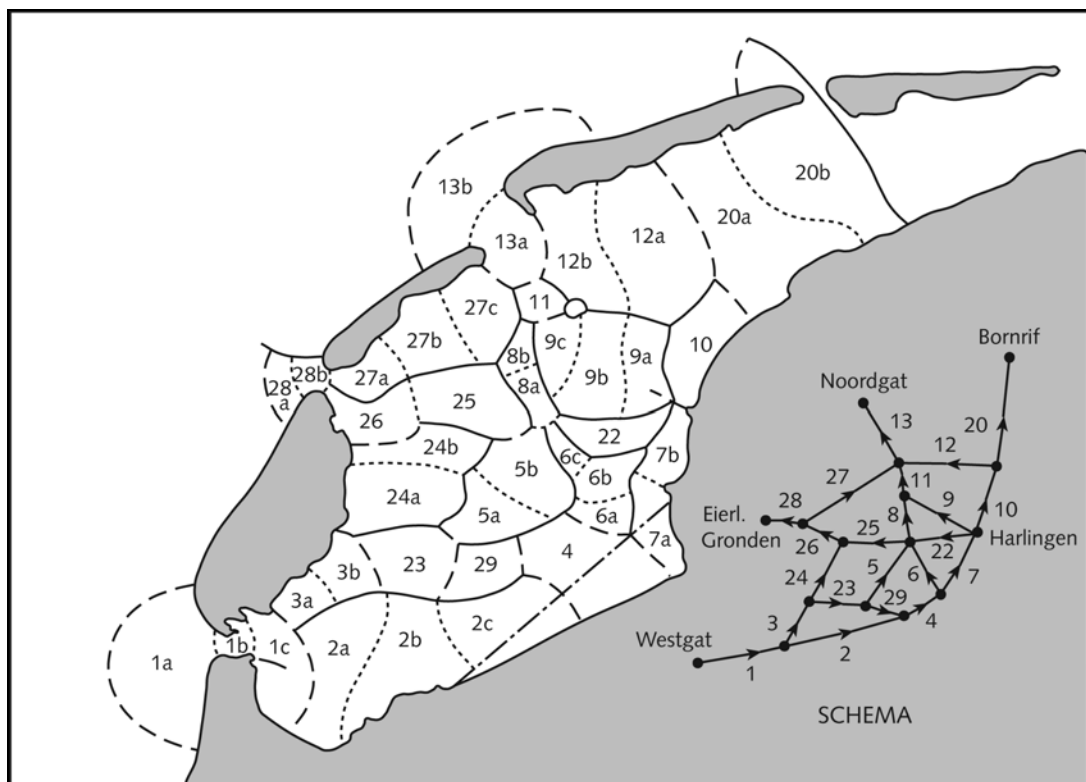
In dit hoofdstuk wordt kort ingegaan op de achtergronden van het pakket WAQUA-in-SIMONA. Op zich is kennis van de historie geen voorwaarde om goed met het pakket uit de voeten te kunnen.

### 2.2 Vergelijkingen

De basisprincipes voor de mathematisch-fysische beschrijving van de waterbeweging zijn reeds in 1666 geformuleerd door Newton. Zijn tweede wet, kracht is massa maal versnelling, vormt samen met de wet van behoud van massa de basis voor die beschrijving. In praktische zin gaat de beschrijving van de waterbeweging terug naar 1871 als de Fransman De St. Venant beide wetten vertaalt in een bruikbare vorm voor de waterbeweging. De wiskundige vergelijkingen die hij afleidt zijn relatief eenvoudig. De oplossing is dat echter niet, waardoor een brede toepassing uitblijft.

### 2.3 Vereenvoudigingen

De eerste praktische toepassing waarbij deze vergelijkingen, zij het in vereenvoudigde vorm, worden opgelost, is een Nederlandse.



Figuur 1: Schematisatie westelijke Waddenzee met takken en gebieden

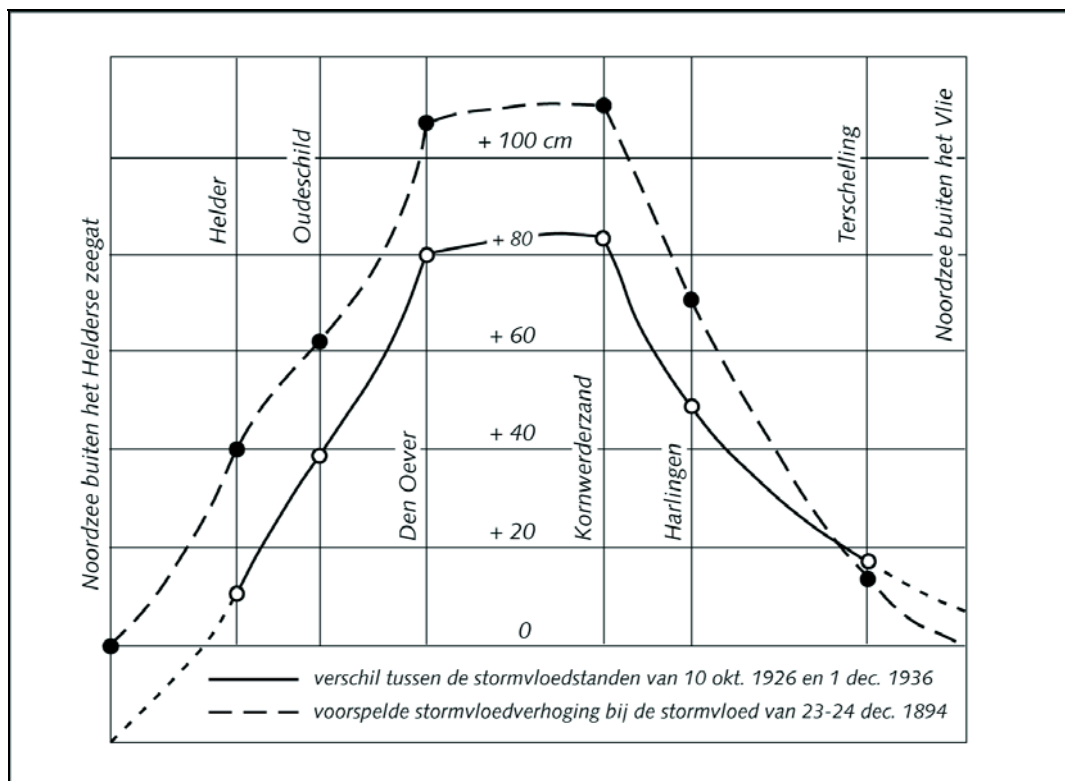
Als de Nederlandse regering naar aanleiding van de stormramp van 1916 besluit om de Zuiderzee af te sluiten wordt een commissie onder voorzitterschap van Nobelprijswinnaar Lorentz geïnstalleerd die "moet onderzoeken in

hoeverre, als gevolg van de afsluiting van de ZUIDERZEE, ingevolge de wet van 14 juni 1918 (staatsblad No. 354), te verwachten is, dat tijdens storm hogere waterstanden (en een grotere golfloop), dan thans het geval is, zullen voorkomen voor de kust van het vaste land van Noord-Holland, Friesland en Groningen, als mede voor de daarvoor gelegen Noordzee-eilanden".

Een van de methoden die bij het onderzoek gebruikt worden, wordt in het verslag van de commissie als volgt beschreven: "De derde methode tracht iets dieper in het mechanisme der verschijnselen door te dringen; zij gaat uit van de wiskundige vergelijkingen die de beweging van het water bepalen. Om het terrein te verkennen en de methode op de proef te stellen heeft men haar in de eerste plaats op de normale getijbeweging, zoals die thans is, toegepast".

Om de methode te kunnen gebruiken werd een rigoureuze vereenvoudiging uitgevoerd die tot vandaag de basis voor de eendimensionale waterbewegingsmodellen vormt. Door het hele gebied in een stelsel van geulen te verdelen, zie figuur 1, wordt het vraagstuk tot dat van de waterbeweging in een net van kanalen teruggebracht.

Ook werd de vergelijking van De St. Venant vereenvoudigd door enkele termen te verwaarlozen en/of te lineariseren. Ondanks deze vereenvoudigingen is het rekenwerk enorm. Een volledige berekening kost een goede rekenaar minimaal twee maanden en alles moet in verband met mogelijke rekenfouten dubbel worden uitgevoerd. Achteraf is gebleken dat de vereenvoudigingen van Lorentz toegestaan zijn: als in 1936 een storm plaatsgrijpt onder omstandigheden die sterk lijken op de storm waarvoor Lorentz de verhoging heeft voorspeld dan wijken de voorspelde waarden slechts circa 20 cm af (zie ook figuur 2).



Figuur 2: Voorspelling en werkelijkheid

## 2.4 Alternatieven

Rijkswaterstaat ziet de kracht van de methode en zet de door Lorentz gestarte ontwikkelingen voort. De in 1939 opgerichte studiedienst Benedenrivieren breidt de toepassingen uit. De hoeveelheid rekenwerk blijft echter een struikelblok: aan het doorrekenen van diverse plannen die vooruitlopen op het Deltaplan worden circa 300.000 rekenuren besteed. Er wordt daarom door de Rijkswaterstaat naar alternatieven gezocht. In 1947 wordt een

schaalmodel van het Noordelijk Delta Bekken gebouwd, een soort Madurodam met stromend water. In 1954 wordt een eerste analoge computer, waarin de elektrische netwerken vergelijkbare eigenschappen hebben als het stuk estuarium dat ze representeren, gebouwd. Een tweede snellere analoge computer, de DELTAR - de rekentijd is dan in de orde uren in plaats van in de orde maanden - die in 1960 de eerste opvolgt, blijft tot 1983 dienst doen. Het jaar 1983 markeert voor de Rijkswaterstaat een overgang naar een andere tijd: het natte schaalmodel en de analoge computer zijn dan definitief ingehaald door de universele en vooral snellere digitale computer.

## 2.5 Digitale computers

In 1983 duurt de berekening van een getijcyclus in het gebied van figuur 1 met een digitale computer inmiddels ongeveer 5 minuten. Op de DELTAR is dat dan 18 minuten. De nauwkeurigheid is hoog: het computermodel reproduceert de extreme waterstanden in een gebied als de Oosterschelde met een nauwkeurigheid van circa 0,06 m (4%) en de maximale stromingen met een fout van circa 0,15 m/s (15%). De procentueel grotere afwijkingen in de stromingen zeggen hoogstwaarschijnlijk meer over de nauwkeurigheid waarmee de bodemligging in de natuur vertaald kan worden naar model-parameters en waarmee de debieten bepaald kunnen worden uit een relatief gering aantal meetpunten in de dwarsdoorsnede, dan over de potentiële nauwkeurigheid van het model. Immers de ligging van de bodem wordt bepaald op basis van een beperkt aantal lodingen, lokale diepere stukken zullen daardoor vaak buiten beeld blijven. Dergelijke diepere stukken hebben echter wel een wezenlijke invloed op de voortplantingssnelheid van de golfbeweging en de lokale watersnelheid.

Een nadeel is dat de voorbereidingen voor de bouw van een model als geschetst in figuur 1 relatief eenvoudig maar arbeidsintensief zijn. Het schematiseren van de oneindige hoeveelheid gegevens uit de natuur in een beperkt aantal representatieve getallen. Met name de grote hoeveelheden lodingsgegevens, die op de juiste manier bewerkt moeten worden voor het model zijn hiervan de oorzaak. Het gaat daarbij om een beperkt aantal stappen. De modelleur tekent de geulassen in het gebied, en deelt de geulen in secties die voldoende kort zijn om de variatie van het dwarsprofiel te kunnen beschrijven. Daarna begint het arbeidsintensieve deel van het schematiseren: iedere sectie moet van nauwkeurige gegevens worden voorzien, zoals:

- de doorsnedes bij verschillende waterstanden;
- de breedte van het stroomvoerende deel;
- de lengte van het stroomvoerende deel;
- de oppervlakte van het bergende deel;
- de bodemruwheid ter plaatse.

Informatie over eventuele kunstwerken, de wijze waarop de verschillende secties met elkaar gekoppeld zijn en de randvoorwaarden op die plaatsen waar het model gekoppeld wordt aan buitengebieden completeert het simulatie model.

## 2.6 Oosterscheldewerken

De totale inspanning levert wel een model op met voorspelkracht. Als voorbeeld kan het simulatiemodel dienen dat gebruikt is bij de bouw van de Stormvloedkering in de Oosterschelde. Aan de bouw van de kering werden hoge kwaliteitseisen gesteld. In open zee werd met grote elementen met maattoleranties gewerkt die normaal in een droge bouwput worden gehanteerd. De feitelijke plaatsing van de elementen met de speciaal gebouwde werkschepen was o.a. in verband met de gestelde nauwkeurigheidseisen beperkt tot een korte periode (het "kenteringsvenster") rond de laagwaterkentering omdat alleen dan de stroomsnelheid van het water voldoende laag was om nauwkeurig te kunnen plaatsen.

In totaal moesten in elk van de 63 openingen van de kering tenminste 7 elementen geplaatst worden. De meeste werkzaamheden pasten maar net binnen het venster zodat actuele voorspellingen van de juiste begintijd nodig waren. Voor het bepalen van de vensters op de werklokaties zijn in het model van de Oosterschelde 63 kunstwerken ingebouwd om de plaatsingen te simuleren. Een speciale afdeling verzorgde de actualisering van de voorspellingen.

## 2.7 Benedenrivieren

Een tweede illustratief voorbeeld van de toepassing van een 1-D waterbewegingspakket is de dimensionering van de dijkhoogte. De dijkhoogte werd vroeger in hoofdzaak bepaald door de statistiek van de waterhoogten die gebaseerd was op waarnemingen over een groot aantal jaren. Het ingrijpen van de mens in een watersysteem introduceert echter nieuwe elementen, waardoor alle zaken die de waterhoogten beïnvloeden opnieuw gewogen moeten worden.

De benodigde dijkhoogten in het benedenriviereengebied hangen van veel factoren af, zoals:

- de sluitingsstrategie van de (nieuwe) kering in de Nieuwe Waterweg;
- de getijden;
- de bodemweerstand in de rivier;
- de waterafvoeren naar en in het gebied;
- het optreden van stormen;
- de kans op fouten bij het sluiten van kunstwerken.

Al deze factoren moeten herleid worden tot een voldoende lage kans op bezwijken van de dijken en dat bij voorkeur met de laagst mogelijke kosten. Deze kans kan dankzij de beschikbaarheid van een simulatiemodel berekend worden door een periode van een aantal jaren te karakteriseren en alle mogelijke omstandigheden door te rekenen. De maatgevende waterstanden zijn in dit geval berekend met het pakket SOBEK (voorheen met ZWENDL). In het pakket SOBEK wordt ook rekening gehouden met de zoutbeweging. Dit is in het benedenriviereengebied van belang omdat de invloed op de waterstand als gevolg van het verschil in dichtheid tussen zout en zoet water niet te verwaarlozen is.

## 2.8 WAQUA

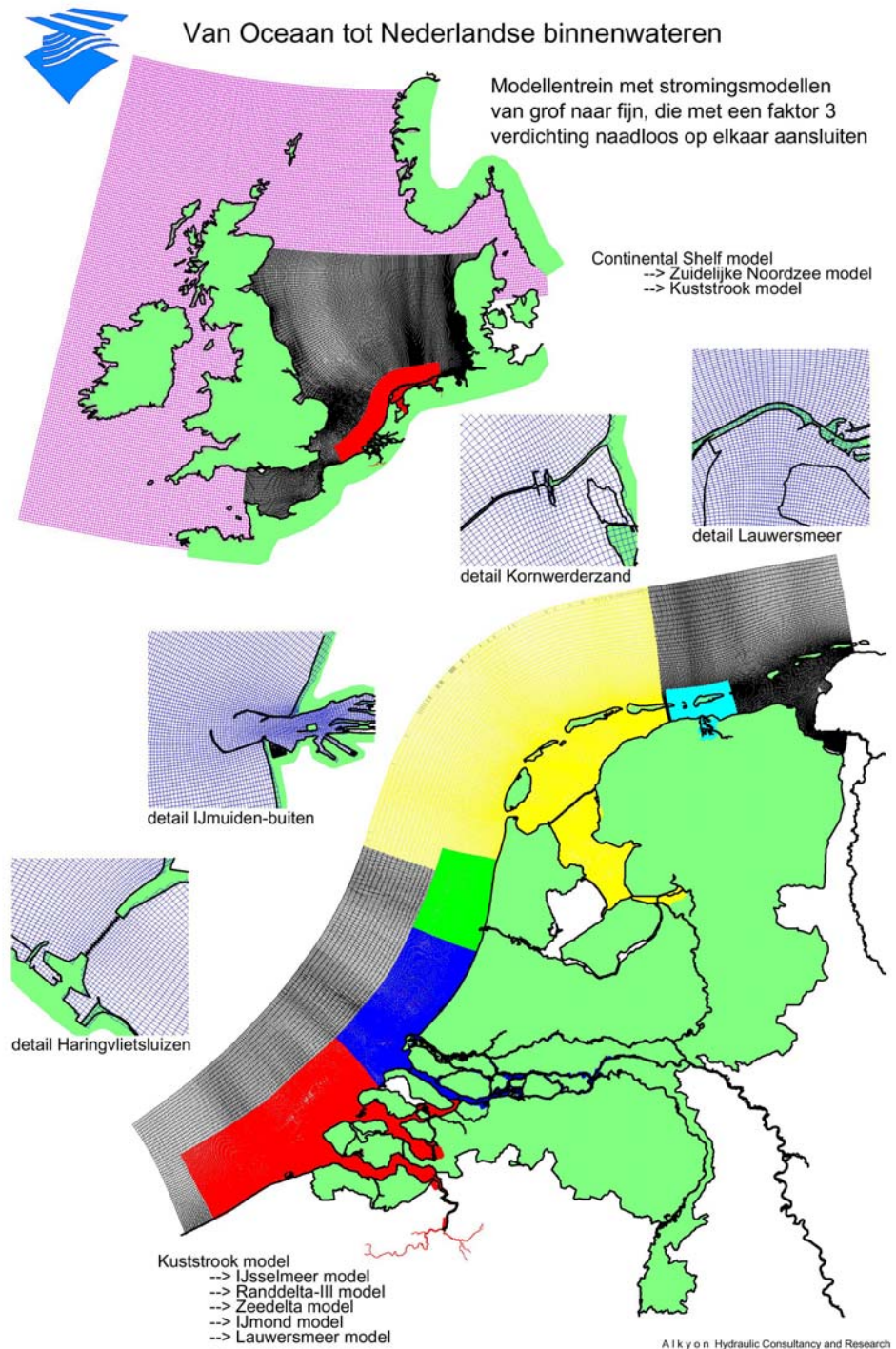
Alhoewel tot op de dag van vandaag 1-D modellen worden gebruikt, en voor een aantal situaties ook voldoende nauwkeurigheid bieden, is inmiddels de opmars en het gebruik van 2-D en 3-D modellen onmiskenbaar en vrijwel niet meer weg te denken. Eind jaren zestig experimenteerde Rijkswaterstaat (vooral door toedoen van J.J.Leendertse, zie [1]) uitgebreid met 2-D modellen.

Omdat in het 2-D geval alleen nog over de, relatief ten opzichte van de lengteschalen, zeer kleine diepte is geïntegreerd en gemiddeld, zijn er minder onzekerheden in het model. Daar staat tegenover dat het verzamelen van alle relevante gegevens nog steeds een zeer omvangrijk en tijdrovend karwei is. Met name de Deltawerken hebben voor een enorme impuls voor het 2-D pakket gezorgd.

Dankzij uitgebreide proeven met schaalmodellen, uitgebreide waarnemingen in zowel schaalmodellen als de natuur en talloze numerieke exercities met het rekenhart van WAQUA (zie bijvoorbeeld de vele WL rapporten uit de jaren 70 en 80 en het proefschrift van G.S.Stelling, [2]) is men erin geslaagd zoveel kennis te verzamelen dat in veel gevallen een probleem via uitsluitend computersimulaties geanalyseerd kan worden. Een positie die tot voor twintig jaar absoluut niet voor mogelijk werd gehouden. Ook in andere disciplines vonden dergelijke revoluties plaats: een goed voorbeeld daarvan is de numerieke weervoorspelling.

Er bestaan inmiddels 2-D modellen (toepassingen van het systeem of wel schematisaties van bepaalde gebieden) van vrijwel geheel nat Nederland. De modellen zijn op ingenieuze wijze aan elkaar gekoppeld. In figuur 3 is een aantal van deze modellen getekend. Een en ander is illustratief voor de wijze waarop van grof naar fijn wordt gewerkt. Door het beschikbaar stellen van deze gehele trein van modellen van "Oceaan tot Grote rivieren" wordt het doorrekenen van bepaalde ingrepen aanzienlijk eenvoudiger. De schematisatie is immers al in grote mate van detail beschikbaar. Datzelfde geldt voor de rand- en beginvoorwaarden en voor de diepteschematisaties. Deze modellen zijn al gekalibreerd en gevalideerd met beschikbare metingen en vaak kunnen de meetreeksen op

standaardstations uit DONAR direct worden vergeleken met de modelresultaten. Slechts de ingreep zelf hoeft te worden aangebracht om een nieuwe simulatie te kunnen uitvoeren.



Figuur 3: Modellentrein van Oceaan tot Nederlandse Binnenwateren



Al naar gelang de schalen van het te bestuderen probleem wordt met grotere respectievelijk kleinere modellen gewerkt. De modellen sluiten van grof naar fijn met een faktor 3 verdichting naadloos aan elkaar. Een logische stap is uiteraard om in die gevallen waarin de dieptemiddeling niet meer geoorloofd is in verband met de gewenste nauwkeurigheid, 3-D modellen te ontwikkelen en in te zetten.

De laatste jaren is dat inderdaad gebeurd. Voorbeelden zijn:

- Zout-zoet problemen bij de monding van de Nieuwe Waterweg;
- Slibproblemen bij Loswal Noord (voor de Zuid Hollandse kust), en in relatie met de Rotterdamse havens;
- Gedeeltelijke opening van de Haringvlietsluizen.

Zoals eens de 1-D modellen een lange weg hebben afgelegd voordat ze in veel gevallen voldoende nauwkeurige antwoorden konden geven en werden geaccepteerd als betrouwbaar, beginnen nu ook de 2-D en 3-D modellen steeds grotere betrouwbaarheid te leveren. De, met name praktische, kennis van de problematiek neemt nu snel toe. Omdat de computercapaciteit steeds groter wordt zowel wat betreft de opslag als de rekensnelheid lijkt het logisch om vast te stellen dat de opmars van de 2-D en 3-D modellen nog lang niet ten einde zal zijn.

## 3 De ondiepwatervergelijkingen

### 3.1 Inleiding

Het pakket WAQUA-in-SIMONA heeft als basis een rekenhart waarin de ondiepwatervergelijkingen numeriek worden opgelost. Alhoewel in dit boek, zoals in de inleiding reeds is gezegd, verder geen speciale aandacht zal worden besteed aan numerieke methoden, noch aan andere mathematische achtergronden is het voor een goede interpretatie van de mogelijkheden en benodigdheden van WAQUA belangrijk enkele basisbegrippen te introduceren.

In dit hoofdstuk wordt daarom aandacht besteed aan:

- de partiële differentiaalvergelijkingen;
- de beginvoorwaarden;
- de randvoorwaarden;
- de externe aandrijvende krachten.

### 3.2 Begrippen

De vergelijkingen die de stroming van water in ondiepe gebieden beschrijven staan bekend als de ondiepwatervergelijkingen (zie appendix A). Onder ondiep water worden gebieden verstaan, die gekenmerkt worden door afmetingen die in de horizontale richtingen vele malen groter zijn dan in de verticale richting. Als voorbeeld kunnen genoemd worden: kustzeeën, maar ook rivieren, meren en kanalen. Een afleiding van de ondiepwatervergelijkingen kan worden gevonden in Dronkers [3] en/of in Praagman [5].

De ondiepwatervergelijkingen zijn zogenaamde partiële differentiaal-vergelijkingen, die voor elk punt in een zeker gebied en op elk tijdstip aangeven wat de relatie is tussen de onbekende grootheden  $u$ ,  $v$  en  $\zeta$ . Daarbij zijn  $u$  en  $v$  de  $x$ - respectievelijk de  $y$ -component van de over de diepte gemiddelde snelheid en  $\zeta$  is de waterstand ten opzichte van een zeker referentievlak. In die ondiepwatervergelijkingen komen ook nog diverse "bekenden" voor namelijk:

- de diepte  $h$ ;
- de zwaartekrachtsversnelling  $g$ ;
- de bodemruwheid gerepresenteerd door de coëfficiënt van Chezy  $C$ ;
- de windsnelheid  $W$  aan het wateroppervlak;
- de eddy viscositeit  $\nu$ .

Het begrip "bekende" moet hier niet al te letterlijk opgevat worden; immers alhoewel de diepte theoretisch bekend is moet die diepte praktisch gesproken nog wel voor een bepaalde toepassing van het model geschematiseerd worden. Vaak is in minder dun bevolkte gebieden alleen een ruwe schatting van de diepte beschikbaar. Bedenk bijvoorbeeld dat op veel kaarten van zeegebieden met name de ondiepten correct zullen zijn weergegeven omdat dat voor de scheepvaart belangrijk is, maar de diepere gebieden veel minder betrouwbaar zullen zijn geregistreerd. Toch is de diepte van een gebied de belangrijkste te schematiseren grootheid. De diepte bepaalt namelijk de weerstand die de stroming ondervindt. Grote diepten leiden tot weinig weerstand, relatief kleine snelheden (er is immers veel oppervlak per eenheid van breedte beschikbaar) en een grote voortplantingssnelheid, kleine diepten leiden tot veel weerstand, relatief hoge snelheden en een geringe voortplantingssnelheid.

De Chezy coëfficiënt  $C$ , die een maat is voor de bodemruwheid, is een diepte afhankelijke grootheid die iets zegt over de bodemgesteldheid. Vaak is niet precies te zeggen hoe groot  $C$  moet zijn en wordt  $C$  gebruikt als een calibratie grootheid.

De wind  $W$  wordt als een schuifspanning op het oppervlak meegenomen en is afhankelijk van de ruwheid van het wateroppervlak. Deze ruwheid neemt toe naarmate er meer golven op het wateroppervlak ontstaan.



De eddy viscositeit of turbulente viscositeit is een grootheid die op een eenvoudige wijze iets zegt over de turbulente wrijving in het water. Door deze wrijving wordt turbulentie gegenereerd op die plaatsen waar de gradiënt in de snelheid het grootst is.

Partiële differentiaalvergelijkingen beschrijven hoe een aantal onbekenden (in dit geval  $u$ ,  $v$  en  $\zeta$ ) in tijd en plaats veranderen. Nu is het zo, dat als  $u$ ,  $v$  en  $\zeta$  op zeker tijdstip  $T_0$  gegeven zijn in het hele gebied van interesse, ze, op basis van de differentiaalvergelijkingen op alle latere tijdstippen berekend kunnen worden als de bekenden  $h$ ,  $g$ ,  $C$ ,  $W$  en  $v$  gegeven zijn en als op de randen van het gebied, randvoorwaarden aanwezig zijn. Op zich is het geven van randvoorwaarden, en met name welke randvoorwaarden nog een lastig probleem: in dit boek wordt daar verder niet op ingegaan. (zie bijvoorbeeld G.S.Stelling, [2])

Het feit dat de onbekenden op tijdstip  $t = T_0$  bekend zijn noemen we het bekend zijn van de beginvoorwaarde. Vaak zal slechts een schatting van de beginwaarden beschikbaar zijn, gelukkig blijkt dit in de praktijk meestal niet zo ernstig te zijn: Bij een onnauwkeurige begintoestand zal het model er alleen wat langer over doen om op de goede oplossing uit te komen. Dit noemen we het "inspelen" van het model. Het is belangrijk om te controleren of het model goed is ingespeeld. Dat kan bijvoorbeeld gebeuren door vergelijking met een vergelijkbaar tijdstip na enkele getijcycli.

Op de randen van het gebied zijn randvoorwaarden nodig. Globaal gesproken zijn er twee typen randen te onderscheiden:

- "dichte" randen en
- "open" randen.

Met dichte randen worden die plaatsen bedoeld waar het gebied van interesse grenst aan het land: meestal de kust (soms wordt deze randvoorwaarde ook toegepast op diep water als het gerechtvaardigd is te veronderstellen dat het water slechts evenwijdig aan deze rand stroomt). Op deze randen wordt aangenomen dat de snelheid loodrecht op de kust nul is, er kan geen water door deze rand stromen. De open rand is aanzienlijk moeilijker, hiermee wordt de gebiedsbegrenzing aangeduid waar water grenst aan water. Dit is een kunstmatige rand, door de gebruiker gekozen. Soms is in zo'n rand nog iets van de natuur te herkennen, bijvoorbeeld als de rand ligt op een wantij bij één van de Waddeneilanden. In dat geval kan op grond van de natuur nog iets over de randvoorwaarde gezegd worden. Meestal is dit echter niet het geval en moet op zo'n kunstmatige rand een randvoorwaarde opgelegd worden. Dit moet dan via metingen of via analyse van het plaatselijke astronomische getij. (Het astronomische getij is het getij dat wordt opgewekt door de invloed van de hemellichamen, voor de meeste plaatsen op aarde is dit vrij nauwkeurig bekend, uit getijtafels of satelliet waarnemingen). Vaak wordt er gewerkt met grootschalige modellen waarin een gedetailleerd model genest ligt. De randvoorwaarden uit het detailmodel worden dan gegenereerd uit het overall model. Een mooi voorbeeld van een dergelijke nesting, die tot in grote mate van detail is doorgevoerd is de modellentrein zoals die onder 2.8 is genoemd.

Al met al zorgen open randen vaak voor praktische problemen. Immers de gebruiker moet bepalen of daar de waterstand, een debiet of een snelheid dan wel een combinatie van grootheden moet worden opgegeven. In de voorbeelden in volgende hoofdstukken komen we op het opdrukken van randvoorwaarden terug.

Het is goed te begrijpen dat de ruwheid van de bodem invloed zal hebben op de snelheid; de ruwheid van de bodem is vertaald in een tweetal extra termen in de ondiepwatervergelijkingen waarin de coëfficiënt van Chezy, de grootheid  $C$ , een belangrijke rol speelt. In WAQUA kan de Chezy waarde zeer gedetailleerd over het hele gebied worden opgegeven. Een gebruiker zal zich echter altijd moeten realiseren dat het hier gaat om een term die in een paar, relatief eenvoudige, gevallen voldoet. In hoeverre de gekozen Chezy-coëfficiënt en daarmee de bodemwrijvingsterm ook in complexere gevallen correct is, is nog maar de vraag. De nu gemelde onzekerheid is een rechtvaardiging voor het gebruik van de Chezy-coëfficiënt bij het afregelen van het model. (Zie ook hoofdstuk 9)



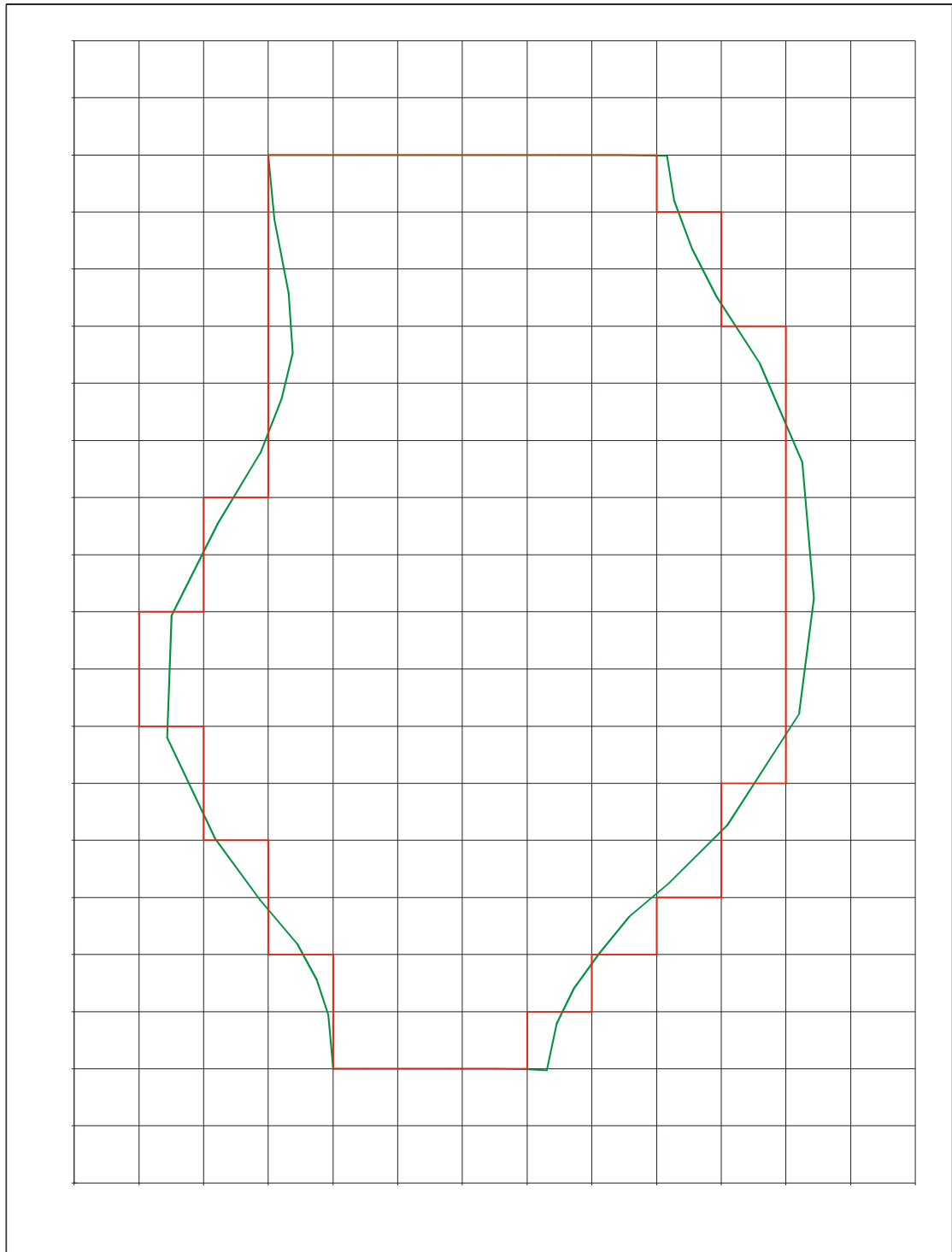
Zoals een ruwe bodem invloed heeft op de snelheid van het water aan de bodem, heeft de wind invloed op de snelheid en de richting van de waterbeweging. Ook voor de windterm bestaat een aantal empirisch bepaalde formules. (Zie de WAQUA User's Guide [7] voor de mogelijkheden die in WAQPRE worden geboden.)

### 3.3 De discretisatie

WAQUA-in-SIMONA geeft een benadering van de functies  $u$ ,  $v$  en  $\zeta$  op het gebied van interesse op een aantal discrete tijdstippen. Deze benadering wordt gevonden door het gebied van interesse (het gaat om een 2-dimensionaal watergebied) schematisch weer te geven met een rooster. In plaats van het hele oorspronkelijke gebied beschouwen we een verzameling van punten en vierhoeken die het gebied zo goed mogelijk weergeven. Zo'n verzameling van punten en vierhoeken moet aan een aantal eigenschappen voldoen, in het vervolg komen we hier nog op terug. In figuur 4 is zo'n schematisatie weergegeven. De hoeken van de vierhoeken noemen we de roosterpunten. In plaats van een functie  $\zeta$  die op het hele gebied van interesse gedefinieerd is, zoeken we een functie die in elk roosterpunt de oorspronkelijke functie zo goed mogelijk benadert. Op dezelfde wijze zoeken we benaderende functies voor de snelheidscomponenten. Als  $N$  het totale aantal roosterpunten is dan zoeken we een functie die in elk van die roosterpunten gedefinieerd is en een waarde heeft. In elke vierhoek wordt de oorspronkelijke functie dan benaderd door een interpolatiewaarde op basis van de vier waarden in de hoeken.

In WAQUA wordt met verspringende roosters (staggered grids) gewerkt: in figuur 5 is aangegeven hoe dit in z'n werk gaat. Er zijn aparte punten voor de diepte, voor de waterstand en voor de  $u$ - en de  $v$ -snelheid. Samen vormen vier van deze punten één roostercel met bijbehorende administratieve nummers. In de numerieke formules wordt uitgebreid gebruik gemaakt van deze ordening van roosterpunten. (Zie Stelling [2].)

Er is niet zo veel verbeeldingskracht voor nodig om te bedenken dat een willekeurige functie beter benaderd wordt naarmate de vierhoekjes in het rooster kleiner worden en het aantal dus groter. Maar dat heeft uiteraard de consequentie wordt ook het aantal rekenpunten groter om toch hetzelfde gebied te bestrijken.

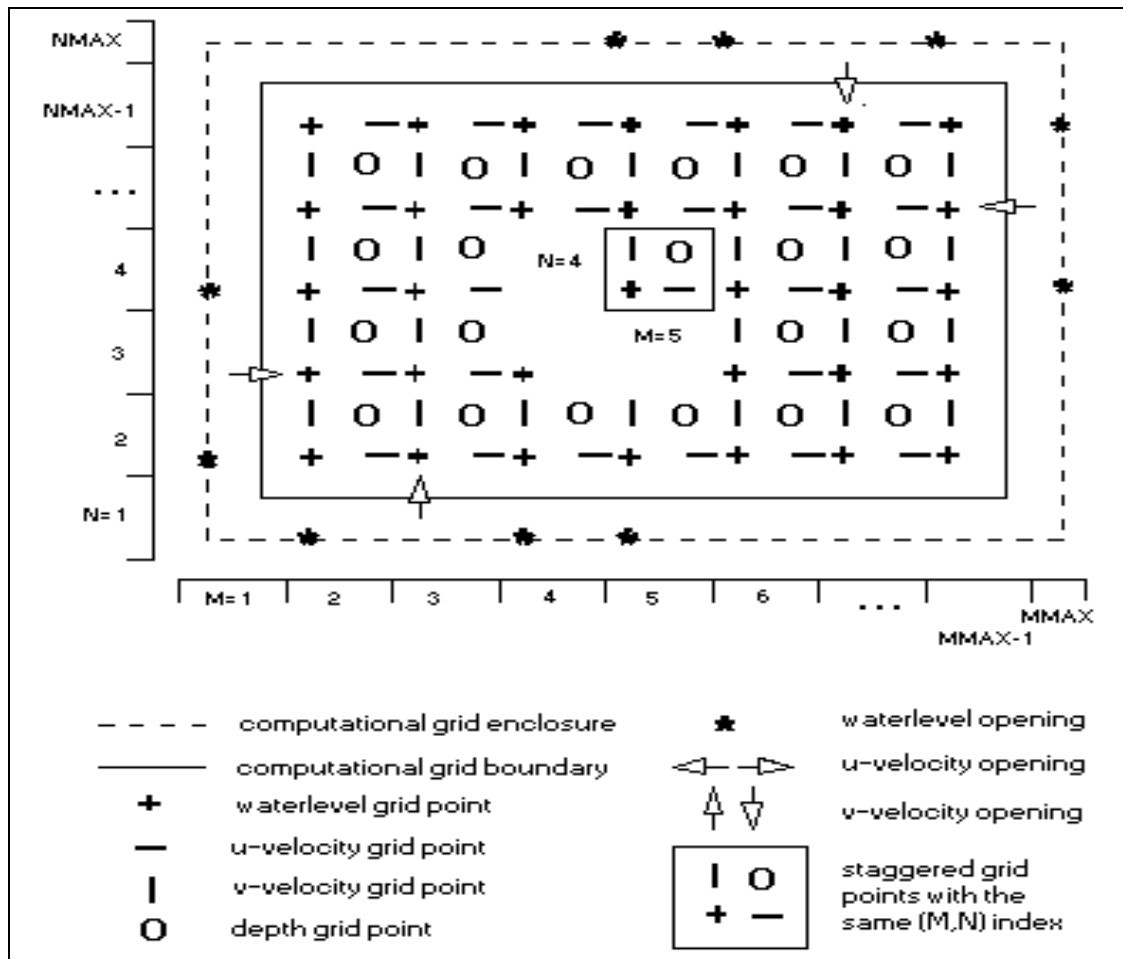


**Figuur 4: Voorbeeld van rechtlijnige schematisatie (Let op de noodzakelijke "trapjes"-randen)**

En daarmee neemt ook de rekentijd toe die nodig is om een bepaalde situatie door te rekenen.

Om een voorbeeld te geven: halveren van de zijde van een vierhoek leidt tot vier keer het aantal punten waarin de onbekende functie berekend moet worden. Verviervoudiging van het aantal punten betekent daarom dat er ook vier keer zoveel rekentijd nodig is om al die onbekenden te berekenen als de tijdstap op de oorspronkelijke grootte gehandhaafd blijft. Vaak zal ook de tijdstap verkleind moeten worden als de plaatsstap verkleind is. Een gebruiker zal steeds een evenwicht moeten zien te vinden tussen de gewenste nauwkeurigheid en de rekentijd. In het

algemeen kan gezegd worden dat grove modellen (modellen die een groot gebied beslaan) gekenmerkt worden door het gebruik van weinig rekentijd, terwijl juist de gedetailleerde modellen veel rekentijd vergen. Het belangrijkste criterium voor het bepalen van de juiste tijdstap is het zogenaamde Courant criterium. Dat criterium legt een relatie tussen de nauwkeurigheid van de getijvoortplantingssnelheid, de plaatsstap en de tijdstap. In het algemeen wordt de tijdstap bepaald door de grootste waterdiepte bij de kleinste maaswijdte. Dat is in het verleden een reden geweest om over te gaan naar kromlijnige roosters. Deze roosters die ook aan allerlei criteria moeten voldoen bieden de mogelijkheid om op diep water met grote mazen te werken en op ondiep water met meer detail. Zo kan de tijdstap beperkt blijven en is er toch vaak veel detail mogelijk in een interesse gebied.



Figuur 5: Definitie WAQUA rekenrooster. Let op de plaatsen waar openingen zijn gedefinieerd. Waterstandsopeningen liggen een halve stap meer naar buiten dan snelheidsopeningen.

In veel gevallen worden modellen gebruikt om te voorspellen. Daarom zal de rekentijd om de onbekenden te berekenen aanzienlijk kleiner moeten zijn dan de gesimuleerde tijd. Gelukkig hebben computers de neiging steeds groter (qua geheugen) en sneller te worden, dit betekent dat steeds nauwkeuriger modellen in een aanvaardbare tijd kunnen worden gedraaid.

Evenals de benadering van de functie in de ruimte (plaatsdiscretisatie) wordt een benadering van de functie in de tijd (tijdsdiscretisatie) gebruikt. Op basis van de functiewaarden op zeker tijdstip worden de functiewaarden op een tijdstip, één tijdstap later, uitgerekend. Deze tijdsdiscretisatie zit te ingewikkeld in elkaar om daar hier verder op in te gaan. Voor de liefhebbers zie [2].

### 3.4 Samenvattend

In dit hoofdstuk hebben we aangegeven wat er moet gebeuren om een probleem met WAQUA op te lossen. In het kort komt het (ongeveer) op de volgende stappen neer:

- Bepaal het gebied van interesse (dat is het gebied waar verschijnselen geanalyseerd moeten worden);
- Bepaal het gebied waarop de ondiepwatervergelijkingen opgelost moeten worden (dit gebied wordt vaak veel groter gekozen dan het gebied van interesse om te zorgen dat versturende invloeden van kunstmatige randen weinig tot geen invloed op de analyse zullen hebben en dat op de randen zo goed mogelijke randvoorwaarden beschikbaar zullen zijn);
- Maak een discretisatie van het gebied: bepaal roosterpunten en rekencellen zodanig dat voldoende nauwkeurigheid bereikt wordt in het interesse gebied;
- Geef aan op welke randen welke randvoorwaarden zullen komen;
- Geef aan wat de beginvoorwaarden zullen zijn;
- Geef aan met welke diepte gerekend zal gaan worden;
- Geef aan met welke bodemruwheid gerekend zal worden;
- Geef aan met welke Eddy viscositeit gerekend zal worden;
- Geef aan met welke wind gerekend zal worden;
- Bepaal in welke lokaties wat voor soort history-uitvoer bepaald moet worden;
- Bepaal op welke tijdstippen waterstandsvelden, snelheidsvelden en concentratievelden nodig zijn.

Als de gebruiker dit allemaal heeft vastgelegd, zal hij dat op eenduidige wijze in de computer moeten invoeren waarna het model gereed is en er een berekening uitgevoerd kan worden.

Nadat de berekening is uitgevoerd en geconstateerd is dat het model werkt, moet worden nagegaan of het model ook realistische antwoorden geeft. Daartoe is het vrijwel altijd noodzakelijk een vergelijking te maken tussen metingen en berekeningen.

Daarvoor is uitvoer van het model nodig. Die uitvoer kan door het model worden gegenereerd in de vorm van tijdseries en of in de vorm van velden.

Uit het bovenstaande is ook duidelijk geworden dat de gebruiker door de grote hoeveelheid invoer veel mogelijkheden heeft om de uiteindelijke resultaten te beïnvloeden. Het is daarom zaak eerst net zolang het model aan te passen en af te regelen tot een situatie is gevonden die als uitgangspunt voor verdere analyse kan dienen. Het steeds iets veranderen van de resultaten door het aanpassen van de diverse parameters van het model wordt het afregelen of calibreren genoemd. Voor de zekerheid wordt vaak ook nog een ander gebied gebruikt om te controleren of de resultaten ook daar in overeenstemming zijn met de waarnemingen. Dit afregelen moet altijd helemaal afgelopen zijn voordat met een aantal scenario - berekeningen wordt begonnen op grond waarvan later beleidsbeslissingen genomen zullen moeten worden.

## 4 Problemen die met WAQUA opgelost kunnen worden

### 4.1 Inleiding

WAQUA is een simulatiesysteem dat zowel voor de simulatie van de waterbeweging als voor de simulatie van de waterkwaliteit gebruikt kan worden. Het is mogelijk zowel stationaire als niet-stationaire stromingen, transport van opgeloste stoffen, verdelingen van temperatuur en zoutconcentraties met WAQUA te berekenen. In de volgende sectie wordt aangegeven hoe één en ander in zijn werk gaat.

### 4.2 Stroming in een kustzee

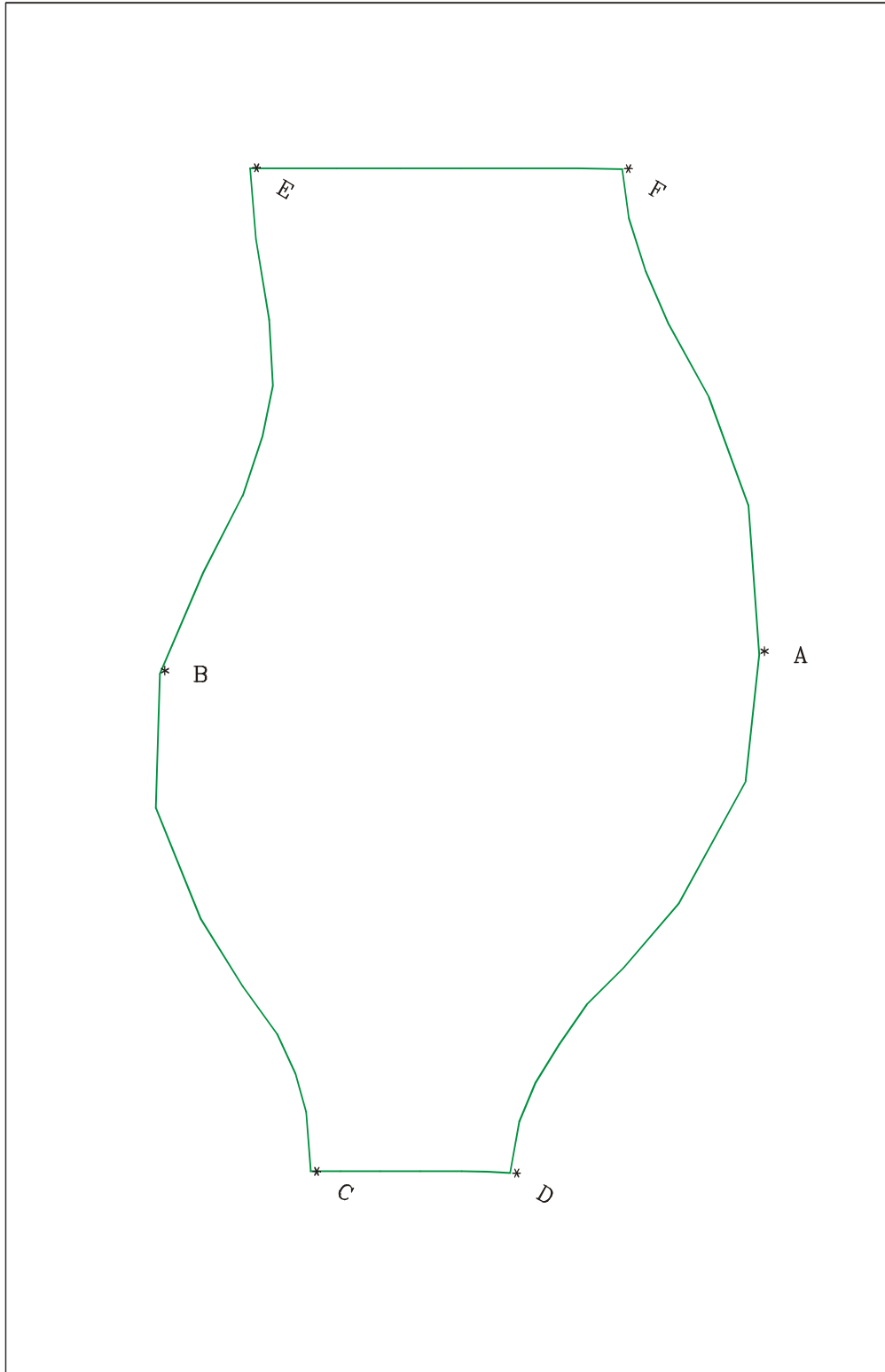
Een, niet alleen in Nederland, veel voorkomende wens is de waterhoogtes en stroomsnelheden in een kustgebied te kennen. Vaak is men met name geïnteresseerd in de veranderingen die optreden als gevolg van menselijk ingrijpen. Een goed voorbeeld is in dit verband de vraag (die ook in hoofdstuk 1 al aan de orde was) die omstreeks 1925 gesteld werd : wat is de invloed van het aanleggen van een Afsluitdijk op de stroomsnelheden en waterstanden in Den Helder, Wieringen, Harlingen en Holwerd of de vraag uit circa 1970: welke invloed heeft het aanleggen en eventueel sluiten van een Oosterscheldekering op de waterstanden en stroomsnelheden en op de zoutconcentraties in het Oosterscheldebekken en in de omgeving van de Oosterschelde langs de Nederlandse kust. Laten we voor het gemak aannemen dat dergelijke vragen gesteld zijn voor de zee, het gebied, getekend in figuur 4. Om diverse redenen is het wenselijk om een model te hebben van de aangegeven kustzee omdat invloeden van allerlei ingrepen dan op relatief eenvoudige wijze bestudeerd kunnen worden door die veranderingen in het model aan te brengen.

De hamvraag is nu hoe we een goed model kunnen bouwen van zo'n zeegebied. Stel dat de meeste activiteiten in de buurt van de lokaties A en B (zie figuur 6) worden uitgevoerd.

Eerst moet bepaald worden welk gebied beschouwd zal gaan worden. Laten we aannemen dat men besloten heeft dat dat het gebied C - D - A - F - E - B - C zal zijn. Enkele kenmerken van het gebied zijn (zie ook hoofdstuk 2):

- de open randen C - D en E - F;
- de dichte randen D - A - F en C - B - E.

Om te beginnen zal het gebied in vierhoeken moeten worden opgedeeld en wel zo dat de hoeken die de roosterlijnen onderling maken 90 graden zijn. Voorlopig gaan we uit van een rechthoekig equidistant model, later volgt de uitbreiding naar rechthoeken en kromlijng. De eenvoudigste oplossing is in dat geval een oplossing zoals eerder in figuur 4 is getoond.



Figuur 6: Voorbeeld van een "Kustzee"

Hierbij zou ongeveer als volgt te werk kunnen worden gegaan: pak doorschijnend ruitjespapier, leg dat op het gebied en bepaal van punt tot punt en van vierhoek tot vierhoek of ze tot het gebied behoren. Bepaal daarna van de punten A - F zo goed mogelijk waar ze liggen, neem daarvoor het dichtstbijzijnde "roosterpunt". Voor de goede orde: voorlopig zijn de vierhoeken vierkanten en alle punten van interesse worden zo verschoven dat ze samenvallen met een roosterpunt. Nadat het rooster is bepaald (zie figuur 4) worden de randen aangegeven en wordt ook



vastgesteld welke randvoorwaarden op de open randen zullen worden opgelegd. Daarna wordt vastgesteld met welke beginwaarden de berekening gestart zal worden. Tenslotte zoekt de modelleur/ontwerper via metingen, bijvoorbeeld uit DONAR, of via zeekaarten, naar de juiste dieptegetallen voor het gebied van interesse. Meestal is het verstandig om indien men nog niet zo veel ervaring heeft met WAQUA bij een kenner te vragen welke cijfers ingevoerd moeten worden voor Chezy, wind en de Eddy viscosity.

Voor de volledigheid zij opgemerkt dat er inmiddels automatische meshgeneratoren beschikbaar zijn die op basis van beperkte gebruikersinvoer een "goed" WAQUA-rooster produceren. (Zie bijvoorbeeld de handleiding Delft3D-RGFGRID [8])

Theoretisch is het probleem nu in kunnen en kruiken. Het enige wat nog moet gebeuren is dat al deze stappen omgezet moeten worden naar een invoerfile voor WAQUA-in-SIMONA. In hoofdstuk 5 wordt hierop teruggekomen.

### 4.3 Stroming in meren en rivieren

De handelwijze die in de vorige sectie is uiteengezet voor een kustzee is in principe direct overdraagbaar in het geval van stroming in een meer of in een rivier. Het grote verschil zit in de totaalafmetingen: bij een kustzee spreken we vaak in de orde van enkele tientallen kilometers terwijl dat bij de meeste Nederlandse meren niet gehaald wordt. Een rivier is nog weer anders omdat dan de afstand loodrecht op de stroomrichting, i.e. de afstand van oever tot oever, vaak relatief heel klein is. Omdat de karakteristieke afstanden en daarmee de karakteristieke verschijnselen in een andere orde van grootte vallen zullen de uit nauwkeurigheidsoverwegingen te gebruiken roosterafstanden bij de diverse problemen sterk verschillen. Vaak zal de maaswijdte op een rivier zo gekozen worden dat het tenminste circa tien stappen (of met andere woorden roostercellen) is van de ene oever naar de andere. Dit betekent dat een model waarin zowel kustzeeververschijnselen als rivierverschijnselen worden meegenomen moeilijk te bouwen is: de rivier vraagt een relatief kleine stapgrootte vergeleken met de stapgrootte van het zeedeel.



## 5 De SIMONA aanpak van Rijkswaterstaat

### 5.1 Inleiding

Met de groei van het aantal numerieke pakketten bij de Rijkswaterstaat zoals :

- SOBEM (een 1D numeriek pakket voor de simulatie van stroming van water in stelsels van kanalen en rivieren);
- WAQUA (een 2D numeriek pakket voor kustzeeën, rivieren en estuaria) en
- SWAN (een 2D spectraal numeriek pakket voor golfvoortplanting).

kwamen er problemen naar boven. Problemen die direct verband hielden met het feit dat de pakketten op verschillende plaatsen, door steeds weer andere mensen en meestal zonder algemeen aanvaarde programmeernormen waren ontwikkeld.

Als gevolg hiervan :

- was de wijze van invoer voor elk pakket anders;
- pasten de berekende resultaten van de verschillende pakketten niet bij elkaar;
- waren veel op zichzelf staande operaties zoals met name de voor- en nabewerking en de standaard oplosprocedures, elke keer opnieuw en op een andere wijze geprogrammeerd;
- waren de verschillende pakketten qua programmatuur van zeer verschillende kwaliteit.

Om aan deze problematiek een eind te maken werd eind jaren tachtig de SIMONA-filosofie ingevoerd (acroniem voor. SI(mulatie) MO(dellen) NA(tte Waterstaat).

1. Er werd een algemene methodiek voor de invoer afgesproken (een KEYWORDS georiënteerde invoer);
2. Er werd een algemene methodiek voor de uitvoer en de naverwerking afgesproken, zodat resultaten van verschillende pakketten toch op dezelfde wijze verwerkt en geïnterpreteerd konden worden (het naverwerkingsprogramma SIDONIA is hier een voorbeeld van);
3. Alle nieuw te schrijven programmatuur werd aan strenge normen onderworpen (zie Normen SIMONA).

In algemene zin werd met deze afspraken beoogd dat onderhoudbaarheid en hergebruik van de programmatuur sterk zouden toenemen en dat dankzij de uniforme aanpak verschillende pakketten eenvoudiger gekoppeld zouden kunnen worden.

### 5.2 WAQUA-in-SIMONA

Sinds WAQUA in SIMONA is opgenomen bestaat het uit een flink aantal subpakketten, we noemen hier de belangrijkste voor deze cursus:

- een voorbereidingspakket WAQPRE,
- een rekenprogramma WAQPRO,
- een naverwerkingsprogramma SDS2MAT en KALGUI.

Van elk volgt hierna een korte beschrijving.

- A. De preprocessor WAQPRE, het voorbereidingsprogramma.

WAQPRE is een programma dat een door de gebruiker geleverde invoerfile met WAQUA "keywords" omzet in een voor de WAQUA processor WAQPRO geschikte invoer.

Zonder te zeer in detail te treden vertellen we hier iets over de opzet van de preprocessor. Het SIMONA team heeft een programma geschreven (SIREFT) dat een groot aantal constructies van "keywords" herkent en deze op eenduidige wijze vastlegt in een aantal arrays zonder dat de specifieke betekenis van de "keywords" wordt bekeken. SIREFT is een algemeen programma dat niet alleen voor WAQUA maar voor willekeurig welk



ander pakket gebruikt kan worden. De ontwerpers van WAQUA-in-SIMONA hebben de vereiste invoer in een zogenaamde REFERENTIETABEL vastgelegd die aan de eisen van SIREFT voldoet en deze tabel via SIREFT in een binaire file omgezet.

De preprocessor WAQPRE leest de invoerfile van de gebruiker en vergelijkt de inhoud met de inhoud van die binaire file. Indien de invoerfile van de gebruiker correct is (anders volgt een foutmelding) wordt de inhoud op speciale wijze opgeslagen in een aantal SIMONA arrays. Vervolgens leest WAQPRE die arrays uit met behulp van een aantal SIMONA tools en vult de specifieke waarden in die nodig zijn om WAQPRO te kunnen draaien. Dit laatste deel is uiteraard wel WAQUA afhankelijk. In dit deel kan een aantal tests worden uitgevoerd om na te gaan of de gebruiker correcte en zinnige invoer heeft gegeven.

- B. De processor WAQPRO, het rekenhart van WAQUA.  
WAQPRO berekent waterstanden, snelheden en indien door de gebruiker gevraagd concentraties in door de gebruiker opgegeven locaties en schrijft resultaten weg naar achtergrondgeheugen.  
De organisatie van de arrays behorend bij een specifiek pakket is zo dat elk item via een eenvoudig mechanisme weg te schrijven en terug te lezen is naar en van de S(IMONA) D(ATA) S(TORAGE) file. (Zie voor meer informatie over de wijze van opslag en de organisatie van die opslag de SIMONA programmers guide [6]).
- C. De postprocessing pakketten SDS2MAT en KALGUI.  
Het naverwerkingspakket SDS2MAT is een stuk gereedschap dat de resultaten op een SDS file omzet in een serie voor MATLAB leesbare, platform-onafhankelijke files. Het programma SDS2MAT, maakt gebruik van een SDS2MAT.inp file, waarmee een selectie kan worden gemaakt van de data die op de SDS file aanwezig is. Is SDS2MAT eenmaal gedraaid dan kan de verwerking zowel met het in MATLAB geschreven BASIS-ANALYSE als met KALGUI worden gedaan. De mogelijkheden van KALGUI zijn wat uitgebreider, maar BASISANALYSE heeft het voordeel dat alle plaatjes in een keer in batchverwerking kunnen worden aangemaakt.  
KALGUI is een in MATLAB gebouwd, platform-onafhankelijk interactief naverwerkingsprogramma dat op een gebruiksvriendelijke wijze mogelijkheden biedt om resultaten van een of meer simulaties te combineren respectievelijk te visualiseren. Een ervaren MATLAB gebruiker heeft daarnaast nog steeds de mogelijkheid om zelf MATLAB commando's te gebruiken.

Naast deze drie programma's zijn er nog veel meer hulpprogramma's. Programma's die zeker genoemd moeten worden bij WAQUA-in-SIMONA zijn:

- D. De interactieve preprocessor IPW (onder MS-Windows): een hulpprogramma dat gebruikt kan worden om een bestaande invoerfile interactief zo aan te passen dat invoer voor een nieuw experiment wordt gemaakt. Bijvoorbeeld doordat nieuwe locaties waar iets moet worden getekend of geprint, worden toegevoegd, of dat de diepte lokaal wordt aangepast.
- E. Het programma WAQWND voor het omzetten van ruimtelijk variërende wind- en luchtdrukvelden (bv. afkomstig van het KNMI of het ECMWF) naar een voor WAQUA leesbare wind SDS-file.
- F. De postprocessor WAQVIEW, het WAQUA-nabewerkingspakket:  
WAQVIEW is een interactief programma, beschikbaar onder Windows en Linux, dat voor SIMONA is ontworpen en dat resultaten die op de SDS-file staan kan lezen en visualiseren op het scherm. Via speciale commando's kan de gebruiker plaatjes combineren en als hij tevreden is met het resultaat dit naar een plotter sturen. WAQVIEW is geschikt om zowel het verloop in de tijd in een zeker station (histories) als een momentopname in een gebied (maps) te visualiseren en biedt ook de mogelijkheid resultaten met elkaar te vergelijken door twee histories in één tekening te plaatsen, of het verschil van twee (gelijkwaardige) SDS-bestanden te beschouwen. Tenslotte is het met WAQVIEW mogelijk een animatie van de snelheidsvelden, waterstandsvelden en/of concentratievelden (de "kaarten") op het scherm te tonen.



- G. Het programma WAQPAN dat de mogelijkheid biedt resultaten van WAQUA uit de SDS file te halen en zo weg te schrijven dat gebruik kan worden gemaakt van naverwerkingsprogramma's als PRESENT en MATLAB. WAQPAN is vooral ten behoeve van de 3D toepassingen ontwikkeld. Via de PRESENT uitvoer worden leesbare ASCII files gegenereerd die weer bruikbaar zijn voor visualisatie met behulp van b.v. Excel.

De functionaliteit van WAQPAN is inmiddels ook beschikbaar in het generieke naverwerkingspakket SIDONIA (zie par. 8.5); op termijn zal WAQPAN dan ook vervangen worden door GETDATA (onderdeel van SIDONIA).

- H. Het programma BASISANALYSE dat op een gestandaardiseerde wijze grote hoeveelheden gegevens verwerkt en automatisch een groot aantal plots genereert als naverwerking op een simulatie. Het programma kan bijvoorbeeld worden ingezet voor validatie van modelberekeningen en voor gevoeligheidsstudies. Net als KALGUI is BASISANALYSE een platform-onafhankelijk Matlab-programma.
- I. Het hulpprogramma OBS2SDS voor het toevoegen van metingen (observed data) aan een SDS-bestand. Dit toevoegen kan zowel voorafgaand aan de berekening (dus vóór waqpro) als daarna gebeuren. De meetreeksen zijn als regel afkomstig uit DONAR (het Data-Opslagsysteem voor de Natte Rijkswaterstaat).
- J. DIFFRUNIDS, een hulpprogramma voor het bepalen van verschillen tussen twee berekeningen; bijvoorbeeld de verschillen tussen een som met en een som zonder windinvloed op het model. De feitelijke verschillen worden bepaald op basis van Matlab-files (SDS2MAT-uitvoer); het resultaat bestaat weer uit Matlab-files, die eenvoudig met KALGUI kunnen worden gevisualiseerd.

Van alle hulpprogramma's zijn handleidingen beschikbaar. WAQWND en WAQPAN staan evenals WAQPRE en WAQPRO beschreven in de WAQUA User's Guide terwijl voor SDS2MAT, OBS2SDS, KALGUI, IPW, WAQVIEW en BASISANALYSE aparte handleidingen (vaak on-line help via een willekeurige browser in html) beschikbaar zijn.

Aan een aantal interactieve pre- en postprocessing programma's is in dit cursusboek nog een apart hoofdstuk gewijd (zie hoofdstuk 8).



## 6 De WAQUA-in-SIMONA invoerfile

### 6.1 Inleiding

Inmiddels is voldoende informatie gegeven om een invoerfile passend bij de figuren 4 en 6 te tonen en aan de hand van deze invoerfile en enkele kleine aanpassingen daarin stap voor stap uit te leggen wat de diverse grootheden in deze invoerfile voorstellen en wat de relatie is met de werkelijkheid. In de User's Guide van WAQUA (zie [7]) wordt bij de beschrijving van WAQPRE uitgebreid stilgestaan bij de betekenis van de mogelijke "keywords".

In dit boek werken we met een aantal voorbeelden. We starten met een eenvoudige verzameling "keywords" die een (artificieel) model beschrijft dat lijkt op het model in figuur 4. Daarna komt er een iets ingewikkelder invoerfile en model aan de orde. Aan de hand van deze twee voorbeelden zal de opzet en werkwijze duidelijk moeten worden. Verderop in het cursusboek kijken we naar de invoerfile van drie realistische modellen: het Zeedelta-model, het Grensmaas model en het Scalwest-fijn model.

Alvorens met de voorbeeld invoerfile te beginnen enkele algemene opmerkingen over de "keyword" structuur. Bij de bestudering van de voorbeelden is het uiteraard zeer verstandig de handleiding van WAQUA steeds te raadplegen en na te slaan.

### 6.2 De SIMONA "keywords"

De invoerfile van WAQPRE is een gestructureerde ASCII file. De structuur is bepaald door de ontwerper van WAQUA-in-SIMONA. De structuur is een blokstructuur:

- elk blok kent subblokken;
- elk subblok zo nodig subsubblokken enzovoort tot zo'n rij eindigt met specifieke informatie.

Meestal gaat het dan om getalinformatie, soms om karakterinformatie en in een enkel geval om het zetten van een vlag.

Bekijk als voorbeeld van zo'n file de invoerfile uit sectie 6.3.

Enkele regels:

- Er is een hiërarchische volgorde die binnen een blok volledig vastligt.
- Overigens geldt er geen vaste volgorde voor de blokken.
- Een blok wordt gedefinieerd als alle informatie die volgt na een "keyword".
- Een "keyword" is altijd een combinatie van letters en under-scores.
- In een "keyword" mogen pertinent geen getallen voorkomen. Getallen suggereren dat een "keyword" is geëindigd.

Enkele voorbeelden van "keywords" zijn:

MESH, LAYOUT, FRICTION en VARIABLE\_VALUES

In principe zijn de "keywords" bij WAQUA zo gekozen dat hun naam iets zegt over hetgeen moet volgen, c.q. moet worden opgegeven.

Een speciaal type "keyword" is het "keyword"-koppel GLOBAL/LOCAL dat op vele plaatsen in de invoer gebruikt mag worden. GLOBAL kan gebruikt worden om data voor het hele veld op te geven, hetzij een constante waarde voor het hele veld in één keer hetzij waardes voor alle punten na elkaar. Via LOCAL kan de gebruiker vervolgens



lokale boxen (i.e. rechthoeken) opgeven waarin de waarden kunnen worden overschreven. Het concept staat aangegeven in sectie 2.1.2 van de WAQPRE handleiding.

*Opgave: Bestudeer de sectie DATA FIELDS van de WAQPRE handleiding.*

WAQPRE kent enkele "keywords" die gereserveerd zijn voor speciale acties en wel:

- INCLUDE
- INSERT
- SET

Gebruik van deze "keywords" kan de invoerfile leesbaarder maken.

*Opgave: Bestudeer de mogelijkheden van de gereserveerde "keywords" in de WAQUA User's Guide.*

## 6.3 Voorbeeld

Hieronder staat een voorbeeld van een invoerfile. Het is één van de eenvoudigste invoerfiles die voor WAQUA te maken is en waarmee gedraaid kan worden. Het betreft een "dichte" bak, dat wil zeggen dat er geen open randen in het gebied van interesse zijn. (Voor de volledigheid: vaak is slechts een beperkt stuk van een "keyword" verplicht; welk stuk dat is, is te vinden als het onderstreepte gedeelte in de beschrijving in de User's Guide WAQUA. Wij zullen in de hier gegeven voorbeelden altijd het volledige "keyword" geven.)

```
#
IDENTIFICATION
  WAQUA
  EXPERIMENT = 'VOORBEELD1'
  OVERWRITE
#
MESH
  GRID
  AREA
    MMAX = 10 , NMAX = 10
  RECTILINEAR
    STEPSIZE = 100.00
  POINTS
    P 1 = ( M = 5 , N = 5 , NAME = ' PUNT 1 ' )
  BOUNDARIES
  ENCLOSURES
    E = ( 1, 1 ), ( 1, 10 ), ( 10, 10 ), ( 10, 1 ), ( 1, 1 )
  BATHYMETRY
  GLOBAL
    CONST_VALUES      = 10.
    DEPDEF             = 6.00
#
FLOW
  PROBLEM
  TIMEFRAME
    DATE      = '26 MAR 1996'
    TSTART    =      0.
    TSTOP     =     100.
  METHODVARIABLES
    TSTEP     =     0.250
```



```
ITERACCURACY = 0.005
FRICITION
GLOBAL
UDIREC
GLOBAL
CONST_VALUES = 0.020
VDIREC
GLOBAL
CONST_VALUES = 0.020
FORCINGS
INITIAL
WATLEVEL
GLOBAL
LAYOUT = 1
LOCAL
BOX: MNMN = ( 1, 1 ; 10, 10 )
VARIABLE_VALUES =
-1.00 -1.00 -1.00 -1.00 -1.00 -1.00 -1.00 -1.00 -1.00 -1.00
-0.70 -0.70 -0.70 -0.70 -0.70 -0.70 -0.70 -0.70 -0.70 -0.70
-0.35 -0.35 -0.35 -0.35 -0.35 -0.35 -0.35 -0.35 -0.35 -0.35
-0.15 -0.15 -0.15 -0.15 -0.15 -0.15 -0.15 -0.15 -0.15 -0.15
-0.05 -0.05 -0.05 -0.05 -0.05 -0.05 -0.05 -0.05 -0.05 -0.05
0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05
0.15 0.15 0.15 0.15 0.15 0.15 0.15 0.15 0.15 0.15
0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35
0.70 0.70 0.70 0.70 0.70 0.70 0.70 0.70 0.70 0.70
1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
#
SDSOUTPUT
MAPS
TFMAPS = 0.
TIMAPS = 2.
TLMAPS = 100.
```

In dit voorbeeld is vrijwel alleen datgene opgegeven wat nodig is. Veel "keywords" in WAQUA en TRIWAQ zijn optioneel, dat wil zeggen dat de gebruiker ze op kan geven maar dat het niet persé moet. Van de hoofd "keywords" van WAQUA zijn er drie verplicht (mandatory):

- IDENTIFICATION
- MESH
- FLOW

In elke SIMONA-invoerfile zullen deze drie dus moeten voorkomen, anders zal (bij het inlezen door WAQPRE) een melding volgen dat het verplichte "keyword" <....> niet is gevonden.

Elk hoofd "keyword" wordt, zoals reeds eerder gezegd, gevolgd door een aantal (blokken van) sub "keywords". In het boven gegeven voorbeeld wordt in de drie verplichte blokken door de gebruiker het volgende beschreven (zie ook de User's Guide van WAQUA bij WAQPRE) :

\* IDENTIFICATION

In dit blok wordt algemene informatie over de run gegeven. De gebruiker deelt mee of het een run van WAQUA of TRIWAQ betreft (dit is belangrijk voor het rekenhart) en geeft aan wat de naam is van het experiment dat moet worden uitgevoerd (dit is belangrijk om de juiste resultaten later op de SDS-file terug te kun-



nen vinden: de experiment naam wordt gebruikt als label). Het blok IDENTIFICATION is klein maar uit het oogpunt van archivering belangrijk.

#### \* MESH

In het blok MESH wordt de geometrie van het numerieke model gedefinieerd. Dit is een heel groot blok met talrijke mogelijkheden. In dit eerste voorbeeld wordt slechts minimaal van die mogelijkheden gebruik gemaakt.

Er zijn diverse subblokken van MESH te onderscheiden, waarvan er in dit eerste voorbeeld vier worden gebruikt: GRID, POINTS, BOUNDARIES en BATHYMETRY.

Onder GRID wordt aangegeven welke AREA het rekengebied vormt. In het voorbeeld wordt uitgegaan van een model met afmeting van 10 roosterpunten in de horizontale (= M -) richting: MMAX = 10 en eveneens 10 punten in de verticale (= N -) richting: NMAX = 10. Voorts is het model rechthoekig (RECTILINEAR) en is de onderlinge afstand tussen twee lijnen (STEPSIZE =) 100 meter (equidistant).

Veel "keywords" hebben een default waarde die wordt gebruikt als het "keyword" niet expliciet wordt opgegeven. Bijvoorbeeld geldt in het nu gegeven geval dat, omdat geen "keyword" ANGLEGRID is opgegeven, de Y-as een hoek van 0 graden maakt met de Noord-richting (zie ook de uitleg voor ANGLEGRID in de User's Guide WAQUA).

Het is belangrijk om hier nog eens stil te staan bij het verspringende rooster dat bij WAQUA hoort. (Zie ook figuur 5 en de User's Guide WAQUA – General Information, sectie 3.2). In het midden van elke cel is een waterstandspunt gedefinieerd, in de hoekpunten van elke cel zijn de dieptepunten gedefinieerd, terwijl op de middens van de horizontale zijden de v - snelheidspunten en op de middens van de verticale zijden de u - snelheidspunten liggen. Per definitie zijn de buitenste lijnen van een rekengebied altijd waterstandslijnen. Deze buitenste lijnen vormen de zogenaamde computational grid enclosure. Uitsluitend punten op deze lijnen mogen worden gebruikt om waterstandsopeningen op te geven.

Het volgende subblok start met POINTS. Hiermee kan de gebruiker een aantal punten in het rooster met coördinaten en met naam definiëren. Punten die later in de invoer voor allerlei doeleinden gebruikt kunnen worden. De gebruiker hoeft dan alleen maar naar P(nummer) te verwijzen, coördinaten en naam van het punt liggen immers al vast. Het "keyword" POINTS moet gevolgd worden door een P met het volgnummer i van het punt, de coördinaten van het punt (M = .., N = ..) en eventueel een naam. In het voorbeeld is voorlopig volstaan met één punt. In praktische gevallen wordt vaak een hele waslijst van punten gebruikt.

Tenslotte wordt het "keyword" BATHYMETRY gebruikt om de bodem te definiëren in relatie tot een referentieniveau. Tenzij anders aangegeven ("keyword" DEPTH\_CONTROL) worden de waarden positief gerekend in benedenwaartse richting. Door gebruik van het "keyword" GLOBAL wordt de mogelijkheid geschapen een vaste dieptewaarde voor het hele gebied op te geven. In het voorbeeld is de diepte op 10 meter gezet.

*Let op1: In de berekening worden alle landwaarden vervangen door -6.0 meter dankzij de definitie van DEPDEF.*

*Let op2: Het is zeer gevaarlijk DEPDEF de waarde 0.0 mee te geven, aangezien daardoor een diepte gecreëerd wordt die gewoon in het model kan meedoen.*

Met dit stukje MESH is een rooster vastgelegd.

#### \* FLOW

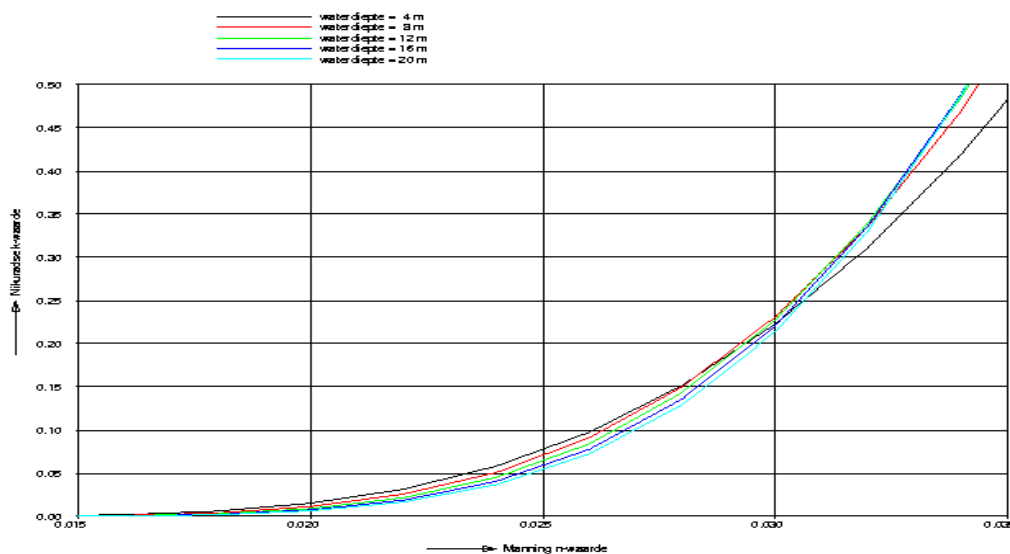
Het laatste verplichte hoofd "keyword" van WAQUA is FLOW. In dit blok wordt alle hydrodynamische informatie gegeven. Binnen FLOW zijn weer twee subblokken verplicht: PROBLEM en FORCINGS.

In het blok PROBLEM worden de coëfficiënten en parameters die het model definiëren aan het programma doorgegeven. Via TIMEFRAME worden bijvoorbeeld datum, starttijd en eindtijd van de berekening opgege-

ven. In het voorbeeld wordt aangegeven dat er honderd minuten gerekend moet worden (TSTOP = 100.0) vanaf 26 maart 1996 : 0.0 uur. Ga na dat alhoewel TSTART = 0.0 hier opgegeven is, dat niet nodig is (zie de User's Guide van WAQUA bij WAQPRE).

*Let op3: Met het "keyword" DATE wordt alleen een datum aangegeven. WAQUA gaat er impliciet vanuit dat dit 0:00 uur van die datum betekent. Een TSTART van 100 (Tijden altijd in minuten) geeft aan dat er 1 uur en 40 minuten na middernacht met de berekening moet worden gestart.*

Variabelen die tijdens het numerieke proces van belang zijn volgen in de sectie METHOD\_VARIABLES: TSTEP is de tijdstap, ITERACCURWL is het convergentie criterium voor de waterhoogtes in de continuïteitsvergelijking (mits CHECKCONT='WL') en ITERACCURVEL is het convergentie criterium voor de stroomsnelheden in de bewegingsvergelijking en (indien CHECKCONT='VEL') ook in de continuïteitsvergelijking. De standaardwaarden zijn 0.002 voor ITERACCURWL en 0.005 voor ITERACCURVEL. Voor het geval van transportberekeningen (zie hfdst. 11) worden lagere waarden geadviseerd (zie User's Guide WAQPRE).



Figuur 7: Relatie tussen Manning en White Colebrook ruwheidswaarden

Het "keyword" FRICTION is verbonden met de bodemruwheid. De gebruiker geeft via GLOBAL aan hoe vaak en met welke formule Chezy waarden worden berekend.

Er zijn enkele veelgebruikte mogelijkheden voor de bodemruwheidsbepaling. Eén daarvan is de formule van Manning die met name voor grootschaliger modellen veel gebruikt wordt. Een andere is de formule van White – Colebrook, die met name in gedetailleerdere modellen meer sturingsmogelijkheden geeft. Een relatie tussen de Manning waarde en de White Colebrook NIKURADSE ruwheidswaarden is gegeven in figuur 7. Zie de WAQPRE user's guide onder sectie 2.8.1.5.

In het voorbeeld wordt gebruik gemaakt van de defaultwaarden. Via U\_DIREC en V\_DIREC geeft de gebruiker aan hoe groot de variabele n in de formule van Manning (zie de User's Guide WAQUA voor een uitleg over de verschillende bodemwrijvingsmogelijkheden) genomen moet worden in de u - respectievelijk de v - snelheidspunten. Hiermee is het subblok PROBLEM gevuld.

In het subblok FORCINGS worden de initiële waarden en de randwaarden gegeven. Omdat dit eerste voorbeeldje een dichte bak betreft zijn er geen randwaarden nodig, immers een dichte rand heeft de harde randvoorwaarde dat er geen water door de rand kan stromen. De beginwaarden worden aangegeven door het "keyword" INITIAL. In WATLEVEL kan de initiële waterstand worden opgegeven, in het voorbeeld is gekozen voor een langzaam oplopende waterstand met de M-coördinaat. (Ga dit na)



Alhoewel niet verplicht, is in het voorbeeld ook het hoofd "keyword" SDSOUTPUT opgenomen, dit om ook iets van de resultaten van de berekening te kunnen laten zien. Door aan te geven op welke tijdstippen veldinformatie (MAPS) moet worden weggeschreven, worden voor het gehele gebied waterstanden, snelheden, bodemligging en eventuele initiële velden, en in het geval van transportberekeningen ook de concentraties aan opgeloste stoffen, naar de SDS-file weggeschreven.

Onder SDSOUTPUT kunnen ook de tijdstippen worden gespecificeerd waarvoor in gespecificeerde uitvoerlocaties de tijdreeksen (HISTORIES) van bijvoorbeeld waterstanden en snelheden en eventuele concentraties en debieten op de SDS-file worden opgeslagen.



## 7 De simulatie

### 7.1 WAQPRE

Het in het vorige hoofdstuk gegeven voorbeeld is van een grote eenvoud. Toch is dit een invoerfile waarmee gerekend kan worden. De eerste stap is nu het draaien van het preprocessingsprogramma WAQPRE. Dit programma controleert de invoerfile en genereert de invoer voor het eigenlijke simulatieprogramma WAQPRO. Via het commando *waqpre.pl* kan de gebruiker de preprocessor activeren. Op het scherm zal gevraagd worden naar de runidentificatie, deze code kan de gebruiker intikken waarna alle outputfiles diezelfde code als uitvoer krijgen. Daarna wordt gevraagd of de buffergrootte van het programma dient te worden aangepast. Hier kan voorlopig een eenvoudige return worden gegeven, later kan hier eventueel een grotere waarde voor de lengte van het BUFFER-array worden opgegeven. Tenslotte komt de vraag of het programma in de achtergrond moet worden gedraaid (het is aan de gebruiker om ja of nee te zeggen, zie ook de User's Guide WAQUA) en de naam van de invoerfile. Op het scherm wordt vervolgens gemeld waar de messages naar toe worden geschreven en het programma genereert een SDS file met als toevoeging de code zoals boven gegeven.

*Opgave: Draai WAQPRE en ga na of er boodschappen (messages) zijn opgetreden. Controleer dat inderdaad een SDS file met de juiste naam is gecreëerd.*

Er is nu een start gemaakt met het draaien van het simulatiepakket. In de loop van het boek zullen wat ingewikkelder problemen worden aangesneden, maar de basisstappen blijven hetzelfde. Ook het draaien van de preprocessor WAQPRE gaat steeds op dezelfde manier. In de volgende sectie wordt ingegaan op het draaien van het eigenlijke simulatieprogramma en het bekijken van de resultaten voor het eenvoudige voorbeeld.

### 7.2 WAQPRO

Het programma WAQPRO, het rekenhart van WAQUA-in-SIMONA voert de eigenlijke simulatie uit. Omdat de gebruiker in de invoerfile van WAQPRE alle specifieke eigenschappen van het model heeft aangegeven is over WAQPRO weinig te melden. Door het commando *waqpro.pl* wordt de berekening, zoals beoogd in de invoerfile, uitgevoerd. De resultaten worden weggeschreven hetzij naar één van de printfiles: de message file of de resultaten file, hetzij naar de opslagfile: de SDS-file.

*Opdracht: Draai WAQPRO voor het eenvoudige voorbeeld uit het vorige hoofdstuk. Let op dat de juiste SDS-file wordt ingevoerd en het juiste experiment.*

De uitgang van de SDS-file is door de gebruiker bepaald door de ingetikte code bij WAQPRE en het experiment is opgegeven bij het hoofd "keyword" IDENTIFICATION in de SIMONA input file. De resultaten van de berekening worden naar dezelfde SDS-file waar de door WAQPRE verwerkte invoer staat, weggeschreven.



## 8 De interactieve pre- en postprocessing

### 8.1 Inleiding

Zodra de resultaten van een berekening zijn weggeschreven naar de SDS-file wil de gebruiker uiteraard weten hoe deze eruit zien. Dat kan middels verschillende soorten programma's (zie ook Hoofdstuk 5.2). In dit hoofdstuk worden enkele van deze programma's nader toegelicht te weten de postprocessors KALGUI en WAQVIEW, maar we beginnen met een korte verhandeling over de preprocessor IPW.

### 8.2 De interactieve preprocessor IPW

Aanpassingen van de invoerfile kunnen altijd via een tekst-editor uitgevoerd worden, het gaat tenslotte om een eenvoudige ASCII file en in de User's Guide WAQUA staat bij WAQPRE precies wat nodig is. Een aantal aanpassingen in de invoerfile kan ook interactief uitgevoerd worden. In de handleiding van de IPW, de Interactieve Preprocessor WAQUA, kunt U nagaan welke handelingen dat betreft. Ook de IPW start op de bekende SIMONA wijze: door het commando *ipw.pl* in te tikken en return te geven. Daarna wijst alles zich in principe vanzelf. Aangezien de IPW een Windows-applicatie is, kan deze ook gestart worden door dubbelklikken op het betreffende icoon op het bureaublad.

*Opgave: Ga na welke aanpassingen aan de invoerfile interactief tot stand gebracht kunnen worden via de IPW.*

*Opgave: Breid de invoerfile van voorbeeld 1 weer uit, maar nu met behulp van de IPW. Voeg Checkpoints, bijvoorbeeld voor de punten (3,3) en (7,6) voor histories van respectievelijk waterstand en snelheid toe.*

*Opgave: Ga na hoe U met de IPW de diepte in zeker punt kunt veranderen. Pas de diepte van een punt aan, draai WAQPRE en controleer de resultaten bv. met WAQVIEW.*

### 8.3 De interactieve postprocessor KALGUI

De interactieve postprocessor KALGUI is een onder MATLAB gebouwde Graphical User Interface die gebruikt kan worden om 1-dimensionale (time-histories) en 2-dimensionale (scalaire - en vectorvelden) visualisaties van data te maken. In het geval van een TRIWAQ-som kunnen met KALGUI ook berekeningsresultaten in een verticale dwarsdoorsnede worden gevisualiseerd. Het programma is interactief te gebruiken en biedt de mogelijkheid om meerdere figuren in één plaatje te combineren. Denk hierbij bijvoorbeeld aan een plaatje met als onderdelen: een titel, een blokje met de legenda, een logo, een rekenrooster en een snelheidsveld en een dwarsdoorsnede.

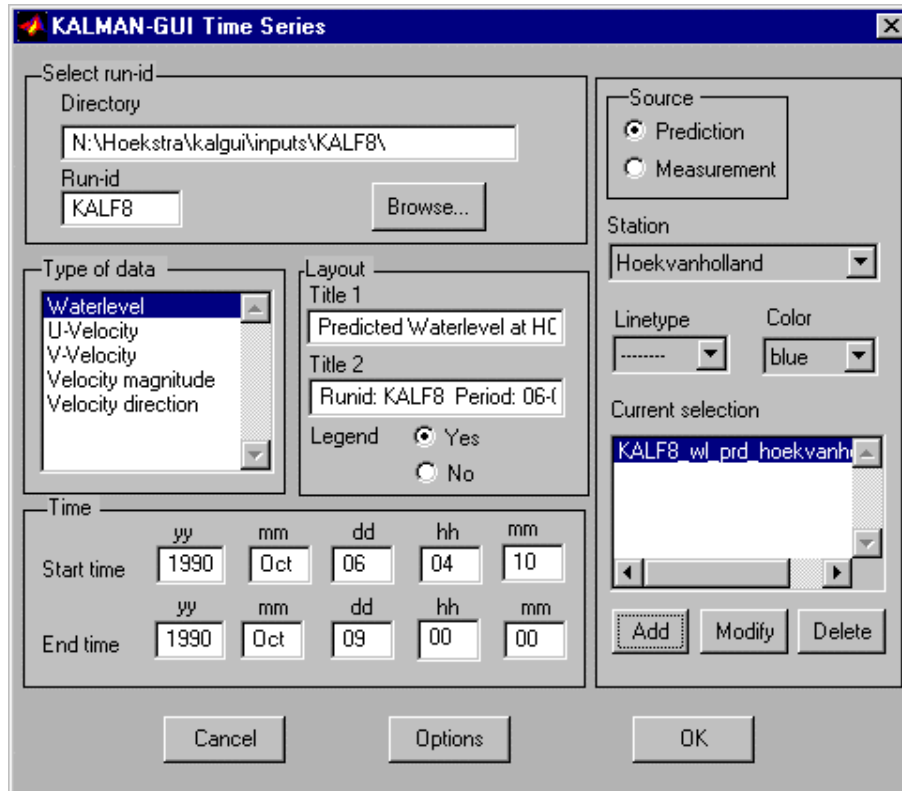
Om de data op de SDS file geschikt te maken voor deze postprocessing dient eerst het programma SDS2MAT gedraaid te worden.

De KALGUI is zo gebouwd dat naast het gebruik van het user interface onder MATLAB, nog steeds de mogelijkheid bestaat om gewone MATLAB commando's te gebruiken om figuren aan te passen, andere data te laden en dergelijke. Voor een uitgebreide documentatie wordt verwezen naar de Alkyon rapporten uit 1999 ([13]).

*Opgave: Draai SDS2MAT voor een geslaagde WAQUA simulatie en start de KALGUI op.*

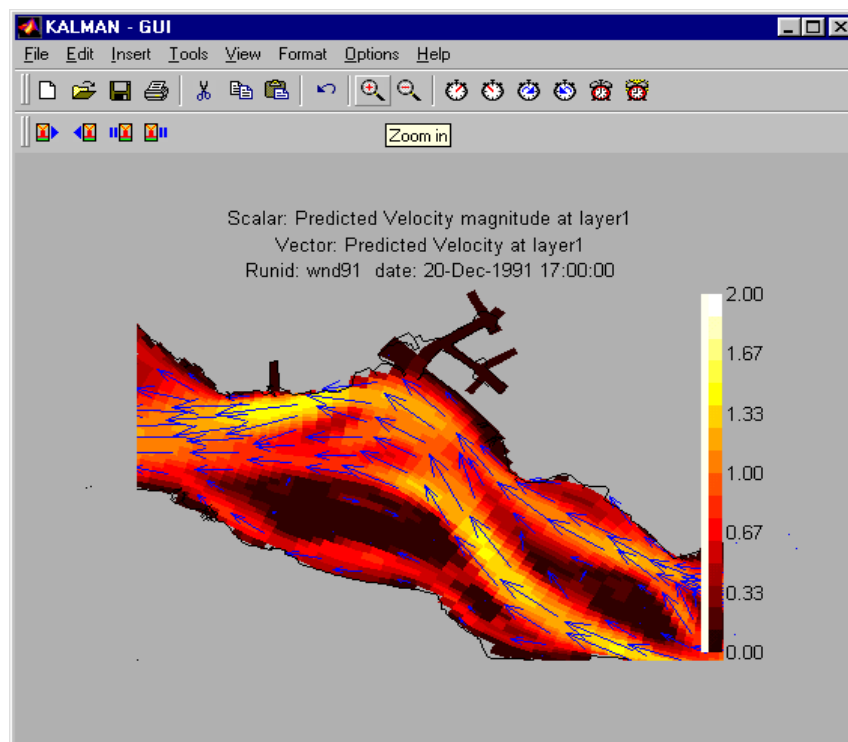
*Probeer een tijdserie te tekenen en kijk met behulp van de on-line help naar de uitleg over aanpassing van lijntype en lijnkleur*

Een voorbeeld van het user interface van KALGUI voor een tijdserie is gegeven in figuur 8a.



Figuur 8a: Userinterface KALGUI voor Time Series

Figuur 8b geeft een voorbeeld van een mapuitvoer voor snelheden (grootte + vectoren).



Figuur 8b: Voorbeeld KALGUI voor mapuitvoer

## 8.4 Interactieve postprocessor WAQVIEW

De interactieve postprocessor WAQVIEW kan gebruikt worden om 1-dimensionale (time-histories) en 2-dimensionale (scalaire - en vectorvelden) visualisaties van data te maken. Het programma is interactief te gebruiken en biedt de mogelijkheid allerlei zaken in één plaatje te combineren. Denk hierbij bijvoorbeeld aan een plaatje met als onderdelen: een titel, een blokje met de legenda, een rekenrooster en een snelheidsveld.

Het programma WAQVIEW is eenvoudig te starten via het commando *waqview.pl*. Vooraf moet door de gebruiker wel een invoerbestand met stuurgegevens (bv. naam van de SDS-file, RGF-file, etc.) zijn klaargezet. Met de handleiding als hulp kunnen allerlei acties, relatief eenvoudig, uitgevoerd worden.

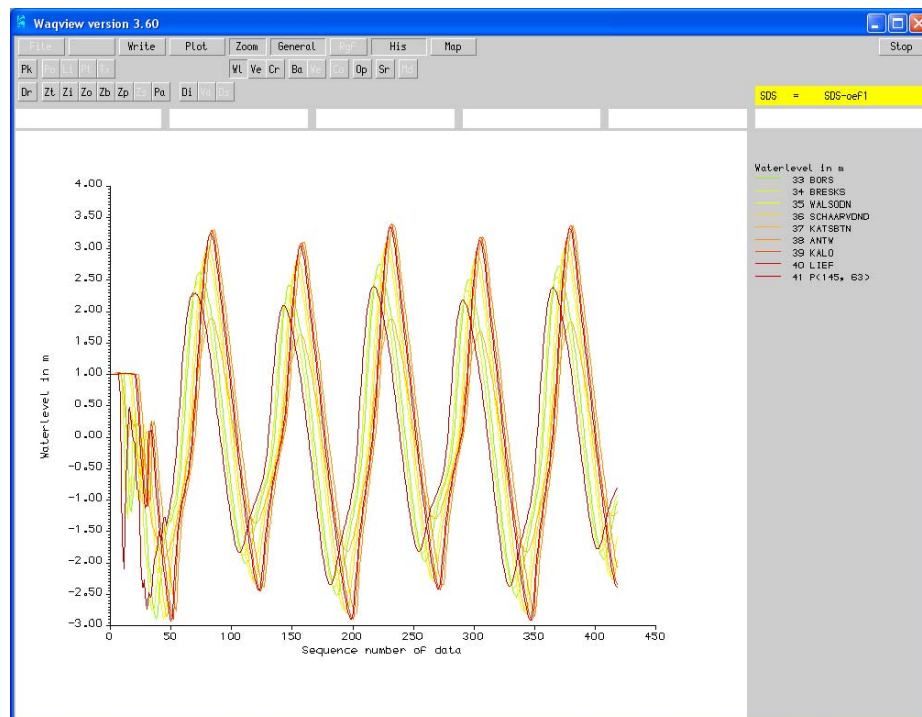
*Opgave: Bestudeer de handleiding van WAQVIEW en genereer een plaatje op het scherm van de diepte. Gebruik de SDS-file van voorbeeld 1.*

*Opgave: Genereer een aantal plaatjes van de berekende waterstanden op het scherm. Doe hetzelfde voor een aantal snelheidsvelden.*

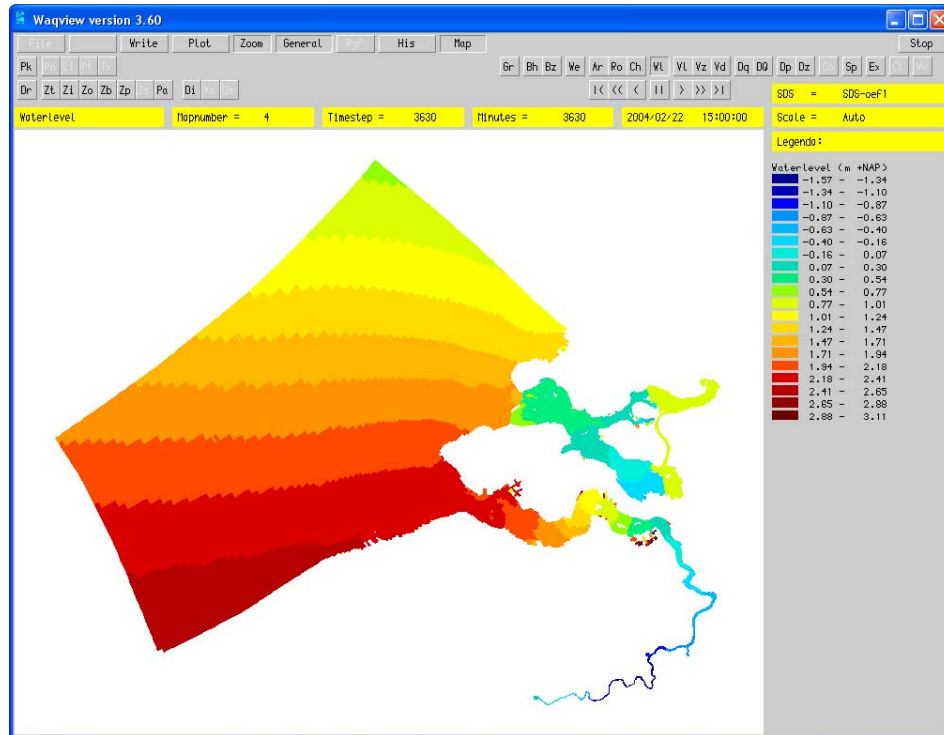
*Opgave: Ga na, door het op het scherm tekenen van alle weggeschreven waterstandsvelden die op de SDS file staan, wat de hoogste en de laagste waterstand is geweest in de berekening. Doe vervolgens hetzelfde voor de snelheid.*

*Opgave: Ga na hoe een film of 'animatie' van respectievelijk de waterstanden en/of de snelheden op het scherm te krijgen is. Voer de handelingen uit.*

De volgende figuren tonen schermvoorbeelden van WAQVIEW met tijdreeksen respectievelijk mapuitvoer voor berekeningsresultaten verkregen met het Kustzuid-model.



Figuur 9a: WAQVIEW plaatje met tijdreeksen voor een aantal waterstandsstations



Figuur 9b: WAQVIEW plaatje met waterstandsveld op een zeker tijdstip

## 8.5 Andere processing mogelijkheden

Naast de hier genoemde mogelijkheden voor postprocessing is er sinds lang de nabewerking via WAQPAN, die door middel van een vraag- en antwoordspel data uit de SDS-file kan lezen en wegschrijven in leesbare ASCII files en in (eveneens platform-onafhankelijke) MATLAB-files. Een meer recente ontwikkeling betreft het generieke naverwerkingstool SIDONIA, dat stekkers biedt naar een groot aantal marktpakketten zoals Excel, Matlab, ArcGIS, etc. Met name het command-line gestuurde *getdata* biedt krachtige mogelijkheden om snel selecties respectievelijk conversies (bv. naar NetCDF) uit te voeren van gegevens op de SDS-files.

Tenslotte dient BASISANALYSE genoemd te worden als een pakket dat standaard een groot aantal plotjes aanmaakt na het uitvoeren van een simulatie.



## 9 Kromlijigheid

### 9.1 Inleiding

Al vrij snel na de introductie van WAQUA voor praktische problemen bleek dat de natuur soms wel erg grillig was in vergelijking met de mooie rechte lijnen van de WAQUA roosters. Ook de traplijntjes langs de randen zijn niet echt wenselijk vanwege allerlei lokale numerieke onnauwkeurigheden. Een oplossing waarbij de randen toch vrij nauwkeurig benaderd kunnen worden en lelijke numerieke effecten veel minder kans krijgen, is gebruik te maken van kromlijnige roosters. Kromlijnige roosters zijn per definitie niet noodzakelijk equidistant maar zijn wel orthogonaal in die zin dat de hoeken van elkaar onderling snijdende roosterlijnen vrijwel negentig graden zijn. In de praktijk wordt de kromme lijn vervangen door van roosterpunt naar roosterpunt lopende lijnstukjes. Naarmate de hoeken tussen deze lijnstukjes meer afwijken van de 90 graden, wordt de numerieke onnauwkeurigheid in de berekening groter.

Op een kromlijnig rooster gelden aangepaste partiële differentiaalvergelijkingen. (zie User's Guide WAQUA, sectie 3.3.2.2)

In wezen blijft het natuurlijk om dezelfde termen draaien, alleen zijn nu op diverse plaatsen transformatie-coëfficiënten toegevoegd en vallen enkele kruistermen in geval van niet-orthogonaliteit niet meer weg. Daar kromlijnig WAQUA standaard in WAQUA-in-SIMONA is opgenomen hoeft een gebruiker die met kromlijnig wil draaien slechts een zeer beperkt aantal extra handelingen uit te voeren. Een probleem dat dankzij de kromlijnige WAQUA variant en passant meegenomen kan worden betreft de lokale roosterafstand. Vaak is een gebruiker slechts geïnteresseerd in waterstanden en snelheden op zekere lokatie. Om nauwkeurig over die grootheden te beschikken moet de stapgrootte daar vrij klein gekozen worden. Op andere plaatsen in het modelgebied zou in principe met een wat grotere stapgrootte kunnen worden volstaan. Dankzij het feit dat kromlijnig per definitie niet equidistant is kan dit probleem, althans gedeeltelijk, worden opgelost: met kromlijnige roosters zijn in veel gevallen aanzienlijk minder roosterpunten nodig dan met rechtlijnige roosters.

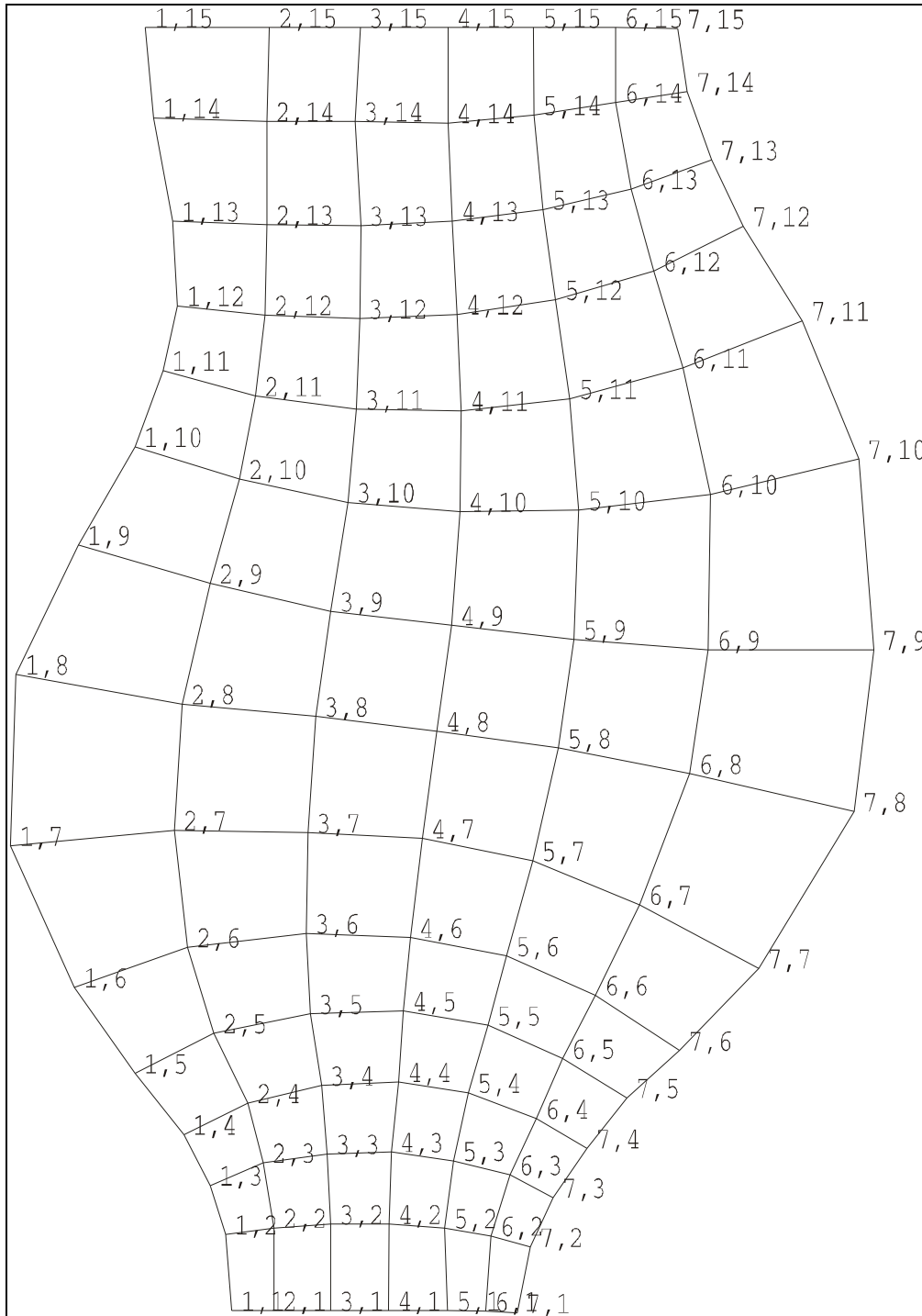
### 9.2 Curvilinear

De gebruiker wordt geacht via het "keyword" CURVILINEAR op te geven dat het om een kromlijnige berekening gaat. Zie voor dit "keyword" het "keyword" GRID dat weer behoort bij MESH. Zodra de gebruiker heeft opgegeven dat het een kromlijnige berekening betreft moet ook een filenaam worden opgegeven waar de coördinaten van de roosterpunten gevonden kunnen worden.

N.B.: Voor het maken van een kromlijnig rooster zijn min of meer automatische meshgeneratoren beschikbaar, die op basis van beperkte gebruikersinvoer een "goed" WAQUA-rooster produceren (zie bijv. de handleiding Delft3D-RGFGRID [8]).

*Opgave : Bestudeer de mogelijkheden om een kromlijnig rooster op te geven in de User's Guide WAQUA.*

Neem het gebied uit Figuur 4 en Figuur 6 en het rooster zoals getekend in Figuur 10. In het geval van een kromlijnig rooster moet de gebruiker opgeven hoe de punten van het rooster ten opzichte van elkaar liggen. In het geval van Figuur 10 luidt de inhoud van de op te geven coördinatenfile voor het kromlijnige rooster:



Figuur 10: Kromlijng rooster van een "Kustzee".

Hieronder volgt een gedeelte van de file "KROM-RGF" die hoort bij het rooster van Figuur 10.

\* Rooster voor het kromlijnige voorbeeld (commentaar regel)

	7	15	0			
			0.		0.	0.
ETA = 1	50000.000	54877.100	61478.400	68143.200	74975.900	
	79352.100	83061.200				
ETA = 2	49265.100	54902.700	61476.300	68214.300	74627.800	



```

          79992.700   84570.300
ETA =    3   47497.300   53606.400   61024.700   68442.900   75642.900
          82188.500   87206.700
.....
.....

ETA =   13   43133.600   54042.800   64928.700   75504.300   86013.800
          96246.700   105511.400
ETA =   14   40951.800   54042.800   64297.400   75019.000   84948.900
          94395.100   102697.700
ETA =   15   40000.000   54354.600   64867.800   75009.700   84937.900
          94382.300   101606.800
ETA =    1   10000.000    9999.900   10000.500    9999.100   10014.500
          09927.500    9709.300
ETA =    2   19518.700   20331.300   20795.200   20806.500   20310.500
          19335.600   17934.400
ETA =    3   25636.700   28473.100   29564.000   29782.200   28691.300
          26945.800   24109.400
.....
.....

ETA =   13  145856.300  145419.900  145290.400  145885.200  147320.200
          149872.200  153501.000
ETA =   14  158729.200  158292.800  158292.700  158077.700  159101.600
          160647.300  162001.900
ETA =   15  170000.000  170000.100  170000.000  170000.100  170000.000
          170000.100  169856.500

```

De bovenstaande file laat de x - en y- coördinaten per roosterpunt zien. Eerst worden alle x waarden getoond, daarna alle y waarden. Voor de precieze betekenis van deze coördinaten zie [8] en gerelateerde literatuur. Kijk in figuur 5 en constateer dat er 7 \* 15 bodempunten nodig zijn omdat een model per definitie omsloten wordt door waterstandspunten. De eerste 15 rijen zijn de waarden van de x-coördinaten van alle punten, in de tweede 15 rijen staan de y-coördinaten van diezelfde punten. Er wordt een standaard invoerformaat gebruikt waarbij er maximaal 5 kolommen met waarden zijn.

De gebruiker zal er zelf zorg voor moeten dragen dat zo'n coördinatenfile met coördinaten bestaat. Alhoewel er programma's bestaan waarmee kromlijnige roosters gegenereerd kunnen worden is WAQUA-in-SIMONA daar zelf niet mee uitgerust. Op diverse plaatsen binnen Rijkswaterstaat wordt overigens, zoals reeds eerder gememoreerd, wel gebruik gemaakt van roostergeneratoren voor WAQUA roosters. Zodra de "roosterhandelingen" zijn verricht kan op dezelfde manier als bij rechtlijnig worden voortgegaan.

Met betrekking tot het ontwerpen van kromlijnige roosters zijn er enkele eisen waaraan de rekenroosters moeten voldoen om nauwkeurige simulaties te kunnen uitvoeren.

- De variatie in maaswijdte in beide richtingen voor aan elkaar grenzende roosterzellen dient voor nauwkeurige simulaties in ieder geval in het interval van 0.8 tot 1.2 te liggen. Ofwel een verhouding naar boven en naar beneden van circa 20 % is toegestaan. In de praktijk wordt hier vaak tegen gezondigd, hetgeen tot onacceptabele resultaten kan leiden. In incidentele punten kunnen hogere waarden worden toegestaan, maar men dient zich daarvan bewust te zijn en rekening te houden met het feit dat de resultaten daardoor -zeker lokaal- mogelijk worden beïnvloed.



- De hoeken die de roosterlijnen onderling maken in een rekenpunt dienen niet meer dan circa 5 graden, i.e. 5,5 % af te wijken van de gewenste 90 graden. Hiervoor geldt dezelfde opmerking als boven, incidentele afwijkingen in met name randpunten kunnen worden toegestaan.
- De verhouding tussen de lengte en de breedte maat van een individuele rekencel dient niet groter te worden dan 8 à 10.

Zoals gezegd, tegen deze regels wordt, vaak uit praktische overwegingen, veel gezondigd. Rekenresultaten moeten, onder andere om die reden, dan ook met de nodige terughoudendheid worden bekeken.

*Opgave: Creëer een invoerfile waarin gebruik wordt gemaakt van een kromlijinig rooster zoals in figuur 10 maar met "dubbele" stap. Dus sla steeds een coördinaat over. Dit betekent dat in plaats van  $M_{max} = 8$  en  $N_{max} = 16$  gewerkt wordt met  $M_{max} = 4$  en  $N_{max} = 8$ .*

*Opdracht: Draai een run voor het door u gemaakte kromlijnige model en bekijk de resultaten met WAQVIEW.*

*Opdracht: Vergelijk de resultaten voor waterstanden en snelheden op diverse tijdstippen van de kromlijnige berekening met die van de rechtljnige berekening uit hoofdstuk 5.*

*Opdracht: Draai runs voor de roosters gebaseerd op figuur 10 en vergelijk ook hier de resultaten van waterstanden en snelheden. Heeft halvering van de stapgrootte invloed ?*

### 9.3 Voorbeeld invoerfile Kromlijinig model

Onderstaand een invoerfile waarbij gebruik wordt gemaakt van het kromlijinig rooster uit figuur 10.

```
#
IDENTIFICATION
  WAQUA
  EXPERIMENT = 'VOORBEELD2'
  OVERWRITE
#
MESH
  GRID
  AREA
  MMAX = 8
  NMAX = 16
  CURVILINEAR
  RGFFILE = 'KROM-RGF'
  POINTS
  P 1 = ( M = 3 , N = 7 , NAME = ' W-PUNT 1 ' )
  P 2 = ( M = 6 , N = 7 , NAME = ' W-PUNT 2 ' )
  P 3 = ( M = 4 , N = 12 , NAME = ' W-PUNT 3 ' )
  P 4 = ( M = 6 , N = 13 , NAME = ' W-PUNT 4 ' )
  P 5 = ( M = 2 , N = 2 , NAME = ' O-PUNT 5 ' )
  P 6 = ( M = 7 , N = 2 , NAME = ' O-PUNT 6 ' )
  P 7 = ( M = 2 , N = 15 , NAME = ' O-PUNT 7 ' )
  P 8 = ( M = 7 , N = 15 , NAME = ' O-PUNT 8 ' )
  CURVES
  C 1= LINE ( P 1, P 2, NAME = 'DEBIET-CURVE' )
BOUNDARIES
ENCLOSURES
```



```
E: COORDINATES ( 1, 2 ), ( 8, 2 ), ( 8, 15 ), ( 1, 15 ), ( 1, 2 )
OPENINGS
  OPEN 1=LINE(P 5, P 6, 'NAME = ZUID - RAND      ' )
  OPEN 2=LINE(P 7, P 8, 'NAME = NOORD - RAND   ' )
BATHYMETRY
  GLOBAL
    DEPMULTIPL = 1.00
    THRESHOLD  = .30
    LAYOUT     = 2
    CONST_VALUES = 20.
    DEPDEF     = 6.00
  LOCAL
    BOX MNMN = ( 3, 4 ), ( 6, 6 )
    VARIABLE_VAL
      10.  10.  10.  10.
      10.   8.   8.  10.
      10.  10.  10.  10.
#
GENERAL
  DIFFUSION
    GLOBAL
      LAYOUT = 1
      CONST_VALUES = 10.00
      CDCON = 0.00
    LOCAL
      BOX MNMN = ( 2, 5; 5, 10 )
      VARIABLE_VALUES =
        15.  15.  15.  15.  15.  15.
        15.  17.  17.  17.  17.  15.
        15.  17.  17.  17.  17.  15.
        15.  15.  15.  15.  15.  15.
WIND
  WSPEED = 3.
  WANGLE = 225.
  CONST_CD
  WSTRESSCOEFFICIENT = .0026
#
FLOW
  PROBLEM
    TIMEFRAME
      DATE = '19 MAR 1996'
      TSTART = 0.
      TSTOP = 4220.
    METHODVARIABLES
      TSTEP = 5.
      CHECKCONT = 'WL'
      ITERACCURWL = 0.002
      ITERACCURVEL = 0.005
    SMOOTHING
      TLSMOOTH = 240.
    FRICTION
      GLOBAL
```



```
TICVAL      = 10.
UDIREC
GLOBAL
  CONST_VALUE = 0.0200
VDIREC
GLOBAL
  CONST_VALUE = 0.0200
VISCOSITY
  EDDY        = 12.
FORCINGS
INITIAL
WATLEVEL
GLOBAL
  LAYOUT      = 2
  CONST_VALUES = 1.0
LOCAL
  BOX MNMN    = ( 1, 1 ; 8 , 16 ),
  VARIABLE_VALUES=
  -1.00 -1.00 -1.00 -1.00 -1.00 -1.00 -1.00 -1.00
  -0.85 -0.85 -0.85 -0.85 -0.85 -0.85 -0.85 -0.85
  -0.70 -0.70 -0.70 -0.70 -0.70 -0.70 -0.70 -0.70
  -0.55 -0.55 -0.55 -0.55 -0.55 -0.55 -0.55 -0.55
  -0.35 -0.35 -0.35 -0.35 -0.35 -0.35 -0.35 -0.35
  -0.24 -0.24 -0.24 -0.24 -0.24 -0.24 -0.24 -0.24
  -0.15 -0.15 -0.15 -0.15 -0.15 -0.15 -0.15 -0.15
  -0.08 -0.08 -0.08 -0.08 -0.08 -0.08 -0.08 -0.08
   0.08  0.08  0.08  0.08  0.08  0.08  0.08  0.08
   0.15  0.15  0.15  0.15  0.15  0.15  0.15  0.15
   0.24  0.24  0.24  0.24  0.24  0.24  0.24  0.24
   0.35  0.35  0.35  0.35  0.35  0.35  0.35  0.35
   0.55  0.55  0.55  0.55  0.55  0.55  0.55  0.55
   0.70  0.70  0.70  0.70  0.70  0.70  0.70  0.70
   0.85  0.85  0.85  0.85  0.85  0.85  0.85  0.85
   1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00  1.00
BOUNDARIES
B: OPEN 1
  BTYPE      = 'wl'
  BDEF       = 'series'
  SAME
B: OPEN 2
  BTYPE      = 'wl'
  BDEF       = 'series'
TIMESERIES
S: P 5
  TID        = 0.5
  SERIES     = 'regular'
  FRAME      = 0. 60. 4320.
  VALUES    =
  1.00  1.50  1.90  2.20  2.40  2.50  2.55
  2.50  2.40  2.20  1.90  1.50  1.00  1.50
  1.90  2.20  2.40  2.50  2.55  2.50  2.40
  2.20  1.90  1.50
```



```

1.00 1.50 1.90 2.20 2.40 2.50 2.55
2.50 2.40 2.20 1.90 1.50 1.00 1.50
1.90 2.20 2.40 2.50 2.55 2.50 2.40
2.20 1.90 1.50
1.00 1.50 1.90 2.20 2.40 2.50 2.55
2.50 2.40 2.20 1.90 1.50 1.00 1.50
1.90 2.20 2.40 2.50 2.55 2.50 2.40
2.20 1.90 1.50 1.00

```

S: P 7

```

TID          = 0.5
SERIES       = 'regular'
FRAME        = 0. 60. 4320.
VALUES      =
1.00 1.50 1.90 2.20 2.40 2.50 2.55
2.50 2.40 2.20 1.90 1.50 1.00 1.50
1.90 2.20 2.40 2.50 2.55 2.50 2.40
2.20 1.90 1.50
1.00 1.50 1.90 2.20 2.40 2.50 2.55
2.50 2.40 2.20 1.90 1.50 1.00 1.50
1.90 2.20 2.40 2.50 2.55 2.50 2.40
2.20 1.90 1.50
1.00 1.50 1.90 2.20 2.40 2.50 2.55
2.50 2.40 2.20 1.90 1.50 1.00 1.50
1.90 2.20 2.40 2.50 2.55 2.50 2.40
2.20 1.90 1.50 1.00

```

S: P 8

```

TID          = 0.5
SERIES       = 'regular'
FRAME        = 0. 60. 4320.
VALUES      =
1.00 1.50 1.90 2.20 2.40 2.50 2.55
2.50 2.40 2.20 1.90 1.50 1.00 1.50
1.90 2.20 2.40 2.50 2.55 2.50 2.40
2.20 1.90 1.50
1.00 1.50 1.90 2.20 2.40 2.50 2.55
2.50 2.40 2.20 1.90 1.50 1.00 1.50
1.90 2.20 2.40 2.50 2.55 2.50 2.40
2.20 1.90 1.50
1.00 1.50 1.90 2.20 2.40 2.50 2.55
2.50 2.40 2.20 1.90 1.50 1.00 1.50
1.90 2.20 2.40 2.50 2.55 2.50 2.40
2.20 1.90 1.50 1.00

```

CHECKPOINTS

LEVELSTATIONS

P 1, P 2, P 3, P 4

CURRENTSTATIONS

P 1, P 2, P 3, P 4

VSECTIONS

C 1

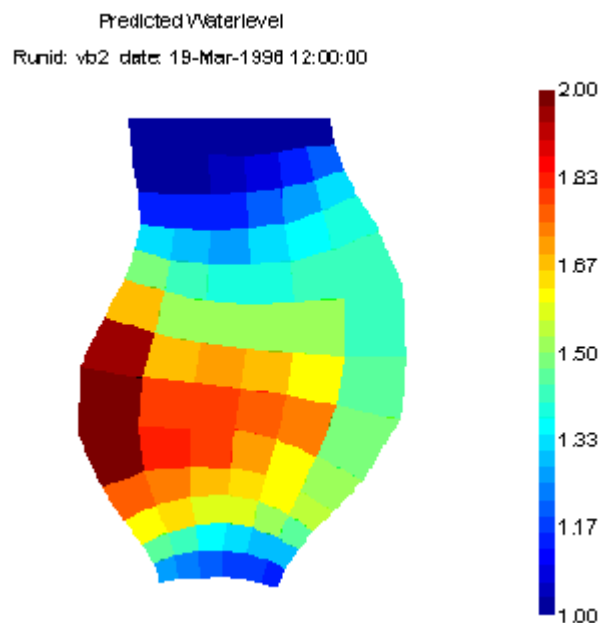
#

SDSOUTPUT

MAPS

```
TFMAPS   =          0.
TIMAPS   =          90.
TLMAPS   =        4320.
HISTORIES
TFHISTO  =          0.
TIHISTO  =          10.
TLHISTO  =        4320.
```

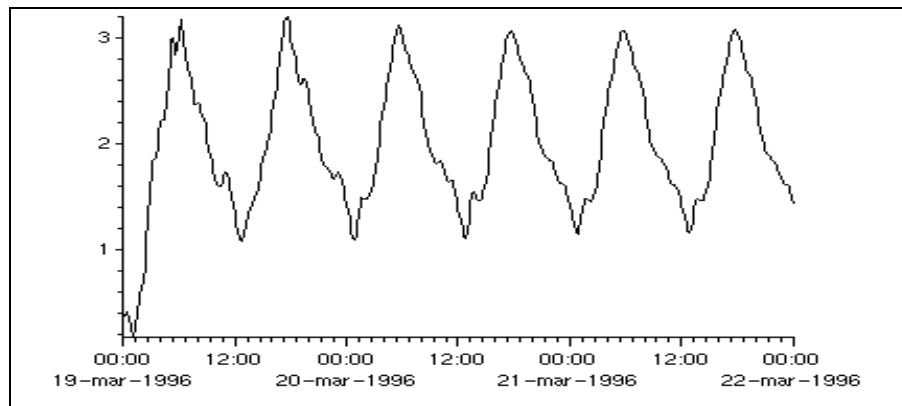
In de figuren 11-14 staan plaatjes van enkele resultaten die verkregen zijn met KalGui. In figuur 11 staat een plaatje van de waterstand. Omdat de randvoorwaarden aan de Noord- en de Zuidrand eigenlijk helemaal niet passen bij de beginsituatie tekent zich al vrij snel een aanpassing over het hele gebied af. Ga zelf na, via het aflopen van de WAQVIEW beelden, dat na verloop van tijd de "hele zee" min of meer met de randvoorwaarden meebeweegt. In feite zien we hier het belang van de beginvoorwaarden in praktijk gebracht. De randvoorwaarden bepalen de uiteindelijke oplossing: de verkeerde beginvoorwaarde zorgt alleen voor een "inschakelverschijnsel". Het spreekt vanzelf dat een betere beginvoorwaarde voor een sneller ingespeelde berekening zal zorgen.



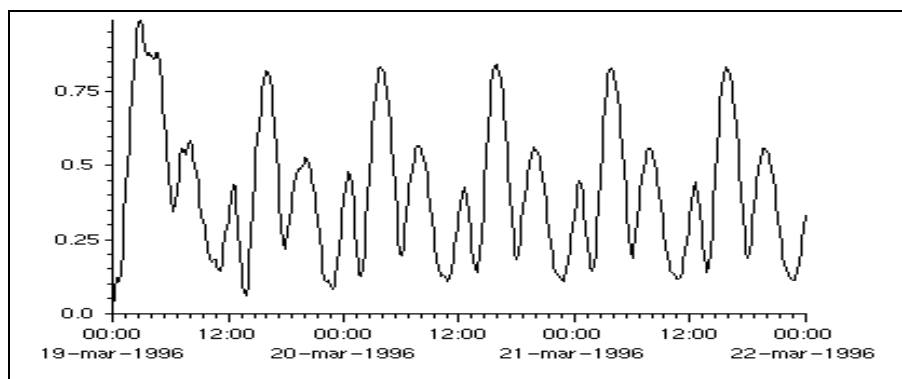
Figuur 11: Waterstand in gebied om twaalf uur

In figuur 12 staat de tijdreeks van de waterstand in punt P3, dat is het punt (4,12). Ook hier zien we dat na het aanvankelijke inschakelverschijnsel een periodieke beweging ontstaat. In veel praktische berekeningen zal een zelfde verschijnsel optreden. Met name in alle berekeningen waarin het getijde een belangrijke rol speelt. Dus alle berekeningen voor de Nederlandse kust zullen dergelijke grafieken laten zien.

In figuur 13 is een tijdreeks getekend van de snelheid in station P4. Uiteraard slingert ook de snelheid een tijdje voordat het systeem is ingespeeld en is ook bij de snelheid zo'n periodiek verschijnsel aanwezig.

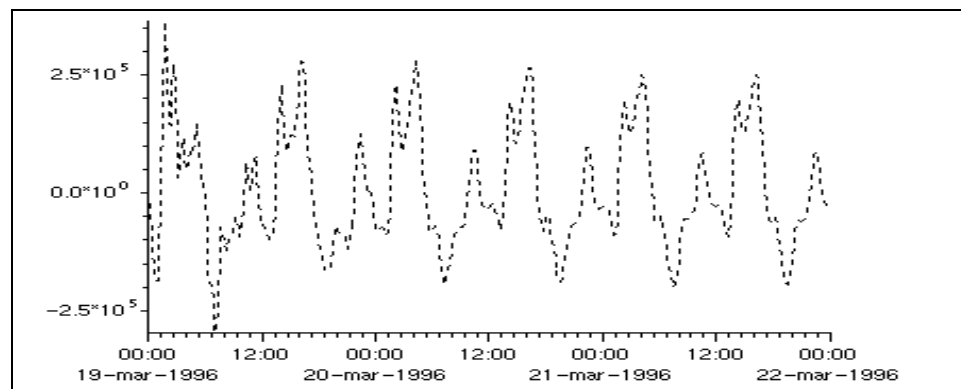


Figuur 12: Waterstand in station P3



Figuur 13: Snelheid in m/s in station 4.

Tenslotte is in figuur 14 het transport in kubieke meters per seconde door de curve C1 getekend. Het plaatje spreekt inmiddels voor zich.

Figuur 14: Het watertransport, in m<sup>3</sup>/s door de curve C1.

Er zijn op basis van de invoerfile van voorbeeld 2 nog wel wat opmerkingen te maken. Doorloop de file en bestudeer de betekenis van elk opgenomen "keyword". Experimenteer eventueel zelf met wat waarden en ga na wat de gevolgen van diverse ingrepen zijn.



## 10 Droogvallen en afregelen

### 10.1 Inleiding

In Nederland zijn nogal wat kustgebieden waar tijdens eb grote delen van het gebied van interesse droogvallen. In WAQUA is de mogelijkheid aanwezig droogvallen te simuleren, waarbij verschillende criteria gebruikt kunnen worden. Recent is WAQUA uitgebreid met een aantal extra opties. Omdat er "discreet" gewerkt wordt zal droogval altijd inhouden dat "opeens" een gehele vierhoek in het rooster droogvalt en ook dat "opeens" een gehele vierhoek van het rooster weer in de berekening wordt opgenomen. In sectie 10.2 komen we kort op droogvallen terug.

Reeds in de eerste hoofdstukken is gewezen op het belang van het afregelen van een model. De gebruiker heeft een groot aantal knoppen tot zijn beschikking om zijn model af te regelen. Echter afregelen is een kunde. Steeds vaker wordt het afregelen automatisch gedaan wat als voordeel heeft dat de subjectiviteit van de gebruiker verdwijnt maar als nadeel dat de gebruiker ook minder inzicht zal hebben in de gevoeligheid van het model. In sectie 10.3 wordt gekeken naar een aantal mogelijkheden, zeg knoppen, die de gebruiker heeft bij het afregelen.

Elk van de secties eindigt met een opgave die bedoeld is om de betreffende zaken praktisch onder de aandacht van de gebruiker te brengen.

### 10.2 Droogvallen

De simulatie van droogvallende platen is gebaseerd op de mogelijkheid dat roosterpunten "droogvallen" zodra de lokale waterkolom kleiner is dan een kritische drempelwaarde DEPCRIT. Deze drempelwaarde wordt door de gebruiker opgegeven. Zodra een punt droogvalt wordt dat uit de berekening genomen, waarna bij elke daaropvolgende stap gecontroleerd wordt of het punt al weer in de berekening moet worden opgenomen. Dit beslissen of het punt weer wordt opgenomen gebeurt op min of meer dezelfde wijze: een "droog" snelheidspunt wordt weer een "nat" punt als de gemiddelde diepte in de omliggende diepte- en waterstandspunten groter is dan DEPCRIT. Droogval wordt niet alleen voor snelheidspunten maar ook voor waterstandspunten gecontroleerd. Er zijn verschillende criteria die over droogval kunnen beslissen in WAQUA ingebouwd. Deze hangen samen met de verschillende methoden voor het berekenen van de lokale diepte in waterstandspunten, te specificeren met de parameter METH\_DPS, en wel METH\_DPS =

- MAX\_DPUV : waarbij de diepte in een waterstandspunt gelijk genomen wordt aan het maximum van de gemiddelde diepten op de 4 zijden van de betreffende gridcel
- MEAN\_DPD : waarbij de diepte in een waterstandspunt berekend wordt als het gemiddelde van de dieptes in de 4 omliggende hoekpunten van de betreffende gridcel (= 4 dieptepunten)
- MIN\_DPUV : waarbij de diepte in een waterstandspunt gelijk genomen wordt aan het minimum van de gemiddelde diepten op de 4 zijden van de betreffende gridcel
- MAX\_DPD : waarbij de diepte in een waterstandspunt gelijk genomen wordt aan het maximum van de dieptes in de 4 omliggende dieptepunten

Recente uitbreidingen betreffen het kunnen opgeven van dieptecijfers in waterstandspunten (DPS\_GIVEN) in plaats van in dieptepunten (DPD\_GIVEN). Daarnaast zijn nog extra opties toegevoegd voor het berekenen van de diepte in snelheidspunten.

Al deze zaken hebben zo hun invloed op de wijze waarop "drying and flooding" in WAQUA/TRIWAQ kan worden gespecificeerd. Voor de details wordt verwezen naar de User's Guide WAQUA.

*Opgave: Bestudeer paragraaf 3.6 Drying and Flooding van de User's Guide van WAQUA. Ga met name de sturingsmogelijkheden na die u hebt met de grootheden DEPCRIT en METH\_DPS. Analyseer vervolgens de*



*invoerfile van het kromlijnige voorbeeld uit het vorige hoofdstuk en experimenteer zo met de dieptewaarden van enkele punten dat er een droogvallende plaat ontstaat. Draai WAQPRE en WAQPRO en constateer dat de "plaat" inderdaad regelmatig droogvalt en vervolgens weer onderloopt.*

### 10.3 Afregelen

Het afregelen van een model is een complexe aangelegenheid. Veel grootheden in het model waarvan is aangenomen dat ze "bekend" zijn spelen bij het afregelen een rol. Juist omdat sommige grootheden niet zo vanzelfsprekend vastliggen als aanvankelijk lijkt, is het acceptabel om deze grootheden, zij het niet al te ingrijpend, aan te passen. Dit noemt men "afregelen". Het afregelen ook wel calibreren genoemd moet wel definitief afgesloten worden in de initialisatiefase van de bouw van een model. Later alsnog variëren van de bekenden komt de geloofwaardigheid van de modeluitkomsten voor de verschillende scenario's uiteraard niet ten goede.

In de praktijk wordt vaak een systeem van validatie van modellen toegepast dat bestaat uit twee onderdelen, namelijk een calibratie- of afregeldeel waarin het model zo goed mogelijk in overeenstemming wordt gebracht met de metingen en een verificatie deel, waarin een ultieme vergelijking wordt gemaakt met standaarden of gemeten data die niet gebruikt zijn voor de calibratie. Zo is het voor grootschalige modellen gebruikelijk om af te regelen op getijconstanten. Na een aantal calibratieslagen is de uiteindelijke verificatie dan bijvoorbeeld, zonder nog iets aan de modelparameters te wijzigen, de vergelijking van berekende en gemeten waterstanden voor een aantal locaties en voor een andere simulatieperiode dan die voor de calibratie.

Voor kleinschalige modellen kan een afregeling worden gedaan voor doortij en een verificatieslag voor springtij.

De mogelijkheden die de gebruiker heeft om een model af te regelen zijn:

- Het lokaal aanpassen van het rooster aan de rand van het gebied. Het is vaak heel discutabel of een bepaald gebiedje (blokje of roostercel) wel of niet mee moet doen in een berekening. Dit is zeker bij rechthoekige roosters het geval, maar het komt ook bij kromlijnige roosters voor.
- Het aanpassen van de dieptecijfers. Het aanpassen van de diepte is geoorloofd omdat veel dieptecijfers slechts iets over de plaatselijke ondiepte zeggen en zelden iets over de gemiddelde diepte. Voor veel modellen is de diepte in het algemeen de meest belangrijke, maar vaak ook de niet zo betrouwbare parameter.
- Het variëren van de waarden die worden gebruikt voor de Eddy viscosity. Deze parameter komt voort uit een middelingsproces waarbij het duidelijk is dat alleen een ordegrrootte kan worden gegeven en zeker niet een precieze waarde.
- Het "stroever" of "gladder" maken van de bodem via de coëfficiënt van Chezy. Zoals reeds in hoofdstuk 2 is betoogd is ook de formulering met Chezy een empirisch bepaalde formule waar wel het één en ander op af te dingen is.
- Het afregelen van de windinvloed via de windconversie coëfficiënt. De wind is slechts globaal bekend: iets meer of minder sterke wind is vaak ook realistisch.
- Tenslotte kunnen de randvoorwaarden worden aangepast. Helaas is dat bij sturing op tijdseries een erg moeilijke zaak. Wel is het mogelijk bijvoorbeeld de reflectie van een rand bij te stellen, zodat b.v. korte golven het gebied kunnen verlaten. Ook andere combinaties van randen kunnen een verbetering van de resultaten opleveren.

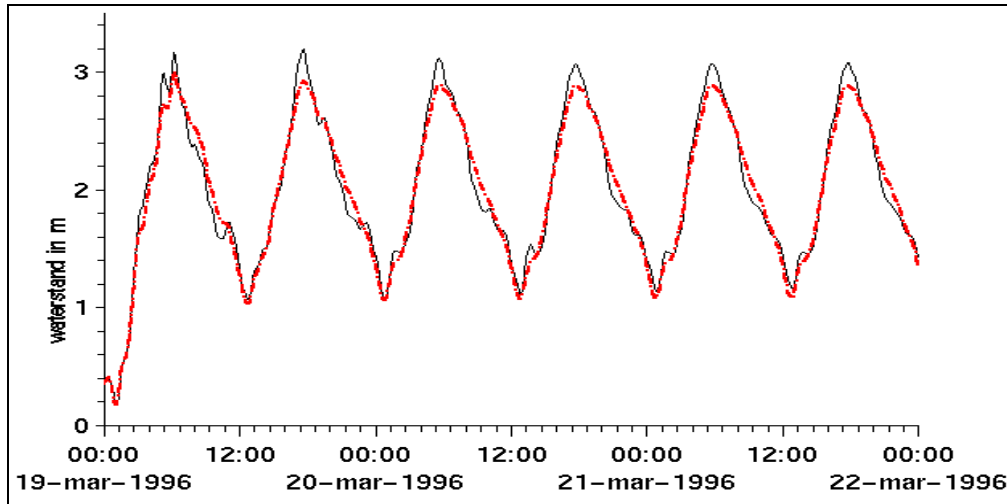
*Opgave: Experimenteer zelf met de bovenstaande knoppen. Verander in VOORBEELD 2 de waarden van de diverse grootheden. Doe dit eerst per knop en analyseer de invloed. Doe het daarna eventueel ook nog eens in combinatie voor verschillende knoppen.*

Als illustratie van wat te verwachten is bij dit soort experimenten en hoe eventuele conclusies kunnen worden getrokken, twee plaatjes van een berekening met de invoerfile VOORBEELD2. De ononderbroken lijnen geven de waterstand en de stroomsnelheid in het punt 3 met coördinaten N=4, M=12 als gerekend wordt met globale friction

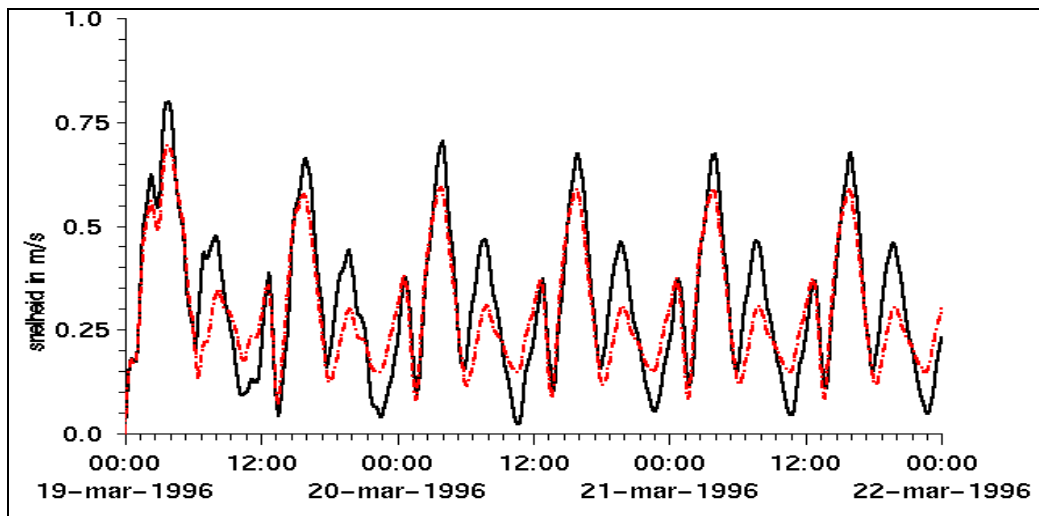
waarden van 0.020; de onderbroken lijnen (rood) zijn het resultaat van exact dezelfde berekening behalve nu met friction 0.030.

Een hogere wrijving heeft kennelijk tot resultaat dat de extremen van de waterstand minder hoog worden en de snelheden in absolute zin kleiner: het water wordt stroperiger.

Door een aantal van dit soort experimenten wordt inzicht gekregen in de invloed van de diverse knoppen.



Figuur 15: De waterstand in meters in het punt (M=4,N=12) Zwart met friction = 0.020, Rood friction = 0.030



Figuur 16: De snelheid in m/s in het punt (M=4,N=12). Zwart weer 0.020, rood weer 0.030.



## 11 Transport

De modellering van transport van constituents (in het water opgeloste stoffen) gebeurt met behulp van een transportvergelijking van het convectie-diffusie type. Binnen WAQUA bestaat de mogelijkheid de toevoer van constituenten te regelen via bronnen. Het aansturen van het transportdeel via het hoofd "keyword" TRANSPORT is optioneel in WAQUA. In het vervolg geven we kort aan wat zoal kan worden toegevoegd. Verderop in deze handleiding komen we nog terug op deze mogelijkheid.

De gebruiker dient de verschillende constituenten die tijdens de berekening gevolgd moeten worden een volgnummer geven. Hierbij is voor zout een aparte plaats ingeruimd omdat zout als enige constituent ook invloed uit kan oefenen op de waterbeweging, immers door een zoutgradiënt wordt een aanvullende drijvende kracht ingebracht. De gebruiker geeft een en ander aan via het aparte hoofd "keyword" DENSITIES waarmee hij via de "toestandvergelijking" (de equation of state) deze invloed kan beïnvloeden. Dit geldt dus voor zout alleen, of met andere woorden het is niet het geval voor de overige met het water meebewegende stoffen. Net als bij de waterbeweging moeten bij het transport beginvoorwaarden en randvoorwaarden worden opgegeven. De wijze van opgeven en de wijze van gebruik van "keywords" is, globaal gesproken, niet anders dan bij de waterbeweging.

Ook kan de gebruiker invloed uitoefenen op het te gebruiken k-epsilon turbulentie model. Indien de gebruiker niets specificeert wordt een default keuze gemaakt (algebraïsch nulde orde model). Turbulentiemodellering, in de verticaal, is overigens alleen mogelijk in TRIWAQ. Dat is dan ook de voornaamste reden waarom het transport van opgeloste stoffen zowel als van zout in gebieden waar zoutgradiënten een rol spelen altijd met argusogen moeten worden bekeken indien er dieptegemiddeld wordt gerekend.

Met betrekking tot de op te geven randvoorwaarden voor de constituenten moeten ook zogenaamde RETURN-TIME waarden worden opgegeven. Hiermee geeft de gebruiker aan na hoeveel tijd na het omdraaien van de stroomrichting ook de constituent omdraait. Uiteraard kan de gebruiker voor elke constituent bronnen opgeven.

Net als voor de waterstand kunnen ook voor de diverse constituenten stations worden aangegeven waar uitvoer in de vorm van histories gewenst is. Ook voor constituenten bestaat de mogelijkheid op aangegeven tijdstippen een afbeelding van het hele veld op dat moment, een zogenaamde map, naar de SDS-file te schrijven.

In het voorbeeld van hoofdstuk 15 is ook een Transport gedeelte opgenomen.

## 12 Riviertoepassingen

### 12.1 Inleiding

Naast de stroming in kustzeeën en estuaria kan het WAQUA pakket ook gebruikt worden voor de simulatie van stroming in rivieren. Bij de rivier toepassingen worden enkele speciale onderdelen van WAQUA gebruikt. Dit betreft met name de modellering van overlaten, ruwheidswaarden en (aangepaste) bodemwaarden. Al deze zaken zijn via standaard "keywords" in de WAQPRE invoerfile op te nemen. Omdat het in een aantal gevallen om tamelijk uitgebreide operaties gaat teneinde de juiste invoerfile te genereren is het hulpprogramma WAQRIV beschikbaar dat blokken van data genereert die via een include in de WAQPRE invoerfile kunnen worden opgenomen.

### 12.2 Overlaten

Overlaten zijn constructies die zorgen voor extra energieverliezen. De zogenaamde overlaatformulering voor sub-kritische en super-kritische stroming (zie voor achtergrondinformatie [4]) wordt gebruikt om kaden, wegen, terreinsprongen en kribben te modelleren. Het gaat hier steeds om vaste constructies. Het energieverlies wordt vertaald in een extra ruwheid van de bodem hetzij in de u-, hetzij in de v-richting. Deze extra ruwheid wordt bij de reeds aanwezige veldruwheid opgeteld en in een Chezywaarde uitgedrukt. De berekening van deze waarde gebeurt elke TICVAL seconden. (Zie in de User's Guide WAQPRE bij FRICTION). Bij overlaten is het verstandig TICVAL zo klein te kiezen dat de Chezy waarden elke tijdstap worden aangepast.

Overlaten worden op een u- of v- punt geschematiseerd en kunnen ook diagonaal liggen. Het voordeel van diagonale overlaten is dat er betere mogelijkheden zijn om de lengte en de stroomsnelheid loodrecht op de overlaat vast te leggen. Overlaten kunnen droogvallen en mogen onbeperkt worden opgegeven.

In de standaard WAQPRE invoer moet de gebruiker:

- de M,N positie opgeven;
- het type u of v opgeven;
- aangeven of een loodrechte dan wel diagonale overlaat is gewenst;
- melden of het een krib is of niet;
- opgeven wat de verschillende afmetingen van de overlaat zijn.

In het praktische voorbeeld van de Grensmaas (zie hoofdstuk 16) staan voorbeelden van het gebruik van overlaten. Het aantal overlaten kan, zoals in dat voorbeeld is te zien, buitengewoon groot worden.

### 12.3 Ruwheid

Reeds in sectie 6.3 is de ruwheid aan de orde geweest. Ruwheid is een bepalende factor in het hele stroomgebeuren. Ook voor de ruwheid moeten diverse grootheden worden opgegeven. Er kan uit een aantal formuleringen worden gekozen om de Chezy coëfficiënt op zekere plaats te berekenen.

Met WAQRIV kan een k-Nikuradse waarde worden berekend uit verschillende typen begroeiing. (Zie in de betreffende handleiding hoe een en ander in zijn werk gaat.). Deze Nikuradse waarde is een parameter in de bepaling van de ruwheid op basis van de White-Colebrook formulering. Deze benadering wordt met name in rivier toepassingen veelvuldig gebruikt vanwege zijn grotere sturingsmogelijkheden in gebieden waar begroeiingen, heggen, bosjes en dergelijke een belangrijke rol spelen.

Er wordt bij de berekening van de Nikuradse waarden onderscheid gemaakt tussen:

- Begroeiing: er is verschil in op te leggen waarde voor respectievelijk gras, bomen, heggen;
- Open water zoals plassen;
- Kribvakken;



- Zomerbed;
- Speciale contouren van gebieden die niet onder de eerder genoemde categorieën zijn te vangen.

Het resultaat van de toepassing van WAQRIV is wederom een include file die bij FRICTION kan worden toegevoegd.

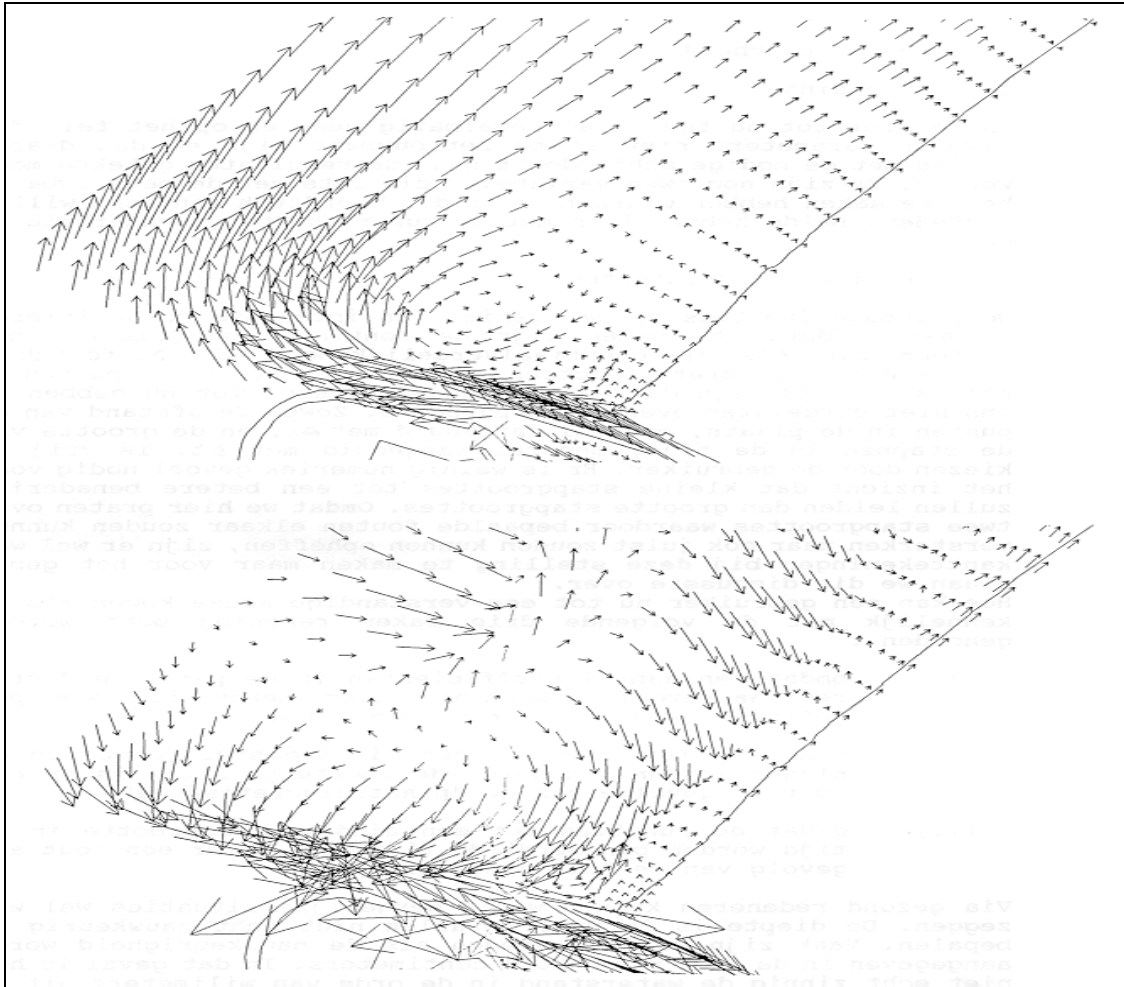
In verband met de reproduceerbaarheid van riviermodellen is in de 90-er jaren door Rijkswaterstaat een programma ontwikkeld (BASELINE), dat in staat is om op basis van bestaande GIS schematisaties van riviergebieden min of meer automatisch nieuwe bodems, overlaten en ruwheidsschematisaties van een riviergebied te maken.

## 12.4 Bodem

Alhoewel WAQUA de mogelijkheid heeft om de dieptewaarden vrij gespecificeerd aan te leveren kent ook WAQRIV hier een optie voor. Via een opgegeven contour kan een speciale lokale diepte worden opgegeven voor alle punten binnen die contour terwijl ook per M,N punt nieuwe dieptewaarden worden geaccepteerd. De bestaande bodeminvoer kan via enkele ingrepen zo worden aangepast dat een nieuw model ontstaat.

## 13 Dieptemiddeling, tijdmiddeling en TRIWAQ

In de 1D en 2D modellen (pakketten SOBEK en WAQUA) wordt gerekend met dieptegemiddelde stroming. Voor sommige praktijksituaties is dit niet voldoende. Denk bijvoorbeeld aan de uitstroom van zoet water in zee: het blijkt dat er een significant verschil is over de vertikaal omdat zoet water lichter is dan zout water. Voordat het water goed gemengd is zijn vele tientallen kilometers afgelegd. Omdat dichtheidsverschillen een rol spelen bij de verplaatsing van water betekent dit dat er ook een groot verschil zal zijn in snelheid indien over de vertikaal wordt gekeken. In dergelijke gebieden is het daarom wenselijk een meerlagen model te hebben.



**Figuur 17: Gelaagde stroming: Reststroom in de "bovenste" en in de "onderste" laag voor de kust van Zuid Holland**

Als illustratie van de geschetste situatie kan gedacht worden aan een verticale doorsnede van het gebied bij de monding van de Nieuwe Waterweg. Door in dit soort, echt 3D, gevallen met een meerlagenmodel als TRIWAQ te rekenen wordt extra informatie omtrent stroming en transport verkregen (Opmerking: overal waar over TRIWAQ wordt gesproken zou ook WAQUA kunnen staan. TRIWAQ is de 3D uitbreiding binnen het WAQUA-in-SIMONA-pakket).

Voor langdurige processen is de gebruiker aangewezen op reststromen en resttransporten. Het blijkt bijvoorbeeld in de Noordzee dat er duidelijk verschillen zijn waar te nemen tussen de reststromen in de bovenste en in de onderste lagen zowel qua richting als qua grootte. Met name op de lange termijn, en daar gaat het bij reststromen en transporten om, kan dit veel uitmaken voor de verplaatsing van grootheden die, hetzij meer in de bovenste lagen verblijven, zeg maar relatief meer drijven, hetzij meer in de onderste lagen zijn te vinden, zeg maar relatief



meer aan opgewerkte zaken doen denken. In figuur 17 is zo'n stroomverdeling te zien. Met de hulp van het meerlagen pakket TRIWAQ is dit verschijnsel te simuleren terwijl dat met SOBEK en WAQUA niet mogelijk is.

Het aansturen van TRIWAQ gaat in principe op vergelijkbare wijze als bij WAQUA. Vrijwel alle "keywords" zijn gelijk.

Er zijn ook enkele essentiële verschillen. Dat geldt met name voor de modellering van turbulentie. Voor een goede benadering van het transport van zout en andere opgeloste stoffen is de weergave van de turbulentie van essentieel belang. Daarom wordt bij 3D berekeningen altijd gebruik gemaakt van een k-epsilon turbulentie model. Het enige verschil qua rooster is dat er bij TRIWAQ ook een verdeling van de verticaal bij is gekomen! Net als bij de uitbreiding met het transport van WAQUA zal een ervaren WAQUA gebruiker hoogstwaarschijnlijk ook weinig problemen kennen om de 3-D optie te gebruiken.

Bij het omzetten van een WAQUA invoer naar een TRIWAQ invoer zijn minimaal de volgende parameters te wijzigen:

- Verander onder het "keyword" IDENTIFICATION de term WAQUA in TRIWAQ;
- Verander onder het "keyword" MESH onder AREA het aantal lagen in de vertikaal (parameter KMAX);
- Voeg het "keyword" TRANSPORT toe (indien dat er nog niet was) en daaronder TURBULENCE\_TRANSP met de "keywords" ENERGY en DISSIPATION.
- Daarnaast is het gebruikelijk de eddy of turbulente viscositeit op 1 te zetten en de diffusie terug te brengen tot een waarde van 1.



## 14 Betrouwbaarheid

### 14.1 Inleiding

In de tot nu behandelde stof is al regelmatig gewezen op het feit dat diverse parameters niet al te betrouwbaar zijn en dat daarom altijd met de nodige achterdocht naar de resultaten gekeken moet worden. Er zijn nog twee variabelen die iets met de betrouwbaarheid te maken hebben en waaraan in dit hoofdstuk enige aandacht wordt besteed. Beide variabelen hebben iets met de numerieke aanpak van het probleem te maken.

### 14.2 De schematisatie fouten

Door roosterfuncties op het gebied van interesse te definiëren en een tijdstap te nemen zijn de continue functies uit het systeem partiële differentiaalvergelijkingen uit hoofdstuk 3 benaderd door discrete functies. Op een beperkt aantal punten in plaats en tijd zijn de functies gedefinieerd. Tot nu is niets gezegd over de stapgrootte. Zowel de afstand van de punten in de plaats, meestal aangeduid met  $dx$ , en de grootte van de stappen in de tijd, meestal aangeduid met  $dt$ , is vrij te kiezen door de gebruiker. Er is weinig numeriek gevoel nodig voor het inzicht dat kleine stapgroottes tot een betere benadering zullen leiden dan grootte stapgroottes. Omdat we hier praten over twee stapgroottes waardoor bepaalde fouten elkaar zouden kunnen versterken maar ook juist zouden kunnen opheffen, zijn er wel wat kanttekeningen bij deze stelling te maken maar voor het gemak slaan we die discussie over. Hoe kan een gebruiker nu tot een verstandige keuze komen als er kennelijk met de volgende drie zaken rekening moet worden gehouden:

- omdat een aantal coëfficiënten in de partiële differentiaalvergelijkingen niet exact bekend is, is er per definitie sprake van een benadering;
- omdat de functies met een eindige stapgrootte in de plaats worden benaderd (de roostergrootte) is er een fout tengevolge van de "plaatsdiscretisatie";
- omdat de functies met een eindige stapgrootte in de tijd worden benaderd (de tijdstap) is er een fout als gevolg van de "tijdsdiscretisatie".

Via gezond redeneren kunnen we in dergelijke situaties wel wat zeggen. De diepte is in veel gevallen niet echt nauwkeurig te bepalen. Met name in zeegebieden worden de dieptecijfers alleen dichtbij de kust, dat wil zeggen tot circa -20.0 meter t.o.v. N.A.P. goed gepeild, hoe verder weg hoe onnauwkeuriger en ook minder frequent. Vaak zijn we daarom bij berekeningen waarin de Noordzee een rol speelt al tevreden als de nauwkeurigheid wordt aangegeven in de orde van enkele centimeters. Immers in dat geval is het niet echt zinnig de waterstand in de orde van millimeters uit te gaan rekenen. Het is dan ook aan te bevelen om met de plaatsstap  $dx$  en de tijdstap  $dt$  zo te experimenteren dat halvering van één van die stappen een invloed op de uitkomsten heeft die orde 1 cm is. Kleiner heeft geen zin. Uiteraard gelden vergelijkbare overwegingen voor de snelheden. Door te veel nauwkeurigheid in de stroomsnelheden te suggereren worden gebruikers van de resultaten al snel op het verkeerde been gezet.

Overigens is het bij veel praktische gevallen belangrijker om trends te signaleren. Alhoewel de absolute grootte in een bepaalde situatie met de nodige voorzichtigheid moet worden bekeken kan vaak wel een kwalificatie worden gegeven op basis van de verschillen die optreden in twee berekeningen: een kwalitatieve conclusie in plaats van een kwantitatieve.

Een gebruikelijke methode om tot een eerste schatting van de tijdstap te komen is gebruik te maken van het zogenaamde Courant Friedrichs Lewis criterium.

Dit criterium luidt:

$$C_r = 2\Delta t \sqrt{\frac{2gh}{\Delta x \cdot \Delta y}}$$



met:

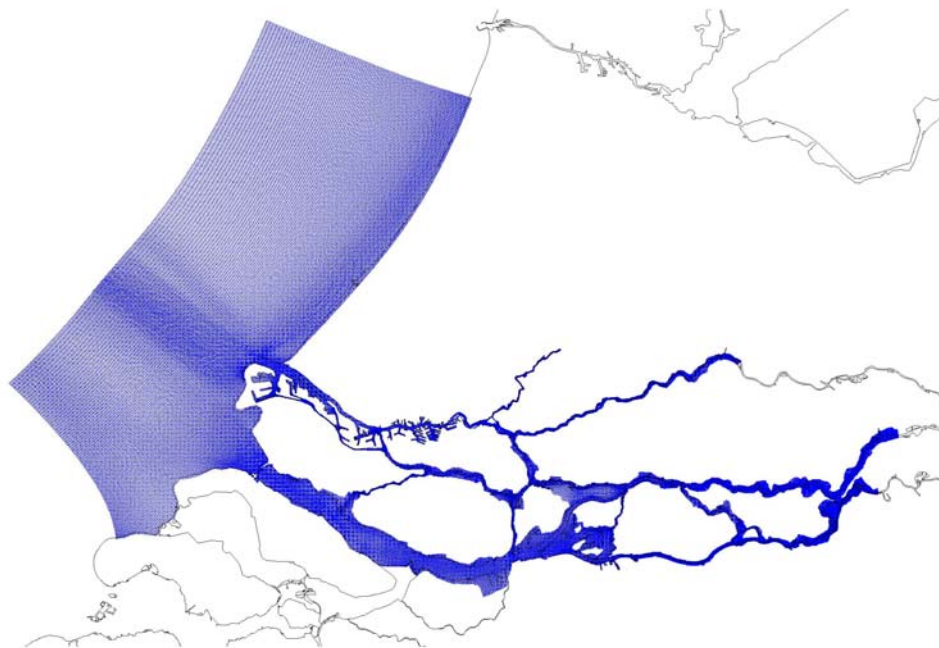
$C_r$	= Courant getal	[-]
$\Delta t$	= tijdstap van de simulatie	[s]
$\Delta x$	= maaswijdte in M - richting	[m]
$\Delta y$	= maaswijdte in N - richting	[m]
$g$	= versnelling van de zwaartekracht	[m/s <sup>2</sup> ]
$h$	= waterdiepte	[m]

Bij de keuze van de tijdstap  $\Delta t$  wordt ernaar gestreefd het Courantgetal onder de waarde 10 te houden. Of de gekozen tijdstap klein genoeg is, kan worden gecontroleerd door een berekening met gehalveerde tijdstap uit te voeren. De resultaten hiervan mogen niet noemenswaardig verschillen van de referentieberekening.

## 15 Het Zeedelta-model

### 15.1 Inleiding

Water speelt in Nederland op vele plaatsen een uiterst belangrijke rol. Niet alleen heeft Nederland relatief gesproken een erg lange kustlijn, ook wordt Nederland doorsneden door een aantal zeer grote rivieren. Daar WAQUA geschikt is voor de modellering van beide is het mogelijk een model te maken waarin zowel een rivier- als een zeestuk zit. In dit hoofdstuk wordt aandacht aan een dergelijk model: het Zeedelta model, besteed. In feite zitten in dit model vrijwel alle zaken die de gebruiker van pas kunnen komen. Indien op zeker moment een nieuw model moet worden ontworpen zal de nu te behandelen invoerfile ongetwijfeld goed als startpunt benut kunnen worden. De invoerfile is in sectie 15.3 opgenomen.



Figuur 18: Rekengebied van het Zeedelta model – versie 8

### 15.2 Korte beschrijving

Het Zeedelta model is onderdeel van de modellentrein 'van Oceaan tot de Nederlandse Binnenwateren' (zie figuur 3). Het model is een kromlijng model in het Parijse coördinatenstelsel en omvat het Noordelijk Deltabekken en het aansluitende deel van de Noordzee. Het model loopt tot Zandvoort in het noorden en de kop van Schouwen Duiveland in het zuiden. Zeewaarts strekt het zich 25 tot 30 km uit. Verder zijn de volgende wateren in het model meegenomen:

- Nieuwe Waterweg – Nieuwe Maas – Lek tot Hagestein
- Beneden-Merwede – Waal tot Tiel
- Haringvliet – Hollands Diep – Biesbosch – Maas tot Lith

Het rekenrooster meet 500 bij 1538 roosterpunten, waarvan circa 21% actief (ruim 158600 roostercellen). De resolutie varieert sterk. langs de zeerand liggen rekencellen van 200 tot 400 m. Naar de kust toe ligt de resolutie rond de 100 tot 200 m. In de riviergedeelten liggen gemiddeld 8 tot 14 rekencellen in de breedte, wat neerkomt op

een resolutie van ongeveer 40 m. De uiterwaarden zijn in het algemeen veel grover geschematiseerd, met resoluties oplopend tot 150 m.

Dit model is zo interessant omdat er nogal wat verschillende aspecten in zitten:

- het sluisencomplex van het Haringvliet;
- de Maeslantkering in de Nieuwe Waterweg;
- de doorgraving van de Beerdam;
- het interactie gebied zout-zoet in de monding van de Nieuwe Waterweg;
- de Maasvlakte;
- het stortgebied voor bagger/slib Loswal Noord.

Bouw en afregeling van het model worden beschreven in [9]. Het Zeedelta model bedekt dus het gehele gebied van de delta van de benedenrivieren, inclusief het aangrenzende deel van de Noordzee.

De bodemschematisatie van het model is gedetailleerd uitgevoerd om een juiste representatie te geven van het beschouwde gebied. Daarbij is gebruik gemaakt van dicht bij de kust gelegen dieptebestanden uit 1999, lopend langs de gehele kust en zeewaarts tot ongeveer 10 km. Verder is gebruik gemaakt van lodingsgegevens van de Dienst der Hydrografie voor de Noordzee, aangevuld met een terreinmodel voor de Noordzee (1990) en gedigitaliseerde kaarten. De diepteschematisatie voor de riviertakken is overgenomen uit de vorige versie van het model, op basis van lodingen van 1995.

Het model wordt aangestuurd door twee soorten randvoorwaarden: randvoorwaarden op de "open" zeerland en randvoorwaarden op de, in totaal drie, "open" rivieranden. Het type randvoorwaarde voor de zeerland is een zogenaamde (zwak-reflecterende) Riemannrandvoorwaarde; dit type is een combinatie van waterstand en stroomsnelheid met een correctie voor de lokale diepte. Deze randvoorwaarden worden door "nesting" verkregen uit het Kuststrook model; zie in dit verband nog eens de modellentrein van het Nederlandse kustgebied (figuur 3). De randvoorwaarden op de (drie) rivieranden worden opgelegd als tijdreeksen van debieten. Het totale debiet wordt door toepassing van de 'disch-ad' optie (zie de WAQUA User's Guide) gelijkmatig verdeeld over de actieve rekencellen.

De tijdstap is gekozen op 30 seconden en voor de bodemruwheid wordt in het zeegebied de methode Manning gebruikt en op de rivieren White Colebrook. Globaal is voor de ruwheid een standaardwaarde genomen maar lokaal, met name op de rivieren, zijn andere waarden gebruikt.

In het gemodelleerde gebied speelt de zout-zoet verdeling een wezenlijke rol met betrekking tot waterstanden en stroomsnelheden. In het onderhavige geval is daarom de saliniteit in het model opgenomen. Daarmee is dit tevens een voorbeeld van een TRANSPORT berekening zoals aangekondigd in hoofdstuk 9. De uitstroom van het zoete water zorgt in een groot gedeelte van de zuidelijke Noordzee voor laagvorming: het lichtere zoete water boven en het zwaardere zoute water onder. In feite is in dit gebied voor veel analyses daarom een 3D model nodig. Ook de indringing van het zoute water op de rivieren zorgt voor 3D verschijnselen. Voor een realistische representatie van de zoutindringing op zowel de Nieuwe Waterweg, de Nieuwe Maas als de Oude Maas zijn voor de diffusiecoëfficiënt in plaats van de globale waarde van 50 m<sup>2</sup>/s lokaal sterk afwijkende waarden gebruikt, oplopend tot 1500 m<sup>2</sup>/s ter plaatse van de Nieuwe Waterweg.

Bij de afregeling zijn resultaten van metingen en berekeningen met elkaar vergeleken en, zoals boven aangegeven, door de variatie van een aantal relevante parameters zo goed mogelijk met elkaar in overeenstemming gebracht. Er zijn vergelijkingen gemaakt tussen berekende en gemeten waterstanden, stroomsnelheden en saliniteitsconcentraties op een groot aantal locaties in het hele model.

Het blijkt dat de reproductie van de waterstanden in het model goed is en ook de stroomsnelheden worden redelijk tot goed gereproduceerd. Tenslotte gelden ook dergelijke conclusies met betrekking tot de saliniteitsconcentraties. (Zie [9] voor een beschrijving van verdere vergelijkingsresultaten en overwegingen.)



Het is gebleken dat een lange inspeelperiode nodig is om een realistische zout-zoet situatie te krijgen. Dit betekent dat bij (vervolg)simulaties vaak uitgegaan wordt van die "ingespeelde" situatie als start.

## 15.3 De invoerfile

In de invoerfile is voor heel veel keywords gebruik gemaakt van het INCLUDE mechanisme. De diverse includes zijn eenvoudig van opzet. Door deze handelwijze is de invoerfile toch te overzien. Loop de invoerfile, die hieronder is afgedrukt, door en constateer dat de werkwijze bij echt grote modellen niet wezenlijk verschilt van de werkwijze bij de eenvoudige voorbeelden uit de vorige hoofdstukken.

```
#23456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
#
#       Berekening met Zeedelta model fijn versie8 = herstel 1:3 koppeling
#       Diepte volgens bodem 1999
#       Wind in svwp - formaat
#       Bodem tpv barriers op 5.5 m
#       Zee-randvoorwaarden      : variërende riemannrandvoorwaarden
#                               constante zourandvoorwaarden
#       Rivier-randvoorwaarden  : variërende debietrandvoorwaarden
#                               constante zourandvoorwaarden
#
#3456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
```

```
identification
# programmaam:
  waqua
  experiment = 'zdv8' overwrite
  modid      = 'zeed-v8'
  title      = 'zeedelta, versie 8 '
# end identification

#set noecho

mesh
  grid
    area          mmax      = 501
                  nmax      = 1539
                  anglegrid = 0.00
                  latitude   = 52.50

# Kromlijng rooster:
  curvilinear     rgffile    = '../rooster/rgf'
  points          include file = '../locaties/points'
                  include file = '../kunstwerken/bar-points'

  curves          include file = '../locaties/curves'

# Definitie randen:
  boundaries
# Polygonen computational grid enclosure:
  enclosures      include file = '../randen/comgrid'
# Definitie open randen:
  openings        include file = '../randen/openings'
  barriers        include file = '../kunstwerken/bar-def'
# Definitie bodem:
  bathymetry
    global
      DPD_GIVEN
      METH_DPS= 'MEAN_DPD'
      depmultiplier= 1.00
      threshold     = 0.30
      depdef        = 6.00
      layout        = 1
# Dieptes in stroken van 10 breed:
  local          include file = '../bodem/bathymetry'
# Definitie permanent droge punten:
  drypoints
                  include file = '../schotjes/dampoints'
```



```
# Zet schotjes in u-richting:
  closeu      include file = '../schotjes/closeu'
# Zet schotjes in v-richting:
  closev      include file = '../schotjes/closev'
# Definitie overlaten:
  weirs       include file = '../overlaten/weirs'
# end mesh
general
  diffusion
# waarde tbv inspelen:.....
  global
    const_values= 50. # waarde 2D

                                include file = '../transport/diffusion-2d'

#                                cdcon= 00.00
  physical_parms
# Zwaartekrachtsversnelling en dichtheden:
    gravity    = 9.8130
    watdensity = 1023.0
    airdensity = 1.2050

# end general
flow
  problem
# Tijddiscretisatie:
    timeframe  date      = '01 jan 1998'
                tstart   = 0          # hoog water Scheveningen
                tstop    = 14400
                timezone = 'MET'

# Tijdintegratie gegevens:
    methodvars  tstep    = 0.50          # N

                                itercon   = 40          # NB
                                itermom   = 8
                                checkcont = 'WL'
                                iteraccurwl = 0.0005
                                iteraccurvel = 0.001
                                theta     = 0.5          # NB

# Tijdsinterval rvw-smoothing en tijdreeksen:
    smoothing   tsmooth  = 0

# Droogvallen:
    drying
    check_wl    = 'YES'
                depcrit  = 0.15          # NB
                upwind_zeta = 'NO'

# Bodemwrijving:
    friction
    global
    ticval= 10.00, formula='manning'

# U-richting:
    udirec
    global
    const_values= .0240
    include file='../ruwheid/frictionatu'

# V-richting:
    vdirec
    global
    const_values= .0240
    include file='../ruwheid/frictionatv'

# Turbulente viscositeit:
    viscosity
    EDDYviscositycoeff = 6.0
    CROSS_DERIV = 'OFF'

# Overlaten coëfficiënten:
    weirs       thetac    = 0.000          # NB 2D
                groynes_redu = 1.000          # NB 2D
                others_reduc = 1.000          # NB 2D

# Barrier coëfficiënten:
    BARRIERcoefficients
                                include file = '../kunstwerken/bar-coef'

# end problem
forcings
# Beginvoorwaarden:
  initial
```



```
watlevel
  global      const_values = 0.00
  local      include file = '../initieel/wlevel'
uvelocity
  global      const_values = 0.00
vvelocity
  global      const_values = 0.00
# Boundaries:
boundaries    include file = '../randen/bound-flow'

timeseries    include file = '../randvw/flow/timeser'
barriers      include file = '../kunstwerken/bar-flow'
# End forcings:
checkpoints
# Definitie waterstands controlepunten:
levelstations include file = '../uitvoer/check-wl'
# Definitie snelheid controlepunten:
currentstations include file = '../uitvoer/check-cur'
usections       include file = '../uitvoer/check-sectu'
vsections       include file = '../uitvoer/check-sectv'
# end checkpoints
# End flow
# Equation of state voor dichtheden:
densities      ceqstt      = 0.698
               tempwa     = 10.00
               rhoref     = 1.000
               alfa_chezy  = 0.000
# End densities
transport
  problem
    constituents co 1
                polutant  = 'Salinity'
                punit     = 'ppt'
    salinity     co 1
    methodvariables theta   = 0.60
# End problem transport
forcings
  initial
    constits    co 1
                global    const_values = 35.00
                local     include file = '../initieel/salinity'
    boundaries  include file = '../randen/bound-trans'
    timeseries  include file = '../randvw/trans/timeser'
# End forcings transport
checkpoints
# Definitie constituent controlepunten:
constitstations include file = '../uitvoer/check-sal'
# End checkpoints constituents
# End transport
sdsoutput
# Tijden in verband met resultaten naar SDS-file:
maps           tfmap = 40860   timap = 30   tlmap = 42390
#             Maps : 29/01/1998 09:00 - 30/01/1998 10:30
histories      tfhis = 0       tihis = 10
restart        tfres = 32700   tires = 30   tlres = 32700
# End sdsoutput
printoutput
# print tijden voor velden:
control        tframestat=( 0.    10.   10.)
# End print
# Einde invoer
#34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
```

In de figuren 18 en 19 wordt iets van de roosters van het model getoond. In figuur 18 wordt het totale gebied en het totale rooster getoond. Constateer dat er een behoorlijk verschil zit in de maaswijdte op de diverse rivierstukken vergeleken met de maaswijdte op de Noordzee. In figuur 19 is het lokale gebied om de Maasvlakte wat uitvergroet.

Zoals reeds gezegd staat in het rapport over de Bouw en Afregeling van het Zeedelta model uitgebreid te lezen welke stappen ondernomen zijn om het model zo te bouwen en af te regelen dat het geschikt is om in de praktijk te

gebruiken. Hieronder staan enkele zaken die een rol gespeeld hebben. Voor de geïnteresseerde lezer zie het genoemde rapport.

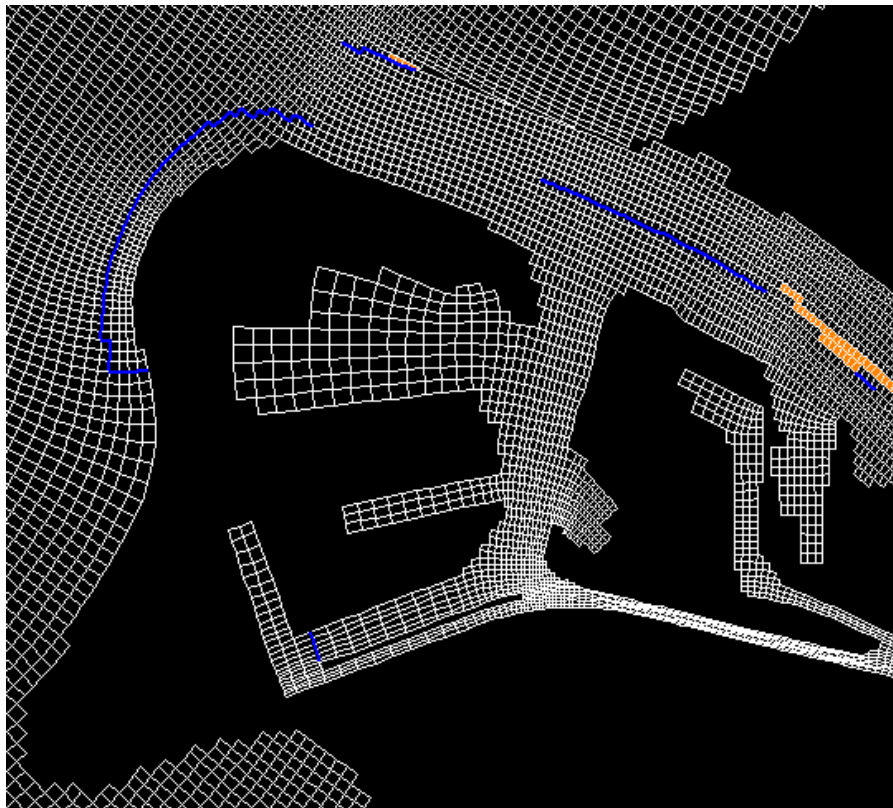
Bij het aanmaken van het rooster is gelet op:

- Orthogonaliteit van het rekenrooster;
- Gladheid rekenrooster (niet te grote veranderingen in de lengte van de lijnsegmenten);
- Aspect ratio (lengte / breedte van een cel zou, in ideale gevallen, ongeveer 1 moeten zijn);
- Kunstwerken zoals havendammen, landhoofden en sluisen.

Bij het afregelen van het model is gekeken naar:

- Dieptes bij de schematisatie;
- Randvoorwaarden (zowel voor de Zeerand als de Rivieranden);
- De invloed van de Tijdstap;
- De globaal en lokaal te gebruiken Ruwheid;
- De Diffusie coëfficiënt;
- Eddy viscosity;
- Wind-schuifspanning.

Door variatie in diverse parameters is een model verkregen dat redelijk goed aansluit bij de waarnemingen (metingen). Met dat model kunnen vervolgens de invloeden van bijvoorbeeld menselijke ingrepen "berekend" worden.



Figuur 19: Lokaal gebied "Tweede Maasvlakte" met dammen en schotjes

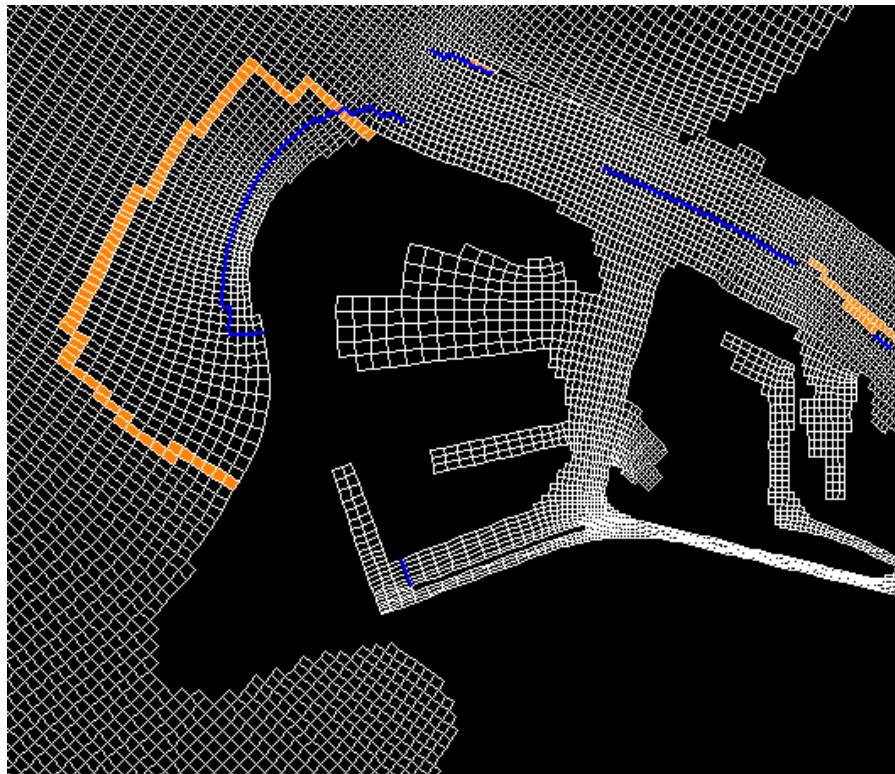
## 15.4 Oefeningen Maasvlakte

Aansluitend bij een meer praktisch gebruik van de rekenmodellen de volgende opgave, die past bij de discussie en planning die met betrekking tot een tweede Maasvlakte reeds langere tijd in Nederland gaande is. Het gaat om het aanbrengen en vervolgens bestuderen van de invloeden van een tweede Maasvlakte. In figuur 19 is het lokale gebied waar die nieuwe vlakte zou moeten komen weergegeven.

Door lokaal een extra gebied droog te leggen kunnen de invloeden op stroomsnelheid en waterstand worden bestudeerd. In figuur 19 is een voorbeeld gegeven hoe zo'n vlakte eruit zou kunnen zien. (zie ook de meegeleverde invoerfiles)

*Opgave: Leg een tweede Maasvlakte aan in het cursusmodel. Doe dit door, bijvoorbeeld zoals in figuur 20, gebruik te maken van dampunten. (Vergelijk ook met figuur 19). Leg voldoende waarnemingspunten in de omgeving van de "tweede Maasvlakte" om straks de invloed van zo'n ingreep te kunnen bestuderen. Voer eerst een berekening uit voor de standaard situatie en herhaal de berekening daarna voor de nieuwe situatie. Houd rekening met het feit dat het hier een complex model betreft dat orde uren rekentijd vraagt.*

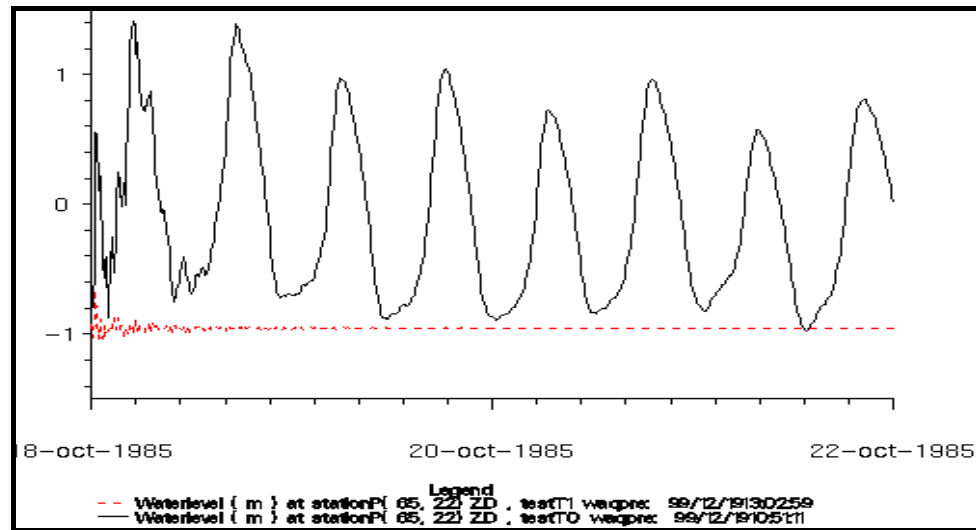
Het is uiteraard ook mogelijk om de computational enclosure zo uit te breiden dat het aangegeven gebied "land" wordt of om, via lokale schotjes, een binnenzee af te scheiden. In alle gevallen wordt er, praktisch gesproken, een gedeelte van de actieve punten afgescheiden van de rest, een en ander zal meer of minder invloed hebben op waterstand, snelheid en lokale concentraties.



**Figuur 20:** Voorbeeld van een mogelijke Maasvlakte langs de kust. Vlakte is aangegeven via extra DAMPOINTS.

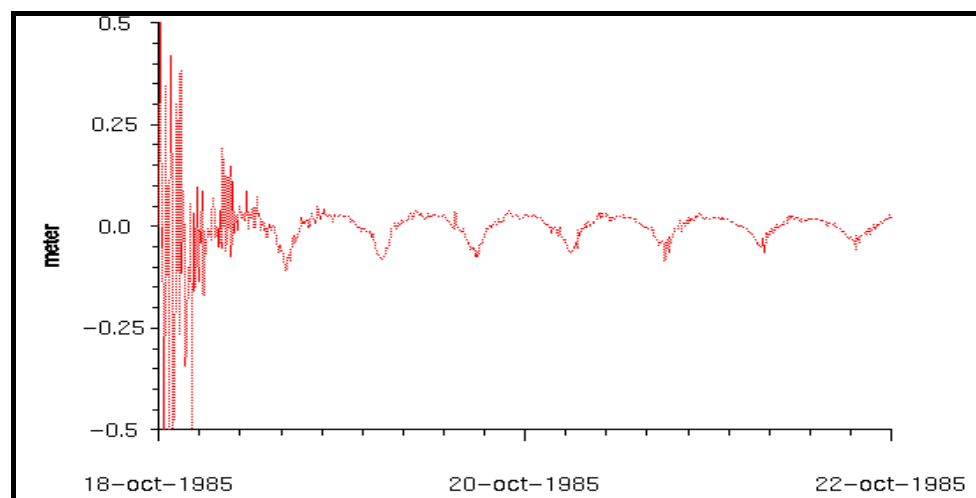
In de meegeleverde files worden invoeren voor de T0 situatie en de nieuwe Maasvlakte T1 beschreven. Voer de berekeningen voor T0 en T1 uit. De resultaten van de verschillende berekeningen kunnen nu bekeken worden. In

de figuren 20 en 21 staan wat resultaten van berekeningen in een paar controlepunten. De coördinaten van deze punten staan aangegeven in de figuren. De plaatjes zijn gemaakt met KALGUI.



Figuur 21: Waterstand in punt (65,22) resp. wel/niet extra Maasvlakte

In figuur 21 is te zien dat punt (65,22) geheel bedekt wordt in het geval van de toegevoegde Maasvlakte: de waterstand blijft op zeker moment vaststaan terwijl in de T0 situatie er een duidelijk getij opstaat. Door het toevoegen van de extra Maasvlakte is er een extra verhoging van orde 10 cm waar te nemen in een aantal kustlocaties. In figuur 22 is een verschilfunctie voor de waterstand getekend. Na het inschakelen zien we de periodieke afwijking. In het geval van lokatie (75,26) gaat het om een extra verhoging.



Figuur 22: Verschil in waterstand in meters in punt (75,26) met resp. wel/niet extra Maasvlakte

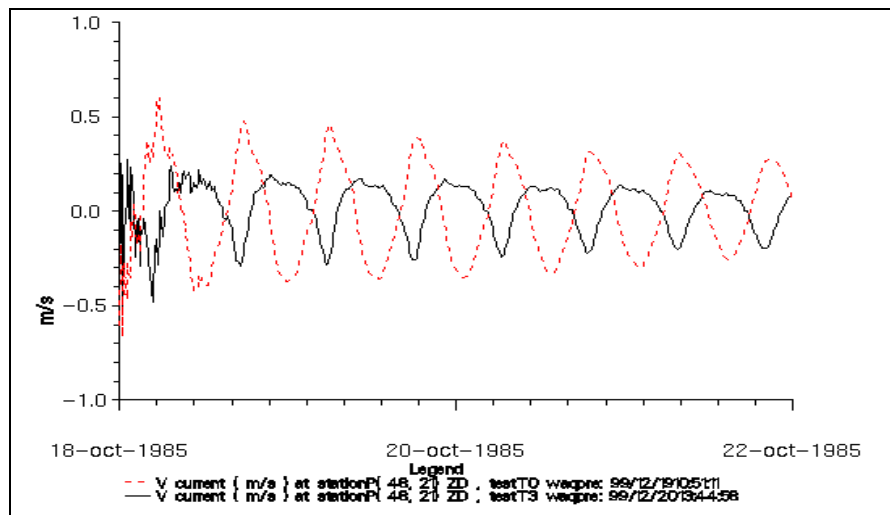
In beide gevallen, T0 en T1, is de berekening slechts voor vier dagen gedaan. (Van 18 tot en met 21 oktober 1985). Probeer eventueel zelf de berekening voor een wat langere periode door te voeren. De meegeleverde randvoorwaarden laten dat toe. Het is interessant om ook andere vormen voor zo'n extra vlakte door te rekenen en te kijken of er dan weer totaal andere resultaten worden verkregen. Probeer via een aantal plaatjes van KALGUI een en ander na te gaan.

Bestudeer ook de gebruikte waarden voor het TRANSPORT gedeelte. Zoals in de invoerfile is te zien is er gebruik gemaakt van slechts één constituent: zout.

Het model is ook nog op vele andere wijzen te gebruiken. Een aardig voorbeeld van een lokale aanpassing die invloed heeft op de waterbeweging is de volgende:

*Opgave: Verleng de noordelijke strekdam bij Hoek van Holland zover dat deze even ver als de Tweede Maasvlakte in zee steekt. Voer deze actie uit door zogenaamde schotjes (closeu en closev, zie sectie DRYPOINTS van WAQPRE) aan te brengen. Terwijl in geval van een DAMPOINT een heel blokje uit de berekening wordt genomen, dus niet alleen het waterstandspunt wordt drooggezet maar ook de snelheden om dat blokje heen worden op nul gezet, wordt in het geval van een "schotje" alleen het betreffende u- of v- snelheidspunt op nul gezet. Deze schotjes worden ook wel "dunne" dammen genoemd in tegenstelling tot de Dampoints die "dikke" dammen worden genoemd. In figuur 19 zijn zowel Dampunten (oranje) als Schotjes (blauw) ingetekend. Bestudeer de invloed van bovenstaande actie op de lokale waterstand. Experimenteer met het gebruik van KALGUI om allerlei plaatjes op uw scherm te verkrijgen met behulp waarvan u de invloeden aan kunt geven.*

Als voorbeeld is in figuur 23 een plaatje opgenomen van de snelheid in het punt (48,21), één keer in de beginsituatie T0 (de ononderbroken zwarte lijn) en één keer in de aangepaste situatie T3 (de gestippelde ("rode") lijn) om te laten zien dat de invloed van een ingreep tamelijk groot kan zijn. De invloed van de schotjes is hier uitermate duidelijk te zien. Het is nu natuurlijk wel de vraag wat er in de andere punten gebeurt en waarom men zo'n extra dam zou willen aanleggen.



Figuur 23: Snelheid in punt (48,21) resp. wel/niet extra dunne dam

Er zijn nog vele andere punten waar de invloed bekeken kan worden. Bedenk dat verandering van de waterstand invloed kan hebben op bijvoorbeeld dijkhoogtes en verandering van de snelheid op respectievelijk de mogelijkheid om met grote schepen te manoeuvreren en op het neerslaan van slib en dergelijke; immers hoe rustiger de stroming hoe makkelijker zwevende deeltjes neerslaan.

## 15.5 3D-berekeningen

Aan de hand van de geschetste invoerfile T0 nog wat opmerkingen over 3D berekeningen. In het geval van 3D (TRIWAQ) berekeningen wordt de WAQUA invoerfile slechts op enkele plaatsen veranderd. Het vastgelegde "horizontale" rooster (2D) wordt in het geval van 3D van een aantal lagen voorzien. In principe kan dus de oude invoerfile zo weer gebruikt worden om er een 3D berekening van te maken en wel door bijvoorbeeld de volgende stappen in het boven gegeven voorbeeld.

Door bij het "keyword" IDENTIFICATION TRIWAQ in plaats van WAQUA op te geven wordt aangegeven dat het om een driedimensionale berekening gaat. Door in het blokje MESH/AREA op te geven wat de waarde van KMAX is wordt aangegeven met hoeveel lagen gerekend gaat worden. De gebruiker kan ook de dikte van de verschillen-

de lagen aangeven in het blokje MESH/VERTICAL. Niets opgeven betekent dat er gerekend wordt met lagen die allemaal even "dik" zijn.

Voorts is het nodig dat de waarden voor diffusie en viscositeit worden aangepast. Het is aan te bevelen ook in dit geval weer eerst aan de hand van een aantal standaard berekeningen de manier van werken te doorgronden. Een en ander zou hier te ver voeren.

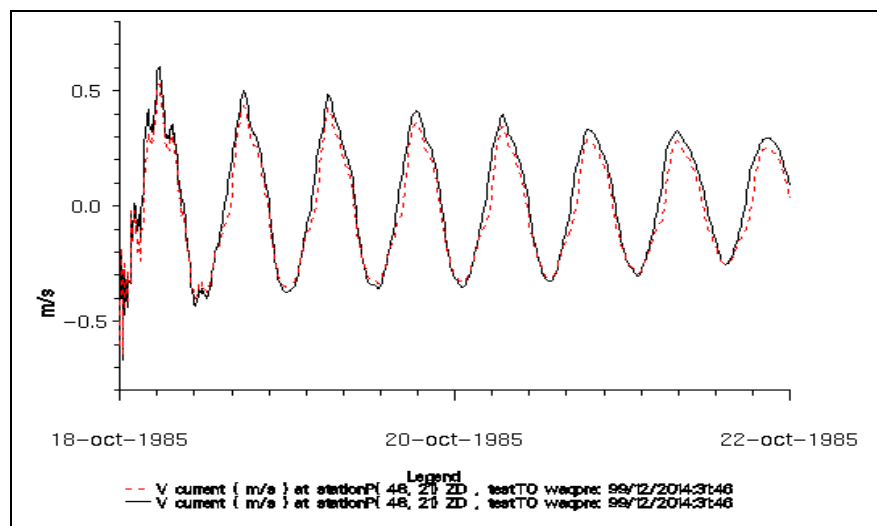
Voor de aardigheid de volgende aanwijzingen:

Kopieer de T0 invoerfile en zet zoals gezegd TRIWAQ in plaats van WAQUA. Neem KMAX = 2, geef bij de diffusie op dat de globale (constante) waarde 50.0 is en geef een eddyviscosity van 1.00 op. Voer met deze aanpassingen een TRIWAQ berekening uit en bekijk de resultaten. Let op: een 3D berekening vraagt aanzienlijk meer rekentijd en levert een aanzienlijk grotere resultatenfile dan in het vergelijkbare 2D geval.

In figuur 24 is als voorbeeld opnieuw de snelheid getekend zoals die na de hierboven aangegeven wijzigingen is berekend voor een 3D geval en in hetzelfde punt als figuur 23 maar nu in de beide lagen. Vergelijken van de resultaten van figuur 23 en 24 laat zien dat in dit geval de snelheden redelijk bij elkaar aansluiten.

De verschillen tussen de boven en onderlaag zijn relatief klein. In berekeningen met veel meer lagen (bijvoorbeeld 10 lagen) kunnen de verschillen aanzienlijk groter uitpakken.

In het bovenstaande 3D-voorbeeld is niets gezegd over de invulling van het turbulentiemodel. Via het turbulentiemodel worden eventuele variaties in de vertikaal geïntroduceerd en in stand gehouden, het feit dat de diffusie globaal constant wordt gehouden heeft hier iets mee te maken: door de lagen en het turbulentiemodel worden variaties opgeroepen. In TRIWAQ kan met verschillende turbulentiemodellen gerekend worden maar als niets wordt ingevuld wordt default met een algebraïsch turbulentiemodel gerekend. Dit betekent dat de verticale viscositeit die als parameter in de bewegingsvergelijkingen voorkomt, wordt uitgerekend via een algebraïsche formule waarin bodemwrijving en diepte een rol spelen. Het is ook mogelijk om de verticale viscositeit te bepalen door het oplossen van een extra stelsel van twee gekoppelde partiële differentiaalvergelijkingen, voor de turbulente kinetische energie aangegeven door  $k$  en de mate van dissipatie van turbulente energie aangegeven door  $\epsilon$ . Dit leidt tot het zogenaamde  $k$ -epsilon model. Gebruik van dergelijke zaken is tamelijk complex en met name de gevolgen van een en ander zijn zeker niet triviaal. Het verdient dan ook aanbeveling als eerste start contact op te nemen met mensen die hier al vaker mee gewerkt hebben.



Figuur 24: Snelheid in m/s in punt (48,21), 3D model, 2 lagen: Rood de bovenste laag en zwart de onderste laag.

Er zijn bij Rijkswaterstaat de afgelopen jaren diverse berekeningen met 3D modellen uitgevoerd en daarvan is ook het nodige op schrift gesteld. Bijvoorbeeld is in het kader van de Milieu Effect Rapportage (MER), in verband met



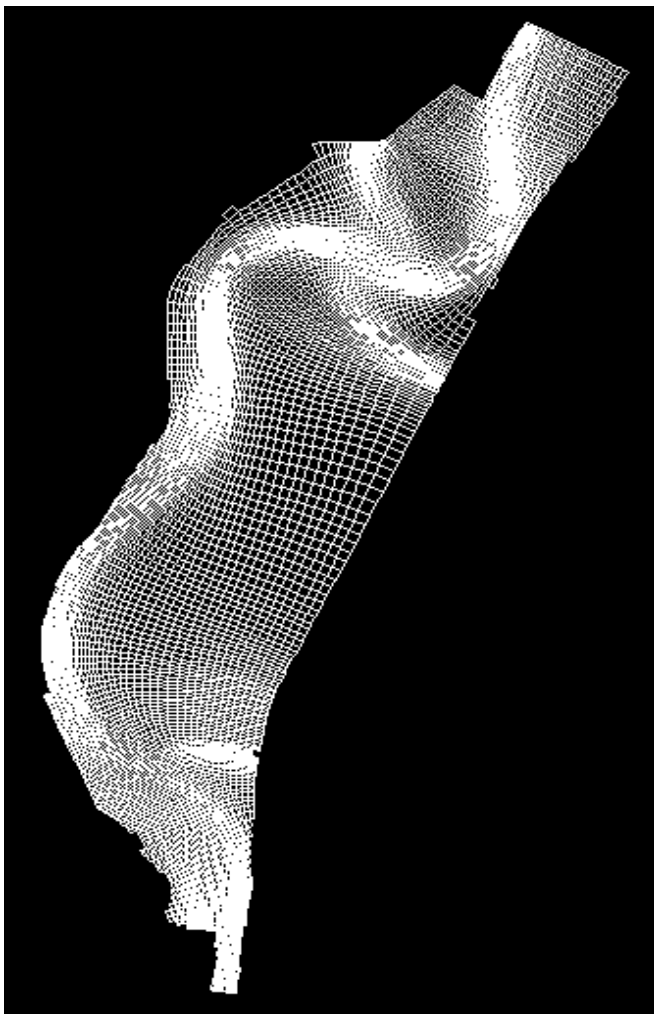
het wel of niet openen van de Haringvlietsluizen, een aantal rapporten verschenen. In deze rapporten (zie [11]) wordt uitgebreid ingegaan op de vele aspecten die een rol spelen met betrekking tot de 3D modellering. Zo is er een deelrapport waarin is vastgelegd hoe de calibratie en verificatie van het RijnMaasMond 3D model met behulp van metingen is uitgevoerd. In dit rapport wordt de aanbeveling gedaan om in een geval zoals dit, bedoeld wordt met sterke zoutindringing, een lange inspeelperiode te benutten daar dit een zeer gevoelig proces is. Als gevolg van de lange periode wordt ook de lokale invloed van de wind, onder andere in het turbulentiemodel, belangrijker. Voor meer specifieke opmerkingen en de gebruikte waarden, zie [11A en 11B].

Over met name het gebruik van barriers wordt gerapporteerd in [11C]. Bijvoorbeeld is gekeken naar de mogelijkheden om ter plaatse van de Haringvlietsluizen de barrier correct te kunnen configureren. Het bleek dat in het oorspronkelijke model te weinig roostercellen beschikbaar waren: de nieuwe, aangepaste, modellen hebben daarom lokaal een verfijning van het aantal roostercellen ondergaan. Overigens wordt op diverse plaatsen aangegeven dat de keuzes tussen meer en minder cellen steeds mede bepaald worden door de tijdsduur van de berekeningen. Om een indruk te geven: het model is dermate complex en groot, niet alleen dankzij veel cellen in het "horizontale" rooster maar ook vanwege de acht lagen in de verticaal, dat de doorloopsnelheid van het volledige model een factor drie trager is dan de werkelijkheid. Controle en calibratie van de barrierformulering bleek dan ook een uitermate en ingewikkeld en tijdrovend karwei. In [11C] staan de uiteindelijke aanbevelingen met betrekking tot de barriers.

## 16 Een model van de Grensmaas

### 16.1 Inleiding

Op diverse plaatsen in Nederland worden werken uitgevoerd met betrekking tot de grote rivieren. Met name de bijna waterrampen van de jaren negentig hebben ervoor gezorgd dat er haast is gemaakt met het "veiliger" maken van diverse stukken rivier. Eén van die plaatsen is een gedeelte van de zogenaamde Grensmaas, een stuk van de rivier de Maas tussen Km 14 en Km 25, zie figuur 25. De beheersbaarheid manifesteert zich in de Maas onder andere op de volgende manier.

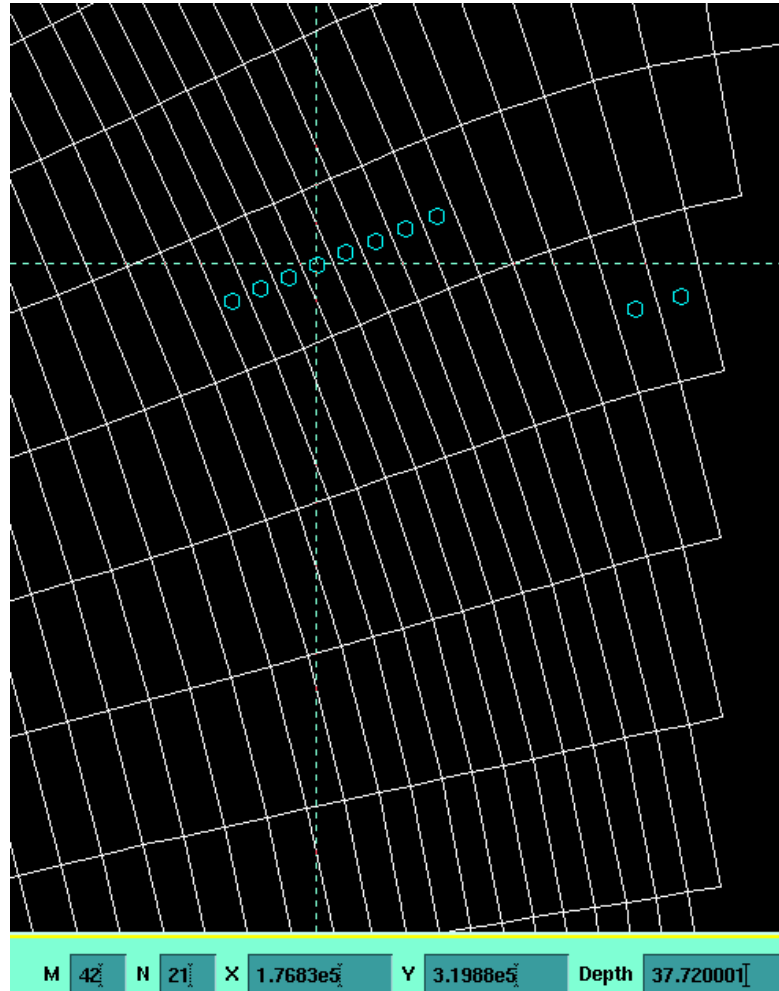


Figuur 25: Rekenrooster model Grensmaas

De rivier de Maas is zoals bekend een regenrivier en zal daarom vrij snel van een brede kolkende stroom veranderen in een vrijwel droge bedding. Om dit te voorkomen is een aantal stuwen in de rivier aangebracht waardoor de rivier een beheersbaar waterpeil heeft en als gevolg daarvan bevaarbaar blijft, ook in relatief droge periodes. Het model waar dit hoofdstuk over handelt is een model waarin zo'n stuw wordt aangebracht. Dankzij diverse mogelijkheden kan de gebruiker, via zogenaamde triggers, zo'n stuw sturen. In het volgende wordt hier verder op ingegaan. Van het nu te gebruiken model is nog niet een volledig rapport verschenen. Voor de roostergeneratie wordt verwezen naar het WL rapport uit 1997. (Zie [10]). (Ook van dit gebied zijn enkele voorbeeldfiles meegeleverd)

## 16.2 Oefening Stuwen

Alvorens begonnen wordt met het inpassen van de stuwen is het goed ook de file MAAS-T0.siminp te bestuderen. Merk op dat in deze file wederom op diverse plaatsen het include mechanisme gebruikt is.



Figuur 26: Detail met "punten" van Grensmaasmodel

In tegenstelling tot het gebruikte model van Hoofdstuk 15 is in dit model de diepte oriëntatie positief opwaarts: dit is veel voorkomend bij riviermodellen. Let ook op de wijze waarop in de diverse includes bestanden worden opgegeven: de bestanden kunnen worden aangetroffen in hetzij de huidige directory hetzij in een andere directory die op de standaard wijze via een pad is opgegeven. Alvorens u zo'n model in uw lokale omgeving kunt draaien zult u daarom moeten controleren of alle paden goed staan.

Het is de bedoeling dat als opgave een kunstwerk wordt aangebracht tussen de punten met coördinaten ( M=39, N=21 ) en ( M=46, N=21 ).

*Opgave: Ga met behulp van de IPW na dat in de invoerfile MAAS-T0.siminp reeds rekening is gehouden met de betreffende punten. (Zie ook Figuur 26) Leg in de onmiddellijke omgeving van het aan te brengen kunstwerk eventueel nog enkele controle punten waarin u uitvoer wilt hebben. Zorg voor zowel waterstands- als snelheids-punten.*

*Opgave: Draai de T0 berekening en bestudeer met KALGUI de resultaten van deze berekening. Zorg dat al deze resultaten worden opgeslagen zodat ze later als referentie kunnen dienen.*



De invoerfile MAAS-T0.siminp luidt als volgt:

```
# SIMONA input file
# Last written at : 20000103 143449
SET NOECHO

IDENTIFICATION
WAQUA
EXPERIMENT      = 'MAAS-T0'
MODID           = 'TEST-0'
TITLE           = 'MAATEST-T0'
OVERWRITE

DEPTH_CONTROL
ORIENTATION     = 'pos_upwards'

MESH
GRID
AREA
  MMAX          = 54
  NMAX          = 196
  LATITUDE     = 52.689999
  LONGITUDE    = 0.000000
  ANGLEGRID    = 0.000000
CURVILINEAR
  RGFFILE      = 'MAAS-T0.rgf'

POINTS
  INCLUDE FILE = 'MAAS-T0.points'

CURVES
  INCLUDE FILE = 'MAAS-T0.curves'

BOUNDARIES
ENCLOSURES
  INCLUDE FILE = 'MAAS-T0.enclosures'
OPENINGS
  INCLUDE FILE = 'MAAS-T0.openings'
BATHYMETRY
GLOBAL
  DPD_GIVEN
  METH_DPS='MAX_DPUV'
  DEPMULTIPL = 1.000000
  THRESHOLD  = 0.000000
LOCAL
  INCLUDE FILE = 'MAAS-T0.bottom'
DRYPOINTS
CLOSEU
  INCLUDE FILE = 'MAAS-T0.closeu'
CLOSEV
  INCLUDE FILE = 'MAAS-T0.closev'
```



```
WEIRS
  INCLUDE FILE = 'MAAS-T0.weirs'

GENERAL
  PHYSICALPARAMETERS
    GRAVITY = 9.81300
    WATDENSITY = 1000.00000
    AIRDENSITY = 1.22650

  WIND
    WSPEED = 0.000
    WANGLE = 0.000
    WCONVER = 0.000

    WUNIT = 'm/s'

    CONST_Cd
    WSTRESS = 0.00260

  DIFFUSION
    GLOBAL
      CONST_VALUES = 50.00
      CDCON = 0.000
    LOCAL
      INCLUDE FILE = 'MAAS-T0.diffusion'

  DISPLAYS
    OUTLINES
      GENERAL
        XSHIFT = 0.000000
        YSHIFT = 0.000000

  FLOW
    PROBLEM
      TIMEFRAME
        DATE = ' 1 DEC 1994'
        TSTART = 0.00000
        TSTOP = 11520.00000
      METHODVARIABLES
        TSTEP = 0.25000
        ITERCON = 20
        ITERMOM = 8
        CHECKCONT = 'WL'
        ITERACCURWL = 0.00050
        ITERACCURVEL = 0.00100
        THETA = 0.50000
      SMOOTHING
        TLSSMOOTH = 0
      DRYING
        CHECK_WL = 'YES'
        DEPCRIT = 0.10000
        UPWIND_ZETA = 'YES'
```



```
FRICITION
GLOBAL
  TICVAL      =      0.25000
  FORMULA     =      '      WHIT'
UDIREC
GLOBAL
  CONST_VALUES =      0.0200
LOCAL
  INCLUDE FILE =      'MAAS-T0.frictionU'
VDIREC
GLOBAL
  CONST_VALUES =      0.0200
LOCAL
  INCLUDE FILE =      'MAAS-T0.frictionV'
NIKURADSE
GLOBAL
  TIMES
    TFNIKU    =      0.000
    TINIKU    =      5.000
    TLNIKU    =      5760.000
  ROUGH_CHAR
    INCLUDE FILE =      'MAAS-T0.roughN'
UDIREC
  AREAU      =      'MAAS-T0.area-u'
VDIREC
  AREAV      =      'MAAS-T0.area-v'
VISCOSITY
  EDDYVISCOSITYCOEFF =      0.500
WEIRS
  THETAC     =      0.00000
  GROYNES_REDUCE =      1.00000
  OTHERS_REDUCE =      1.00000
FORCINGS
INITIAL
WATLEVEL
GLOBAL
  CONST_VALUES =      0.00000
  LAYOUT       =      1
LOCAL
  INCLUDE FILE =      'MAAS-T0.watl'
BOUNDARIES
B : OPEN  1,
  BTYPE    =      'disch-ad'
  BDEF     =      'Series'
  REFL     =      100.000000
  SAME
B : OPEN  2,
  BTYPE    =      'wl'
  BDEF     =      'Series'
  REFL     =      100.000000
  SAME
TIMESERIES
```



```
INCLUDE FILE          = 'MAAS-T0.flowtims'
DISCHARGES
SOURCE: P701, SERIES='irregular'
  TIME_AND_VALUE     =   00 00: 0.0      -15.00
  TIME_AND_VALUE     =   91 00: 0.0      -15.00
SOURCE: P702, SERIES = 'irregular'
  TIME_AND_VALUE     =   00 00: 0.0      -16.00
  TIME_AND_VALUE     =   91 00: 0.0      -16.00
SOURCE: P703, SERIES='irregular'
  TIME_AND_VALUE     =   00 00: 0.0         2.43
  TIME_AND_VALUE     =   07 00: 0.0         4.71
  TIME_AND_VALUE     =   14 00: 0.0         5.80
  TIME_AND_VALUE     =   21 00: 0.0         3.77
  TIME_AND_VALUE     =   28 00: 0.0        11.80
  TIME_AND_VALUE     =   35 00: 0.0        11.76
  TIME_AND_VALUE     =   42 00: 0.0        11.65
  TIME_AND_VALUE     =   49 00: 0.0        11.48
  TIME_AND_VALUE     =   56 00: 0.0        15.16
  TIME_AND_VALUE     =   63 00: 0.0        16.28
  TIME_AND_VALUE     =   70 00: 0.0        12.28
  TIME_AND_VALUE     =   77 00: 0.0        12.12
  TIME_AND_VALUE     =   84 00: 0.0        12.64
  TIME_AND_VALUE     =   91 00: 0.0        12.16
CHECKPOINTS
LEVELSTATIONS
INCLUDE FILE          = 'MAAS-T0.ckpt_level'
CURRENTSTATIONS
INCLUDE FILE          = 'MAAS-T0.ckpt_current'
VSECTIONS
INCLUDE FILE          = 'MAAS-T0.ckpt_vsect'

SDSOUTput
MAPS
TFMAPS              =   0.000000
TIMAPS              =  720.000000
TLMAPS              = 11520.000000
HISTORIES
TFHISTO             =   0.000000
TIHISTO             =   1.000000
TLHISTO             = 11520.000000
PRINTOUTPUT
CONTROL
TFRAMEHIST =(      0.00,      60.00, 11520.00)

# end SIMONA input file
```

Alvorens met het inpassen van het kunstwerk, de stuwen, te beginnen het volgende. Ook bij dit probleem moeten uiteraard randvoorwaarden worden opgegeven. In de T0 berekening zijn op twee plaatsen randvoorwaarden nodig op open randen: bovenstrooms en benedenstrooms. Over de bovenstroomse voorwaarde is verder niet zo veel te zeggen: over het algemeen wordt hier een debiet opgegeven, zo ook in de T0 berekening. Dankzij de DISCH\_AD mogelijkheid, zie de User's Guide, wordt ervoor gezorgd dat het debiet netjes over de hele rand wordt verdeeld. Over de benedenstroomse rand is meer te zeggen: omdat, zeker als er straks met kunstwerken zal worden



gemanipuleerd, er niet van te voren precieze getallen over waterstand, snelheid en debiet beschikbaar zijn vormen deze randen een extra moeilijkheid. In de T0 berekening wordt hier op elk tijdstip een waterstand voorgeschreven. Echter in principe is die waterstand niet van te voren bekend: immers als bijvoorbeeld de stuwen gedeeltelijk gesloten worden dan zal dat ongetwijfeld invloed hebben op de stroming en dus op de waterstand op de benedenstroomse rand. In WAQUA bestaat hier een oplossing voor dankzij de mogelijkheid om QH relaties op te geven. Hierbij wordt aangegeven welk debiet bij welke waterstand hoort door middel van een tabel. Bestudeer de meegeleverde invoerfile MAASQH-T1.siminp en constateer dat hierin een dergelijke randvoorwaarde is opgenomen. Deze laat dus het manipuleren met het kunstwerk toe. Kijk in de T1 file hoe met de QH tabel wordt gewerkt.

*Opgave: Draai de T1 berekening en bestudeer met KALGUI de resultaten van deze berekening en vergelijk ze met de resultaten van de T0 berekening.*

Vervolgens gaan we naar het kunstwerk. Breng nu, om te beginnen, uitgaande van de T0 invoerfile barriers (stuwen) aan in de twee genoemde punten. Hiertoe dient u de invoerfile op drie plaatsen aan te passen: Eerst in het hoofd"keyword" MESH bij BOUNDARIES/BARRIERS (sectie 2.6.4.3 in de User's Guide van WAQPRE), daarna bij het hoofd"keyword" FLOW zowel onder PROBLEM/BARRIERCOEFFICIENTS (sectie 2.8.1.7) als onder FORCINGS/BARRIERS (sectie 2.8.2.8 tot en met sectie 2.8.2.11). Constateer aan de hand van genoemde sectie 2.6.4.3 dat u in dit geval moet werken met de eerder door u opgegeven puntnummers en dan TYPE en DIAG moet specificeren. Aangezien de barriers hier in de "horizontale" richting lopen zijn het v-barriers. DIAG hoeft, omdat het niet om diagonale barriers gaat, niet ingevuld te worden: de defaultwaarde 0 kan gebruikt worden. Vul vervolgens de Barriercoefficients in: per barrier moeten waarden worden gegeven voor de contractiecoëfficiënt voor subkritische stroming, voor de coëfficiënt voor superkritische stroming en voor de coëfficiënt opening beperkende stroming. Gebruik hiervoor in eerste instantie de waarde 1.0. Later kan ook hiermee geëxperimenteerd worden. Tenslotte moeten de waarden worden gegeven voor de drempelhoogte, voor de hoogte van de "schuif" en voor de te benutten breedte. In feite kan met behulp van deze waarden het doorstroomoppervlak naar believen in elke richting, volledig vastgezet worden.

In de file MAASQH-T1.siminp zijn de twee genoemde barriers op de aangegeven wijze aangebracht.

*Opgave: Loop de invoerfile MAASQH-T1.siminp nogmaals door en bestudeer nu de verschillende waarden en grootheden met betrekking tot de barriers.*

Uiteindelijk is het de bedoeling ook in alle punten op de lijn tussen het punt (M=39,N=21) en het punt (M=46,N=21) barriers te leggen. Voer dit op dezelfde wijze uit.

*Opgave: Controleer uw invoerfile door deze te vergelijken met de file MAASQH-T2.siminp. In deze file is het kunstwerk helemaal gevuld. In de file waarin de verschillende onderdelen worden bestuurd, in dit geval de file MAASQH-T2.fbarrier zijn zodanige waarden opgegeven dat de stuwen gedurende de tweede dag van de berekening de eerste twaalf uur langzaam worden gesloten en tijdens de tweede twaalf uur weer langzaam worden opengedraaid. Draai ook een run met deze file. Berekeneer vooraf wat volgens u de invloed zal zijn van de verschillende barriers (stuwen).*

Hieronder volgt voor de volledigheid de file met de sturing van de stuwen. Hier is natuurlijk ontzettend veel mee te experimenteren. In dit geval wordt alleen met de breedte geëxperimenteerd en bovendien voor alle stuwen op dezelfde wijze. Andere sturingsmogelijkheden zijn de drempelhoogte en de hefhoogte van de stuw. Alles kan met tijdreeksen geregeld worden. Dit worden ook wel triggers genoemd.

```
# barriers (stuwen)
B 1:
  SILL_DEPTH
  INITIAL      = -42.900002
```



```
GATE_HEIGHT
  INITIAL      = 999.000000

BARRIER_WIDTH
  INITIAL      = 1.000000
  SERIES       = 'irregular'
  TIME_AND_VALUE = 01 00: 0.0 1.0
  TIME_AND_VALUE = 01 12: 0.0 0.0
  TIME_AND_VALUE = 02 00: 0.0 1.0

enz tot en met

B 8:
  SILL_DEPTH
    INITIAL      = -42.900002

  GATE_HEIGHT
    INITIAL      = 999.000000

  BARRIER_WIDTH
    INITIAL      = 1.000000
    SERIES       = 'irregular'
    TIME_AND_VALUE = 01 00: 0.0 1.0
    TIME_AND_VALUE = 01 12: 0.0 0.0
    TIME_AND_VALUE = 02 00: 0.0 1.0

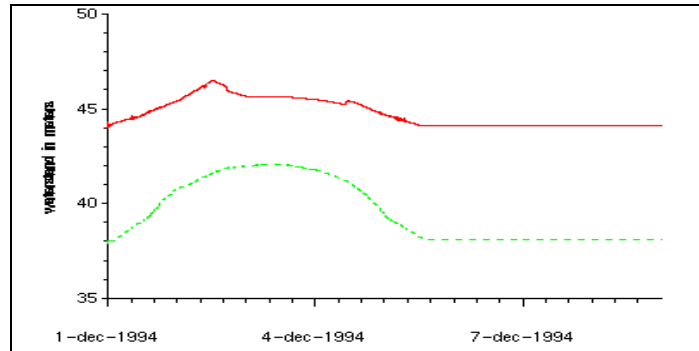
#end barrier
```

Zoals u in sectie 2.8.2.8 hebt kunnen zien is het mogelijk de verschillende onderdelen van het kunstwerk te laten bewegen. Elke barrier op zich is te besturen via een tijdreeks. Een en ander komt natuurlijk het best tot uiting in een aantal stromingsplaatjes.

*Opgave: Vergelijk de uitkomsten van alle berekeningen.*

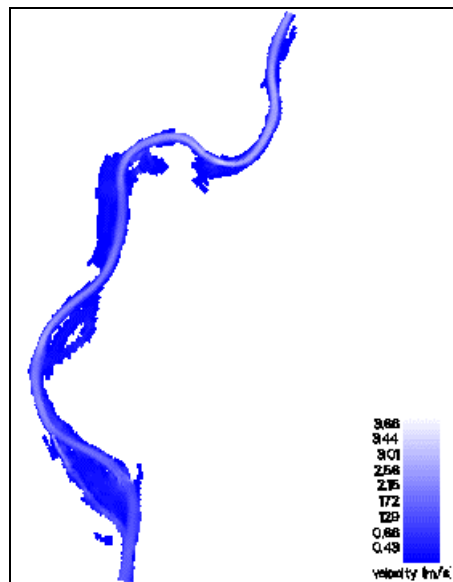
Voor de volledigheid is een aantal plaatjes van de verschillende testberekeningen toegevoegd. Probeer zo veel mogelijk van deze plaatjes zelf te genereren. Daarna kunt u nog een aantal nieuwe plaatjes maken en zo mogelijk zelf een aantal conclusies trekken over de door u uitgevoerde berekeningen.

In figuur 27 is de waterstand t.o.v. NAP aangegeven in twee punten langs de rivier. Constateer dat de gebruikte randvoorwaarde erg kunstmatig is. De beginvoorwaarde is gegeven als een lineaire piek maar de piek blijkt ogenblikkelijk sterk te vervlakken op de rivier: de lokatie van de rode lijn ligt drie km na de randvoorwaarde, daar is de lineaire piek nog enigszins te zien. De lokatie van de groene lijn ligt op 11 km en daar is al een heel andere kromme te zien.



Figuur 27: Waterstand in twee lokaties Grensmaasmodel

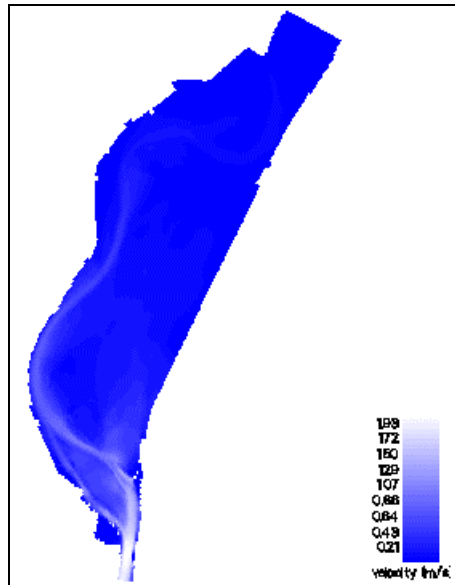
In figuren 28 - 30 is het stromingspatroon van de rivier in het geval van een volledig opererende verzameling stuwen (berekening QH-T2) op verschillende tijden weergegeven. Constateer dat er inderdaad een duidelijke invloed is op de stroming (snelheid) als de stuwen worden gesloten. (Plaatje 29 is gemaakt aan het eind van dag 2 als de stuw net weer helemaal open is. Duidelijk is te zien dat de stroming tijdelijk beperkt is geweest. Voer zelf nog een extra aantal testen uit om een en ander te kunnen verduidelijken, met name gedurende die tweede dag.



Figuur 28: Contouren stroomsnelheid na 1 dag van Grensmaasmodel

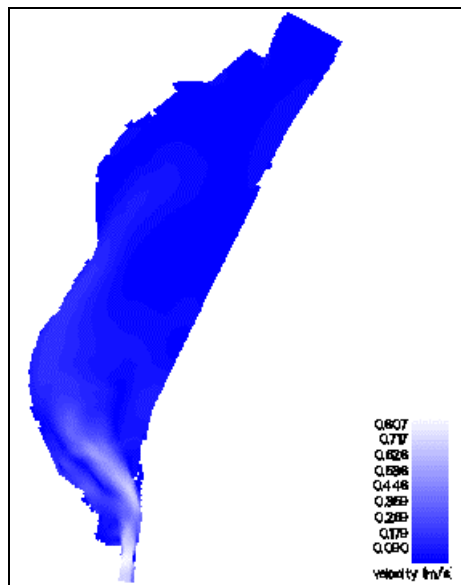
Het voert te ver om alle plaatjes te laten zien; ook de verschillende opties van WAQVIEW om via kleurtjes aan te geven hoe groot de snelheden zijn dan wel om met snelheidspijlen te werken zijn in dit soort berekeningen belangrijk om een aantal zaken van de berekeningsresultaten te verduidelijken.

In het voorbeeld QHT2 zijn in feite twee zaken in één keer doorgevoerd: zowel een hoogwatergolf als het sluiten van de stuwen. Het is beter om beide zaken op zich te beschouwen: maak daarom ook nog een berekening waarbij alleen de stuwen worden gesloten en, eventueel partieel, dicht blijven gedurende een langere tijdsperiode. Ga na wat de invloed hiervan is op waterstand, stroomsnelheid en debiet.



Figuur 29: Contouren stroomsnelheid na 2 dagen Grensmaasmodel

Daarnaast is het ook interessant om uitsluitend de invloeden van de hoogwatergolf te bestuderen en ook daarvan de invloed te bekijken op waterstand, snelheid en debiet langs de rivier, zonder dat er met de stuwen wordt gemanipuleerd.



Figuur 30: Contouren Stroomsnelheid na 3 dagen Grensmaasmodel

Bekijk tenslotte de wijze waarop de bodemwrijving in deze voorbeelden is opgegeven na het "keyword" NIKU-RADSE. Voor vele verschillende typen van ondergrond en bebossing zijn steeds andere wrijvingsparameters opgenomen.

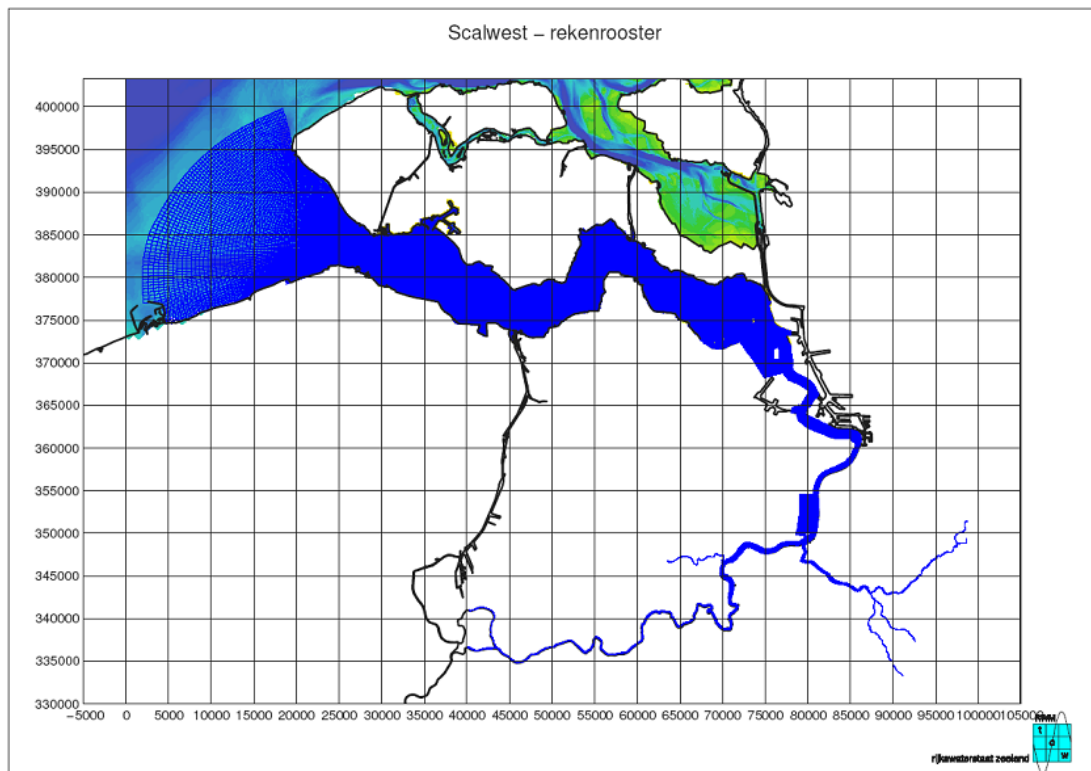
Alhoewel het Grensmaas voorbeeld in dit geval slechts een gedeelte is van het totale Grensmaasmodel is mogelijk toch al wel duidelijk dat een dergelijk probleem een gigantische omvang kan hebben. Dit betekent niet alleen dat simulaties een lange tijd in beslag nemen qua te gebruiken CPU tijd van de computer maar ook dat de interpretatie een moeilijke en tijdrovende zaak is. Plaatjes zijn in zo'n geval onontbeerlijk: in een korte tijd krijgt de gebruiker via die plaatjes een goede impressie van het geheel terwijl de enorme getallenbrij totaal ontoegankelijk zal blijken te zijn.

## 17 Het Scalwest-fijn model

### 17.1 Inleiding

Het Scalwest-fijn model is een kromlijinig model in het Parijse coördinatenstelsel. Het omvat de Westerschelde tot de lijn Zeebrugge-Westkapelle en de Zeeschelde. De Westerschelde en de rivier de Schelde met haar zijrivieren zijn meegenomen tot Gent (de Schelde), Hamme (de Durme), Mechelen (de Zenne en de Dijle) en Lier (de Nete).

Het rooster meet 542 bij 569 roosterpunten, waarvan circa 24 % actief (ruim 74.000 roostercellen). De resolutie van het rooster varieert sterk. De maximale roosterafstanden liggen in de Westerscheldemond, nl. 400x700 m. De gemiddelde roosterafstand in de Westerschelde is 150x60 m. Op de Zeeschelde nemen de roosterafstanden verder af. Deze zijn het kleinst voor het traject Rupel/Zenne/Nete en bedragen gemiddeld 47x60 m.



Figuur 31: Rekenrooster Scalwest model

Een overzicht van het rekenrooster van het Scalwest model is gegeven in figuur 31. Enkele waterstandspunten uit het model zijn aangegeven.

Figuur 32 laat een matrix transformatie van het rooster zien. Dat is als het ware een rechthoekige afbeelding van het kromlijnige rooster. Met behulp van de grid enclosure zijn een aantal delen van het rooster niet actief gemaakt. Zo is er een grens gelegd nabij Antwerpen. Tevens zijn de M en N coördinaten van een aantal waterstandspunten gegeven.

Voor een uitgebreidere beschrijving van het SCALWEST model wordt verwezen naar rapporten van Alkyon en Svasek over de roostergeneratie en de diepteschematisatie (12).

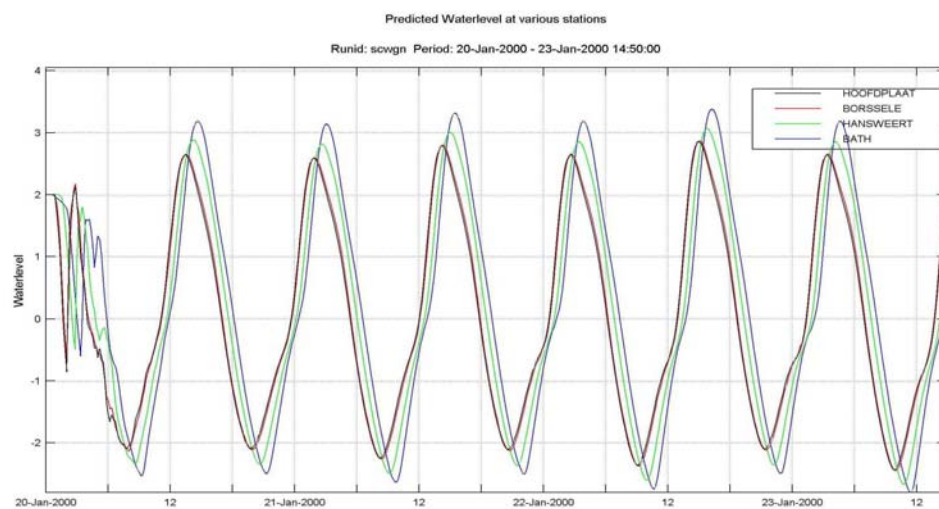


Figuur 32: Transformatie matrix van het Scalwest rooster met Grid enclosure

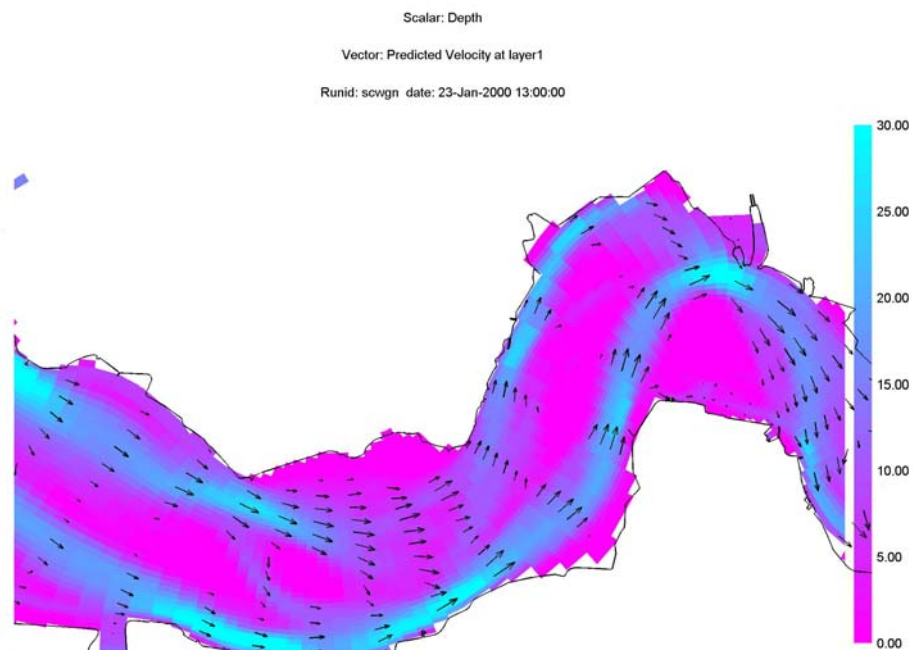
## 17.2 Oefeningen en invoer

*Opgave: Haal de siminp van het Scalwest model in een editor, bestudeer de invoer, voeg een meetpunt in het model toe. Waarom is het rooster veel groter dan het gebied waarin gerekend wordt.*

*Opgave: Draai de basissom voor de bestaande simulatie. Draai SDS2MAT en maak een snelheidsveld en enkele tijdseries aan zie als voorbeeld figuur 33 en 34.*



Figuur 33: Tijdseries van waterstanden Scalwest m.b.v. KALGUI



Figuur 34: Detail snelheidsveld Scalwest

De invoer file voor de basissimulatie van het Scalwest model ziet er als volgt uit:

```
#####  
#  
# simona-Scalwest-fijn-v1  
#  
#####  
#           Scalwest-fijn model   invoerfile  
#           Kromlijng Westerschelde model   fijnmazig  
#           modelbouw januari 1998  
#  
#           inclusief Zeeschelde  
#  
#           bovenstrooms Rupelmonde kromlijng  
#  
#           ( n.b.  ksi - as model : noord - zuid ,  
#                   eta - as model : west  - oost  )  
#  
#####  
#  
# Modelnaam           : Scalwest-fijn  
#  
# Modelversie         : Versie 1  
#  
# Gebiedsafbakening   : Westerschelde tot Zeebrugge-Westkapelle  
#                       en de Schelde.  
#  
# Literatuur          : 1. Bouw, calibratie en verificatie Scalwest  
#                       tbv project verdieping  
#                       Rapportage activiteit A  
#                       Svasek bv, mei 1997, projectnr 1011.  
#                       2. Verbeteren van het Scalwest model  
#                       Ruwheden in het intergetijdegebied  
#                       Eindrapport deel I  
#                       Svasek/Haskoning, august 2002,  
#                       Refnr 1206/R01513/GD/Rott2b  
#  
# Eigenschappen       : - Kromlijng rooster
```



```
#           - Mmax = 542, Nmax = 569
#           - 1,1 punt is linksboven
#           - aandrijving middels H-rand ZEEB-VRO WEKA
#           - bodemligging diverse bodems beschikbaar
#
# Basisinstellingen : Diffusieparameter      = 50
#                   WSTRESScoefficient      = .0026
#                   TSTEP                    = 0.5
#                   TLSSMOOTH                = 180.0
#                   IDRYflag                 = 1
#                   DEPCrit                  = .15
#                   EDDYviscositycoeff      = 1.0
#
# -----
#
# Mutaties
# Datum      Naam      Omschrijving
#
#####

IDENTification
# programmaam:
# WAQUA
# EXPERIMENT='b04t' OVERWRITE
# MODID      = '      '
# TITLE      = 'Scalwest-fijn model (kromlijng rooster)'
# end identification

MESH
GRID
  AREA
    MMAX      = 542
    NMAX      = 569
    STEPsize  = 100.00
    ANGLEgrid = .00
    LATitude  = 51.50

# kromlijng rooster
# CURVilinear
# RGFfile = '../rooster/rgf'

# Definitie van de ligging van te gebruiken punten
# POINTS
# INCLUDE FILE = '../locaties/points'

# Definitie van debietraaien
# CURVES
# INCLUDE FILE = '../locaties/curves'

# definitie randen
# BOUNDaries

# polygonen computational grid enclosure:
# ENCLosures
# INCLUDE FILE = '../randen/comgrid'

# definitie open randen:
# OPENings
# INCLUDE FILE = '../randen/openings'

#
# definitie bodem
#
# de bodemligging van de Zeeschelde is van 1989 - 1991
#
# BATHYMETRY
# GLOBAL
# DPD_GIVEN
# METH_DPS='MEAN_DPD'
# DEPMULTiplier = 1.00
# THREShold     = .25
# LAYOUT        = 1
# DEPDEF        = 5.00
```



```
# dieptes in stroken van 10 breed:
LOCAL
  INCLUDE FILE = '../bodem/bathymetry-2004t-old'

# Hier worden de leidammen bij de Ballastplaat en de Plaat van Doel
# gedefinieerd
  INCLUDE FILE = '../bodem/leidammen'

# definitie droge punten
DRYPoints
# schotjes
CLOSEU
  INCLUDE FILE = '../schotjes/closeu'
CLOSEV
  INCLUDE FILE = '../schotjes/closev'
# end mesh

GENERAL
  DIFFusion
  GLOBAL
    CONST_value = 50.000
    CDCON       = 0.000

  PHYSical_parameters
# zwaartekrachtsversnelling en dichtheden:
GRAVity      = 9.8130
WATDENsity   = 1023.0
AIRDENsity   = 1.2050

  WIND
# wind gegevens:
WSTRESScoefficent = .00260
WCONVersionfactor = 1.00000
WUNIT           = 'M/S '

# opgave global windsnelheid en richting:
WSPEED      = .00
WANGLE      = .00
  INCLUDE FILE = '../wind/timeser'
# end general

FLOW
  PROBLEM
# tijd discretisatie:
TIMEFrame
  DATE      = '04 MAY 1996'
  TSTART    = 0.00
  TSTOP     = 2880.00
  TIMEZONE  = 'MET'

# tijdsintegratie gegevens:
METHODvariables
  TSTEP     = .5000
  ITERCON   = 16
  ITERMOM   = 8
  CHECKCont = `WL'
  ITERACCURwl = .50E-03
  ITERACCURVel = .10E-02

# tijdinterval rvw-smoothing en tijdreeksen:
SMOOTHing
  TLSSMOOTH = 180.0

# droogvallen:
DRYING
CHECK_WL      = 'YES'
DEPCRIT       = 0.15000
UPWIND_ZETA   = 'NO'

# bodemwrijving
FRICtion
  GLOBal
    TICVal = 30.00
```



```
        FORMula = 'manning'

#   u-richting:
      UDIRec
      GLOBAL
        CONST_value = .0240
      LOCAL
        INCLUDE FILE = '../ruwheid/frictionatu'

#   v-richting:
      VDIRec
      GLOBAL
        CONST_value = .0240
      LOCAL
        INCLUDE FILE = '../ruwheid/frictionatv'

#   (eddy) viscosity
      VISCosity
        EDDYviscositycoeff = 1.00

# end problem flow

FORCings

# beginvoorwaarden:
      INITial
      WATLEVel
      GLOBAL
        CONST_values = 1.50

# randen:
      BOUNDaries
        INCLUDE FILE = '../randen/bound-flow'

# randvoorwaarden:
#   TIMESERies
      INCLUDE FILE = '../randvw/flow/timeser'

      DISCHARGES
        INCLUDE FILE = '../randvw/flow/discharge'

# end forcings flow

CHECKPoints
# definitie waterstands controlepunten:
      LEVELStations
        INCLUDE FILE = '../uitvoer/check-wl'

# definitie snelheids controlepunten:
      CURRENtstations
        INCLUDE FILE = '../uitvoer/check-cur'

# definitie debiet controlesecties:
# debietraaien gedefinieerd voor Scalwest-fijn en Scalwest-grof
      USECTIONS
        INCLUDE FILE = '../uitvoer/check-sectu'
      VSECTIONS
        INCLUDE FILE = '../uitvoer/check-sectv'

# end checkpoints flow
# end flow

#####
#   Zouttransport
TRANSPORT
  PROBLEM
    CONSTITuents
      CO 1
        POLUTant = 'SALINITY'
        PUNIT    = 'KG/M^3'
    SALinity
      CO 1
# end problem transport
```



```
FORCINGS

INITial
  CONSTITuents
    CO 1
      GLOBAL
        CONST_value= 31.799999
        LAYOUT=1
      LOCAL
        INCLUDE FILE = '../initieel/salinity-40-swf-fijn'

BOUNDaries
  RETURNtime
    INCLUDE FILE = '../randen/bound-trans'
  TIMESeries
    INCLUDE FILE = '../randvw/trans/timeser'

DISCharges
  INCLUDE FILE = '../randvw/trans/discharge'

# end forcings transport

CHECKPoints
  CONSTITTuent_stations
    INCLUDE FILE = '../uitvoer/check-sal'
# end checkpoints transport

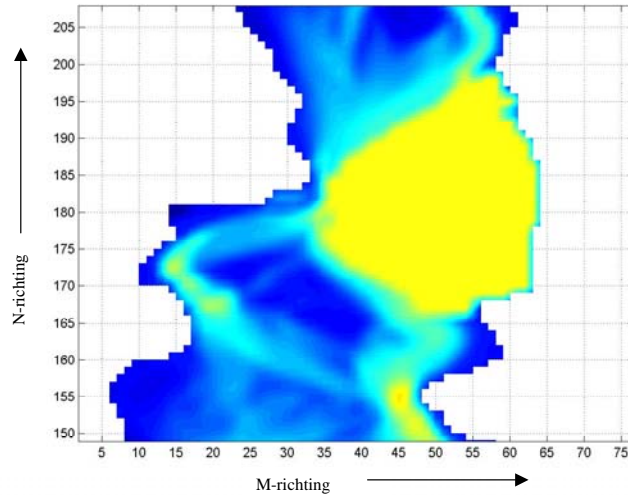
DENSITIES
#
# equation of state voor dichtheden:
CEQStt   = .698
TEMPwa   = 16.000
RHOREf   = 1.000
SALInity = 0.0
ALFA_chezy = 0.0
# end densities

DISPLAYS
# boundary outlines van mond Westerschelde tot Rupelmonde
OUTLINES
  GENERAL
    XSHIFT = .00
    YSHIFT = .00
  LINES
    INCLUDE FILE = '../berekeningen/outlines'
# end displays

SDSOUTput
# tijden tbv resultaten naar SDS-file:
MAPS
  TFMAPs   = 1440.0
  TIMAPs   = 30.0
  TLMAPs   = 2880.0
HISTories
  TFHISTo  = 1440.0
  TIHISTo  = 10.0
RESTART
  TFRESTART = 1440.0
  TIRESTART = 720.0
  TLRESTART = 2880.0
# end sdsoutput

PRINToutput
FLOW
# definitie printvlaggen berekende velden:
# definitie printvlaggen afgeleide velden:
CONTROL
# print tijden voor velden:
TPRINTmap = .0
TFRAMEHist = ( 0.0, 60.000, 2880.0)
TFRAMEStat = ( 0.0, 60.000, 2880.0)
# end print
```

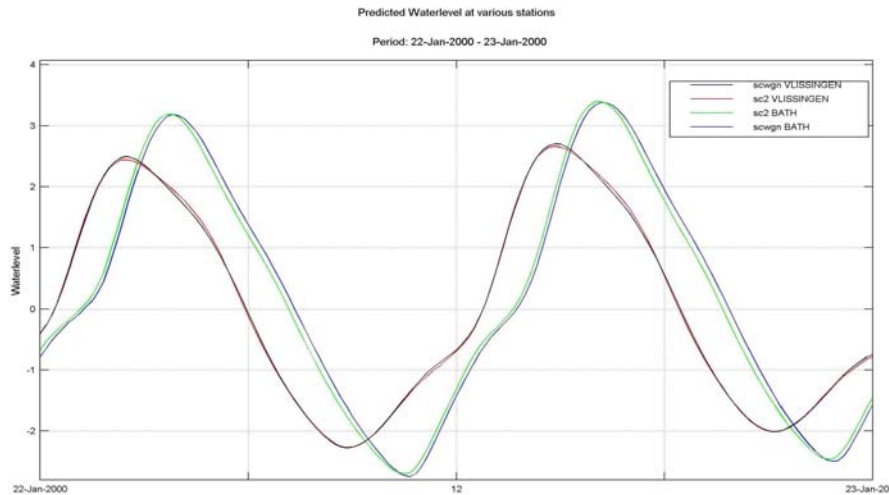
Opgave: We gaan nu een lokale verdieping aanbrengen in de Westerschelde om te kijken wat de invloed daarvan is. Als voorbeeld hebben we de plaat van Ossensisse en de schaar van Ossensisse geheel uitgebaggerd tot een diepte van 30 meter.



Figuur 35: M en N positie van het verdiepte stuk

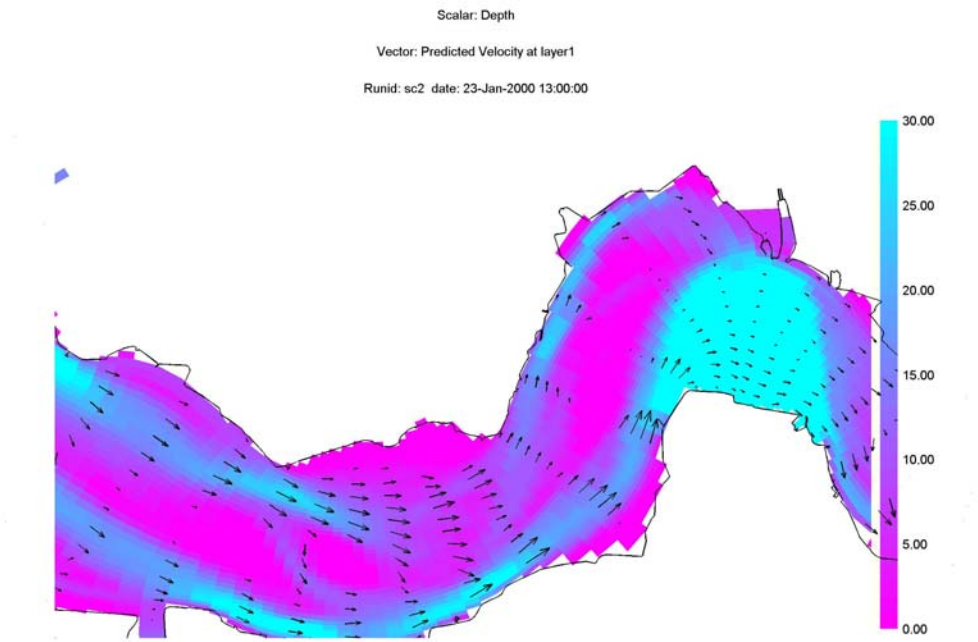
De m en n positie van het blok nabij de schaar waar de verdieping is aangebracht is te zien in figuur 35. De weergave van de diepte is in matrixvorm gegeven. De diepte dient in de diepte file in het bewuste blok met een editor te worden aangebracht.

De resultaten van de simulatie met de verdieping zijn te zien in figuur 36 en 37 respectievelijk. Opvallend is dat ondanks de enorme ingreep ter hoogte van Ossensisse, de waterstanden nauwelijks worden beïnvloed.



Figuur 36: Vergelijking waterstanden verdiept en niet verdiept.

De snelheidsvelden (vergelijk fig 37 met fig 34) zijn daarentegen sterk anders. Hetgeen uiteraard op lange termijn ook zijn invloed zal hebben op de morfologie en dus ook op termijn op de waterstanden in het gebied.



Figuur 37: Detail snelheidsveld Scalwest met verdieping.

*Opgave: Zet het verdiepte model nu om naar een 3D model met 4 lagen en voeg transport van zout en de invloed van turbulentie toe. Laat opnieuw de effecten zien.*

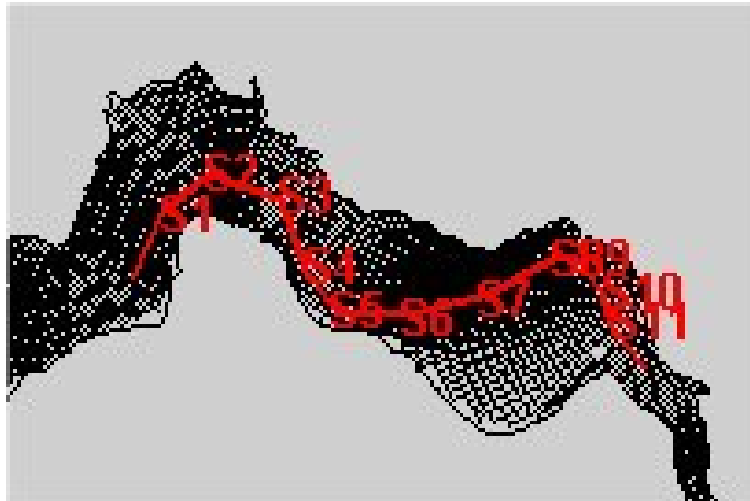
Om dit te kunnen doen moeten op een aantal plaatsen veranderingen in de siminp file worden aangebracht:

- Het keyword WAQUA onder identification dient te worden vervangen door TRIWAQ;
- Het aantal lagen in de vertikaal (KMAX) onder MESH dient te worden opgegeven;
- In GENERAL dienen de DIFFUSION te worden aangepast naar 1.0;
- Onder FLOW dient de VISCOSITY te worden aangepast naar 1.0;
- Het keyword TRANSPORT dient te worden toegevoegd met de volgende regels:

```
transport
  problem
    constituents      CO 1:
                      polutant   = 'Salinity'
                      punit      = 'kg/m**3'
    Salinity:        CO 1
    turbulence_trans
      energy
      dissipation
  forcings
    initial
    constits CO 1
      global const_values = 32.00
      layout=1
      local
    include file='salinity_ini_scwgn'

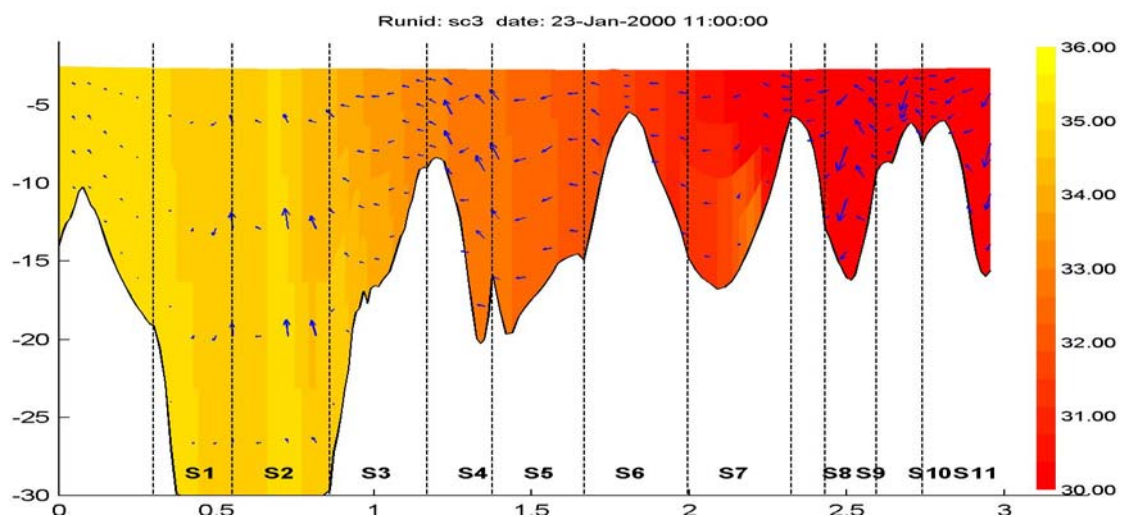
  boundaries
```

```
returntime
  include file= 'bndtransp.scwgn'
timeseries
  include file= 'tssalinity.scwgn'
CHECKPoints
constitstats
include file='ckpt-sal.scwgn'
```



Figuur 38: Roosterpolygoon voor verticale doorsnede.

In figuur 38 is te zien op welke wijze met behulp van KALGUI een polygoon is getekend in het rooster. De saliniteit en de snelheden in de vertikaal zijn weergegeven in figuur 39. Door de vertrokken schaal lijken de snelheden bijna vertikaal. In werkelijkheid staan de snelheden vrijwel horizontaal. Zoals te verwachten was neemt het zoutgehalte langzaam af gaande in de richting van Antwerpen. Er is nauwelijks sprake van verticale stratificatie. Blijkbaar is de relatief zoete afvoer van de Schelde en zijn zijrivieren gering in vergelijking met de komberging van het gebied tot Antwerpen.



Figuur 39: Saliniteiten en snelheden in de vertikaal langs een polygoon.

## 18 Geavanceerde technieken

### 18.1 Parallel rekenen

Zoals praktisch alle computerprogrammatuur zijn WAQUA en TRIWAQ in eerste instantie ontwikkeld voor sequentiële verwerking op één CPU, dat wil zeggen dat het door de gebruiker aangeboden rekenwerk (ook op een multiprocessor machine) steeds door één processor wordt afgehandeld. In de tweede helft van de 90-er jaren van de vorige eeuw, is door de TU-Delft met succes gewerkt aan de ontwikkeling van een parallelle versie van TRIWAQ. De ervaringen die daarbij zijn opgedaan zijn aansluitend gebruikt om ook WAQUA te paralleliseren.

De essentie van parallel rekenen is dat grote hoeveelheid rekenwerk over meerdere processoren verdeeld wordt, zodat de doorlooptijd (veel) korter wordt dan wanneer één processor wordt gebruikt. Voor de gebruikers van het SIMONA-systeem is dit interessant vanwege enerzijds de groeiende vraag naar meer detaillering en modelleringsflexibiliteit, en anderzijds het feit dat de techniek van parallel rekenen op ruime schaal beschikbaar komt, en dat ook de daarvoor benodigde computerapparatuur in de vorm van PC-clusters een zeer betaalbaar alternatief vormt voor 'zwaar' mid-range rekentuig. Naast sneller rekenen is een ander voordeel van het invoeren van parallelisatie de gemakkelijke overgang naar domein decompositie (zie paragraaf 18.2) en (in de toekomst) het koppelen van procesmodulen van verschillende herkomst. Parallel rekenen is iets wat zich binnen het rekenproces zelf afspeelt. Voor de gebruikers verandert er in principe niet veel, hooguit een iets gewijzigde aansturing van de programmatuur (bv. specificatie van het aantal te benutten processoren en de gewenste methode waarin het rekenwerk in stukken wordt verdeeld).

### 18.2 Domein decompositie

Voor de gebruikers van SIMONA is het niet alleen van belang om gebiedsschematisaties sneller (= parallel) te kunnen doorrekenen, maar ook om te beschikken over een grotere modelleringsflexibiliteit. Het is bv. gewenst om gebiedsschematisaties met een verschillend aantal lagen en/of verschillende roosterfijnheden aan elkaar te koppelen. Domein decompositie is de techniek die hierin voorziet.

Domein decompositie is feitelijk een speciale toepassing van parallel rekenen: er wordt op meerdere processoren gewerkt. In SIMONA betekent domein decompositie dat het door te rekenen gebied wordt verdeeld in een aantal domeinen en dat per domein een apart (afwijkend) rooster wordt gebruikt. De roosters voor de verschillende domeinen kunnen verschillen qua aantal lagen ('verticaal') of qua roosterfijnheid ('horizontaal'). Ook de combinatie van beide, dus zowel in de horizontaal als in de verticaal, is in het SIMONA-systeem mogelijk.

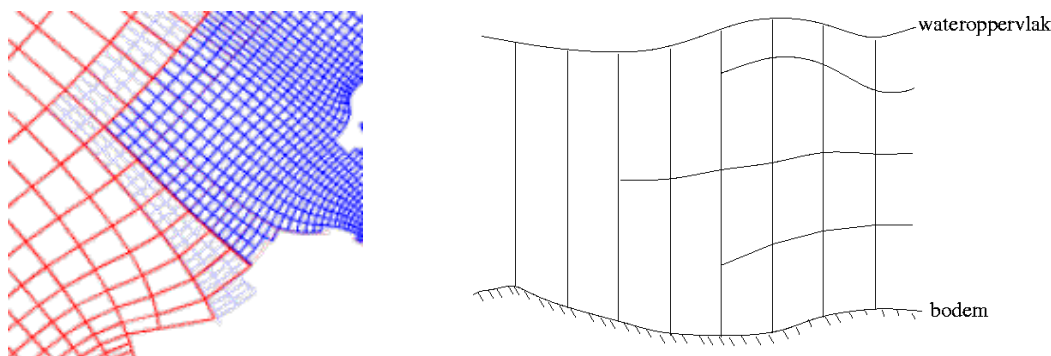


Fig. 40: Schematisch voorbeeld horizontale (links) en verticale (rechts) domein decompositie

Met domein decompositie kan zodoende fijnmazig (= nauwkeurig) gerekend worden waar het moet (interessegebied) en grof waar het kan. Idem voor de toe te passen laagverdeling. Hierdoor worden ook de rekentijden binnen acceptabele grenzen gehouden.

De praktijk heeft uitgewezen dat een grof-fijn koppeling nog goede resultaten levert bij een verfijningsfactor van maximaal 3 à 4 in de horizontaal. Een veel toegepaste verfijning is een 1:3 koppeling; in dat geval behouden de oorspronkelijke waterstandspunten hun betekenis (met daaromheen 8 nieuwe waterstandspunten).

Horizontale domein decompositie is een goed alternatief voor het nesten van modellen (zie wederom de modellen-trein in fig. 3): er wordt efficiënter gerekend en er behoeven in het groffe model geen bestanden met randvoorwaarden voor het fijne model te worden aangemaakt.

Ten behoeve van horizontale domein decompositie is aan de Interactieve Preprocessor Waqua (IPW) functionaliteit toegevoegd voor het maken en verfijnen van een submodel en voor het definiëren van de koppelrand tussen het groffe en het fijne model, inclusief een beschrijving van het groffe en het fijne domein. Aan de nabewerkingskant is WAQVIEW geschikt gemaakt voor het simultaan tonen van de berekeningsresultaten uit beide modellen.

### 18.3 Kalmanfiltering

Ook met een goed afgeregeld model kunnen de berekeningsresultaten (bv. waterstanden) afwijken van de werkelijk optredende waarden, bijvoorbeeld door fouten in de toegepaste begin- en randvoorwaarden. Met een data-assimilatie techniek, Kalmanfiltering genaamd, kan een simulatie gaande de berekening worden bijgestuurd op basis van beschikbare metingen.

Vooraf wordt dan op basis van waarnemingen in een aantal referentie-stations het Kalmanfilter voor de betreffende modelschematisatie gemaakt. Is het filter eenmaal 'bekend' dan kan voor toekomstige voorspellingen (of bv. juist een 'hindcast' voor een eerdere periode) de berekening worden gecorrigeerd door gebruik te maken van de dan actuele meetwaarden in de voornoemde referentie-stations. Het resultaat is een voorspelde waterstand die ook op andere locaties in het model beter aansluit bij de realiteit (zie fig. 41).

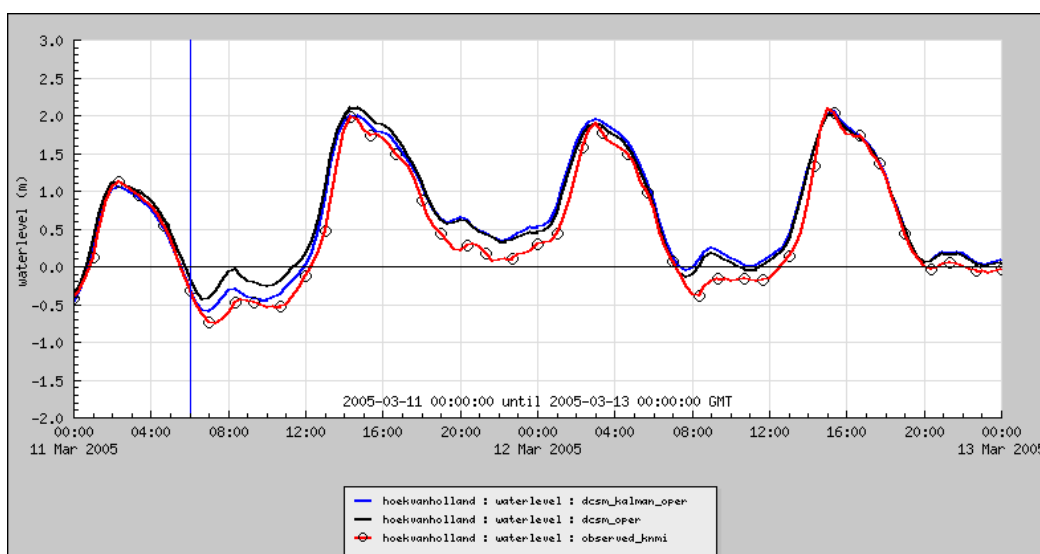


Fig. 41: Voorbeeld effect Kalmanfilter; rood = waargenomen waterstand, zwart = voorspelling zonder Kalmanfilter, blauw = voorspelling met Kalmanfilter (11 mrt. 06:00 GMT)

In de figuur is goed te zien dat het Kalmanfilter de verwachting in de juiste richting bijstelt. Het is belangrijk te bedenken dat we dit plaatje alleen achteraf kunnen maken, want het geeft de situatie van 11 maart 06:00 GMT weer (de verticale blauwe lijn) en toen waren de metingen van na dit tijdstip nog niet beschikbaar.

In figuur 42 is de tijd inmiddels gevorderd tot 12:00 GMT. De verwachting met Kalmanfilter is nog iets beter geworden door de extra beschikbaar gekomen metingen.

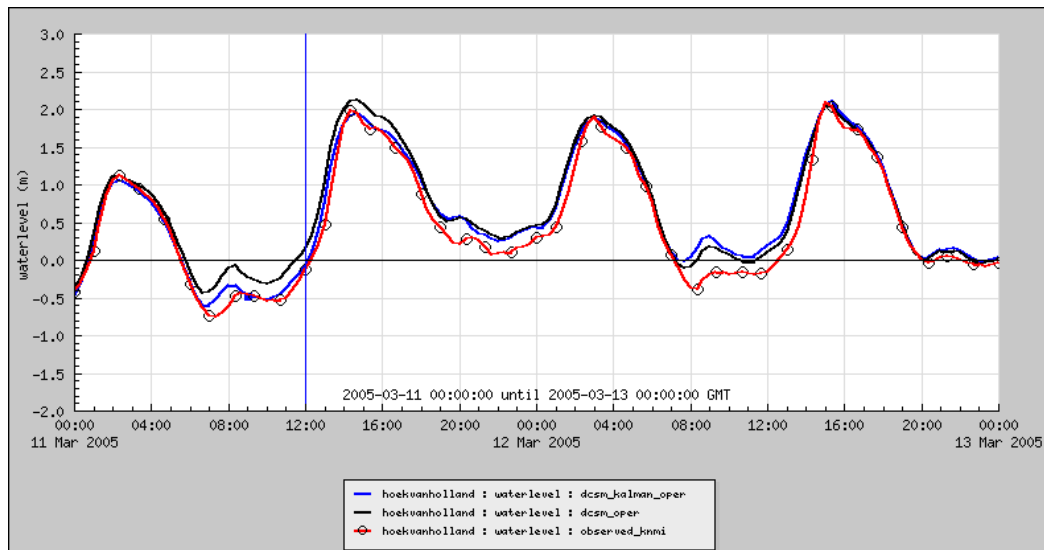


Fig. 42: Voorbeeld effect Kalmanfilter; rood = waargenomen waterstand, zwart = voorspelling zonder Kalmanfilter, blauw = voorspelling met Kalmanfilter (11 mrt. 12:00 GMT)

Het aanmaken van een Kalmanfilter is een rekenintensief proces: orde 50x trager dan de oorspronkelijke berekening van het model. Een berekening waarin vervolgens het Kalmanfilter wordt gebruikt (een zogenaamde use-gain som) verloopt weer wel snel: slechts enkele procenten trager dan een gewone simulatie.

Als 'smoothing' wordt aangezet in de filterinstellingen, dan kan men achteraf (met getser) de gecorrigeerde randvoorwaarden opvragen uit de SDS-usegain. Een gewone simulatie met deze gecorrigeerde randvoorwaarden geeft ongeveer dezelfde uitkomsten als de filterberekening, maar hiervoor is het Kalmanfilter zelf niet meer nodig. Zo kan men dus ook van 2D naar 3D switchen.

Een algemeen introductie van het principe achter het Kalman filter is gegeven in [14]. Daarnaast is in SIMONA ook een zeer illustratief oefentool beschikbaar (ook beschreven in [14]).



## 19 Conclusies

Het gebruik van numerieke modellen voor dagelijks voorkomende praktijkproblemen van Rijkswaterstaat heeft een grote vlucht genomen. Een goede indicator is in dit verband het aantal publikaties bij de specialistische diensten waarbij direkt of indirekt naar digitale modellen wordt verwezen. Was dit in de jaren zestig vrijwel nihil, vandaag wordt zeker in de helft van de publikaties een model genoemd.

Het draaien van dergelijke modellen is langzaam zodanig ingeburgerd en vereenvoudigd, ook wel gebruikersvriendelijkheid en robuustheid genoemd, dat steeds meer mensen modellen gaan gebruiken. In de loop van dit cursusboek is duidelijk geworden dat het draaien op zich niet de meeste problemen zal leveren. Het grootste probleem zit in het verzamelen van adequate gegevens en in het juist interpreteren van de berekende resultaten. Hulpmiddelen voor de interpretatie zoals de pakketten BASISANALYSE, KALGUI, WAQVIEW, DIFFRUNIDS en IPW zijn daarbij essentieel.

Omdat sommige van de te gebruiken gegevens niet zo betrouwbaar zijn als we zouden willen, moeten bij alle toepassingen kritische kanttekeningen geplaatst worden. Echter met name voor het krijgen van een indicatie van de gevolgen en in welke orde van grootte die zekere ingrepen zullen hebben, zijn numerieke modellen uiterst geschikt. Immers het hebben van een indicatie is beter dan het in de lucht steken van een natte vinger!



## Literatuur

1. J.J.Leendertse Aspects of a computational model for long-period waterwave propagation, 1967, Rand Corporation
2. G.S.Stelling On the construction of Computational Methods for Shallow Water Flow Problems, 1983, TU Delft
3. J.J.Dronkers Tidal computations in rivers and coastal waters 1964, John Wiley, New York
4. P.D. Ven te Chow Open Channel Hydraulics 1983, Mc. Graw Hill, London
5. N. Praagman Numerical Solution of the Shallow Water Equations by a Finite Element Method, 1979, TU Delft
6. SIMONA group Programmers Guide SIMONA, SIMONA-report 90-09
7. SIMONA group User's Guide WAQUA SIMONA-report 92-10
8. WL|Delft Hydraulics Delft-rgfgrid, User Manual, Version 3.10, september 1999
9. Alkyon Bouw en eerste afregeling van Zeedelta model op basis van rooster Supermodel, A623, augustus 2000
10. WL|Delft Hydraulics Roostergeneratie Maas, Rapport Q2284, Augustus 1997
11. Svasek BV Calibratie, validatie en berekeningen Rijmamo-3D t.b.v. Mer Beheer Haringvlietsluizen. Diverse Deelrapporten, november 1996  
11 A: Deelrapport Fase A: Meting 1985  
11 B: Deelrapport Fase A: Meting 1993  
11 C: Deelrapport Fase B: Controle Barrierformulering TRIWAQ
12. Alkyon Roostergeneratie Westerschelde, Rapport A100, februari 1997  
Svasek BV Afbouw Scalwest modellen t.b.v. project verdieping, juli 1998
13. Alkyon Visualisation Kalman data-assimilation; Design of KALMAN- GUI; report I, version 1.01; A414, May 1999  
Visualisation Kalman data-assimilation; Users manual; report II, version 1.01; A414, May 1999  
Visualisation Kalman data-assimilation; System documentation; report III, version 1.01; A414, May 1999
14. HKV Lijn in Water Een algemene introductie van het Kalman filter, september 2002  
VORtech Computing

## Appendix A: De ondiepwatervergelijkingen

Shallow water equations:

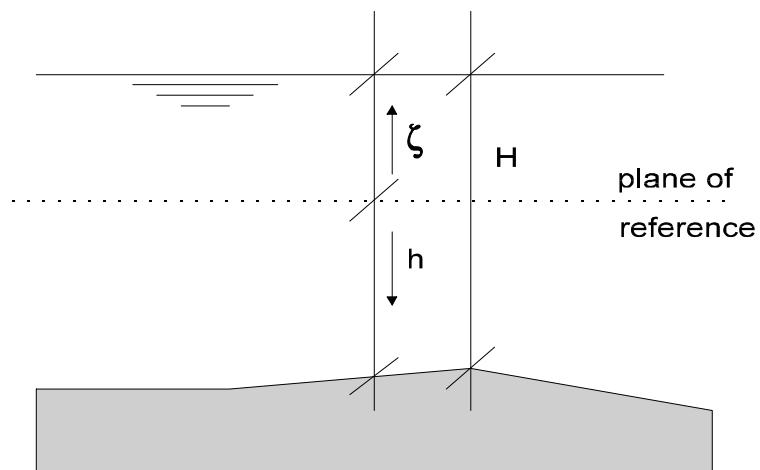
$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f v + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + g u \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2(h + \zeta)} = \frac{\rho_a C_d W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2}}{\rho_w(h + \zeta)} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + f u + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + g v \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2(h + \zeta)} = \frac{\rho_a C_d W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2}}{\rho_w(h + \zeta)} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(Hu) + \frac{\partial}{\partial y}(Hv) = 0$$

where:

- $u, v$  = components of depth mean current  $\bar{u}$
- $\zeta$  = water elevation above plane of reference
- $h$  = water depth below plane of reference
- $H$  =  $h + \zeta$
- $f$  = parameter of Coriolis
- $g$  = acceleration due to gravity
- $C$  = coefficient of Chézy to model bottom roughness
- $W_x, W_y$  = components of surface wind velocity
- $C_d$  = wind drag coefficient
- $\rho_a, \rho_w$  = density of air and water
- $\nu$  = eddy-viscosity coefficient



Layer of water = water depth + water elevation