

DI:752821

Innovatie riviermorphologie 2D  
instrumentarium 2000

R&D

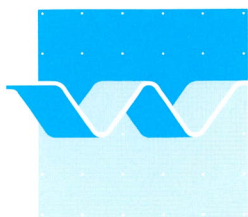
januari 2001

# Innovatie riviermorphologie 2D instrumentarium 2000

C.J. Sloff

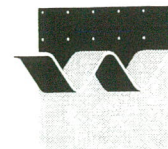
R&D

januari 2001



**wL | delft hydraulics**





OPDRACHTGEVER: R&amp;D

TITEL: Innovatie riviermorphologie 2D instrumentarium 2000

## SAMENVATTING:

Delft2D-Rivieren is een subsysteem van het Delft3D modelsysteem dat is bedoeld voor rivierkundige toepassingen in gebieden met een overwegend horizontale uitbreidheid. Het simuleert de hydraulische en morfologische verschijnselen in rivieren op tijdschalen van dagen tot jaren door middel van berekening van complexe interacties tussen stroming, sedimenttransport en rivierbedding. Voor specifieke bestaande problemen en verwachte onderzoeksvragen in Nederlandse rivieren, zijn verbeteringen en functionaliteitsuitbreidingen in het Delft2D-Rivieren systeem ingebracht. Deze (lange termijn) ontwikkeling gaat samen met de kennisontwikkelingstraject van Rijkswaterstaat RIZA over 2D morfologie. Dit traject beoogt de ontwikkeling van een betrouwbaar 2D modellen systeem voor de Nederlandse rivieren. De meest relevante activiteiten voor het jaar 2000 waren gerelateerd aan implementatie en verbetering van functionaliteit ten behoeve van gegradeerd sediment, hydraulische en alluviale ruwheid, hydraulische randvoorwaarden, en oevererosie. In het voorliggende rapport zijn deze activiteiten toegelicht en zijn de resultaten gepresenteerd.

## ABSTRACT:

Delft2D-Rivers is a subsystem of the Delft3D modelling system, specially dedicated to river engineering applications for areas with mainly horizontal extent. It simulates the hydraulic and morphological behaviour of rivers on time scales of days to years by computing the complex interactions between currents, sediment transport and bed topography. For specific existing problems and expected research questions, encountered in the Dutch rivers, further improvements and extensions of functionality are brought into the Delft2D-Rivers system. This (long-term) development project is associated with the Rijkswaterstaat RIZA knowledge development project about 2D morphology, which pursues a reliable 2D modelling system for the rivers in the Netherlands. The most relevant activities in 2000 were related to implementation and improvement of functionality for graded sediment, hydraulic and alluvial roughness, hydraulic boundary conditions, and bank erosion. In the following points these activities are explained.

REFERENTIES: Doelfinancieringsproject in 2000, project Q2685  
Kennisontwikkeling

VER.	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING			
0.1	C.J. Sloff	jan.2001		P. Kerssens				
PROJECTNUMMER:		Q2685.00						
TREFWOORDEN:		Riviermorphologie, Wiskundige modellen, 2D model						
INHOUD:	TEKST	155 p	TABELLEN	38	FIGUREN	53	APPENDICES	5
STATUS:		<input type="checkbox"/> VOORLOPIG		<input type="checkbox"/> CONCEPT		<input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF		

# Inhoud

## Lijst van Symbolen

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>1-1</b>
1.1	Algemeen .....	1-1
1.2	Doelstelling.....	1-3
1.3	Leeswijzer.....	1-3
<b>2</b>	<b>Alluviale ruwheid en trachytopen.....</b>	<b>2-1</b>
2.1	Inleiding.....	2-1
2.2	Definitiefase.....	2-2
2.2.1	Voorstudie Q2325.....	2-2
2.2.2	Ruwheidscodes in WAQUA .....	2-2
2.2.3	Gekozen trachytopen implementatie.....	2-6
2.3	Wijzigingen invoer en uitvoer .....	2-10
2.4	Beschrijving van de aanpassingen in de Delft3D-MOR code.....	2-11
2.4.1	Wijzigingen aan data arrays .....	2-11
2.4.2	Aanpassingen van de FLOW module .....	2-12
2.4.3	Aanpassingen FLOW invoer.....	2-13
2.4.4	Aanpassingen van de stuurmodule MAIN en transport- modules TRSTOT en TRSUS.....	2-14
2.4.5	Aanpassingen communicatie file .....	2-14
2.4.6	Toegevoegde foutmeldingen .....	2-15
2.5	Beschrijving van de uitgevoerde testen.....	2-15
<b>3</b>	<b>Gegradeerd sediment.....</b>	<b>3-1</b>
3.1	Inleiding.....	3-1
3.2	Update van het programma Delft3D-GRA .....	3-1
3.2.1	Inleiding.....	3-1
3.2.2	Aanpassing van de module TRSGRA .....	3-2
3.2.3	Aanpassing van de module BOTGRA.....	3-3
3.2.4	Aanpassing van de module MAIN.....	3-3
3.3	Uitvoering van de testgevallen .....	3-3



3.3.1	Inleiding.....	3-3
3.3.2	Beschrijving van de testgevallen .....	3-4
3.3.3	Simulatieperiode.....	3-6
3.3.4	Testgevallen.....	3-6
3.3.5	Resultaten van de morfologische simulaties .....	3-8
3.4	Conclusies.....	3-10
<b>4</b>	<b>Oevererosie .....</b>	<b>4-1</b>
4.1	Inleiding.....	4-1
4.2	Formulering.....	4-2
4.3	Wijziging invoer en uitvoer .....	4-3
4.3.1	Inleiding.....	4-3
4.3.2	Aanpassing van de md-tran invoer file .....	4-3
4.3.3	Oevererosie invoerfile .....	4-4
4.3.4	Aanpassing van de md-bott invoer file .....	4-5
4.3.5	Beschrijving van de uitvoer .....	4-6
4.4	Beschrijving van aanpassingen van code van Delft3D-MOR.....	4-8
4.4.1	Inleiding.....	4-8
4.4.2	Aanpassing van de stuurmodule MAIN.....	4-8
4.4.3	Aanpassing van de transportmodules TRSTOT en TRSSUS .....	4-9
4.4.4	Aanpassingen van de BOTTOM module.....	4-9
4.4.5	De routine BNKERO .....	4-10
4.5	Nabewerking oevererosie resultaten .....	4-11
4.5.1	Inleiding.....	4-11
4.5.2	Invoerfile bankco.in.....	4-11
4.5.3	Uitvoerfile bankco.out.....	4-12
4.6	Testen en resultaten .....	4-12
<b>5</b>	<b>QH en Qtotaal randen .....</b>	<b>5-1</b>
5.1	Inleiding.....	5-1
5.2	Interactie .....	5-1
5.2.1	Inleiding.....	5-1
5.2.2	Invoer.....	5-1
5.2.3	FLOW intern.....	5-2
5.2.4	Uitvoer .....	5-3
5.3	Wijzigingen.....	5-3
5.3.1	Algemene beschrijving.....	5-3
5.3.2	Code aanpassingen .....	5-4
5.4	Testen en resultaten .....	5-5

5.5	Aanpassingen user manual .....	5-6
<b>6</b>	<b>Uniformering k-waarden rivierecotopen.....</b>	<b>6-1</b>
6.1	Inleiding .....	6-1
6.2	Nikuradse ruwheidswaarden voor binnen- en buitendijkse gebieden (cursusbijdrage) .....	6-1
6.2.1	Inleiding.....	6-1
6.2.2	Doelstelling en aanpak .....	6-1
6.2.3	Overzichten ecotopen en soorten grondgebruik .....	6-2
6.2.4	Empirische waarden ruwheid.....	6-2
<b>7</b>	<b>Conclusies en slotopmerkingen.....</b>	<b>7-1</b>
	Literatuur .....	Lit.-1

## Bijlagen

<b>A</b>	<b>Gegradeerd sediment figuren .....</b>	<b>A-1</b>
<b>B</b>	<b>Alluviale ruwheidsvoorspellers .....</b>	<b>B-1</b>
	Ruwheid van vegetatie .....	B-1
	Ruwheid van heggen en houtwallen .....	B-2
	Alluviale ruwheidsvoorspeller Van Rijn .....	B-2
	Alluviale ruwheidsvoorspeller Struiksma.....	B-4
<b>C</b>	<b>Oevererosie .....</b>	<b>C-1</b>
	Memo implementatie Miandras functionaliteit.....	C-1
	Memo .....	C-3
	Figuren .....	C-6
<b>D</b>	<b>QH en Qtotaal randen .....</b>	<b>D-1</b>
<b>E</b>	<b>Ecotopen en ruwheden .....</b>	<b>E-1</b>



## Lijst van Symbolen

Symbol	Eenheid	Betekenis
$C$	$m^{1/2}/s$	Chézy ruwheidswaarde
$C_D$	-	weerstandscoefficiënt
$D$	$m$	korreldiameter
$g$	$m/s^2$	versnelling van de zwaartekracht
$h$	$m$	waterdiepte
$H$	$m$	hoogte van beddingvormen
$h_{bank}$	$m$	ligging van bovenzijde oever t.o.v. referentieniveau
$k$	$m$	Nikuradse ruwheidshoogte
$k_v$	$m$	hoogte van vegetatie
$l$	$m$	lengte
$L$	$m$	lengte van beddingvormen
$n$	$m$	ordinaat in normaalrichting
$n_m$	$m^{-1/3}/s$	Manning's ruwheidscoefficiënt
$t$	$s$	tijd
$T$	-	transportparameter
$u, v$	$m/s$	stroomsnelheid in langs-, dwarsrichting
$u_*$	$m/s$	schuifspanningssnelheid
$q_i$	$m^3/s$	debiet door een grid cel
$Q$	$m^3/s$	totale debiet door een dwarsprofiel
$z_b$	$m$	bodemligging
$z_t$	$m$	waterstand op tijdstip $t$
$\Delta$	-	relatieve dichtheid van sediment $(\rho_s - \rho_w)/\rho_w$
$\chi$	-	kalibratiecoëfficiënt
$\kappa$	-	Von Kármán constante
$\mu_{pass}$	-	doorlaatfactor
$\nu$	$m^2/s$	kinematische viscositeit
$\theta$	-	Shields waarde (dimensieloze bodemschuifspanning)
$\rho$	$kg/m^3$	dichtheid
$\tau$	$kg/(ms^2)$	schuifspanning





# I Inleiding

## I.1 Algemeen

Het 2D instrumentarium voor riviermorphologie is in een belangrijk ontwikkelingsstadium. Recentelijk zijn samen met RIZA eerste “case studies” voor delen van de Rijn takken uitgevoerd. Daarnaast zijn een aantal belangrijke WL-projecten gestart waarbij recente ontwikkelingen in Delft2D-Rivieren een belangrijke rol spelen (Tenryuu rivier in Japan, Grensmaas, etc.). In het kader van “doelfinanciering” voor het jaar 2000 is een belangrijke uitbreiding van het 2D-riviermorphologische instrumentarium gerealiseerd, vooral gericht op de mogelijkheid om het gedrag van splitsingspunten zoals de Pannerdense Kop met een 2D morfologisch model te kunnen simuleren. De in 2000 uitgevoerde activiteiten hebben met name het karakter van implementatie en operationalisering van bestaande kennis in het Delft3D systeem. In dit rapport zijn de belangrijkste resultaten van dit project gepresenteerd.

De groeiende behoefte aan toepassing van 2D instrumentarium voor riviermorphologische vraagstukken heeft er reeds toe geleid dat in voorgaande jaren een aantal belangrijke functionaliteitsuitbreidingen zijn geïmplementeerd. Dit is met name gebeurd in het kader van het project “Delft2D-Rivieren”, maar ook bijdragen vanuit andere projecten (bijvoorbeeld implementatie van LES in Delft3D) kunnen als voorbeeld worden genoemd. Inmiddels is door meerdere lopende/verwachte projecten en andere overwegingen verdere uitbreiding van functionaliteit zeer urgent geworden. Het betreft de functionaliteit ten behoeve van gegradeerd sediment, alluviale ruwheidsvoorspelling, oevererosie, randafhandeling. In de volgende tabel is aangegeven waar de urgentie voor deze functionaliteit afkomstig is:

Tabel 1.1 Belangrijkste bronnen m.b.t. urgentie van functionaliteitsinbouw in 2D-instrumentarium voor riviermorphologie (+ = aangegeven behoefte aan functionaliteit, - = niet of minder sterke behoefte)

Functionaliteit	Wensen Rijks-waterstaat, visie Nederlandse rivieren	Gelijkwaardigheid concurrerende software (Mike21)	Internationaal onderzoek (samenwerking)
Gegradeerd sediment	+	-	-
Alluviale ruwheid	+	+	-
oevererosie	-	+	+
randafhandeling etc.	+	+	-

Omdat het project is uitgevoerd in het kader van “doelfinanciering” is over de invulling van dit plan overleg gevoerd met ir. E. van Velzen van RIZA. Binnen Rijkswaterstaat/RIZA heeft men een onderzoekslijn voor ogen die ertoe leidt dat we binnen enkele jaren in staat zijn de morfologische ontwikkeling van een splitsingspunt (zoals de Pannerdense Kop) op betrouwbare wijze te simuleren met meerdimensionale modellen. Gezien de ontwikkelingen in het rivierengebied (bijvoorbeeld beoogde ingrepen in het kader van Ruimte voor

Rijntakken) wordt verwacht dat ernstig zal worden ingegrepen in het gedrag van de stroming en morfologie. Om dit gedrag te kunnen simuleren zijn naast veldkennis en proceskennis ook krachtige en betrouwbare modellen noodzakelijk. Met name voor de splitsingspunten (Pannerden en Merwede) is gebleken dat het huidige morfologische modelinstrumentarium tekort schiet. Uit de casestudie “Pannerdense Kop” (Project Q2494) is naar voren gekomen dat vooral aan de bodemsamenstelling en de ruimtelijke variatie in ruwheden veel aandacht moet worden gegeven wanneer het splitsingspunt moet worden gesimuleerd. Tot zover is het nog niet mogelijk gebleken deze op correcte wijze te introduceren. Aansluitend op de aanbevelingen van de casestudie is daarom gekozen voor implementatie van een alluviale ruwheidsvoorspeller en verdere uitwerking van gegradeerd sediment in het project. De toetsing (voor de Pannerdense Kop) en verdere uitwerking van de geïmplementeerde functionaliteit voor alluviale ruwheid en gegradeerd sediment zal in latere fases (na 2000) plaatsvinden. Overigens is de behoefte aan aangepaste randafhandeling ook afkomstig uit de ervaringen van de casestudies die met RIZA zijn uitgevoerd. Het toepassen van automatische debietverdeling op bovenrand, en  $Q/h$ -relaties op benedenrand is reeds mogelijk in WAQUA, en is bijvoorbeeld zeer waardevol in simulaties met tijdsafhankelijke afvoer (daarmee wordt voorkomen dat zeer grote en complexe invoerbestanden moeten worden gegenereerd).

Opgemerkt moet worden dat de functionaliteit voor gegradeerd sediment naast toepassing voor de Rijntakken ook een belangrijke rol speelt in de Maas. De bedding van de Maas en het optredende sedimenttransport worden sterk gedomineerd door gegradeerd sediment processen. Gegradeerd sediment toepassing met een 2D model heeft reeds plaatsgevonden in de Casestudie ‘Grensmaas bij Roosteren’ (Sloff en Flokstra, 2000). Evenals voor de Rijn zijn in de Maas belangrijke ingrepen gepland waarvoor de behoefte aan modelinstrumentarium erg groot is. Met name voor een aantal ingrepen in de Grensmaas waarbij sterke zomerbedverbreding wordt gerealiseerd, zal minimaal een 2D morfologisch model noodzakelijk zijn.

De urgentie van de functionaliteit oevererosie is op dit moment nog sterk afkomstig vanuit de buitenlandse praktijk (behoefte vanuit de ingenieursbureau's, concurrentiepositie met andere vergelijkbare software, en de aansluiting met bestaande internationale samenwerkingsverbanden). Daarnaast heerst bij WL de opvatting dat dergelijke functionaliteit ook belangrijk zal gaan worden voor de Nederlandse praktijk, met name in relatie met inrichtingsprojecten. Vanuit Rijkswaterstaat wordt reeds regelmatig de behoefte geuit om de stabiliteit en migratie van nevengeulen, steilranden en natuurvriendelijke oevers te simuleren. Hoewel in eerste instantie de stabiliteit van het splitsingspunt als speerpunt voor het onderzoek is gekozen, wordt reeds geanticipeerd op een toekomstig speerpunt waarbij de morfologische problematiek tengevolge van herinrichting van uiterwaarden centraal zal staan.

Naast de pure technische implementatie van de nieuwe functionaliteit zijn in het project ook onderdelen opgenomen ten behoeve van de uniformering van  $k$ -waarden van rivierecotopen, de publicatie van kennis en resultaten, en het vaststellen van een lange-termijn visie en beleid aangaande de ontwikkelingen gaande binnen het Delft3D-MOR systeem.

De projectleiding en eindrapportage van het project was in handen van Kees Sloff. Op verschillende onderdelen is onder andere bijgedragen door Cor Flokstra (met name



gegradeerd sediment en oevererosie), Bert Jagers (gegradeerd sediment, alluviale ruwheid en randafhandeling), Erik Mosselman (oevererosie), Henk Verheij (k-waarden) en Jaap Zeekant (programmeerwerk).

## 1.2 Doelstelling

Het belangrijkste doel van dit speurwerkproject was het implementeren van belangrijke functionaliteit in 2D-instrumentarium voor riviermorphologische toepassingen. Daarmee wordt beoogd te komen tot een 2D rekeninstrumentarium toegespitst op riviertoepassingen, waarmee bijvoorbeeld snel en nauwkeurig inzicht wordt verkregen in de (gecombineerde) hydraulische en morfologische effecten op de veiligheid en op het beheer van het riviersysteem voor verschillende inrichtingsvarianten.

Alle functionaliteit die in dit project is geïmplementeerd, is ingebracht in zogenaamde research-versies van Delft3D.

## 1.3 Leeswijzer

In dit rapport zijn de belangrijkste resultaten van het onderzoek opgenomen. Omdat de hoofdactiviteiten in dit project te maken hebben met implementatie van functionaliteit in het Delft3D systeem, zijn de resultaten per functionaliteit in afzonderlijke hoofdstukken gepresenteerd. Over het algemeen zijn hierin technische details met betrekking tot implementatie in de software code, invoer beschrijving, en de testresultaten opgenomen. De indeling is als volgt:

- in hoofdstuk 2 wordt de functionaliteit voor alluviale ruwheid en voor ruimtelijke verdeling van ruwheden (vergelijkbaar met WAQUA) gepresenteerd. Het begrip trachytoop wordt hier geïntroduceerd;
- in hoofdstuk 3 zijn de gerealiseerde uitbreidingen en aanpassingen van de gegradeerd-sediment module in Delft3D gepresenteerd (Delft3D-GRA). Eveneens wordt in dit hoofdstuk ingegaan op het testgeval voor de Grensmaas bij Roosteren.
- in hoofdstuk 4 is beschreven op welke wijze de (vooralsnog eenvoudige) functionaliteit voor oevererosie in Delft3D-MOR is ingebracht;
- in hoofdstuk 5 zijn de aanpassingen gepresenteerd voor randafhandeling in Delft3D. Het betreft de typen 'automatische debietrand' en de 'Q/h-rand' zoals beschikbaar in het WAQUA systeem.
- in hoofdstuk 6 zijn de resultaten gepresenteerd van de analyses die zijn gemaakt t.a.v. de uniformering van k-waarden rivierecotopen;
- in hoofdstuk 7 worden tenslotte een aantal conclusies, een aantal resultaten van nevenactiviteiten en een aantal aanbevelingen gepresenteerd.





## 2 Alluviale ruwheid en trachytopen

### 2.1 Inleiding

Een belangrijke component voor het maken van betrouwbare 2D simulaties voor de riviersplittingsen is de ruimtelijke verdeling van de ruwheden (vergelijkbaar met de toepassing van ruwheidscodes in WAQUA omdat dan bestaande 2D WAQUA modellen voor Nederlandse rivieren eenduidig in Delft3D zijn in te brengen). Daarnaast spelen de veranderingen in alluviale ruwheden onder invloed van het stroomregime (ontstaan van beddingvormen) een belangrijke rol tijdens hoogwaters en de daarbij optredende waterstanden. In dit onderdeel van het project is daarom functionaliteit geïmplementeerd voor het simuleren van alluviale ruwheid (stromingsafhankelijke ruwheid) en voor het toepassen van verschillende ruwheidstypen en ruwheidswaarden voor verschillende gebieden in het model. In samenhang hiermee wordt het begrip ‘trachytoop’ geïntroduceerd (zie paragraaf 2.2.3).

In het kader van ontwikkeling van Delft2D-Rivieren is in 1997 een voorstudie gedaan naar de functionaliteit die een alluviale ruwheidsvoorspeller binnen Delft2D-Rivieren zou moeten omvatten. Deze studie heeft geleid tot een functioneel ontwerp (zie appendix B van Q2325: Development of Delft2D-Rivers, annual technical report 1997, Feb. 1998). Dit ontwerp omvat een drietal alluviale ruwheidsvoorspellers: een eenvoudige machtsrelatie, alluviale ruwheid volgens Van Rijn, en een eenvoudig ijkbare formulering.

Voortbouwend op het functioneel ontwerp is vervolgens een ontwerp gemaakt voor de implementatie van deze functionaliteit binnen Delft2D-Rivieren. Bij dit ontwerp is rekening gehouden met de volgende punten:

- Het moet voldoen aan de bovengenoemde wensen omtrent de alluviale ruwheid.
- Programmering van een ad-hoc oplossing die nooit in een standaard versie zal komen is niet gewenst.
- Aansluiting bij de WAQUA Nikuradse implementatie voortkomend uit Baseline is wenselijk, maar
  - eenvoudig handmatig gebruik moet mogelijk zijn (ten behoeve van fundamentele studies), en
  - flexibiliteit en uitbreidbaarheid zijn belangrijker dan directe compatibiliteit.
- Uitbreiding naar 3D toepassingen moet meegenomen worden in de overwegingen.
- Ruimtelijke calibratie moet mogelijk zijn.

Gezien het bovenstaande pakket van eisen/wensen is veel aandacht aan de definitiefase besteed. Deze fase heeft geleid tot een generieke trachytopen<sup>1</sup> definitie welke staat beschreven in paragraaf 2.2. De wijzigingen aan in- en uitvoer zijn beschreven in paragraaf

---

<sup>1</sup> Het begrip “trachytoop” afgeleid van de Griekse woorden *τραχύς* (ruw) en *τραχυτητα* (ruwheid). De begrippen alluviale ruwheid, ecotoop en physiootoop dekken slechts een deel van de bestudeerde gevallen.

2.3. De code wijzigingen nodig voor de implementatie zijn beschreven in paragraaf 2.4 en de testen uitgevoerd met de nieuwe FLOW module zijn beschreven in paragraaf 2.5.

## 2.2 Definitiefase

### 2.2.1 Voorstudie Q2325

In het kader van ontwikkeling van Delft2D-Rivieren is in 1997 een voorstudie (Q2325) gedaan naar de functionaliteit die een alluviale ruwheidsvoorspeller binnen Delft2D-Rivieren zou moeten omvatten. Deze studie heeft geleid tot een functioneel ontwerp dat een drietal alluviale ruwheidsvoorspellers omvat:

1. Een eenvoudige machrelatie  $C=A h^B$  analoog aan Manning  $C=h^{1/6}/n_m$  resp. de door DHI in Bangladesh gebruikte formulering  $C=\alpha h^{1/2}$  (2 parameters voor de gebruiker).
2. De alluviale ruwheidspredictor van Van Rijn, zie Bijlage B, paragraaf B.3.
3. Een generieke makkelijk calibreerbare ruwheidspredictor van Struiksma (5 parameters voor de gebruiker), zie Bijlage B, paragraaf B.4.

In appendix B van Q2325 zijn een aantal eisen gesteld aan de uiteindelijke implementatie, welke kort samengevat op het volgende neerkomen:

- Gelijktijdig gebruik van verschillende ruwheidsvoorspellers in verschillende gebieden van het model.
- Updaten ruwheden bij elke tijdstap.
- Isotrope en anisotrope ruwheden: verschillende ruwheden in U en V punten mogelijk.

De huidige versie van Delft3D kent ruwheidsformuleringen op basis van Chézy, Manning, en White-Colebrook (voor 2D toepassingen). Deze functionaliteit zou analoog aan de nieuwe alluviale ruwheidsvoorspellers gebruikt moeten kunnen worden.

Naast deze wensen t.a.v. alluviale ruwheden is er een ontwikkeling gaande dat steeds meer informatie uit een GIS systeem afkomstig is. Hierdoor is het mogelijk gedetailleerde informatie per rekenpunt aan te leveren. Met behulp van het pakket Baseline worden invoer schematisaties beheerd voor de Nederlandse riviersystemen. Vanuit Baseline worden onder andere ecotooptypen aan WAQUA geleverd welke door WAQUA omgerekend worden in ruwheidswaarden. Er zijn twee duidelijke redenen om aan te sluiten bij deze ontwikkeling: ten eerste is het de bedoeling dat Baseline ook invoer gaat leveren voor Delft3D, en ten tweede biedt de daar gekozen aanpak de gewenste flexibiliteit ten aanzien van het ruimtelijk kunnen variëren van de ruwheid. Hieronder volgt daarom een korte beschrijving van de Baseline/WAQUA functionaliteit ten aanzien van ruwheden.

### 2.2.2 Ruwheidscodes in WAQUA

Voor WAQUA zijn door RIZA op basis van een beperkte ecotopen-classificatie een aantal karakteristieke ruwheidscodes gedefinieerd. De ruimtelijke verdeling van deze karakteristieke ruwheidscodes kan in de invoerfile worden gespecificeerd onder het keyword Nikuradse. Alhoewel de Nikuradse  $k$ -waarde (White-Colebrook formulering) centraal



staat in de beschouwing is de naamgeving van dit keyword enigszins verwarrend. De invoer bestaat uit een ruwheidscode definitie file en een tweetal area files. De eerst genoemde file bestaat uit een variabel aantal records van de vorm:

R\_CODE=<Ecotoopnr> A=<A> B=<B> C=<C> D=<D>

Voor de ruwheidscodes R\_CODE gelden de volgende randvoorwaarden (Tabel 2.1):

Tabel 2.1 Lijst van ruwheidscodes en ecotopen binnen WAQUA.

R_CODE	betekenis
1	gebouwen (=watervrij)
2	watervrij terrein
3	default ruwheidswaarde (Nikuradse k-waarde)
4-400	<i>Code: Type ecotoop met vaste k-waarde</i> 11 open water buiten hoofdgeul 16 krib of oeverlijn 21 gemaaid grasland 26 normaal grasland 31 hoog gras 36 open bossages (winter) 41 dichte bossages (winter) 51-100 vaste lagen 101-200 dorpen 201-400 overige k-waarden
401-700	<i>Code: Type ecotoop hoofdgeul</i> 401 hoofdgeul / zomerbed 402-700 overige typen hoofdgeulen
701-950	<i>Code: Type ecotoop vegetatie</i> 701 open bos 706 normaal bos 711 dicht bos 716 struiken 721 open bossage (zomer) 726 normale bossage 731 dichte bossage (zomer) 736 riet 751-900 overige vegetatie 901 bomen rij 906-950 overige bomen rijen
951-999	<i>Code: Type heggen en houtwallen</i> 951 heggen 956 houtwallen 961-999 overige heggen en houtwallen

De betekenis van de A en B coëfficiënten varieert afhankelijk van de ruwheidscode (Tabel 2.2):



Tabel 2.2 Betekenis van de factoren A en B afhankelijk van de ruwheidscode

R_CODE	betekenis
1-2	geen betekenis
3-400	k-waarde
401-700	$k = A h^{0.7} (1 - \exp(-B h^{-0.3}))$ , vereenvoudigde alluviale ruwheidsformulering gebaseerd op Van Rijn.
701-950	A: vegetatie hoogte, B: vegetatie dichtheid in de formulering van Barneveld, H.J., <i>et al.</i> , HKV, pr051. Zie appendix A.
951-999	A: hoogte van heg/houtwal, B: dichtheid van heg/houtwal. Zie appendix B.

De coëfficiënt C is een vermenigvuldigingsfactor voor A, en D is een vermenigvuldigingsfactor voor B. Het is gebruikelijk om A en B op de defaultwaarden te laten staan en de ruwheid m.b.v. C en D binnen de door het programma gestelde grenzen (afh. van R\_CODE) te kalibreren. WAQUA controleert of de ingevoerde waarden voor A\*C en B\*D voor de betreffende ruwheidscode binnen de (in de source geprogrammeerde) logische range vallen. In de WAQUA handleiding wordt voor de ruwheidscodes 701-950 geadviseerd te kalibreren op basis van een factor  $\chi$  welke voor de vegetatieruwheidsvoorspeller staat (zie bijlage B, paragraaf B.1). Deze factor is echter niet door de gebruiker te specificeren en staat op 1.

De area files voor de ruwheden in U resp. V richting bevatten records van de volgende vorm:

.....  
 <N> <M> <R\_CODE> <SIZE>  
 .....

waarbij N,M paren willekeurig vaak mogen voorkomen (mits ze opeenvolgend worden vermeld), de R\_CODE verwijst naar de lijn in de ruwheid definitie file. SIZE geeft voor ruwheidscodes 1-950 de fractie van het cel-oppervlak bedekt door de betreffende ecotoop aan ( $0,0 \leq \text{SIZE} \leq 1,0$ ). Voor de ruwheidscodes 951-999 geeft de SIZE de lengte van de heg/houtwal aan.

Hoe worden deze ruwheidswaarden gecombineerd?

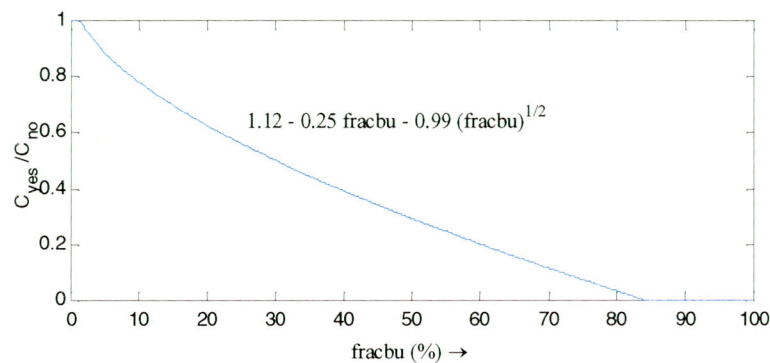
1. Het oppervlak van de ruwheidscodes 1 en 2 wordt gesommeerd tot *fracbu*.
2. Het oppervlak van de ruwheidscodes 3-950 wordt gesommeerd tot *fracto*. De ruwheidshoogtes (Nikuradse k-waarden) worden gesommeerd gewogen met het percentage van het cel oppervlak.
3. De ruwheden veroorzaakt door de heggen en houtwallen (ecotopen 951-999) zijn uitgedrukt in Chézy waarden. Deze worden gesommeerd d.m.v.

$$C_u = \left( \sum_{R=951}^{999} \frac{1}{C_{u,(i,j),R}^2} \right)^{-1/2}$$

4. Indien *fracto* kleiner is dan 1 wordt voor het overige gebied de standaard ruwheidswaarde (ruwheidscode 3) genomen. (Hierbij wordt slechts ten dele rekening gehouden met het oppervlak in gebruik door ruwheidscodes 1 en 2, hetgeen een onjuist resultaat kan opleveren).

5. De  $k$ -waarde resulterende uit de weging van de ecotopen 3-950 en de  $k$ -waarde welke verkregen wordt na de conversie van de Chézy waarde voor de heggen en houtwallen, worden gesommeerd.
6. Indien de rekencel gebieden bevat van ruwheidscode 1 en/of 2 dan wordt de resulterende  $k$ -waarde omgezet in een Chézy waarde  $C_{no}$ . Hieruit volgt een gecorrigeerde Chézy waarde  $C_{yes}$  door toepassing van ( $fracbu$  begrensd tot 1.4% tot 84.3%):

$$C_{yes} = C_{no} \left( 1.12 - 0.25 \frac{fracbu}{100} - 0.99 \sqrt{\frac{fracbu}{100}} \right)$$



Deze Chézy waarde wordt omgezet in de definitieve  $k$ -waarde.

De gebruiker kan bepalen hoe vaak deze berekening wordt uitgevoerd. Tijdens de tijdstappen tussen opeenvolgende berekeningen van de ruwheid wordt de  $k$ -waarde constant gehouden.

Deze beschrijving laat niet veel ruimte voor het op een logische wijze uitbreiden van de ruwheidscodes/ecotopen. Wijzigingen in de trant van het onderbrengen van andere alluviale ruwheidsformuleringen binnen de 401-700 range en het toevoegen van de mogelijkheid voor de gebruiker om Chézy waarden te specificeren in de 4-400 range leidt tot subtiele maar cruciale verschillen in de implementatie en interpretatie van de invoerfile. Aangezien dit niet wenselijk is, zal een flexibelere oplossing gezocht moeten worden.

De lijst van ecotopen vermeld in tabel 2.1 is niet volledig en wordt alleen gehanteerd door RIZA voor het gebruik van WAQUA & SOBEK. Uitbreidingen zijn te verwachten wanneer andere ecotopen onderscheidbaar worden (meetbaar) en/of het gebruik van de ruwheid/ecotoopinformatie zich uitbreidt tot andere gebieden in Nederland (benedenrivieren - BES, estuaria - VEZD) en in het buitenland. Ook dit maakt flexibilisering noodzakelijk.

Verder zal binnen de discipline biogeomorfologie gewerkt gaan worden aan de interactie van flora en fauna, stroming en morfologie. Hierbij zal bijvoorbeeld de vegetatie per cel veranderen afhankelijk van onder andere de lokale stromingscondities. Het is daarbij niet wenselijk dat de ruwheid van alle punten met dezelfde initiële ecotoop op dezelfde wijze verandert aangezien de ecotopen zelf kunnen veranderen afhankelijk van het gekozen beheersalternatief. In principe moet het daarbij mogelijk zijn een onbeperkt aantal ecotopen van hetzelfde type te definiëren.

Niet meegenomen in deze berekening van de ruwheidswaarden is de ruimtelijke ligging van de verschillende ruwheidscodes binnen de rekencel en de variatie in vegetatie karakteristiek binnen een gebied met een zekere ruwheidscode. Hierdoor is het soms toch nog nodig om de



ruwheden verder te kalibreren. Nu gebeurt dat door middel van de niet-lineaire, globale vegetatie karakteristieken  $A \cdot C$  en  $B \cdot D$ . Het is wenselijk om de kalibratie door middel van een lineaire factor (in ROUMET) per cel uit te voeren aangezien het geen globale vegetatie karakteristiek voor het hele gebied betreft. Hiervoor worden de ruwheidsvelden TrtCalu en TrtCalv ingevoerd.

### 2.2.3 Gekozen trachytopen implementatie

De overwegingen genoemd in de inleiding van dit hoofdstuk en de Baseline/WAQUA benadering beschreven in de vorige paragraaf hebben samen geleid tot het volgende voorstel voor de implementatie van alluviale en overige ruwheden. Het begrip “ecotoop” is niet geheel representatief voor de betekenis die hier aan de functionaliteit gegeven wordt. Er is daarom gezocht naar een andere term welke zowel ruwheid t.g.v. vegetatie als alluviale ruwheden omvat. Uiteindelijk is gekozen voor het begrip “trachytoop” afgeleid van de Griekse woorden  $\tau\rho\alpha\chi\upsilon\varsigma$  (ruw) en  $\tau\rho\alpha\chi\upsilon\tau\eta\tau\iota$  (ruwheid). Extra parameters in de mdv file (Tabel 2.3):

Tabel 2.3 Extra parameters in mdv file

Keyword	Waarden	Beschrijving
Trtrou	Y / N	Trachytoop ruwheden actief: ja/nee (default niet actief)
Trtdef	bestandsnaam	Definitie file trachytopen
Trtu	bestandsnaam	Area file trachytopen U richting
Trtv	bestandsnaam	Area file trachytopen V richting
TrtDt	integer	Tijdstap voor trachytopen berekening (veelvoud van Dt)
TrtClu	bestandsnaam	Kalibratie trachytopen U richting (default uniform 1)
TrtClv	bestandsnaam	Kalibratie trachytopen V richting (default uniform 1)

De definitie file trachytopen bevat de volgende records:

.....  
<TrtNr> <RuwForm> Parameters  
.....

Hierbij is ervoor gekozen om de ruwheidsformulering (RuwForm) onafhankelijk te maken van het trachytoopnummer (TrtNr). De WAQUA ruwheidscode wordt gesplitst in een trachytoopnummer en een onafhankelijke ruwheidsformulering.

Bij de ruwheidsformuleringen wordt momenteel onderscheid gemaakt in de typen/waarden als weergegeven in Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Indeling van de op dit moment onderkende ruwheidsformuleringen

Range	Nr	Omschrijving
<i>Watervrij terrein</i> 1-50	1	watervrij terrein (geen invloed op continuïteitsvergelijking) (0 parameters)
<i>Statische ruwheid</i> 51-100	51	constante White-Colebrook / Nikuradse waarde (1 par.)
	52	constante Chézy waarde (1 parameter)
	53	constante Manning waarde (1 parameter)
	54	constante $z_0$ waarde (1 parameter)
<i>Alluviale ruwheid</i>	101	alluviale ruwheidsvoorspeller WAQUA (Van Rijn)



Range	Nr	Omschrijving
101-150	102	vereenvoudigd) (2 parameters)
	103	alluviale ruwheidsvoorspeller "DHI" (2 parameters)
	104	alluviale ruwheidsvoorspeller van Rijn (Zie App.B, B.3)
	104	alluviale ruwheidsvoersp. Struiksma (Zie App.B, B.4)
<i>Oppervl. Trachytopen</i> 151-200	151	vegetatie ruwheidsvoorspeller WAQUA (2 parameters) (Zie Appendix B, B.1)
<i>Lineaire trachytopen</i> 201-250	201	ruwheidsvoorspeller WAQUA lineaire elementen zoals heggen en houtwallen (Zie Appendix B, B.2)

De WAQUA invoer kan eenvoudig geconverteerd worden in het nieuwe formaat door de baseline geleverde ruwheidscodes (R\_CODE) te handhaven als trachytoopnummers en als extra waarde achter de ruwheidscode de code voor de betreffende ruwheidsformulering toe te voegen welke volgt uit de WAQUA ruwheidscode (Tabel 2.5):

Tabel 2.5 Vertaling WAQUA ruwheidscode in ruwheidsformulering

WAQUA ruwheidscode (R_CODE)	indicator ruwheidsformulering
1-2	1
4-400	51
401-700	101
701-950	151
951-999	201

Deze implementatie heeft als voordeel dat er geen begrenzing is aan het aantal trachytopen van een bepaald type. Tevens is er ruimte voor extra "backwards compatibele" uitbreidingen. WAQUA ruwheidscode 3 heeft een aparte betekenis (default waarde) en zal op een iets afwijkende wijze gespecificeerd moeten worden: het reeds bestaande record in de flow invoer `Roumet` zal op White-Colebrook/Nikuradse gezet moeten worden en de voor WAQUA `R_CODE=3` gespecificeerde waarde dient opgegeven te worden voor `Ccofu` of `Ccofv`.

Het aantal parameters zal per trachytoopformulering variëren en daarom zal eerst het aantal gedefinieerde trachytoopnummers (NTRT) bepaald moeten worden. Daarna kunnen de arrays `RTTDEF` ( $\text{NTRT} \times \text{NROUPA}$  real) en `ITTDEF` ( $\text{NTRT} \times 2$  integer) gealloceerd worden. `NROUPA` is een nader te bepalen constante groter of gelijk aan het maximum aantal parameters nodig voor één ruwheidsformulering (voorlopig 5). Het lijkt niet noodzakelijk om voor alle parameters een waarde en een kalibratie vermenigvuldigingsfactor op te kunnen geven. Het aantal in te lezen parameters per record is eenduidig bepaald door de ruwheidsformulering. De array `ITTDEF` bevat de volgende gegevens: `TrtNr`, `RuwForm`, terwijl `RTTDEF` de parameters voor zover van toepassing voor de betreffende ruwheidsformulering bevat.

De area files bevatten dezelfde informatie als de WAQUA files, nu wordt de derde parameter niet meer aangeduid met ruwheidscode `R_CODE` maar met `Trachytoopnr`:

.....  
<N>    <M>    <Trachytoopnr>    <Size>  
.....

daarnaast is, om handmatige schematisatie van grote gebieden mogelijk te maken, de volgende syntax toegestaan

---

<N1>   <M1>   <N2>   <M2>   <Trachytoopnr>   <Size>

---

waarbij N1,M1–N2,M2 een gebied aangeeft waarbinnen de trachytopen verdeling constant is (onderscheid op basis van aantal parameters op de regel). Deze data wordt ingelezen in de arrays ITTARU, RTTARU en ITTARV, RTTARV<sup>2</sup>. Wederom zal eerst de afmeting van de te alloceren arrays bepaald moeten worden. Een punt N,M (of blok N1,M1–N2,M2) mag willekeurig vaak in de file voorkomen (mits het opeenvolgende records betreft), het trachytoopnummer verwijst naar de lijn in de definitie file. Wanneer er voor een en hetzelfde punt meerdere blokken met data in de file staan, geldt alleen het laatste blok met data.

Met deze data wordt de volgende berekening uitgevoerd tijdens initialisatie en elke *TrtDt* tijd later (hierbij is *Roumet* de ruwheidsmethode geselecteerd volgens de huidige Delft3D opties) per richting U/V (de beschouwde gebieden per M,N coördinaat zijn de oppervlakken rond de U en V punten):

Het ruwheidsveld wordt geïnitieerd op de ruwheidswaarde in *Roumet* zoals nu voor Delft3D gebruikelijk (voor het bewaren van deze waarden worden de arrays CFU/VROU met één extra laag uitgebreid, de waarden worden opgeslagen in CFU/VROU(:,3)). Voor punten gespecificeerd in de area file worden vervolgens de volgende stappen uitgevoerd:

1. Het oppervlak van de watervrije gebieden (trachytooptypen 1-50) wordt gesommeerd tot *fracbu*.
2. Het oppervlak van de trachytoop van type 51-200 wordt gesommeerd tot *fracto*. De ruwheidshoogtes (Nikuradse *k*-waarden) worden gesommeerd gewogen met het percentage van het cel oppervlak.
3. De ruwheden veroorzaakt door de lineaire structuren (trachytooptypen 201-250) zijn uitgedrukt in Chézy waarden. Deze worden gesommeerd d.m.v.

$$C_u = \left( \sum_{R=951}^{999} \frac{1}{C_{u,(i,j),R}^2} \right)^{-1/2}$$

4. Indien *fracto* kleiner is dan 1 wordt voor het overige gebied de ruwheidswaarde volgens de initialisatie genomen (d.w.z. op basis van de huidige ruwheidsfunctionaliteit) rekening houdend met de watervrije oppervlaktes. Hiervoor wordt de ruwheidswaarde van de gespecificeerde ruwheid (in *Roumet*) naar Nikuradse geconverteerd.
5. De resulterende *k*-waarde voor oppervlakten en de *k*-waarde welke verkregen wordt na de conversie van de Chézy waarde voor lineaire structuren, worden gesommeerd.
6. Indien de rekencel gebieden bevat van trachytooptype 1 en/of 2 dan wordt de resulterende *k*-waarde omgezet in een Chézy waarde *C<sub>no</sub>*. Hieruit volgt een gecorrigeerde Chézy waarde *C<sub>yes</sub>* door toepassing van (*fracbu* begrensd tot 1.4% tot 84.3%):

$$C_{yes} = C_{no} \left( 1.12 - 0.25 \text{fracbu} - 0.99 \sqrt{\text{fracbu}} \right)$$

7. De resulterende Chézy waarde wordt omgezet in de definitieve ruwheidswaarde van het type *Roumet*.

---

<sup>2</sup> De naamgeving is veranderd van *AREAU/V* in *RTTARU/V* om verwarring met *AREA* arrays in *Delwaq* te voorkomen.



Voor elk punt wordt de ruheidswaarde uitgedrukt in *Roumet* vermenigvuldigd met de kalibratiefactor ingelezen bij *TrtCalU* en *TrtCalV*. De nieuw berekende *Roumet* ruheidswaarden worden naar de ROUGHNESS groep op de communicatie-file geschreven.

De gebruiker kan bepalen hoe vaak deze berekening wordt uitgevoerd d.m.v. *TrtDt*. Tijdens de tijdstappen tussen opeenvolgende berekeningen van de ruheid wordt de ruheid uitgedrukt in *Roumet* constant gehouden. Tijdens de eerste stap van FLOW wordt de *TrtDt* teller op nul gezet en de ruheden worden uitgerekend (d.w.z. er vindt synchronisatie met het begin van FLOW plaats). Indien *fracto* en *fractu* beide gelijk zijn aan 0 en indien er geen lineaire structuren voorkomen, blijft de initiële ruheid ongewijzigd.

De ruheden worden (m.u.v. de trachytopen definitie) onafhankelijk van elkaar ingevoerd voor U en V richting, zodat de ruheden isotroop en anisotroop gedefinieerd kunnen worden. De verschillende ruheidsvoorspellers kunnen gelijktijdig gebruikt worden. Eén van de standaard ruheidswaarden ( $C, m, k, z_0$ ) kan ruimtelijk gevarieerd worden d.m.v. een veld (zoals nu gebruikelijk in Delft3D). Dit staat bijvoorbeeld de volgende combinaties toe: 1) veld met ruheidswaarden in de rivier, vegetatietypen op de uiterwaarden, 2) veld met ruheidswaarden voor de uiterwaarden, alluviale ruheidsvoorspeller in de rivier. Men dient er echter wel op te letten dat wanneer de ruheidsberekening voor de trachytopen niet iedere tijdstap wordt uitgevoerd, de ruheid in de voor het veld gekozen ruheidsformulering ( $Roumet = C, M, W, Z$ ) constant blijft.

De alluviale ruheidsvoorspellers van van Rijn en Struiksma hangen af van:

- de waterdiepte  $h$  (reeds beschikbaar) en de stroomsnelheid  $u$  (deze zal moeten worden doorgegeven vanuit FLOW),
- de korreldiameters  $D_{50}$  en  $D_{90}$ , en sediment dichtheid  $\rho_s$  (deze grootheden zullen moeten worden doorgegeven vanuit MOR via de communicatie file, tenzij de nieuwe online-sediment optie wordt gebruikt).

Indien FLOW standalone (zelfstandig) draait zal het gebruik van de bovengenoemde alluviale ruheidsvoorspellers moeten leiden tot een foutmelding, tenzij de nieuwe online-sediment optie wordt gebruikt.

Tot nu toe wordt vegetatieruheid in de bodemruheid gestopt. Dit is niet wenselijk omdat (1) dit onnodige conversies van en naar Chézy oplevert, (2) bij 3D rekenen de weerstand alleen in de onderste cel wordt gevoeld en eigenlijk in alle cellen in de verticaal gevoeld zou moeten worden (dit heeft effect op het stroomprofiel), (3) de vegetatieruheid daarmee ook in de sedimenttransport formule terecht komt. Daarom wordt er bij de implementatie een tweetal arrays toegevoegd: RTTFU en RTTFV, welke de coëfficiënten voor de lineaire stromingsweerstand representeren. Kwadratische termen kunnen hierin worden meegenomen door  $\alpha u$  als weerstandscoefficiënt door te geven. In de transport module zullen deze termen niet meegenomen worden. Bij de eerste implementatie worden alleen de beschikbare formuleringen geïmplementeerd welke allemaal gebaseerd zijn op het verhogen van de bodemruheid.



## 2.3 Wijzigingen invoer en uitvoer

De ruwheden worden gespecificeerd in de definitie file van de FLOW module, waarin de volgende uitbreidingen zijn aangebracht:

- Keyword: `Trtrou`  
Deze kan de waarde Y of N hebben afhankelijk of de trachytoopruwheden wel of niet gebruikt moeten worden. Indien het keyword niet in de file voorkomt, zijn de trachytoopruwheden niet actief.
- Keyword: `Trtdef`  
Verplicht keyword als de trachytoopruwheden gebruikt worden. Hiermee wordt de naam van de trachytopen definitiefile gespecificeerd. Deze file omvat records van de volgende vorm:  
`<TrtNr> <RuwhForm> Parameters`  
 waarbij `TrtNr` het te definiëren trachytoopnummer en `RuwhForm` de te gebruiken ruwhedsformulering is. Het aantal benodigde parameters en de betekenis van de parameters hangt af van de gekozen ruwhedsformulering. De trachytoopnummers hoeven niet in oplopende volgorde te staan.
- Keywords: `Trtu` en `Trtv`  
Verplichte keywords als de trachytoopruwheden gebruikt worden. Hiermee worden de namen van de area files voor de ruwheden in U en V punten gespecificeerd. De area files moeten records van de volgende vorm bevatten.  
`<N> <M> <Trachytoopnr> <Size>`  
 daarnaast is de volgende syntax toegestaan  
`<N1> <M1> <N2> <M2> <Trachytoopnr> <Size>`  
 De N en M coördinaten van het punt (respectievelijk het gebied) worden gevolgd door een trachytoopnummer welke verwijst naar de definitie in de `Trtdef` file. Afhankelijk van de bijbehorende ruwhedsformulering wordt met size het oppervlak (ruimtelijke ruwhedselementen) of de geprojecteerde lengte (lijn ruwhedselementen) bedoeld. Opeenvolgende records voor hetzelfde punt (of dezelfde range) worden gecombineerd naar rato van het oppervlak. Wanneer in de file meerdere records voor hetzelfde punt voorkomen die gescheiden zijn door andere records dan worden deze niet gecombineerd. Het laatste record (of de laatste groep van records) bepaalt de gebruikte ruwhheid.
- Keyword: `TrtDt`  
Herhalingstijd voor de bepaling van de trachytopen berekening (veelvoud van `Dt`). Hiermee kan worden opgegeven of de omrekening van trachytopen naar Chézy (of White-Colebrook, Manning) waarden elke tijdstap (`TrtDt=Dt`, default) of minder frequent moet gebeuren. Het gebeurt altijd tijdens elke eerste tijdstap in FLOW (in combinatie met Delft3D-MOR).
- Keywords: `TrtClu` en `TrtClv`  
Deze keywords kunnen gebruikt worden om kalibratie files te specificeren voor de ruwhheid in U en V richting. De velden zijn standaard QuickIn files. De kalibratiefactor (vermenigvuldigingsfactor) is standaard gelijk aan 1.

Voor de alluviale ruwheden zijn ook nog korreldiameter gegevens nodig: D50 en D90. Deze gegevens worden door de transportmodule geleverd. De D50 informatie is altijd beschikbaar

in de transportmodule. Of de D90 informatie in de transportmodule beschikbaar is, hangt af van de gebruikte transportformule. In het komende jaar (2001) wordt de invoerfile van de transportmodule aangepast zodanig dat altijd om D90 informatie gevraagd wordt.

De ruwheden uitgedrukt in een van de standaard ruwheidsformuleringen ( $C_{n,k,z0}$ ) worden regelmatig opnieuw berekend. Het resultaat van de meest recente berekening staat in het ruwheidsveld (ROUGHNESS: CFU/VROU) op de communicatiefile. De defaultruwheden (CFU/VROU0) en kalibratievelden (RGALU/V) zijn te vinden in de TRT\_ROUGH groep op de communicatiefile.

## 2.4 Beschrijving van de aanpassingen in de Delft3D-MOR code

Ten behoeve van de implementatie van de trachytopen beschrijving van de ruwheden worden wijzigingen aangebracht in de FLOW, MAIN en TRANSP modules van Delft3D-MOR. De wijzigingen aan de invoer van FLOW en TRANSP zijn beschreven in de voorgaande paragraaf.

### 2.4.1 Wijzigingen aan data arrays

Gewijzigde variabelen en nieuwe variabelen zijn in de volgende tabellen opgesomd:

Tabel 2.6 Gewijzigde variabelen

Naam	Type en grootte	Betekenis
✓ CFUROU	R $NMAXUS \times MMAX \times 3$	Derde dimensie één opgehoogd
✓ CFVROU	R $NMAXUS \times MMAX \times 3$	Derde dimensie één opgehoogd

Tabel 2.7 Nieuwe variabelen

Naam	Type en grootte	Betekenis
✓ RTTARU	R NTTARU	Size (opp. Fractie, lengte)
✓ RTTARV	R NTTARV	Size (opp. Fractie, lengte)
✓ RTTDEF	R NTRT $\times$ NROUPA	Trachytopendefinitie (parameters)
✓ LFTRTO	L 1	Vlag voor trachytopen (rivpro.inc)
✓ ITTARU	I NTTARU $\times$ 3	M,N,TrtNr
✓ ITTARV	I NTTARV $\times$ 3	M,N,TrtNr
✓ ITTDEF	I NTRT $\times$ 2	Trachytopendefinitie (TrtNr, RouForm)
✓ ITIMTT	I 1	Tijdstap trachytopen update (inttim.inc)
✓ NTTARU	I 1	Aantal records in RTTARU
✓ NTTARV	I 1	Aantal records in RTTARV
✓ NTRT	I 1	Aantal trachytopen in definitie file
✓ NROUPA	I 1	Maximum aantal parameters per ruwh. form
✓ RTTFU	R $NMAX \times MMAX \times KMAX$	Stromingsweerstand in de waterkolom t.g.v. trachytopen (U-richting).
✓ RTTFV	R $NMAX \times MMAX \times KMAX$	Stromingsweerstand in de waterkolom t.g.v. trachytopen (V-richting)
✓ RGALU	R $NMAX \times MMAX$	Calibratieveld ruwheden U-richting
✓ RGALV	R $NMAX \times MMAX$	Calibratieveld ruwheden V-richting



## 2.4.2 Aanpassingen van de FLOW module

Tabel 2.8 Wijzigingen code FLOW

Routine (Submodule)	Omschrijving wijziging
√ ADI (REK3D)	RTTFU/V toevoegen aan header. RTTFU/V doorgeven aan UZD, UZD WQ en SUD.
√ AOI (REK3D)	RTTFU/V toevoegen aan header. RTTFU/V doorgeven aan UZD, UZD WQ, ESTV en CUCNP2.
√ CHKMD (INICLK)	Aanroep CHKTRT
√ CHKTRT (INICLK)	Nieuw: Controleert definities en area-specificaties.
√ CUCNP (REK3D)	RTTFU toevoegen aan header. RTTFU term toevoegen aan ddk.
√ CUCNP2 (REK3D)	RTTFU toevoegen aan header. RTTFU term toevoegen aan ddk.
√ DIMRD (MAIN)	Toevoegen aanroep DIMTRT.
√ DIMTRT (ALG)	Nieuw: routine ter bepaling van NTRT, NTTARU, NTTARV. Leest Routrt en optioneel Trtdef, en aanroep DITTAR.
√ DITTAR (ALG)	Nieuw: routine ter bepaling van NTTARU, NTTARV. Leest Trtu en Trtv.
√ ESTV (REK3D)	RTTFU toevoegen aan header. RTTFU term toevoegen aan ddk.
√ IIDIM (MAIN)	Toevoegen NTRT, NTTARU, NTTARV, ITTARU, ITTARV, ITTDEF
√ INCHKI (INICLK)	Aanroep CHKTRT.
√ INCHKR (INICLK)	Toevoegen aanroep TRTROU als LFTRTO waar is. Aanroep voor INITAU en TAUBOT (aangezien de gewijzigde CFU/VROU(:,2) arrays door deze twee routines gebruikt moeten worden).
√ INIPPR (OUTPUT)	ITIMTT, NROUPA, NTRT, NTTARU, NTTARV, ITTARU, ITTARV, ITTDEF, RTTARU, RTTARV, RTTDEF doorgeven aan WRICOMI.
√ RDTRT (LEES)	Nieuw: lees alle keywords en data gerelateerd aan de trachytopen. Roept RDTTAR aan voor resp u/v richting voor area data.
√ READMD (LEES)	Toevoegen aanroep RDTRT.
√ RJDIM (MAIN)	Toevoegen RTTARU, RTTARV, RTTDEF, RGCALU, RGCALV, RTTFU, RTTFV. De derde dimensie van CFU/VROU ophogen tot 3.
√ RDALVC (OUTPUT)	Nieuw: Leest alluviale ruwheidsgegevens van de communicatiefile of bepaalt deze op basis van de online sediment implementatie.
√ RDTTAR (LEES)	Nieuw: Leest trachytopen area data.
√ SUD (REK3D)	RTTFU toevoegen aan header. RTTFU doorgeven aan CUCNP.
√ TRICOM (MAIN)	Toevoegen definitie gealloceerde pointers en aanroep RDVALC.



Routine (Submodule)		Omschrijving wijziging
√	TRISOL (REKEN)	Toevoegen aanroep TRTROU voor U- en V-richting en WRROUF (om de berekend ruwheden op de comm.-file te schrijven.) als LFTRTO waar is en er een periode van TrtDt verstreken is sinds de laatste aanroep. Aanroep voor TAUBOT (aangezien de gewijzigde CFU/VROU(:,2) arrays door deze routine gebruikt wordt). RTTFU/V toevoegen aan aanroep van ADI, AOI.
√	TRTROU (REKEN)	Nieuw: berekent nieuwe ruwheidswaarden op basis van trachytopen. Invoer RTTDEF, RTTARU/V, ROUMET, CFUROU(:,3) / CFVROU(:,3). Uitvoer: CFUROU(:,2) / CFVROU(:,2), RTTFU/V.
√	UZD (REK3D)	RTTFU toevoegen aan header. RTTFU term toevoegen aan ddk.
√	UZD_WQ (REK3D)	RTTFU toevoegen aan header. RTTFU term toevoegen aan ddk.
√	WRCOMI (OUTPUT)	ITIMTT, NROUPA, NTRT, NTTARU, NTTARV, ITTARU, ITTARV, ITTDEF, RTTARU, RTTARV, RTTDEF toevoegen aan header. Toevoegen aanroepen van WRTRTD en WRTRT.
√	WRTRTD (OUTPUT)	Nieuw: leest/schrijft trachytoop dimensie gegevens van/naar TRT_ROUGH_DIM groep op de communicatie file.
√	WRTRT (OUTPUT)	Nieuw: leest/schrijft trachytoop gegevens van/naar TRT_ROUGH groep op de communicatie file.

### 2.4.3 Aanpassingen FLOW invoer

Tabel 2.9 Toegevoegde keywords in FLOW invoer

Keyword		Waarden	Beschrijving
√	Trtrou	Y / N	Trachytoopruwheden actief / niet actief (default niet actief)
√	Trtdef	bestandsnaam	Definitie file trachytopen
√	Trtu	bestandsnaam	Area file trachytopen U richting
√	Trtv	bestandsnaam	Area file trachytopen V richting
√	TrtDt	integer	Tijdstap voor trachytopen berekening (veelvoud van Dt)
√	TrtClu	bestandsnaam	Calibratie trachytopen U richting (default uniform 1)
√	TrtClv	bestandsnaam	Calibratie trachytopen V richting (default uniform 1)

## 2.4.4 Aanpassingen van de stuurmodule MAIN en transport-modules TRSTOT en TRSUS

Let op: In de Delft3D transport module heet de variabele ROUMET van de FLOW module ROUFLO !

Tabel 2.10 Wijzigingen code stuurmodule MAIN

Routine	Omschrijving wijziging
✓ POITR1	Toevoegen aanroep POITRT
✓ POITR3	Toevoegen aanroep POITRT
✓ POITRT	Nieuw: Pointer allocatie voor ITTARU, ITTARV, ITTDEF, RTTARU, RTTARV, RTTDEF, RGCALU, RGCALV. Aanroep WRTRTD om te alloceren dimensies te bepalen.

Tabel 2.11 Wijzigingen code transportmodule

Routine	Omschrijving wijziging
✓ MKPOI1	Toevoegen aanroep MKPTRT
✓ MKPOI3	Toevoegen aanroep MKPTRT
✓ MKPTRT	Nieuw: Toevoegen definitie gealloceerde pointers en laden van data van communicatie file. Aanroep WRTRT.
✓ CALUVC	Toevoegen aanroep TRTROU (FLOW) als LFTRTO waar is en er een periode van TrtDt verstreken is sinds de laatste aanroep. Aanroep voor CHEZ (aangezien de gewijzigde CFU/VROU(:,2) arrays door deze routine gebruikt wordt).

Meer aanpassingen zullen in het komende jaar (2001) nog nodig zijn om de D90 informatie vanuit de transport module beschikbaar te krijgen voor de trachytopen ruwheidsberekening in flow en transport.

## 2.4.5 Aanpassingen communicatie file

Tabel 2.12a Nieuwe velden op communicatie file

Groep: TRT ROUGH DIM				Betekenis
✓	NTRT	I	1	Aantal trachytopen in definitie file
✓	NROUPA	I	1	Maximum aantal parameters per ruwh. form
✓	NTTARU	I	1	Aantal records in RTTARU
✓	NTTARV	I	1	Aantal records in RTTARV

Tabel 2.12b Nieuwe velden op communicatie file

Groep: TRT ROUGH				Betekenis
✓	ITIMTT	I	1	Tijdstap TrtDt uitgedrukt in TSCALE
✓	ITTDEF	I	$NTRT \times 2$	Trachytopendefinitie (TrtNr, RouForm)
✓	RTTDEF	R	$NTRT \times NROUPA$	Tracchytopendefinitie (parameters)
✓	ITTARU	I	$NTTARU \times 3$	M,N,TrtNr
✓	RTTARU	R	$NTTARU \times 1$	Size (opp. Fractie, lengte)
✓	ITTARV	I	$NTTARV \times 3$	M,N,TrtNr



Groep: TRT ROUGH				Betekenis
√	RTTARV	R	NTTARV × 1	Size (opp. Fractie, lengte)
√	RGCALU	R	NMAXUS × MMAX	Calibratieveld ruwheden U-richting
√	RGCALV	R	NMAXUS × MMAX	Calibratieveld ruwheden V-richting
√	CFUROU0	R	NMAXUS × MMAX	Default ruwheden U-richting CFUROU(:,3)
√	CFVROU0	R	NMAXUS × MMAX	Default ruwheden V-richting CFVROU(:,3)

Tabel 2.13 Gewijzigde definitie van de velden op communicatie file

Groep: ROUGHNESS				Betekenis
√	ROUMET	C*4		Ruwheidsmethode
√	CFUROU	R	NMAXUS × MMAX	Meest recente waarde van CFUROU(:,2)
√	CFVROU	R	NMAXUS × MMAX	Meest recente waarde van CFVROU(:,2)

## 2.4.6 Toegevoegde foutmeldingen

J000 \*\*\* WARNING Trachytopen: #  
J001 \*\*\* ERROR Trachytopen: #  
J002 \*\*\* WARNING Trachytopen: No valid update time, set to every time step.  
J003 \*\*\* WARNING Trachytopen: Update time not given, set to every time step.  
J004 \*\*\* ERROR Trachytopen: Number of trachytopo definitions in file > array size.  
J005 \*\*\* ERROR Trachytopen: Unknown roughness code in file #  
J006 \*\*\* ERROR Trachytopen: Number of area entries in file # > array size.  
J007 \*\*\* ERROR Trachytopen: Out of array size while expanding trachytopo data.  
J008 \*\*\* ERROR Trachytopen: Trachytopo number <= 0: #  
J009 \*\*\* ERROR Trachytopen: Trachytopo roughness description <= 0: #  
J010 \*\*\* ERROR Trachytopen: Too many NM-Errors in #-direction.  
J011 \*\*\* ERROR Trachytopen: Too many definition errors in #-direction.  
J012 \*\*\* ERROR Trachytopen: Trachytopo number # defined more than once.  
J013 \*\*\* ERROR Trachytopen: Negative value(s) roughness calibration in #-direction.  
J014 \*\*\* ERROR Trachytopen: Wrong number of parameters defined, File: #  
J015 \*\*\* WARNING Trachytopen: Struiksma, Theta-grain <= 0 for cell (#); set to 0.001  
J016 \*\*\* WARNING Trachytopen: Struiksma, Theta-grain >= 1 for cell (#); set to 0.999

## 2.5 Beschrijving van de uitgevoerde testen

Er zijn twaalf testen uitgevoerd om de correcte afhandeling van de nieuwe invoerfiles te testen. Deze testen betreffen de volgende onderdelen:

1. Acceptatie van bestaande invoerfile zonder Trtrou keyword (default Trtrou=N). Programma draait normaal.
2. Trachytopen wel gespecificeerd, maar niet gebruikt (Trtrou=N). Programma draait normaal.
3. Trachytopen gespecificeerd en gebruikt (Trtrou=Y). TrtDt, TrtCalu en TrtCalv niet gespecificeerd. Programma geeft melding: WARNING Trachytopen: Update time not



- given, set to every time step. Verder wordt de invoer geaccepteerd en het programma draait normaal.
4. Trachytopen gespecificeerd en gebruikt (Trtrou=Y). TrtDt, TrtCalu, TrtCalv gespecificeerd. Invoer wordt geaccepteerd. Programma draait normaal.
  5. Trachytopen gespecificeerd en gebruikt (Trtrou=Y). TrtDt, TrtCalu, TrtCalv gespecificeerd. Negatieve factor in TrtCalu/v. Het programma stopt met de melding: ERROR Trachytopes: Negative value(s) roughness calibration in U-directi.
  6. Trachytopen gespecificeerd en gebruikt (Trtrou=Y). TrtDt, TrtCalu, TrtCalv gespecificeerd. TrtDt geen veelvoud van Dt. Het programma stopt met de melding: ERROR Trachytop update time is not multiple of the simulation timestep.
  7. Trachytopen gespecificeerd en gebruikt (Trtrou=Y). TrtDt, TrtCalu en TrtCalv niet gespecificeerd. Te weinig parameters opgegeven voor een bepaalde ruwheidsformulering. Het programma stopt met de foutmelding: ERROR Trachytopes: Wrong number of parameters defined, File: tt7.ttd, Record: 8.
  8. Trachytopen gespecificeerd en gebruikt (Trtrou=Y). TrtDt, TrtCalu en TrtCalv niet gespecificeerd. Te veel parameters opgegeven (regels aangevuld met nullen). In eerste instantie was overwogen om dit te accepteren, maar uiteindelijk is besloten om dat toch niet te doen. Het programma stopt met de foutmelding: ERROR Trachytopes: Wrong number of parameters defined, File: tt8.ttd, Record: 8.
  9. Trachytopen gespecificeerd en gebruikt (Trtrou=Y). TrtDt, TrtCalu en TrtCalv niet gespecificeerd. Te veel parameters opgegeven voor een bepaalde ruwheidsformulering. Het programma stopt met de foutmelding: ERROR Trachytopes: Wrong number of parameters defined, File: tt9.ttd, Record: 8.
  10. Trachytopen gespecificeerd en gebruikt (Trtrou=Y). TrtDt, TrtCalu en TrtCalv niet gespecificeerd. Dubbele definitie trachytoop. Deze fout wordt signaleerd en het programma stopt met de melding: ERROR Trachytopes: Trachytop number 5 defined more than once.
  11. Trachytopen gespecificeerd en gebruikt (Trtrou=Y). TrtDt, TrtCalu en TrtCalv niet gespecificeerd. Gebruik van een ongedefinieerde trachytoop. Deze fout wordt signaleerd en het programma stopt met de melding: ERROR Trachytopes: Trachytop in V-Direction not defined, Number: 3.
  12. Trachytopen gespecificeerd en gebruikt (Trtrou=Y). TrtDt, TrtCalu en TrtCalv niet gespecificeerd. Blokken in Trtv met  $M1 > M2$  en  $1 \times 1$  blok. Invoer wordt geaccepteerd. De blokrange wordt correct geïnterpreteerd: minimum( $M1, M2$ ) tot maximum( $M1, M2$ ). Programma draait normaal.

Meer inhoudelijke testen worden in het komende jaar (2001) gedaan wanneer de koppeling met Delft3D-MOR volledig gerealiseerd is.

## 3 Gegradeerd sediment

### 3.1 Inleiding

Evenals de alluviale ruwheid en ruimtelijke verdeling van ruwheden, spelen gegradeerd sediment processen een belangrijke rol bij de morfologische ontwikkeling van het splitsingspunt bij de Pannerdense Kop. Daarnaast zijn deze processen essentieel bij de morfologische ontwikkeling van de rivierbedding in grindrivieren zoals de Maas. Om deze reden is het noodzakelijk de gegradeerd-sediment modules in Delft3D geschikt te maken voor dergelijke 2D rivierentoepassingen.

In 2000 is het bestaande morfologische researchprogramma Delft3D-GRA omgezet naar een versie die aansluit bij het huidige versie van Delft3D-MOR. In paragraaf 3.2 worden in het kort de bijbehorende uitgevoerde activiteiten weergegeven. De uitgebreide informatie van de omzetting is in een afzonderlijk verslag weergegeven.

Met de nieuwe versie van Delft3D-GRA zijn vervolgens een aantal testberekeningen uitgevoerd. Het daarbij gebruikte testmodel is een model dat voor RIZA is gemaakt en betreft een gedeelte van de Grensmaas bij Roosteren. De testberekeningen zijn in eerste instantie bedoeld om de werking van Delft3D-GRA te controleren en geven verder alleen indicatieve tendensen aan die een nader onderzoek verdienen. De testberekeningen worden in paragraaf 3.3 beschreven.

In paragraaf 3.4 worden enige conclusies getrokken.

### 3.2 Update van het programma Delft3D-GRA

#### 3.2.1 Inleiding

De bestaande Delft3D-GRA researchversie is gebaseerd op Delft3D-MOR 3.00. De code daarvan is in de afgelopen jaren ontwikkeld door WL | DELFT HYDRAULICS. Deze versie moest worden overgezet naar een versie die is gebaseerd is op Delft3D-MOR 3.04. Deze omzetting is inmiddels volledig uitgevoerd en in het onderstaande wordt nader ingegaan op de veranderingen die daarvoor zijn aangebracht. Hierbij is gelet op de aandachtspunten die op de O&O en O&B afvinklijsten voor het Delft3D instrumentarium voorkomen.

De optie gegradeerd sediment betreft een uitbreiding van de functionaliteit van Delft3D-MOR, die in twee nieuwe modules TRSGRA en BOTGRA is ondergebracht. Deze modules zijn equivalenten van respectievelijk TRSTOT en BOTTOM. Ten behoeve van de twee nieuwe modules is ook de stuurmodule MAIN in beperkte mate aangepast. De modules FLOW en WAVES behoeven niet te worden aangepast. Hoewel WAVES in een morfologische simulatie kan worden gebruikt bevat TRSGRA geen transportrelatie waarin het directe effect



van golven wordt gebruikt. De update van Delft3D-GRA betreft dus alleen de modulen TRSGRA, BOTGRA en MAIN.

De invoerfile md-tran voor de transportmodule, de uitvoerfiles tram en trah en de communicatiefile worden significant aangepast. De morf-invoerfile ondergaat geen veranderingen maar er kunnen nu extra modulen die de optie 'gegradeerd sediment' betreffen worden gekozen ( TRSGRA = 5, BOTGRA = 3). De algemene opzet van een morfologisch simulatie voor een situatie met gegradeerd sediment wijkt niet af van die voor uniform sediment.

### 3.2.2 Aanpassing van de module TRSGRA

De huidige modules zijn zo ingericht dat de module TRSGRA als TRSTOT kan functioneren en BOTGRA als BOTTOM als slechts één sedimentfractie wordt onderscheiden. Daar echter TRSTOT een eigen ontwikkeling volgt die kan leiden tot een programmaopzet die sterk afwijkt van de structuur van TRSGRA is er voor gekozen deze functionaliteit niet te handhaven.

Het strippen van de TRSGRA module wordt zo uitgevoerd dat de uniform sediment vertakkingen als comment worden gehandhaafd, zodat de mogelijkheid blijft bestaan de takken weer actief te maken. Daardoor worden 36 routines van de TRSTOT/TRSSUS modulen niet meer binnen TRSGRA aangeroepen. Er zijn ook een aantal voor uniform sediment specifieke arrays en pointers aanwezig. De source wordt hier niet op gestript.

Een aantal routines worden met dezelfde naam zowel in TRSGRA als in TRSTOT gebruikt. (36 routines). Deze routines kunnen worden overgenomen uit de jongste MOR versie.

Een aantal TRSGRA routines hebben dezelfde inhoud als de overeenkomstige TRSTOT/TRSSUS routines alleen is een extra dimensie aanwezig met betrekking tot het aantal sedimentfracties. Door het aantal fracties in TRSTOT/TRSSUS op één te zetten, kan dezelfde routine worden gebruikt voor TRSTOT/TRSSUS en TRSGRA, (5 routines). Dit houdt in dat het aantal formele parameters uitgebreid moet worden en dat de aanroepen ervan in TRSTOT/TRSSUS uitgebreid moet worden. Deze actie is nog niet uitgevoerd, zodat deze TRSGRA routines nu nog een eigen naam hebben

Een aantal routines zijn specifiek voor TRSGRA (57 routines)

Een aantal routines zijn afgeleid van TRSTOT routines, maar hebben een eigen naam (23 routines). Daarvan zijn 7 routines sterk aangepast voor de optie 'gegradeerd' (waaronder de leesroutine), kunnen 6 routines worden gesplitst in een routine specifiek voor gegradeerd en een TRSTOT routine met aangepaste dimensie en kunnen 10 routines opgezet worden als TRSTOT routines met een aangepaste dimensie.

De nieuwe gegradeerde versie is zo opgezet dat waar mogelijk splitsingen van routines zijn uitgevoerd in analoge TRSTOT routines met een extra dimensie en in TRSGRA specifieke routines. In de huidige routines van de TRSTOT/TRSSUS modulen van Delft3D-MOR is nog geen gebruikt gemaakt van deze opsplitsingen.



Wat de invoerfile betreft van de GRA- versie van de transport module zijn een aantal extra opties aangebracht ten opzichte van de vorige versie.

In de code van TRSGRA zijn de verbeteringen aangebracht en zijn bepaalde nefis routines vervangen om op één lijn te komen met de huidige MOR versie.

De functionaliteit van TRSGRA is in de huidige versie dezelfde als in de vorige:

- Een 1-laag transportmodel, al of niet met een gelaagde conservatieve onderlaag

Daar de code deels is afgeleid van SOBEK-GRA zijn in de code restanten van andere opties aanwezig. Deze zijn als zodanig wel in de invoer ingebouwd, alleen het rekenhart moet nog op deze opties worden getest en aangevuld.

### **3.2.3 Aanpassing van de module BOTGRA**

De aanpak die voor de routine TRSGRA gevolgd is, is ook voor de module BOTGRA toegepast.

### **3.2.4 Aanpassing van de module MAIN**

De aanpassing van de module MAIN is zeer beperkt omdat de module zo is opgezet dat eenvoudig een nieuwe module kan worden toegevoegd. Voor de invoer van MAIN (morf invoer file) houdt dit in dat door de keuze van het nieuwe versienummer (=5) van de transport module de optie gegraadeerd sediment, middels TRSGRA geactiveerd wordt. Via versienummer 3 van de BOTTOM modules wordt de module BOTGRA geactiveerd.

## **3.3 Uitvoering van de testgevallen**

### **3.3.1 Inleiding**

Als testgeval voor het Delft3D-GRA programma is in het huidige onderzoek het model van Roosteren gebruikt. Dit is een model van een deel van de Maas bij Roosteren dat voor RIZA is gemaakt in het kader van de casus 'Grensmaas bij Roosteren' (Sloff en Flokstra, 2000). Het oorspronkelijke model bleek tijdens deze casus (in de oorspronkelijke opzet) op een aantal moeilijkheden te stuiten, waarvan de belangrijkste waren:

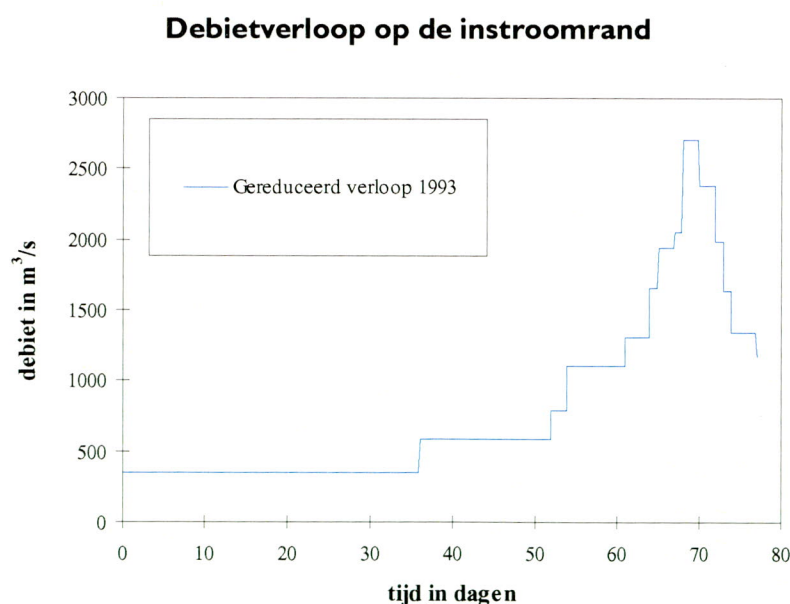
- Het winterbed kon niet meegenomen worden doordat de spiraalstroming in het winterbed ontaarde (mede doordat de berekeningsmethode voor spiraalstroming voor de in het winterbed optreden omstandigheden zoals grote ruwheden nog niet geschikt was).
- De tijdfunctie om het debietverloop op de instroomrand weer te geven bleek opgeknipt te moeten worden in betrekkelijk korte tijdsintervallen. Daardoor werd het simuleren van een jaar een voortdurend stoppen en herstarten van de simulatie.

Het eerste punt is in een afzonderlijk project opgelost. Het tweede punt bleek opgelost te zijn door gebruik van de nieuwste versie van FLOW, die door de update van de Delft3D-GRA modules (TRSGRA en BOTGRA) gebruikt kan worden. Door beide aanpassingen werd het draaien van een morfologisch simulatie voor gegradeerd sediment simulatie aanmerkelijk vereenvoudigd en het toepassingsgebied vergroot.

### 3.3.2 Beschrijving van de testgevallen

Er zijn twee rekenmodellen gebruikt: een rekenmodel waarin alleen het zomerbed wordt gebruikt en een model waarin zowel het zomer- als het winterbed wordt gebruikt van de Maas bij Roosteren, vanaf ongeveer km 50 tot km 54.

Het rekenmodel waarin alleen het zomerbed wordt geschematiseerd is identiek aan het model dat ook voor het RIZA project is gebruikt. Het rekenrooster wordt in figuur A-1 in bijlage A weergegeven. Het rooster is  $41 \times 126$  ( $n \times m$ ) punten groot, maar het actieve deel blijft beperkt tot het gebied begrensd door de  $n=21$  (rechter oever) en  $n=31$  (linker oever) roosterlijnen. De beginbodempligging is een gemeten bodempligging uit het jaar 1995. De randcondities bestaan uit een debietrand bovenstrooms en een waterstandsrand benedenstrooms. Het debiet is een schematisatie van het debietverloop uit het jaar 1993 en is zodanig geschematiseerd dat delen die niet tot significant transport leiden zijn weggelaten en dat de twee pieken die in werkelijkheid zijn opgetreden tot één zijn samengevoegd. Het debiet is voorts gecorrigeerd voor een deel dat door het winterbed stroomt. Het debietverloop varieert van 50 tot  $2600 \text{ m}^3/\text{s}$ . Het gekozen verloop is als een blokfunctie weergegeven om een quasi-stationaire morfologische simulatie mogelijk te maken.



Figuur 3.1 Het geschematiseerde debietverloop gebruikt voor de ijking afgeleid uit het debietverloop in 1993

In figuur 3.1 is het geschematiseerde verloop van het debiet weergegeven. Het debiet wordt over de instroomrand verdeeld met behulp van de Chézy formule. Met behulp van  $Q-h$



krommen afgeleid uit metingen over een groot aantal jaren van waterstanden en debieten is uit het geschematiseerde debietverloop de bijbehorende waterstand benedenstrooms afgeleid. De aldus verkregen tijdfuncties worden in het model opgelegd.

Voor de bodemruwheid is een constante waarde van de Chézy coëfficiënt gebruikt:  
 $C = 43 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ . Het model is geijkt in het oorspronkelijke project (Sloff en Flokstra, 2000).

Het sedimenttransport wordt bepaald met de Meyer Peter en Müller formule waarin het 'hiding en exposure' effect wordt beschreven met de formule van Ashida en Michiue en de ripple factor afhangt van de momentane  $C_{90}$  ruwheid (ruwheid van bedding gebaseerd op de  $D_{90}$  korreldiameter). Een ijkfactor van 0,5 leidt tot sedimenttransporten van de orde van grootte zoals die zijn gemeten in de Maas.

Er worden 12 sedimentfracties onderscheiden. De initiële samenstelling wordt gelijk genomen aan het waargenomen moedermateriaal, dat in de onderstaande tabel 3.1 wordt weergegeven:

Tabel 3.1 Samenstelling van het moedermateriaal

Klassegrenzen in m	korrelfrequentie
$0,000075 < d_i < 0,00015$	0,0200
$0,00015 < d_i < 0,0003$	0,0433
$0,0003 < d_i < 0,0006$	0,0567
$0,0006 < d_i < 0,001$	0,0233
$0,001 < d_i < 0,002$	0,0633
$0,002 < d_i < 0,004$	0,0900
$0,004 < d_i < 0,008$	0,0867
$0,008 < d_i < 0,016$	0,1033
$0,016 < d_i < 0,032$	0,1900
$0,032 < d_i < 0,064$	0,1667
$0,064 < d_i < 0,128$	0,1567
$0,128 < d_i < 0,181$	0,0000

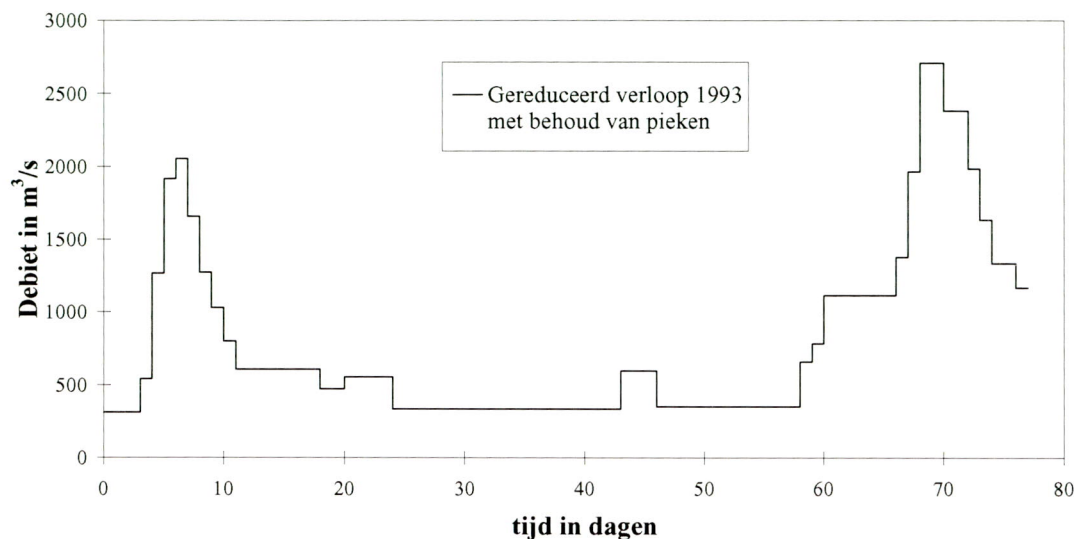
Als rekenmodel wordt voor de morfologie het één-laagsmodel van Ribberink gekozen. Voor verdere details wordt verwezen naar het rapport van Sloff en Flokstra, 2000.

In het tweede rekenmodel wordt uitgegaan van een zomer en een winterbed. De schematisatie ervan is als een resultaat verkregen in het RIZA project waarin aanvankelijk ook is geprobeerd om met zomer- en winterbed een simulatie uit te voeren. Om eerder vermelde redenen zijn toen uiteindelijk alleen voor het zomerbed model simulaties uitgevoerd. Het in figuur A-2 in bijlage A weergegeven rekenrooster geeft de mogelijk actieve rekenpunten aan. Hierbij zijn alleen de meest relevante delen van het winterbed meegenomen. De diverse grootheden hebben bij dit model dezelfde waarden als bij het 'zomerbedmodel'. Alleen de randvoorwaarden voor het debiet en de waterstand zijn aangepast omdat nu ook een deel van het debiet over de uiterwaarden stroomt. Er wordt daarbij uitgegaan van het in figuur 3.1 weergegeven integrale debietverloop. Naast dit debietverloop is ook nog andere schematisatie van het debietverloop in 1993 toegepast



waarbij de optredende pieken niet worden samengevoegd. In figuur 3.2 wordt dit verloop weergegeven, in de onderstaande tekst verder aangeduid als het tweepieks verloop.

### Debiet op de instroomrand



Figuur 3.2 Het geschematiseerde debietverloop gebruikt afgeleid uit het debietverloop in 1993 met behoud van de afzonderlijke pieken (tweepieks verloop)

Het winterbed wordt niet erodeerbaar verondersteld. Dit wordt in het model gerealiseerd door hier initieel alleen sedimentkorrels van de grofste fractie te veronderstellen. In principe laat het model toe dat als op de grove laag fijn sediment wordt afgezet, dit bij volgende hoog waters verplaatst kan worden.

### 3.3.3 Simulatieperiode

De morfologische simulatie wordt quasi-stationair uitgevoerd. Dit houdt in dat de stromingstoestand steeds voor een constant debiet en een vaste waterstand wordt bepaald, waarbij deze waarden afhangen van de opgelegde tijdfuncties bij de in- en uitstroomrand. De stationaire stromingstoestand wordt dan steeds bepaald voordat het sedimenttransport wordt bepaald. Ter verkorting van de rekentijd wordt gedurende een aantal keren de sedimenttransport en bodemliggingsberekeningen uitgevoerd waarbij de berekende debietverdeling en waterstandverdeling constant gehouden. Dit wordt meestal vier keer uitgevoerd. De simulatie wordt gestopt als de eindtijd is bereikt.

### 3.3.4 Testgevallen

Het primaire doel van de testen is vooral geweest om de mogelijke tekortkomingen van het programma vast te stellen. Daarbij is het zomerbedmodel alleen gebruikt om vast te stellen of door de update van Delft3D-GRA de voorgaande resultaten nog worden gereproduceerd. Het model met zomer/winterbed is vooral gebruikt om de tekortkomingen

van het rekenmodel vast te stellen en te verhelpen. De overige uitkomsten van deze testen moeten meer als indicatie worden geïnterpreteerd voor punten die nader onderzoek verdienen dan als leidend tot een eindconclusie. Voorts zijn de testgevallen niet allen met de dezelfde programmaversie uitgevoerd. Het updaten van het Delft3D-GRA is in twee stappen uitgevoerd:

- De eerste update houdt in het gebruik van een nieuwe flow module en het op een analoge wijze aanbrengen van de aanpassingen die al in de uniforme versie Delft3D-MOR zijn aangebracht (Versie A).
- De tweede update houdt aanpassingen van versie A in van vooral formuleringen zodat de simulaties met het zomer/winterbed kunnen worden uitgevoerd.

De volgende testgevallen zijn gebruikt:

A: Het model Roosteren met alleen zomerbed	
A1	Uitgaand van de korrelverdeling zoals verkregen voor het RIZA model wordt deze simulatie herhaald bij dezelfde randcondities (Delft3D-GRA versie A)
A2	Uitgaand van een uniforme begintoestand (Delft3D-GRA versie A)
A3	Herhaling van test A2 maar met de Delft3D-GRA versie B
A4	Herhaling van A3 maar met de White-Colebrook beschrijving van bodemruwheid (Delft3D-GRA versie B)

Het testgeval A1 is bedoeld om na te gaan hoe de korrelverdeling die aan het eind van de RIZA simulatie wordt verkregen afhankelijk is van de initieel ingestelde korrelverdeling. In A2 wordt de RIZA simulatie herhaald maar nu met de programmaversie A. Het testgeval A3 wordt uitgevoerd om het verschil in uitkomsten bij gebruik van versie A of versie B vast te leggen. Testgeval A4 is uitgevoerd om het verschil in ruwheid beschrijving vast te stellen. Aanvankelijk werd het RIZA-project uitgevoerd met gebruik van White-Colebrook. Dit leidde tot soms kleine Chézy waarden die voortijdig afbreken van de simulaties veroorzaakten. Er is toen overgegaan op een constante Chézy waarde.

B: Het model Roosteren met zomer en winterbed	
B1	Een verloop van de afvoer met één extreem (Delft3D-GRA versie B)
B2	Een verloop van de afvoer met twee extremen (Delft3D-GRA versie B)

De testgevallen B1 en B2 zijn gekozen om het effect van de schematisatie van de randvoorwaarden op de resultaten na te gaan. Bij veel simulaties met uniform sediment is in het verleden uitgegaan van een maatgevend debiet. Het schematiseren van een werkelijk opgetreden debietverloop tot een modeldebietverloop kan ook als de randvoorwaarden als tijdsfuncties worden weergegeven in verschillende mate worden uitgevoerd. Van belang is te weten in welke mate door de schematisatie het resultaat wordt beïnvloed. Bij de testgevallen B1 en B2 worden randvoorwaarden gebruikt die zijn gebaseerd op hetzelfde gemeten debietverloop.



### 3.3.5 Resultaten van de morfologische simulaties

#### Testgevallen A

De testgevallen A1 tot en met A4 zijn uitgevoerd met het zomerbed model. Van de berekeningen zijn de resultaten weergegeven in de figuren A-3 tot en met A-11 in bijlage A. Het betreft de langsverlopen van de bodemligging en de gemiddelde korreldiameter  $d_{med}$  ( $D_m$ ) voor een viertal langsraaien, lopend parallel aan de rivieras. Voorts is langs de linker en rechteroever en langs de rivieras de cumulatieve frequentieverdeling van het sediment weergegeven. De cumulatieve verdeling is bepaald van de fijne naar de grove sedimentfractie. De weergegeven grootheden hebben betrekking op het einde van de simulatie.

In de figuren A-3 tot en met A-5 in bijlage A worden de genoemde grootheden met elkaar vergeleken voor de testgevallen A1 en A2. Het verschil tussen beide testgevallen is de initiële korrelverdeling. Het effect van dit verschil blijkt na een jaar simulatie voor deze grootheden betrekkelijk klein te zijn. Daarbij moet wel aangetekend worden dat beginverdeling van A1 verkregen is na een jaar simulatie uitgaand van de dezelfde ruimtelijk uniforme verdeling als bij het testgeval A2 wordt gebruikt.

In de figuren A-6 tot en met A-8 in bijlage A wordt de invloed van verschil in programmaversie, versie A en versie B weergegeven. Het betreft de testgevallen A2 en A3, waarbij alleen de gebruikte programmaversie verschilt. De verschillen tussen de programmaversies worden nader toegelicht bij 'Testgevallen B' hierna. Het resultaat blijkt vooral de rekentijd te betreffen. Het aantal tijdstappen voor dezelfde simulatieperiode blijkt door versie B tot een derde van het aantal bij versie A te zijn teruggebracht. De verschillen tussen de berekende grootheden verkregen na een jaar simulatie blijken betrekkelijk gering te zijn. Het geeft aan dat de gemaakte aanpassingen hier acceptabel zijn. Voor een simulatie beperkt tot alleen het zomerbed mag dit ook verwacht worden.

De figuren A-9 tot en met A-11 in bijlage A geven de invloed weer van de ruwheidsbeschrijving op de resultaten. Het gebruik van een constante Chézy waarde dan wel de White-Colebrook formulering blijkt vergeleken met de vorige verschillen redelijk significante verschillen op te leveren. Bij een variabel debiet en waterstand gebruikt als randvoorwaarden zoals bij de huidige simulatie varieert de Chézy coëfficiënt bepaald met White-Colebrook in de tijd. De in de figuren waargenomen verschillen treden vooral in het instroomdeel van het model op. Hier doet zich zowel voor het testgeval A3 als A4 een storing voor, daar het debiet dat verderop door het model stroomt in dit gebied ook deels over het winterbed zou moeten stromen. Het totale debiet stroomt nu door het zomerbed, waardoor de bodemligging hier ten onrechte meer zal veranderen dan bij het werkelijke gereduceerd debiet.

#### Testgevallen B

Bij de simulatie van de testgevallen B1 en B2 deden zich verschillende moeilijkheden voor die tot aanpassing van het rekenmodel hebben geleid. Uitgaande van programmaversie A is daarmee versie B verkregen. Hieronder volgt een aantal aandachtspunten en aanpassingen.

- De waterstandsverschillen tussen opvolgende tijdsintervallen in de randconditie mogen niet te groot zijn. Dit leidt tot een instabiele stromingsberekening: aanpassing van randvoorwaarde invoerfile
- Om het winterbed te simuleren is uitgegaan van een niet-erodeerbare laag. Deze is gesimuleerd door een grote korreldiameter. Gecontroleerd moet steeds worden of de grootte van de stroomsnelheid in een bepaalde fase van de simulatie niet zodanig groot is dat deze korrels toch getransporteerd worden. Een vergroting van de diameter van de grootste fractie leidt echter ook tot een verandering van de *dmed* ( $D_m$ ) en daarmee tot verandering van het ‘hiding en exposure’ effect op de grootte van het sediment transport.
- Er treedt schietend water in het model op zodat door het Froude effect op de voortplantingssnelheid van de bodemverstoringen grote voortplantingssnelheden ontstaan. Dit heeft tot gevolg dat de simulatie met niet acceptabele kleine tijdstappen moet worden uitgevoerd. Daar de hoge Froude-getallen alleen lokaal voorkomen en het effect op de simulatie daardoor gering is, is in het rekenmodel een begrenzing gesteld aan de invloed van het Froude-getal op de voortplantingssnelheid.
- De ripple factor (verhouding tussen werkelijke ruwheid en ruwheid van korrels) wordt erg groot (orde 5) als een grote korreldiameter ( $D_{90}$ ) wordt gebruikt in de sediment transport relatie MPM2 (bepaald uit  $C_{90}$ ). Dit leidt weer tot kleine morfologische tijdstappen. Dit is ondervangen door in het rekenmodel de ripple factor op één te begrenzen.
- De debietverdeling op de instroomrand geeft Froude waarden  $> 1$ . Daarom is overgegaan tot een andere verdeling waarbij er voor gezorgd is dat het Froude-getal op de uiterwaard niet groter is dan in het zomerbed.
- Om kleine tijdstappen te voorkomen wordt op plaatsen waar de waterdiepte kleiner is dan droogvalwaterdiepte het sedimenttransport nul gesteld. Daar waar schietend water optreedt, wordt om de transporten te beperken een snelheid gebruikt die hoort bij een Froude getal van 0,9.

Testgeval B1 is equivalent aan testgeval A3 met uitzondering van het meenemen van het winterbed en het aanpassen van de randcondities voor in- en uitstroomrand. Bij deze randcondities wordt wel uitgegaan van hetzelfde geschematiseerde debietverloop en Q-h kromme om de waterstand op de benedenrand te bepalen. De resultaten: bodemligging, *dmed* ( $D_m$ ), en korrelfrequentieverdeling worden weergegeven in de figuren A-12 tot en met A-14 in bijlage A. Omdat in de figuren zowel de resultaten van B1 als A3 zijn weergegeven kan het effect van het winterbed op de resultaten eenvoudig worden vastgesteld. Er treden significante verschillen op. De bodemligging blijkt vooral op het instroomdeel te verschillen. Een reden hiervoor is reeds besproken bij het vergelijken van de resultaten van de testgevallen A3 en A4. De waarden van *dmed* laten grote verschillen zien. Dit is te wijten aan de aanwezigheid van alleen grof sediment in het winterbed. Hoewel bedoeld om de bodem in het winterbed niet te laten eroderen strekt de invloed van de grove korrel zich ook uit tot in het zomerbed. Het grote verschil op de langsraaien  $n=22$  en  $n=31$  laat zich verklaren door de beginverdeling waarbij het grove winterbed op een halve rekencel afstand



van  $n=22$  en op anderhalve cel bij  $n=31$ . Voorts is in het zomerbed langs langstraai  $n=31$  voor het grootste deel van de raai het sediment al grof, waardoor het mixen van de korrelsamenstelling op de overgang van zomerbed naar winterbed minder effect heeft dan aan de andere kant van het zomerbed waar voor het merendeel fijn sediment aanwezig is. Het mixen van grof en fijn sediment bij scherpe overgangen heeft invloed op de resultaten. De in de figuren op te merken grote verschillen staan niet noodzakelijkerwijs voor het effect van het winterbed op de resultaten. In de figuren A-18 tot en met A20 in bijlage A zijn enige contourenplots van  $d_{med}$  ( $D_m$ ) opgenomen voor de verdeling ervan in het zomerbed, respectievelijk voor het instroom en uitstroomdeel van het model.

In de figuren A-17 tot en met A-19 in bijlage A zijn de resultaten weergegeven van testgeval B2, waarbij is uitgegaan van een tweepieks-tijdsfunctie van het opgelegde debiet. In de figuren zijn ook opgenomen resultaten van B1 gesimuleerd met een éénpieks-debiet. Naast dit verschil is ook nog een verschil in de grofste korreldiameter aanwezig, bij testgeval B1: 0.15 m., en bij testgeval B2: 0.3 m. Deze vergroving bij testgeval B2 is uitgevoerd omdat bij B1 nog transport van de grofste fractie voorkomt. De invloed van de debietschematisatie op de bodemligging aan het eind van de simulatie blijkt dus minimaal te zijn evenals het overgaan op de grove korrel. Het verloop  $d_{med}$  laat grotere verschillen zien. Langs de overgangen van zomerbed naar winterbed is weer duidelijk het effect op  $d_{med}$  te zien van de vergroving van de grofste fractie. In het binnengebied van het zomerbed is verschil in  $d_{med}$  te zien, die beduidend minder sterk is dan het verschil tussen A3 en B1, te zien in figuur A-13. De berekende cumulatieve korrelfrequenties laten voor B1 en B2 slechts beperkte verschillen zien. De betrekkelijk geringe verschillen tussen de resultaten van B1 en B2 doen vermoeden dat de grote verschillen tussen de resultaten van testgeval A3 en B1 vooral door het winterbed worden veroorzaakt.

Het weergeven van niet-erodeerbare lagen en van overgangen met een groot diepteverschil en verschil in korrelsamenstelling vraagt nog nader onderzoek. In deze studie zijn deze problemen niet nader onderzocht.

### 3.4 Conclusies

Het updaten van Delft3D-GRA heeft duidelijk geleid tot een versie waarmee een aantal sterke beperkingen zijn opgelost, zodat een situatie met zomer- en winterbed kan worden gesimuleerd. Voorts is de bepaling van de spiraalstroming aanmerkelijk robuuster geworden dan in het verleden het geval was. De tijdsfunctie voor de randvoorwaarden kan over een aanmerkelijk lange periode lopen.

De beperkingen aangebracht voor de invloed van een hoog Froude getal en een begrensde ripple factor geven een opmerkelijke reductie van de rekentijd zonder dat de resultaten sterk beïnvloed worden.

Er zijn slechts een beperkt aantal testgevallen gesimuleerd, meer om de werking van het rekenprogramma te verbeteren, dan om uitgebreid dan wel definitieve conclusies te trekken. Desondanks geven de testgevallen toch relevante indicaties:

- De invloed van winterbed op het morfologisch gedrag van het zomerbed is nogal groot. Volstaan met een simulatie van alleen het zomerbed is daarom niet aan te bevelen.

- De ruwheidbeschrijving in het model kan tot significante verschillen leiden.
- Bepaalde schematisaties als van het debietverloop laten betrekkelijke grote schematisaties toe.
- De beschrijving van een niet-erodeerbare laag in het rekenmodel dient nader te worden bekeken, evenals grote overgangen in gemiddelde korreldiameters.

Voor 2001 wordt beoogd de verkregen Delft3D-GRA versie toe te passen voor het splitsingspunt de Pannerdense Kop, en vervolgens de daarvoor benodigde aanpassingen in het instrumentarium te realiseren.





## 4 Oevererosie

### 4.1 Inleiding

In rivieren beïnvloeden oevererosie en morfologie elkaar sterk. Rivieroevers eroderen onder invloed van waterbeweging en bodemligging. Het geërodeerde oevermateriaal komt in de rivier terecht en gaat daar deel uitmaken van het sediment dat door het stromende water wordt getransporteerd. Ten behoeve van het modelleren van deze morfologische effecten van oevererosie is een aanpassing in Delft3D-MOR gemaakt waarmee het mogelijk is om oevererosie (langs de buitenranden van het model) als sedimentbron in rekening te brengen.

De wens tot het modelleren van oevererosie in Delft3D komt voort uit eerdere projecten in Bangladesh alsmede andere landen. De hier gekozen implementatie is gebaseerd op een in 1994 ontwikkeld concept en wijkt enigszins af van de voorstellen gedaan in bijlage D van het rapport Verheij (1999). In dat rapport worden twee alternatieven beschouwd: ten eerste, een beperkte Delft3D functionaliteit met adaptief rooster ten behoeve van meanderende rivieren (Miandras-achtige functionaliteit), ten tweede, modellering van interne oevers zonder rooster adaptatie. In de huidige opzet kan alleen de oevererosie langs de buitenranden van het model bepaald worden, waarbij het rooster niet veranderd wordt. Daar in Delft3D-MOR met een orthogonaal, boundary-fitted coördinaten-stelsel gewerkt wordt, zou dat namelijk inhouden dat na elke berekening van de oevererosie een nieuw rooster bepaald zou moeten worden. Deze aanpassingen zouden een aanzienlijke inspanning vergen ten aanzien van de theorie van het automatisch genereren van een nieuw rooster met behoud van orthogonaliteit. Daarom is voor de volgende werkwijze besloten:

1. Maak een morfologische simulatie voor een vast rooster. Bepaal in deze simulatie de grootte van de oevererosie, maar laat wel de oever op de vaste plaats liggen. Neem echter wel het geërodeerde sediment van de oever in de massabalans op, zodat daarmee wel de bodemligging beïnvloed wordt.
2. Bepaal off-line met de bij 1. berekende oevererosie de nieuwe ligging van de oevers. Maak voor deze oevers een nieuw rooster.
3. Interpoleer de gegevens van de vorige run naar het nieuwe rooster.
4. Herhaal de cyclus 1 tot 3 voor de nieuwe situatie.

In het onderstaande wordt nader ingegaan op de aanpassingen van Delft3D-MOR voor stap 1.

Bijlage C, paragraaf C.1 bevat een memo over de te verwachten problemen ten aanzien van de implementatie van een Miandras-achtige functionaliteit in Delft3D. Bijlage C, paragraaf C.2 bevat een memo over de mogelijkheid om de oevererosie uit te breiden tot oevers in het interne modelgebied en/of met roosteradaptatie. Gezien de voorziene problemen en beperkingen is de voorlopige conclusie dat roosteradaptatie relatief teveel inspanning kost. De simulatie van erosie van interne oevers, welke met een geringere inspanning is te realiseren, is daarentegen zeer gewenst.



## 4.2 Formulering

De verplaatsing van de oever wordt bepaald op basis van de bodemschuifspanning

$$\frac{dn}{dt} = \text{Max} \left[ \frac{E}{\rho} (\alpha \tau_b - \tau_c), 0.0 \right] \quad (1)$$

waarin:

n	de zijwaartse verplaatsing
E	ruimte-afhankelijke coëfficiënt
$\tau_b$	bodemschuifspanning
$\tau_c$	kritieke schuifspanning (begin van beweging)
t	tijd

In de programma code worden bepaald

$$\frac{dn_\xi}{dt} = \frac{|u|}{\sqrt{u^2 + v^2}} \frac{dn}{dt}$$

$$\frac{dn_\eta}{dt} = \frac{|v|}{\sqrt{u^2 + v^2}} \frac{dn}{dt}$$

waarin:

$n_\xi, n_\eta$	componenten van de oeeververplaatsing (normaal op aangegeven richting)
u	dieptegemiddelde snelheid in $\xi$ -richting
v	dieptegemiddelde snelheid in $\eta$ -richting

Door E in het veld ongelijk nul te kiezen kan aangegeven worden waar oeevererosie moet worden bepaald. De bovenstaande grootheden wordt in het hele veld bepaald. Dit wordt uitgevoerd in de transportmodulen TRSTOT en TRSSUS. Daardoor is het mogelijk ook om in de toekomst ook voor interne randen de erosiesnelheid te bepalen (bijvoorbeeld bij de overgang zomerbed winterbed).

In de module BOTTOM wordt het effect op de bodemligging bepaald. Dit is in deze module alleen nog mogelijk waar in het rekenmodel een vaste rand ligt inclusief eilanden die in het binnengebied liggen.

Per morfologische tijdstap  $\Delta t_s$  wordt de erosie van de oever bepaald voor elk randpunt van de gesloten randen:

$$\Delta n = \Delta t_s \frac{\partial n}{\partial t}$$

Het effect van deze verschuiving  $\Delta n$  op de bodemligging wordt geconcentreerd op het rekenpunt dat op de rand ligt.

$$\Delta z_b = \frac{\Delta n \Delta l (h_{bank} - z_b)}{\Delta O}$$

waarin:

$\Delta z_b$	verandering van de bodemligging door oevererosie
$\Delta l$	elementaire oeverlengte waarover de erosie plaats heeft
$\Delta O$	elementaire oppervlak van de rekencel waarover het geërodeerde sediment neerslaat.
$z_b$	bodemligging op de rand
$h_{bank}$	ligging van de bovenzijde oever ten opzichte van het referentieniveau

In de volgende morfologische tijdstappen wordt dit geërodeerde sediment naar het binnengebied getransporteerd.

Het geërodeerde sediment wordt toegevoegd aan de sedimentbalans, maar de ligging van de oever wordt niet aangepast. Per randpunt wordt wel bijgehouden hoeveel de totale verplaatsing van de oever  $n_{totaal}$  tijdens de morfologische simulatie is geweest:

$$n_{totaal} = \sum_{i=1}^{N_{morf}} \Delta n_i$$

waarin:

$N_{morf}$	het aantal uitgevoerde morfologische tijdstappen
$\Delta n_i$	de $\Delta n$ van de $i^{de}$ morfologische tijdstap

## 4.3 Wijziging invoer en uitvoer

### 4.3.1 Inleiding

De invoer van Delft3D-MOR wordt ten behoeve van de oevererosie aangepast. Daarbij wordt het concept gevolgd zoals deze in de bodemschermen versie is toegepast: in de md-tran invoerfile wordt aangegeven welke opties van toepassing zijn op de simulatie en de namen van de betreffende invoerfiles worden gespecificeerd.

In geval van oevererosie bestaat de invoer uit twee gedeelten:

- data opgegeven in de file die wordt vermeld in de md-tran file, en
- data opgegeven in de md-bott file.

### 4.3.2 Aanpassing van de md-tran invoer file

De aanpassingen in de md-tran file zijn beperkt tot twee regels:

#### record 1

Het eerste record van de md-tran file omvatte tot nu toe alleen de variabele



## MODSDA

Dit is nu veranderd in

MODSDA OPTIE1 OPTIE2 ... [ni]

waarin MODSDA de originele betekenis heeft.

Indien er opties actief zijn, worden de nummers van deze opties na MODSDA aangeven:  
OPTIE1 , ....

De mogelijke opties zijn:

Optie

1. bodemschermen type 1
2. bodemschermen type 2
3. oevererosie

Bij dit record moet er opgelet worden dat er geen commentaar in de regel mag worden opgenomen dan na een '\*'. Geen optie actief is toegestaan.

## record 12

Record 12 is nieuw en omvat evenveel velden als er opties geactiveerd zijn in record 1.

Record 12.1: FILE\_optie\_1 {C1}[a20]

|  
Record 12.m: FILE\_optie\_m {Cm}[a20]

{C1}	OPTIE1 actief
{Cm}	OPTIE <sub>m</sub> actief

In records 12.1 tot record 12.m worden de bestandsnamen aangegeven van de inputfiles die bij de m actieve opties horen in de volgorde waarin deze opties in record 1 zijn gespecificeerd. Het formaat van de records is a20.

De inhoud van de files met de naam gespecificeerd in record 12.1 t/m. 12.m hangt af van de betreffende optie. Nu volgt de inhoud van de file die betrekking heeft op de oevererosie optie.

### 4.3.3 Oevererosie invoerfile

De invoerfile voor de oevererosie file met een naam gespecificeerd in de md-tran file heeft de volgende inhoud:

Record 1:	EROSIEC	[r]
EROSIEC	erosiecoëfficiënt E van formule (1)	
	EROSIEC > 0.0	uniforme verdeling van E in rekengebied gelijk aan

	EROSIEC = 0.0	de opgegeven waarde	
	EROSIEC < 0.0	niet-uniforme verdeling van E	
		niet-uniforme verdeling van E gelezen van	
		afzonderlijke file	
Record 2:	EROVAR		{C} {R} [ra]
{C}	EROSIEC = 0.0		
{R}	1:NMAX,1:MMAX		
EROVAR	niet-uniforme verdeling van E in formule (1)		
Record 3:	EROFIL		{C} {R} [ra]
{C}	EROSIEC < 0.0		
{R}	1:NMAXUS,1:MMAX		
EROFIL	filenaam van de file die de niet-uniforme verdeling E van formule (1) bevat		
Record 4:	TAUERO		[r]
TAUERO	erosiecoëfficiënt $\tau_c/\rho$ van formule (1)		
	TAUERO > 0.0	uniforme verdeling van tau_kritiek in rekengebied	
		gelijk aan de opgegeven waarde	
	TAUERO = 0.0	niet-uniforme verdeling van tau_kritiek	
	TAUERO < 0.0	niet-uniforme verdeling van tau_kritiek gelezen	
		van afzonderlijke file	
Record 5:	TAUEROV		{C} {R} [ra]
{C}	TAUERO = 0.0		
{R}	1:NMAX,1:MMAX		
EROVAR	niet-uniforme verdeling van $\tau_c/\rho$ van formule (1)		
Record 6:	TAUEROF		{C} {R} [a]
{C}	(TAUERO < 0.0)		
{R}	(1:NMAXUS,1:MMAX)		
TAUEROF	filenaam van de file die de niet-uniforme verdeling $\tau_c/\rho$ bevat		
Record 7:	ALFERO		[r]
ALFERO	erosiecoëfficiënt $\alpha$ van formule (1)		

De samenstelling van de files gespecificeerd in de records 3 en 6 is volgens de TRSTOT/TRSSUS conventie.

#### 4.3.4 Aanpassing van de md-bott invoer file

De standaard invoerfile md-bott van de module BOTTOM wordt ten behoeve van de oevererosie uitgebreid. Toegevoegd worden tussen de records 4 en 5 de volgende records die alleen aanwezig mogen zijn als de oevererosie optie actief is.

Record 4a:	NNBANK	[i]
NNBANK	aantal punten waarin de hoogte van de oever wordt opgegeven bij record 4b	



Record 4b:	NBANK(I) MBANK(I) HBANK(I)	[i][i][r]
{S}	NBANK	
NBANK(I)	n index van roosterpunt op de rand waar oeverhoogte wordt gegeven	
MBANK(I)	m index van roosterpunt op de rand waar oeverhoogte wordt gegeven	
HBANK(I)	oeverhoogte in m ten opzichte van het bodemreferentieniveau, <i>positief naar boven</i>	

De oeverhoogte wordt voor hier niet opgegeven randpunten lineair geïnterpoleerd, of, indien interpolatie niet mogelijk is, gelijk genomen aan de aangrenzende beschikbare waarden.

Het niet erodeerbaar zijn van bepaalde oevergedeelten wordt bepaald door E waarden gespecificeerd in de invoerfile beschreven in de vorige paragraaf.

#### 4.3.5 Beschrijving van de uitvoer

Door de oevererosieoptie wordt bepaald hoeveel de oever tijdens de simulatieperiode verschuift. De totale verschuiving wordt op de com-file opgeslagen in de groep BKEROSIE. Per roosterpunt van de dichte rand worden twee horizontale verplaatsingen gegeven in het lokale coördinatenstelsel zijn uitgedrukt.

Diverse meldingen van fouten zijn mogelijk.

##### Communicatie file

Ten behoeve van de optie oevererosie is de communicatie file uitgebreid met een tweetal groepen. De BKEROSIE groep geeft informatie over de cumulatieve oeverlijnverschuiving. De arrays bevatten alleen informatie voor de bodempunten langs de dichte randen van het model.

Groep:	BKEROSIE
Elementen:	NBNDC MBNDC DNBNDX DNBNDY
NBNDC	n index van roosterrandpunt
MBNDC	m index van roosterrandpunt
DNBNDX	oeververplaatsing in $\xi$ - richting in m
DNBNDY	oeververplaatsing in $\eta$ - richting in m

De BKEROTIM groep verzorgt de communicatie tussen de transport en bodem modules. Deze informatie beslaat zowel de randpunten en interne punten. De gegevens zijn gedefinieerd in de waterstandspunten.

Groep:	BKEROTIM
Elementen:	TSEDB TSEDE DTSI DNXI DNYI DNXA DNYA
TSEDB	begintijdstip van transport interval [tscale]
TSEDE	eindtijdstip van transport interval [tscale]
DTSI	inspeeltijd [tscale]
DNXI	oeververplaatsing in $\xi$ -richting gedurende inspeeltijd [m]
DNYI	oeververplaatsing in $\eta$ -richting gedurende inspeeltijd [m]
DNXA	gemiddelde oeververplaatsingssnelheid in $\xi$ -richting buiten inspeeltijd [m/s]

DNYA            gemiddelde oeververplaatsingssnelheid in  $\eta$ -richting buiten inspeeltijd  
[m/s]

Ten behoeve van de algemene optie beschrijving is eerder de volgende groep toegevoegd:

Groep:            MOROPTION  
Element:        LISOPT  
LISOPT           bevat het al dan niet actief zijn van de morfologische opties (0/1)

#### Bottom map file

Ten behoeve van de optie oevererosie is de uitvoer op de bottom map file uitgebreid met een tweetal groepen: BKER\_INFO en BKER\_DATA. De eerste groep bevat tijdsafhankelijke data.

Groep:            BKER\_INFO  
Elementen:       NCLOS IBNDC NNBND NCNDC MBNDC NTPC  
NCLOS            number of closed boundaries [-]  
IBNDC            index array of nbndc and mbndc [-]  
NNBND            number of closed boundary points [-]  
NCNDC            n-coordinate of closed boundary point [-]  
MBNDC            m-coordinate of closed boundary point [-]  
NTPC            type of closed boundary point [-]

De tweede groep bevat tijdsafhankelijke data en deze wordt naar de bottom map file weggeschreven om deze momenten als de overige informatie naar deze file wordt geschreven.

Groep:            BKER\_DATA  
Elementen:       DNXI DNYI DNXA DNYA BERX BERY DNBKX  
                    DNBKY  
DNXI            Initial integrated bank erosion in ksi-direction [m]  
DNYI            Initial integrated bank erosion in eta-direction [m]  
DNXA            Averaged bank erosion in ksi-direction [m/s]  
DNYA            Averaged bank erosion in eta-direction [m/s]  
BERX            Bank erosion in ksi-direction during time step [m]  
BERY            Bank erosion in eta-direction during time step [m]  
DNBKX           Total bank erosion in ksi-direction [m]  
DNBKY           Total bank erosion in eta-direction [m]

Met uitzondering van de laatste twee grootheden, welke alleen voor de bodempunten langs de dichte modelranden zijn gegeven, worden de variabelen in alle actieve waterstandspunten bepaald en weggeschreven.



## 4.4 Beschrijving van aanpassingen van code van Delft3D-MOR

### 4.4.1 Inleiding

Voor het opnemen van het hiervoor beschreven model van oevererosie in Delft3D-MOR, worden veranderingen en uitbreidingen aangebracht in de modules:

MAIN  
TRANSP (TRSTOT en TRSSUS)  
BOTTOM

Daarnaast zijn de invoerfiles aangepast en is de com-file uitgebreid. De uitbreiding is zodanig uitgevoerd dat de oevererosie optie als optie naast de bestaande opties voor bodemschermen kan worden gebruikt:

optie 1: bodemschermen type 1  
optie 2: bodem en oppervlakteschermen type 2  
optie 3: oevererosie

Bij de opzet van de schermen optie is de originele Delft3D-MOR code zo aangepast dat de bestaande routines zo weinig mogelijk hoeven te worden aangepast. Met de array lisopt wordt aangegeven dat een optie actief is en met optnam wordt de betreffende invoer file aangegeven.

In het onderstaande worden de veranderingen in de code kort beschreven. De aanpassingen zijn gebaseerd op de code van de bodemschermen-versie. Niet expliciet genoemd in de onderstaande wijzigingen zijn het toevoegen van type- en dimensie declaraties variabelen en het updaten van het commentaar.

Bij de implementatie is ervoor gekozen om de oevererosieformule (1) onder te brengen in een aparte routine BNKERO om eenvoudige uitbreiding naar meer complexe oevererosie modellen mogelijk te maken. De laatste paragraaf van dit hoofdstuk gaat dieper in op deze routine.

### 4.4.2 Aanpassing van de stuurmodule MAIN

Van de stuurmodule worden de onderstaande routines aangepast dan wel toegevoegd.

Routine name	Change date	Changes
INIBOT	4/12/2000	Dummy read bank erosion parameters from md-bott file. Call to POIBKB added (pointering bankerosion arrays).
POIBKB	4/12/2000	New: allocate memory for the bankerosion arrays that are used by the BOTTOM module only.
POIBKE	4/12/2000	New: allocate memory for the bankerosion arrays that are used by both TRANSP and BOTTOM modules.
POITR1	4/12/2000	Call added to POIBKE.
POITR3	4/12/2000	Call added to POIBKE.

#### 4.4.3 Aanpassing van de transportmodules TRSTOT en TRSSUS

De routines worden overgenomen van de schermen versie. Alleen de onderstaande routines worden aangepast of als nieuw toegevoegd.

Routine name	Change date	Changes
BEDCNA	4/12/2000	lisopt, parvar, erosie, dnx, dny added to header. lisopt, parvar, erosie, dnx, dny added to call of SEDBDC. Bankline shift management added.
BEDCNC	4/12/2000	lisopt, parvar, erosie, dnx, dny added to header. lisopt, parvar, erosie, dnx, dny added to call of BEDCNA.
BNKEIN	4/12/2000	New: reads input data of bank erosion option from separate input file
BNKERO	4/12/2000	New: computes the local bank erosion. Default implementation, in the future: user specified.
INFILB	4/12/2000	New: fill data array with constant or using field from file.
INTMBB	4/12/2000	New: initialize bank erosion variables.
MKPBKE	4/12/2000	New: 'pointering' of bank erosion parameters.
MOWMFE	4/12/2000	New: writing transport rates time-integrated or averaged map output to communication file. **Actually this file is already in the Delft3D-MOR source: only the parameter description is updated.
READNN	4/12/2000	Deal with inline comment starting with *.
SEDBDC	4/12/2000	lisopt, parvar, erosie, dnx, dny added to header. Call to BNKERO added.
TRSEDA	4/12/2000	lisopt, parvar, erosie, dnx, dny added to header. lisopt, parvar, erosie, dnx, dny added to call of BEDCNC.
TRSEDC	4/12/2000	lisopt, parvar, erosie, dnx, dny added to header. lisopt, parvar, erosie, dnx, dny added to call of BEDCNC.
TRSSUS	4/12/2000	Calls to MKEBKE, BNKEIN and INTMBB added. lisopt, parvar, erosie, dnx, dny added to call of TRSEDC. Extra call to COLLC1 for dnx,dny and dnxa,dnya. Call to MOWMFE added.
TRSTOT	4/12/2000	Calls to MKEBKE, BNKEIN and INTMBB added. lisopt, parvar, erosie, dnx, dny added to call of TRSEDA. Extra call to COLLC1 for dnx,dny and dnxa,dnya. Call to MOWMFE added.

#### 4.4.4 Aanpassingen van de BOTTOM module

Ook voor de BOTTOM module wordt uitgegaan van bodemschermen versie. Er is er naar gestreefd om de opties zo onafhankelijk mogelijk van elkaar te laten werken. Een aantal nieuwe routines zijn toegevoegd die specifiek op oevererosie betrekking hebben.

Routine name	Change date	Changes
BOTADG	4/12/2000	New: prepare administration for bank erosion.
BOTINI	4/12/2000	lisopt, nnbank, nbank, mbank, hhhbank added to header. Reading of bankerosion data from md-bott input file.
BOTINE	4/12/2000	New: Compute bank elevation along model boundary.



Routine name	Change date	Changes
BOTMAN	4/12/2000	Call added to MOWMFE. lisopt, nbndc, mbndc, ntype, nnbndc, ibndc, nclos, hbank, hhhbank, nnbank, nbank, mbank, sbndc, dnxi, dnyi, dnxa, dnxa, berx, bery, dnbknx, dnbkny, comfil added to call of BOTTOM.
BOTMAP	20/12/2000	ntmbot added to header. Returns the number of the cell to which the data is written.
BKMAP	20/12/2000	New: Write nbndc, mbndc, nnbndc, ntype, dnbknx, dnbkny, ibndc, nclos, berx, bery, dnxi, dnyi, dnxa, dnxa to botm-file.
BOTOUT	20/12/2000	nbndc, mbndc, nnbndc, ntype, dnbknx, dnbkny, ibndc, nclos, berx, bery, dnxi, dnyi, dnxa, dnxa, lisopt added to header. ntmbot added to call of BOTMAP. BKMAP writes to the same cell as BOTMAP; ntmbot contains the cell number. Call to BKMAP added if lisopt(3).
BOTTOM	4/12/2000  20/12/2000	lisopt, nbndc, mbndc, ntype, nnbndc, ibndc, nclos, hbank, hhhbank, nnbank, nbank, mbank, sbndc, dnxi, dnyi, dnxa, dnxa, berx, bery, dnbknx, dnbkny, comfil added to header. lisopt, nnbank, nbank, mbank, hhhbank added to calls of BOTIN1. Calls to BOTADG, BOTINE, RESTRE, SHBANK, BOTTRE. nbndc, mbndc, nnbndc, ntype, dnbknx, dnbkny, ibndc, nclos, berx, bery, dnxi, dnyi, dnxa, dnxa, lisopt added to call of BOUTOUT.
BOTTRE	4/12/2000	New: Computation of new bed levels in points near bank erosion.
RESTRE	4/12/2000	New: Compute integrated bed shear stress for bank erosion.
SHBANK	4/12/2000  20/12/2000	New: Compute total bankline shift and output to communication file. Updated computation method using ntype.

#### 4.4.5 De routine BNKERO

De snelheid waarmee de oever erodeert (volgens vergelijking (1)), wordt bepaald in de routine BNKERO. De header van deze routine is algemeen gehouden om de gebruikte formulering zo eenvoudig te kunnen vervangen door een meer uitgebreide versie. Hiertoe zijn voorlopig de volgende variabelen beschikbaar:

ALPHA2	$g/C^2$
ASHLD	bodemhelling correctie coëfficiënt
BDLOAD	geeft aan of bedload transport meedoet in de berekening.
BSHLD	bodemhelling correctie coëfficiënt
CHEZY	(gemiddelde) Chézy ruwheidswaarde
D50	(eerste) gemiddelde korreldiameter
D90	(eerste) met 10% kans overschreden korreldiameter
DP	bodemligging
DPF	ligging van de vaste laag
DX	twee keer de celgrootte in $\xi$ richting
DY	twee keer de celgrootte in $\eta$ richting



DZBX	bodemgradiënt in $\xi$ richting
DZBY	bodemgradiënt in $\eta$ richting
EROSIE	erodeerbaarheid oever
ESPIR	correctiefactor spiraalstromingsintensiteit
EVAST	coëfficiënt voor de effectieve transportlaagdikte op vaste laag
FYTA	transport correctie coëfficiënt
H	waterdiepte
KODE	vlag voor actieve punten ( $>0$ ), en permanent ( $=0$ ) en tijdelijk ( $<0$ ) inactieve punten.
LISOPT	vlag array voor morfologische opties
LSEC	vlag voor spiraalstromingseffect op bodem/totaal transport
M,N	positie in roostercoördinaten
MODSUS	type advec-diff vergelijking
NVAST	vlag voor vaste laag
PARSED	parameters sediment transport relatie
PARVAR	algemene morfologische parameters
RSI	spiraalstromingsintensiteit
SECOND	vlag voor spiraalstromingseffect op zwevend transport
UU	stroomsnelheid in $\xi$ richting
VV	stroomsnelheid in $\eta$ richting
US	stroomsnelheid

## 4.5 Nabewerking oevererosie resultaten

### 4.5.1 Inleiding

Ten behoeve van de nabewerking van de resultaten is een nieuw programmaatje BANKCO ontwikkeld. Dit programma leest de oeverlijnverschuiving data van de communicatie file en maakt op basis van deze gegevens twee invoer files aan ten behoeve van het rooster-generatie programma GRID2D. De uitvoer van het programma bestaat uit drie files:

1. de bankco.out file
2. de .inp file
3. de .bnd file

Hieronder wordt de invoerfile bankco.in en de uitvoerfile bankco.out beschreven. De .inp file bevat de informatie over het aantal gridpunten langs de buitenrand van het model. De .bnd file bevat de coördinaten van de modelrand. Voor een volledige beschrijving van de samenstelling van de .inp en .bnd file wordt verwezen naar de GRID2D handleiding.

### 4.5.2 Invoerfile bankco.in

Het programma BANKCO heeft de invoerfile 'bankco.in' met de volgende invoer:

Record 1: Case [a3]  
Case is de identificatie van communicatie file die Delft3D-MOR is gegenereerd.

Record 2: Bndnam [a30]

Bndnam is de naam van de .bnd input file die door het roostergeneratie programma GRID2D wordt gebruikt. De file wordt door BANKCO gevuld.

Record 3: Itypb [i]

Itypb is een optie van de roostergeneratie zoals in GRID2D gebruikt zal worden:

Itypb = 1 de opgegeven x,y coördinaten van de randpunten worden gedurende de roostergeneratie aangepast.

Itypb = 2 de opgegeven x,y coördinaten van de randpunten worden gedurende de roostergeneratie niet aangepast.

Record 4: Inpnam [a30]

Inpnam is de naam van de .inp input file die door het roostergeneratie programma GRID2D wordt gebruikt. De file wordt door BANKCO gevuld.

Record 5: Txt [a72]

Txt bevat de titel van het model.

Deze titel is het eerste record van de .inp file

### 4.5.3 Uitvoerfile bankco.out

De bankco.out file heeft de volgende samenstelling:

per randdeel:

no	n	m	x_old	y_old	x_new	y_new
----	---	---	-------	-------	-------	-------

waarbij

no	volgnummer
n	n index van het bodemroosterpunt op de rand
m	m index van het bodemroosterpunt op de rand
x_old	oorspronkelijke x-coördinaat van het randpunt
y_old	oorspronkelijke y-coördinaat van het randpunt
x_new	x-coördinaat van het randpunt na oevererosie
y_new	y-coördinaat van het randpunt na oevererosie

## 4.6 Testen en resultaten

Er zijn een tweetal testen uitgevoerd gebaseerd op de geometrie van de Olesen goot. De bijbehorende figuren zijn gepresenteerd in bijlage C, paragraaf C.3. In figuur C-1 is de geometrie aangegeven. De stroomrichting is van rechtsboven naar rechtsonder. De waterdiepte is ongeveer 11 cm, terwijl de wanden van de Olesen goot 1 m hoog verondersteld zijn met een erodeerbaarheid van 0,0001. Ten opzichte van een model met een wandhoogte van ongeveer 10 cm en een erodeerbaarheid van 0,001 is het gebruikte model minder gevoelig voor de variatie in oeverhoogte ten gevolge van erosie en sedimentatie.

In eerste instantie is een model gebruikt met een uniforme erodeerbaarheid van 0,0001 tot aan de instroomrand. Doordat geërodeerd oevermateriaal de bodempunten op de instroomrand ophooft terwijl de debietverdeling uniform blijft, ontstaat er een instabiliteit nabij de



instroomrand. Bij het omhoog komen van de bodem in de cellen nabij de oevers neemt, bij gelijkblijvend debiet, de stroomsnelheid toe. Hierdoor neemt ook de erosie en de aanzanding toe. Deze instabiliteit breidt zich geleidelijk uit. Dit is aangegeven in figuur C-2.

In de tweede test is benedenstrooms van  $m=180$  de erodeerbaarheid gelijk genomen aan 0,0001 en bovenstrooms daarvan lineair afnemend tot 0 voor  $m=199$ . Voor het laatste gridpunt ( $m=198$ ) resteert dus nog steeds een kleine erodeerbaarheid, maar de simulatie blijft redelijk stabiel. In figuur C-3 is de nieuwe fictieve oeverlijn aangegeven als een dikke lijn. Deze lijn is bepaald op basis van de simulatie uitvoer met behulp van het programma BANKCO. In figuur C-4 zijn een drietal gebieden uitvergroot weergegeven. In figuur C-5 is de oeverlijn verschuiving in de tijd op een viertal punten langs linker en rechteroever weergegeven. In figuur C-6 is de uiteindelijke bodemligging aangegeven voor een viertal dwarsraaien. In de volgende alinea's zullen deze figuren worden toegelicht.

Nabij de instroomrand is de bodemontwikkeling nog steeds instabiel zoals duidelijk te zien is in de bovenste plot van figuur C-6. De linker en rechter oever verschuiven symmetrisch zoals te zien in de bovenste plot van figuur C-5. Waarschijnlijk hangt de instabiliteit samen met de nog resterende erodeerbaarheid op de instroomrand.

In gebied A, bij het ingaan van de bocht is de erosie van de linker (binnenbocht) oever groter dan die van de rechter oever. Op deze plek heeft is er nog een pointbar die de oever langs de binnenbocht beschermt. In gebied B heeft zich een duidelijke pointbar gevormd. De erosie langs de linker oever is een stuk kleiner dan de erosie langs de rechter oever.

In gebied C wisselt de erosie weer van oever zodat aan de benedenstroomse zijde de linker oever weer groter is. Samen met de vorming van een ondiepte aan de rechter kant van de goot, zou dit de aanzet vormen tot meander ontwikkeling wanneer de oever daadwerkelijk zou bewegen.





## 5 QH en Qtotaal randen

### 5.1 Inleiding

In 2D rivierentoepassingen met het modelinstrumentarium Delft3D is het vaak noodzakelijk om met Q/h-relaties aan uitstroomranden en een verdeling van debieten over de breedte van de instroomrand te rekenen. In Delft3D zijn nog geen voorzieningen waarmee dit automatisch kan worden gerealiseerd, zoals dat wel kan in het 2D stromingspakket WAQUA. In Delft3D moeten op dergelijke randen handmatig (soms iteratief) de debieten en waterstanden worden opgelegd per rekenpunt. In overeenstemming met de functionaliteit in WAQUA is nu een uitbreiding in Delft3D (research versie) geïmplementeerd waarbij zowel de QH-randen (Q/h-relaties) als de Qtotaal randen (automatische debietverdeling op instroomranden) zijn ingebracht (voor zowel in- als uitstroom randen).

De nieuwe randen functionaliteit kan in de release notes worden omschreven als:

- Two new boundary types have been introduced: QH boundaries and Q-total boundaries.

### 5.2 Interactie

#### 5.2.1 Inleiding

De QH-randen zijn geïmplementeerd als een nieuw forcing-type voor de bestaande waterstandsranden (Z). De Q-totaal randen zijn als nieuw type rand toegevoegd.

#### 5.2.2 Invoer

Een QH rand dient gespecificeerd te worden door de keuze voor een waterstandsrand met QH forcing in de BND-file. De QH forcing wordt aangegeven met de letter Q. Bijvoorbeeld:

open	rand	nummer	2	Z	Q	22	2	22	21	100.	Uniform
------	------	--------	---	---	---	----	---	----	----	------	---------

Een Q-totaal rand dient gespecificeerd te worden door de keuze voor een totaal-debiet rand (hetgeen wordt aangegeven met de letter T) en een van de bestaande forceringen (tijdreeks, harmonisch, astronomisch). Bijvoorbeeld:

open	rand	nummer	1	T	T	1	2	1	21	0.	Uniform
------	------	--------	---	---	---	---	---	---	----	----	---------

Harmonisch/astronomisch geforceerde randen dienen vóór QH-randen gespecificeerd te worden en QH-randen dienen vóór tijdreeks-geforceerde randen gespecificeerd te worden.

De invoer voor de totaal-debiet randen heeft dezelfde vorm als de invoer voor de reeds bestaande randen. Dat wil zeggen er dienen waarden gespecificeerd te worden voor beide einden van het randsegment. Alleen de eerste waarde wordt gebruikt.

De invoer voor de QH-geforceerde waterstandsranden geschiedt via een extra invoer file: BCQ file. De naam van de file dient in de MDF file gespecificeerd te worden met behulp van het keyword FilbcQ. Bijvoorbeeld:

---

```
FilbcQ= #b7u.bcq      #
```

---

De opzet van de BCQ file is analoog aan die van de BCT file. Met dien verstande dat alle tijd-gerelateerde keywords zijn verdwenen en er slechts twee parameters (debiet en waterstand) per record gespecificeerd dienen te worden. Bijvoorbeeld

---

table-name	'Boundary Section : 2'		
contents	'Uniform		
location	'open rand nummer 2		
interpolation	'linear'		
parameter	'total discharge (t)'		unit '[m**3/s]'
parameter	'water elevation (z)'		unit '[m]'
records-in-table	6		
	150.0000	0.3816	
	300.0000	0.6057	
	500.0000	0.8514	
	1000.0000	1.3516	
	1500.0000	1.7711	
	2000.0000	2.1455	

---

Verder kan door middel van het keyword ThetQH een relaxatie parameter doorgegeven worden welke gebruikt kan worden ter stabilisatie van de simulaties met QH randen en snelle debiet variaties. Bijvoorbeeld

---

```
ThetQH= 0.25
```

---

In de user-interface van de FLOW module zouden voor deze uitbreiding de volgende aanpassingen gedaan moeten worden:

- 1) Op het blad "Boundaries" moet onder "Type of Open Boundary" de optie "Total Discharge" beschikbaar komen.
- 2) Op het blad "Boundaries" moet onder "Forcing type of the Boundary condition" de optie "QH Relation" toegevoegd worden. Deze optie mag alleen geselecteerd worden indien onder "Type of Open Boundary" de optie "Water Elevation" geselecteerd is. Wanneer na selectie het type rand gewijzigd wordt, dient de "QH Relation" optie te vervallen en de default forcering "Harmonics" geselecteerd te worden.
- 3) Onder "Save/Import" moet de BCQ file gesaved/gelezen kunnen worden.
- 4) De QH-relatie relaxatie parameter ThetQH kan gespecificeerd worden op het blad "Numerical Parameters".

### 5.2.3 FLOW intern

Er is geen interactie met andere processen in Delft3D-FLOW.

## 5.2.4 Uitvoer

In de uitvoer is de totaal debiet rand terug te vinden op onder andere de communicatie file onder de group BOUNDCNST in de elementen IROCOL en NOB.

## 5.3 Wijzigingen

### 5.3.1 Algemene beschrijving

Ten behoeve van totaal debietranden wordt eerst voor elk randsegment de waarde van

$$\psi_i = B_i h_i^{1.5} C_i$$

bepaald (deze informatie wordt opgeslagen in `qtfrac`). Tegelijkertijd worden deze waarden per totaal debietrand  $j$  gesommeerd tot

$$\Psi_j = \sum \psi_i$$

en opgeslagen in `qtfrct`. Het debiet per cel wordt nu in tegenstelling tot hetgeen gebruikelijk is voor alle andere randen niet bepaald op basis van de afstand tussen tot linker/rechter oever, maar bepaald door de weging

$$q_i = [\psi_i / \Psi_j] Q_j.$$

De QH rand is geïmplementeerd door bij de randafhandeling eerst voor elk randsegment het doorstromende debiet bepaald:

$$q_i = B_i \bar{u}_i h_i$$

Dit wordt gesommeerd per QH rand tot het totaal debiet

$$Q_j = \sum_{i \text{ deel van rand } j} q_i$$

Dit debiet wordt opgeslagen in `qtfrct`. Op basis van dit debiet wordt op basis van de gespecificeerde QH relatie tabel de waterstand bepaald. Deze waarde wordt over de debiet informatie in `qtfrct` heen geschreven. Hierbij wordt de volgende methodiek gebruikt.

- 1) Voor debieten in het opgegeven bereik wordt de waterstand geïnterpoleerd van de waterstanden behorende bij het opvolgende hogere en voorliggende lagere debiet.
- 2) Voor debieten kleiner dan het kleinste debiet in de QH tabel wordt de waterstand constant gehouden gelijk aan de waarde die voor dat kleinste debiet was gespecificeerd.
- 3) Voor debieten groter dan het grootste debiet in de QH tabel wordt de waterstand constant gehouden gelijk aan de waarde die voor dat grootste debiet was gespecificeerd.

Voor stroming in negatieve M/N richting dienen de debiet waarden in de QH tabel negatief gespecificeerd worden overeenkomstig gebruikelijk voor debiet en snelheidsranden in Delft3D.

Om instabiliteit van de QH rand te voorkomen kan er onderrelaxatie ingeschakeld worden, waarbij de uiteindelijk gebruikte  $z_t$  waterstand bepaald wordt op basis van de berekende waterstand  $z_t^q$  en de gebruikte waterstand in de vorige stap  $z_{t-1}$  met behulp van:

$$z_t = (1 - \theta_{QH}) z_t^q + \theta_{QH} z_{t-1}$$



De oude waterstand wordt bewaard in de variabele `qtfr2`. Waterstandsranden met waterstand gegeven door de QH relatie zijn verder qua implementatie gelijk aan waterstandsranden met expliciet opgegeven waterstandsvariatie.

### 5.3.2 Code aanpassingen

Hieronder worden de wijgingen in de Delft3D-FLOW code ten behoeve van de implementatie van de QH en Q-totaal randen aangegeven.

#### INCLUDE

Routine name	Changes
R-I-CH	Updated description of <code>hydrbc</code> . <code>qtfrac</code> , <code>qtfrct</code> and <code>qtfrt2</code> added to pointer list
DIMENS	Added <code>ntoq</code> .
LUNTMP	Added <code>lunbcq</code> .
NUMECO	Added <code>thetqh</code> .

#### ALG

Routine name	Changes
DIMBND	Added determination of <code>ntoq</code> . <code>ntoq</code> added to header.

#### INICHK

Routine name	Changes
INIBCT	<code>pardef</code> , <code>typbnd</code> , <code>typtst</code> extended with 'T' option.
INIBCQ	New: initialize <code>inibct</code> array for boundaries with QH-relations.
INIBND	Switch added for <code>typbnd(n) = 'T'</code> : <code>ityp = 7</code> .
INICKR	Call to <code>INIBCQ</code> added <i>after</i> <code>INIBCT</code> because <code>INIBCT</code> initializes the whole <code>inibct</code> array to -1 (also the parts used by harmonic and QH boundaries)! <code>ntof</code> in call of <code>INIBCT</code> replaced by <code>ntot0=ntof+ntoq</code>

#### LEES

Routine name	Changes
RDBCQ	Reading of <code>thetqh</code> added when <code>ntoq&gt;0</code> , both variables added to header
RDBCQ	New: read <code>FilbcQ</code> record from MD-file, call <code>RDQH</code> to read the QH relations.
RDBCT	<code>namtyp</code> , <code>unttyp</code> , <code>typtst</code> extended with 'T' option.
RDBNDD	<code>typbnd 'T'</code> added for Total discharge boundaries, <code>datbnd 'Q'</code> added for QH rel. Z-boundaries. <code>ntoq</code> added to header.
RDQH	New: read the QH relations and save to <code>TMP_*.bcq</code> .
RDTDT	<code>namtyp</code> , <code>unttyp</code> , <code>typtst</code> extended with 'T' option.
RDTDTN	<code>namtyp</code> , <code>unttyp</code> , <code>typtst</code> extended with 'T' option.
READMD	<code>ntoq</code> and <code>thetqh</code> added to call of <code>RDBCQ</code> . <code>ntoq</code> added to call of <code>RDBNDD</code> .

#### MAIN

Routine name	Changes
DELFIL	Added removal of <code>TMP_*.bcq</code>
DIMRD	Initializes <code>ntoq</code> to zero. Added <code>ntoq</code> to call of <code>DIMBND</code> .
RJDIM	<code>qtfrac</code> , <code>qtfrct</code> , <code>qtfrt2</code> pointer allocation added.
TDATOM	Added <code>ntoq</code> to call of <code>RDBNDD</code> . Changed <code>ntof</code> into <code>ntot0=ntof+ntoq</code> in call of <code>RDBCT</code> . Added call to <code>RDBCQ</code> if <code>ntoq&gt;0</code> .
TRICOM	<code>qtfrac</code> , <code>qtfrct</code> , <code>qtfrt2</code> pointer request added.

### REK3D

Routine name	Changes
CUCBP	ibf.eq.7 added in line 291, ibl.eq.7 added in line 431
CUCBP2	ibf.eq.7 added in line 305, ibl.eq.7 added in line 461
CUCDP	ibf.eq.7 added in line 100, ibl.eq.7 added in line 104
ESTV	ibf.eq.7 added in line 560, ibl.eq.7 added in line 578
FAST	ibf.eq.7 added in line 613, ibl.eq.7 added in line 620
UZD	ibf.eq.7 added in line 888, ibl.eq.7 added in line 906
UZD_WQ	ibf.eq.7 added in line 842, ibl.eq.7 added in line 860

### REKEN

Routine name	Changes
TRISOL	qtfrac, qtfrct, ntoq, cfrou, cfvrou, qtfrt2 added to call of INCBC.

### TDEP

Routine name	Changes
UPDBCQ	New: reads appropriate record from TMP *.bcq file
INCBC	Handling of QH (Z-special) and Qtot (7) boundaries added. qtfrac, qtfrct, ntoq, cfrou, cfvrou, qtfrt2 added to header. relaxation implemented for QH boundary: NUMECO include added for thetqh.

### ERRFIL

Code	Message
U077	*** ERROR QH-rel. only valid for Z-type boundary
U078	*** ERROR QH-rel. bnd. must precede Time series bnd.

## 5.4 Testen en resultaten

Er is een tiental simulaties uitgevoerd om de implementatie te testen. Alle simulaties bestaan uit een vierkante bak met aan de bovenstroomse zijde een totaal-debiet rand geforceerd met een tijdreeks en aan de benedenstroomse zijde een QH-rand. De bijbehorende figuren zijn gepresenteerd in bijlage D.

case	richting	bijzonderheden	Fig.
1	+U	uniforme celgrootte, uniforme bodemligging, uniforme ruwheid	D-2, D-3
2	+V	uniforme celgrootte, uniforme bodemligging, uniforme ruwheid	D-4, D-5
3	-U	uniforme celgrootte, uniforme bodemligging, uniforme ruwheid	D-6, D-7
4	-V	uniforme celgrootte, uniforme bodemligging, uniforme ruwheid	D-8, D-9
5	+U	niet-uniforme ruwheid	D-10, D-11
6	+V	niet-uniforme ruwheid	D-12, D-13
7	+U	niet-uniforme bodemligging	D-14, D-15
8	+V	niet-uniforme bodemligging	D-16, D-17
9	+U	niet-uniforme celgrootte	D-18, D-19
10	+V	niet-uniforme celgrootte	D-20, D-21

In de bijgevoegde figuren is het tijdsverloop van de waterstand in een tiental punten aan de linker/rechter zijde van de modelgoot weergegeven evenals het verloop van het debiet door



een aantal cross-sections en het snelheidsbeeld op een viertal momenten (zie figuur D-1, bijlage D). Hierbij is de QH-rand in alle gevallen voorzien van een alfa-waarde en een onderrelaxatiefactor van 0,25. Alleen voor de laatste twee simulaties was een onderrelaxatiefactor van 0,3 nodig voor stabiliteit.

## 5.5 Aanpassingen user manual

Ten gevolge van deze aanpassing zijn een groot aantal wijzigingen in de tekst en figuren van de handleiding nodig.

### Hoofdstuk 4: Tutorial

De figuren 4.19 en 4.20 moeten aangepast worden als de user interface wordt uitgebreid met 'radiobuttons' voor 'Total Discharge' en 'QH Relation' en knopjes voor het laden en schrijven van QH relatie input files.

### Hoofdstuk 5: Preparing a scenario

De tabel in paragraaf 5.3 met extensies dient uitgebreid te worden met <name>.bcq voor 'Flow boundary conditions (QH relation)'.

In paragraaf 5.5.6 wordt in de eerste alinea een opsomming gegeven van de forcing types. Hieraan zouden de 'total discharge' en de 'QH relation (water levels only)' toegevoegd moeten worden. Aan opsomming in de derde alinea moeten de 'Total discharge or flux boundaries' ook worden toegevoegd. De tekst vanaf 'Special attention is required for discharge boundaries.' tot 'In the next release of Delft3D-FLOW this procedure will be incorporated in the FLOW Input Processor, so you can prescribe the discharge through a cross-section' en figuur 5.20 kan vervallen. Dit wordt nu door de totaal debiet rand afgehandeld.

De figuren 5.21 en 5.22 (na bovenstaande wijziging 5.20 en 5.21) moeten aangepast worden als de user interface wordt uitgebreid met 'radiobuttons' voor 'Total Discharge' en 'QH Relation' en knopjes voor het laden en schrijven van QH relatie input files. (Zie ook de opmerking voor hoofdstuk 4.) In de bijgaande beschrijving van de input moeten de 'Total Discharge' rand en de 'QH relation (only in combination with water level boundary type) the water level is derived from the computed discharge leaving the domain through the boundary.' toegevoegd worden.

In paragraaf 5.5.6.1 moet wederom de 'QH relation (only for water level boundary)' toegevoegd worden. Aan het eind van de beschrijving van de Harmonic boundary conditions moet de restrictie worden gewijzigd in:

- 
- Harmonic forcings may be mixed with astronomic forcings but must be specified before QH forced boundaries and time-series forcings.
- 

Aan het eind van de beschrijving van de Time-series boundary conditions moet de laatste restrictie worden gewijzigd in:

- 
- Time-series forcings must follow boundaries forced by harmonic, astronomic and QH-relations when these types of boundary conditions are applied in the same model.
-



Aan het eind van de beschrijving van de Astronomic boundary conditions moet de restrictie worden gewijzigd in:

- Astronomic forcings may be mixed with harmonic forcings but must be specified before QH forced boundaries and time-series forcings.

Hierna moet de volgende tekst over de QH-relation forcing worden opgenomen:

#### **QH-relation forcing (for water level boundaries only)**

For QH-relations you must specify the relation between the outflowing discharge and the water level at the boundary. Intermediate values are determined by linear interpolation. You cannot change the type of interpolation. Above the highest specified discharge and below the lowest specified discharge the water level is kept constant.

The sub-window displayed looks very similar to ... , but with just one column for the discharge and one column for the water level. Use the menu item *Table* in the menu bar to insert, copy or delete a row, or to copy a value.

If you have defined all data for the currently selected boundary section:

- *Close* the sub-window and select an other boundary section to define its boundary conditions.

A relaxation parameter can be specified in the data group *Numerical Parameters*.

#### **Domain:**

Parameter	Lower limit	upper limit	Default	Unit
Discharge	-1.0E+6	1.0E+06	0.0	m <sup>3</sup> /s
Water level	-100.0	100.0	0.0	m

#### **Restrictions:**

- The discharges should be specified in increasing order. That is, for positive discharges from small to large and for negative discharges from large to small.
- Intermediate values are determined by linear interpolation. Above the highest specified discharge and below the lowest specified discharge the water level is kept constant.
- Boundaries with forcing by a QH relation must precede time-series boundaries and they must follow boundaries with harmonic and astronomical forcing.

In paragraaf 5.5.8 moet figuur 5.32 (na eerder genoemde wijziging figuur 5.31) worden vervangen door een nieuwe figuur met ThetaQH parameter. De volgende beschrijving worden opgenomen voor de onderrelaxatie factor  $\theta_{QH}$ .

*ThetaQH* Relaxation parameter for boundaries forced by a QH-relation.

In some cases, when discharge fluctuates quickly, underrelaxation is necessary to stabilize the forcing by a QH-relation. This parameter in the range between 0 and 1 specifies the amount of underrelaxation. If no relaxation is required, this parameter should be set to 0.

## Hoofdstuk 9: Conceptual description

In paragraaf 9.3.4 op pagina 9-25 moet de Total discharge rand worden toegevoegd:

- total discharge  $Q=F_Q(t)$

## Appendix A

In appendix A.1.10 dient onder de lijst van rand typen toegevoegd te worden:

⇒ T: total discharge

en onder de data typen:

⇒ Q: QH-relation (only for water level boundary types).

Onder de restricties moet worden opgenomen:

- Astronomic and harmonic forced boundaries must be specified before Qh-relation forced boundaries, which in turn should be specified before time-series forced boundaries.

Tussen appendices A.1.13: Astronomic correction factors en A.1.14: Time-series flow boundary conditions moet een nieuwe appendix over de QH-relatie invoerfile opgenomen worden. Deze appendix zou de volgende tekst moeten bevatten:

File contents: QH relations for flow boundary conditions of all open boundary sections with data type Q (data group *Boundaries - Flow Boundary Conditions*).

File format: Fix format for header information; free format for time series data.

File name: <name>.bcq.

Generated by: FLOW Input Processor or manually off-line.

Record description:

- For each open boundary segment with data type Q a data block must be prescribed consisting of:
  - ⇒ Header records containing a number of compulsory and optional keywords accompanied by their values.
  - ⇒ A set of records containing the discharge/water level data.
    - \* Each record contains a discharge in m<sup>3</sup>/s and a water level in m.

Restrictions:

- Maximum record length is 5000.
- Position, format of the keywords and the format of keyword-values in the header are fixed (see example).
- All keywords have a length of 20 characters.
- Header in each block must be ended with the (compulsory) keyword: 'records in table' accompanied by the number of data record to follow.

- Positive discharges indicate flow in positive M/N direction. If the model flows in negative M/N direction negative discharges must be specified.
- Discharges must be specified in increasing order. That is,  $Q = 100.0$  should be specified before  $Q = 200.0$ . For negative discharges  $Q = -200.0$  must be specified before  $Q = -100.0$ .
- QH boundaries should only be specified as outflow boundaries.
- The sequence of blocks must be consistent with the sequence of open boundary sections with data type Q.

Example:

Model with open boundary sections with data type Q. Flow in negative M or N direction.

*Note: due to the record length the input data is printed in Courier New 8 instead of Courier New 10. The comment is still printed in Times New Roman 9.*

h e a d e r	table-name	Boundary Section : 2	a20,1x,a40	
	contents	uniform	a20,1x,a20	
	location <sup>3</sup>	open rand nummer 2	a20,1x,a20	
	interpolation <sup>4</sup>	linear	a20,1x,free	
	parameter	total discharge (t)	a20,1x,a20,1x,a20,free	
	parameter	water elevation (z)	a20,1x,a20,1x,a20,free	
	records in table	5	a20,1x,i6	
	data	-2000.0000	2.1455	
		-1500.0000	1.7711	
		-1000.0000	1.3516	
-500.0000		0.8514		
-300.0000		0.6057		

<sup>3</sup> sequence must follow sequential order of open boundaries in pre-processor

<sup>4</sup> Optional Keywords and values