

**Verbetering modellering
Bresvloeiing**

concept



Verbetering modellering Bresvloeiing

Dick R. Mastbergen

1206014-001

Titel

Verbetering modellering Bresvloeiing

Opdrachtgever

SBW

Project

1206014-001

Kenmerk

1206014-001-GEO-0015

Pagina's

38

Trefwoorden

Type hier de trefwoorden

Samenvatting

In dit rapport worden verschillende activiteiten gerapporteerd die betrekking hebben op verbetering van de modellering en de toetsingscriteria vooroevers waterkeringen op het faalmechanisme bresvloeiing. Onder meer zijn berekeningen met Delft 3D-Flow uitgevoerd. Dit alles in het kader van projectplan 2012 SBW Faalmechanismen in losgepakt zand.

Referenties

Type hier de referenties

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	2 jan 2013	Dick R. Mastbergen		Geeralt van den Ham			

Status

concept

Dit document is een concept en uitsluitend bedoeld voor discussiedoeleinden. Aan de inhoud van dit rapport kunnen noch door de opdrachtgever, noch door derden rechten worden ontleend.

Inhoud

1	Inleiding	6
2	Gevoeligheidsanalyse / toetscriteria HMBreach/HMTurb	8
2.1	Doelstelling	8
2.2	Gevoeligheidsanalyse met HMBreach	8
2.3	Gevoeligheidsanalyse met HMTurb	9
3	HMBreach in D-Flow Slide	13
3.1	Inleiding	13
3.2	Invoer	13
4	Eenvoudige toets faalmechanisme bresvloeiing volgens CUR 113	18
4.1	Doel	18
4.2	Voorstel tekst	18
4.3	Berekening met HMBreach	20
5	Implementatie twee-lagen model HMBreach in Delft 3D-Flow	21
5.1	Inleiding	21
5.2	2-Lagen modellering	21
5.3	Uitbreiding naar 2Dh	22
6	Delft 3D-Flow berekeningen	24
6.1	Inleiding	24
6.2	Instellingen Delft 3D-Flow	25
6.2.1	Parameterwaarden erosie / zandtransport en entrainment.	25
6.2.2	Parameterwaarden rooster en rekenschema.	25
6.2.3	Hellingseffect	26
6.2.4	Hindered settling	26
6.2.5	Bres als bronterm / bovenrandvoorwaarde	26
6.3	Toepassing Roompot, berekening I	27
6.3.1	Taludgeometrie	27
6.3.2	Bronterm	28
6.3.3	Resultaten	29
6.4	Toepassing Roompot, Berekening II	33
6.4.1	Taludgeometrie	33
6.4.2	Bronterm	34
6.4.3	Resultaten	34
6.5	Gevoeligheidsanalyse	36
6.6	Vergelijking resultaten met HMTurb	37
6.7	Conclusies Delft 3D-Flow	38
7	Conclusies en Aanbevelingen	39
8	Referenties	41

A	Figuur 1.1 Samenhang hoofdsporen I t/m III en onderdelen A, B en D (licht gemodificeerd t.o.v. presentatie 8 december 2011).....	7
Figuur 2.1	Berekende evenwichtshelling voor verschillende zandsorten met vaste retrogressiesnelheid . Ter vergelijking CUR113 taluds.....	8
Figuur 2.2	Voorbeeld berekening HMBreach met 200 mu zand (z = talud in rood, SZ = zandtransport in kg/s in blauw). Berekend evenwichtstalud bij 0.28 mm/s retrogressiesnelheid	9
Figuur 2.3	Kritieke hoogte beginverstoring voor bresvloeiing in zandig talud bij gegeven lokale helling en zandsort.....	10
Figuur 2.4	Kritiek initieel zandtransport voor bresvloeiing in zandig talud bij gegeven lokale helling en zandsort	11
Figuur 2.5	Voorbeeld berekening HMTurb met 200 mu zand op 1:2 talud geleidelijk verflauwend.	11
Figuur 2.6	Voorbeeld berekening HMTurb met 400 mu zand op talud 1:6 overgaand op zeer flauwe teen 1:57.	12
Figuur 3.1	Scherf Constants in HMBreach	14
Figuur 3.2	Scherf Input HMBreach	17
Figuur 4.1	definitieschets.....	18
Figuur 4.2	Berekende talud en volgens aanbeveling CUR 113 Eenvoudig.....	20
Figuur 6.1	Taludgeometrie Roompot, berekening I.....	27
Figuur 6.2	Snelheid langs talud	29
Figuur 6.3	Totaal zandtransport langs talud.....	30
Figuur 6.4	Totaal zandtransport en lokale taludhelling	30
Figuur 6.5	Snelheid als functie van x.....	31
Figuur 6.6	Snelheids- en concentratieverticalen op verschillende locaties langs talud na 30 minuten	32
Figuur 6.7	Taludgeometrie Roompot Oosterschelde Berekening II.....	34
Figuur 6.8	Totaal zandtransport en lokale taludhelling	35
Figuur 6.9	Talud, helling als functie van de afstand en concentratie in g/l voor drie berekeningen met verschillende positie bres.....	36
Figuur 6.10	Berekende snelheid Roompot.....	37
Figuur 6.11	Berekende zandtransport Roompot	37

1 Inleiding

Doel van SBW Faalmechanismen in losgepakt zand, volgens het projectplan 2011, Deltares 1206014-000-GEO-0002, is de ontwikkeling van nieuwe, gebruikersvriendelijke en toepasbare toetsmethoden of de verbetering van bestaande toetsmethoden voor faalmechanismen die optreden in losgepakte zandlagen of gerelateerd zijn aan de aanwezigheid van losgepakte zandlagen onder of in de omgeving van de dijk, en die leiden tot dijkfalen.

Onder zettingsvloeiing wordt verstaan het optreden van een (voor-)oeverinstabiliteit waarbij afstroming van zand naar dieper gelegen delen optreedt en waarbij een grote (voor-)oeverinscharing en derhalve schade aan de waterkering kan optreden. Afhankelijk van het mechanisme wordt onderscheid gemaakt tussen verwekingsvloeiing, dat uitsluitend op kan treden in losgepakt zand en bresvloeiing, dat een meer oppervlakkig erosieproces is en ook kan optreden in vastgepakt zand. Het is waarschijnlijk dat in de praktijk, waar de grond in lagen is opgebouwd met verschillende pakking en samenstelling, de verschillende mechanismen elkaar kunnen beïnvloeden en als trigger kunnen dienen.

Het deelonderzoek Verbetering Modelling Bresvloeiing past in doelstelling A geformuleerd in het werkplan als:

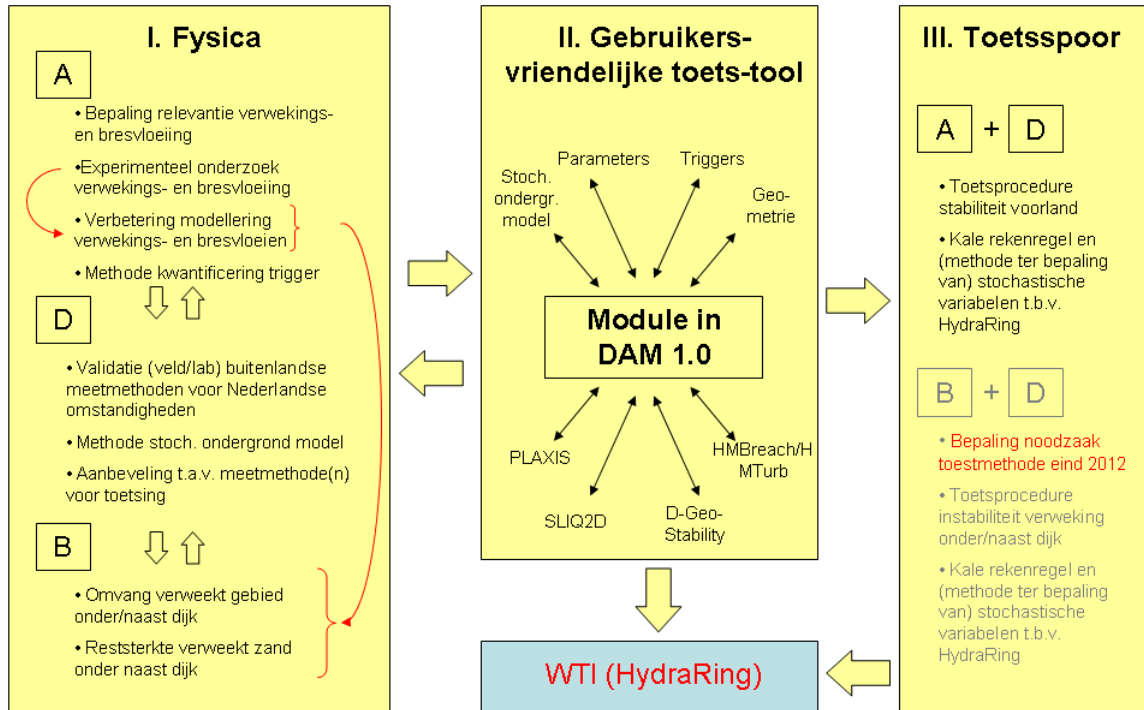
- A Het verbeteren van toetsmethode voor zettingsvloeiing in (onbeschermd) vooroevers van primaire waterkeringen (dijken en kunstwerken).

De drie hoofdsporen van het SBW onderzoek in 2012- 2013 zijn, zie ook figuur A uit het werkplan:

- I. Verdieping van het onderzoek naar de fysica van zettingsvloeiingen en macro-instabiliteit ten gevolge van verweking onder en naast dijk,
- II. Ontwikkeling van een gebruikersvriendelijk toetsinstrument
- III. Ontwikkeling van een toetsmethode.

In dit rapport worden verschillende activiteiten gerapporteerd die betrekking hebben op verbetering van de modellering van bresvloeiing. In de hoofdstukken 2 en 3 wordt aangegeven hoe het huidige Deltares computermodel voor bresvloeiing HMBreach/ HMTurb gebruik kan worden in DAM: D-Flow Slide (spoor II en III) voor toetsing op bresvloeiing. In hoofdstuk 4 wordt een nog eenvoudiger methode gepresenteerd, gebaseerd op CUR 113. In hoofdstuk 5 wordt nader ingegaan op het rekenmodel met het oog op uitbreiding naar 3D voor meer geavanceerde toetsing en verder ontwikkeling van de modellering voor bresvloeiing.

In hoofdstuk 6 ten slotte worden de resultaten van enkele verkennende berekeningen met Delft 3D-Flow gepresenteerd, toegepast op een realistische praktijksituatie, waarmee de mogelijkheden worden geopend voor een meer geavanceerde toetsing en een verificatie van de meer eenvoudige methoden en modellen.



A *Figuur 1.1 Samenhang hoofdsporen I t/m III en onderdelen A, B en D (licht gemodificeerd t.o.v. presentatie 8 december 2011)*

2 Gevoeligheidsanalyse / toetscriteria HMBreach/HMTurb

2.1 Doelstelling

Nagegaan wordt hoe met het eenvoudige rekenmodel voor bresvloeiing HMBreach (waarin HMTurb een variant vormt), dat tot nog toe een research model is, praktisch bruikbare toetscriteria kunnen worden afgeleid en welke programma-instellingen daarvoor worden aanbevolen om dit behalve realistisch ook eenvoudig en gebruikersvriendelijk te maken.

Een gevoeligheidsanalyse van alle invoerparameters van HMBreach is al opgenomen in de handleiding en in rapport Frank Tabak. Voor praktische toepassing worden zoveel mogelijk parameters vastgezet op een defaultwaarde waarmee in de praktijk realistische waarden worden gekregen (gevalideerd met meetgegevens gootproeven en toegepast op praktische situaties zoals zandwinputten en Stuurboord bresvloeiingen).

Hier wordt nagegaan wat het effect is en welke instelling moeten worden aangehouden en welke variabelen vervolgens overblijven. In het volgende hoofdstuk worden de aanbevolen instellingen voor HMBreach in D-Flow slide aangegeven.

2.2 Gevoeligheidsanalyse met Hmbreach

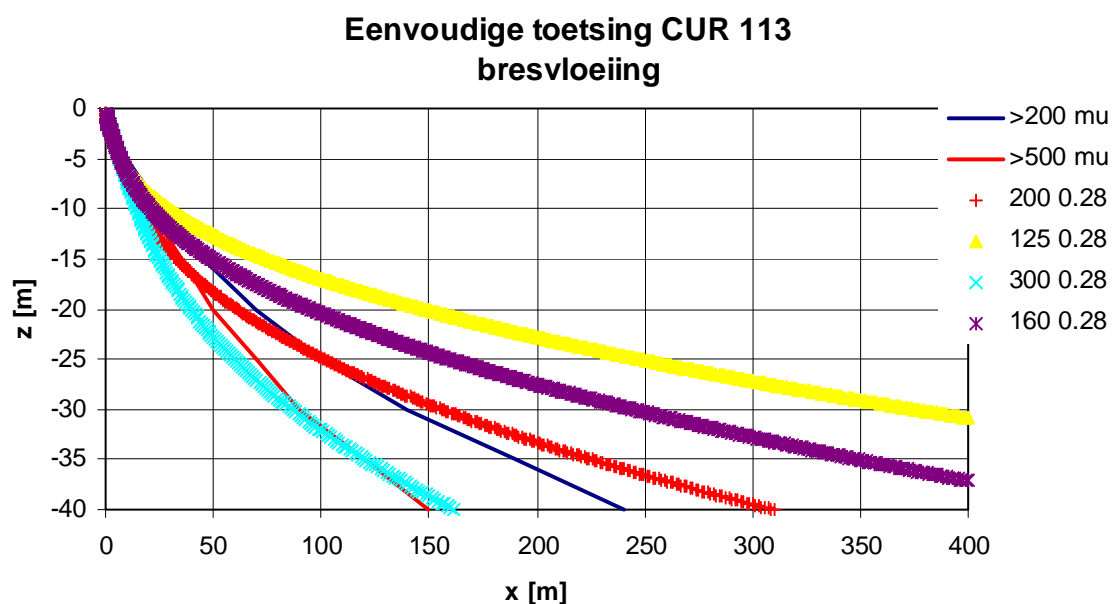
Met defaultparameters.

Invloed n_0 en d_{15} is gering, dus eveneens constant gehouden

Retrogression velocity = 0.28 mm/s geeft met homogeen 200 μ zand het "standaard" geval met een taludhelling van 1:4 over 25 m hoogte (conform VTV en CUR 113). of 27 m?

De hoogte van de bres (thickness top) heeft weinig invloed.

Met variatie van de korreldiameter geeft dit als evenwichtstaluds (zie figuur en tabel):



Figuur 2.1 Berekende evenwichtshelling voor verschillende zandsorten met vaste retrogressiesnelheid. Ter vergelijking CUR113 taluds.

Tabel 1.1 Berekende evenwichtstaludhelling gemeten over 25 m per zandsort
Invloed korreldiameter op evenwichtstaludhelling

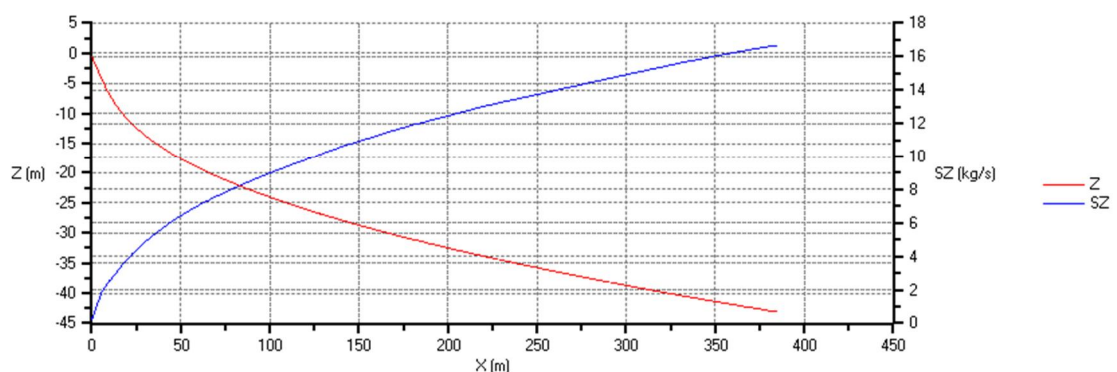
d50	x	bij z	helling 1:	hoek
mu	m	m		grd
125	247.6	-25	9.9	5.8
160	160.1	-25	6.4	8.9
200	100.7	-25	4.0	13.9
300	59.7	-25	2.4	22.7

De helling kan ook op andere hoogten worden afgelezen en neemt af met de afstand.

Dit is het evenwichtstalud dat zich volgens de berekening instelt en gelijkmatig opschuift met een snelheid v van 0,28 mm/s als met een winzuiger over een hoogte h en verhaalsnelheid v een hoeveelheid zand van ten hoogste $v * h$ wordt gewonnen (per eenheid van breedte). (met als limiet een helling van 1:1.6 bij 0 mm/s of zeer grof zand). Bij een hogere productie verflauwt het talud (inscharing).

Wordt door een natuurlijke verstoring een zand-watermengselstroming gegenereerd ergens op het talud (lokale verweking of afschuiving), dan zal er geen doorgaande terugschrijdende erosie optreden als de verstoring niet groter is dan een bepaalde kritische waarde.

HMBreach



Figuur 2.2 Voorbeeld berekening HMBreach met 200 mu zand (z = talud in rood, SZ = zandtransport in kg/s in blauw). Berekend evenwichtstalud bij 0.28 mm/s retrogressiesnelheid

2.3 Gevoeligheidsanalyse met HMTurb

Voor verschillende korreldiameters en taludhellingen is gekeken bij welke beginverstoring (thickness top) met HMTurb een zand-watermengselstroming met explosief toenemende erosie / zandtransport wordt verkregen (een bresvloeiing). Aangenomen is dat een beginverstoring, een verticale bres ergens op het zandige talud bij een bepaalde lokale helling is ontstaan en dat deze vervolgens met de walsnelheid (retrogression velocity) terugschrijdt (walsnelheid wordt berekend uit $d15/d50$ en n_0). Als de beginverstoring groot

genoeg is ($h > h_{\text{crit}}$) zal het transport na enige afstand alsmaar groeien (kan 100x zo groot worden als initiële zandtransport bres). In losgepakte zandlagen zou deze verstoring nog groter kunnen zijn. Ook stoorlagen (klei- of veenlagen) kunnen hier een rol spelen.

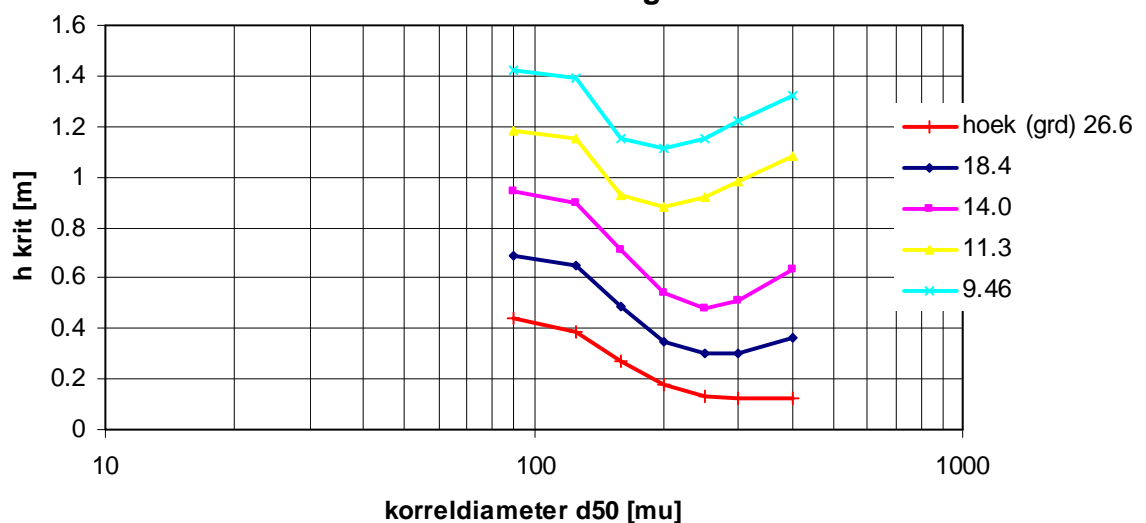
Tabel 2.1 Berekende kritieke verstoring per zandsort en beginhelling
Invloed korreldiameter en taludhelling op kritieke verstoringshoogte

	talud 1:	2	3	4	5	6
	hoek (grd)	26.6	18.4	14.0	11.3	9.46
d50	vwal	h krit	h krit	h krit	h krit	h krit
mu	mm/s	m	m	m	m	m
90	1.28	0.44	0.69	0.94	1.18	1.42
125	2.5	0.39	0.65	0.9	1.15	1.39
160	4.0	0.27	0.49	0.71	0.93	1.15
200	6.3	0.18	0.35	0.54	0.88	1.11
250	9.9	0.13	0.3	0.48	0.92	1.15
300	14.2	0.12	0.3	0.51	0.98	1.22
400	25	0.12	0.36	0.63	1.08	1.32

Hoe flauwer de helling des te groter moet de beginverstoring zijn om een zichzelf versterkende suspensiestroom te genereren. Een te kleine verstoring dempt snel weer uit. Terugschrijding kan alleen plaatsvinden als het sediment benedenstrooms wordt afgevoerd, dit is ook bij proeven waargenomen.

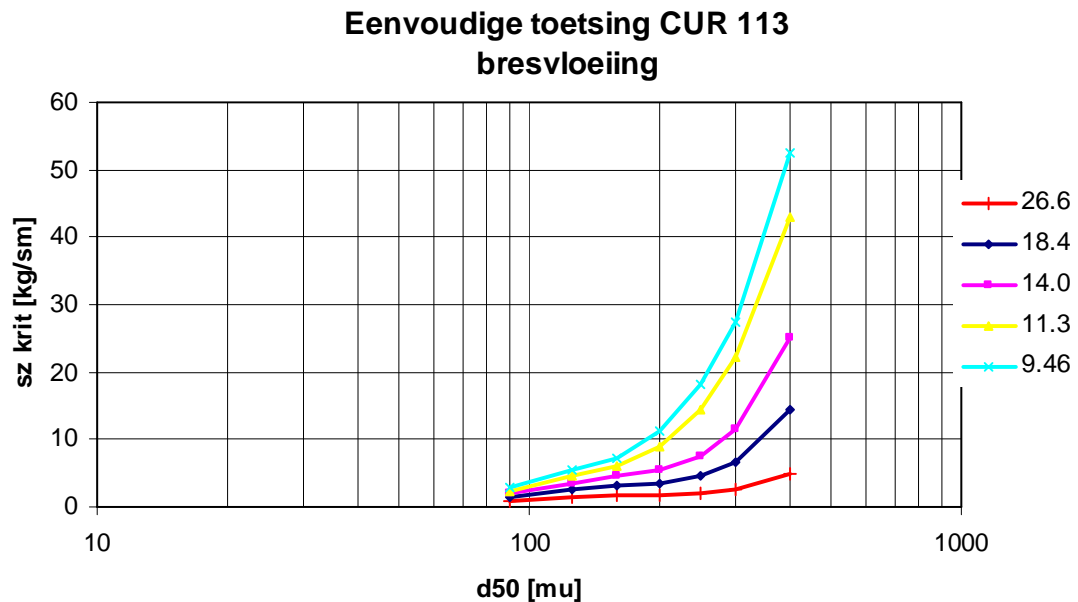
N.B. In het rapport van Frank Tabak is de terugschrijdsnelheid gevarieerd bij een vaste breshoogte van 1 m, op een zekere locatie op een bestaande taludgeometrie. Omdat deze taludgeometrie steeds eindigt met een heel flauw deel zal de suspensiestroming daar altijd ook weer uitdempen en kan het totale geërodeerde volume zand berekend worden.

Eenvoudige toetsing CUR 113 bresvloeiing

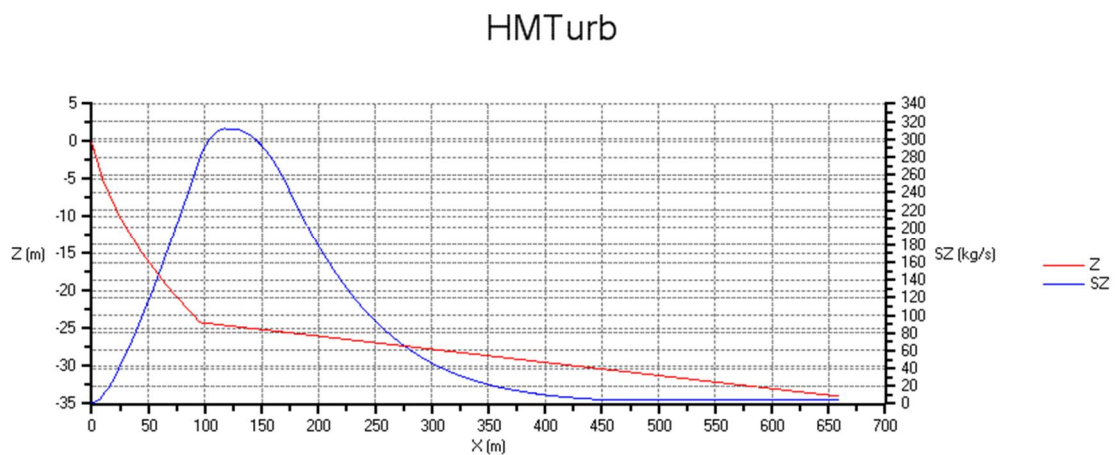


Figuur 2.3 Kritieke hoogte beginverstoring voor bresvloeiing in zandig talud bij gegeven lokale helling en zandsort

Hieruit kan het initiële zandtransport berekend worden. Bij een flauwere helling en met grover zand is een vrij groot begintransport nodig.

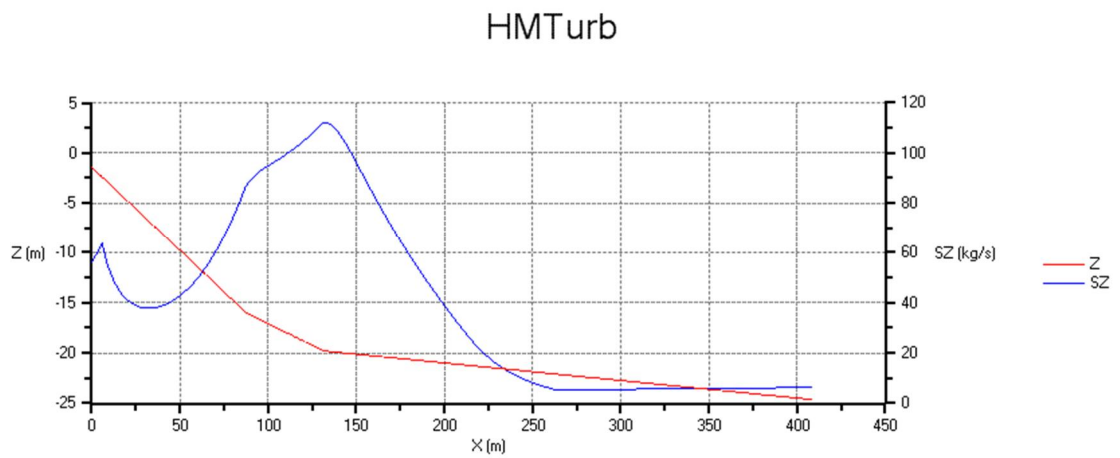


Figuur 2.4 Kritiek initieel zandtransport voor bresvloeiing in zandig talud bij gegeven lokale helling en zandsort



Figuur 2.5 Voorbeeld berekening HMTurb met 200 mu zand op 1:2 talud geleidelijk verflauwend.

Zeer gering begintransport leidt al tot explosieve erosie en zandtransport en dempt pas weer uit op zeer flauwe teen 1:57.



Figuur 2.6 Voorbeeld berekening HMTurb met 400 mu zand op talud 1:6 overgaand op zeer flauwe teen 1:57.

Initiëel benodigd zandtransport hoog. Mengselstroom versnelt pas na enige tijd na aanvankelijk afname transport en begint dan weer te groeien en dempt uiteindelijk weer uit.

3 HMBreach in D-Flow Slide

3.1 Inleiding

HMBreach kan worden ingebouwd in D-Flow Slide. Daarvoor is wel nodig dat er een vereenvoudigde handleiding komt (bijv. alleen HMTurb versie) en dat zoveel mogelijk parameters worden vastgelegd (default waarden), zodanig dat de uitkomsten overeenkomen met beschikbare validatiegegevens (Bresproeven in Baggergoot, waarneming bij zuigproeven in zandwinputten en waarneming meer algemeen van stabiele zandige onderwatertaluds) en alleen basisparameters kunnen worden gevarieerd.

HMBreach kan worden ingebouwd in D-Flow slide, het gebruikt min of meer dezelfde input als SLiQ2d en de grondgegevens (de korreldiameter) zijn meestal wel voorhanden. Het is ook al beschikbaar in *c#*. en is geprogrammeerd in 2008/2009 door Rob Brinkman en Anouar Manders op basis van het oudere FORTRAN programma HMBres van Dick Mastbergen. Daarmee is het softwarematig eenvoudig te integreren met SLiQ2D.

in 2011 heeft Frank Tabak een gevoeligheidsanalyse gedaan naar de instelparameters en een aantal bekende vloeiingen nagerekend. Enkele opmerkingen hierover zijn besproken (notitie Maarten dec. 2011). De instelparameters hebben betrekking op onder meer het erosiemodel en de schematisering van de randvoorwaarden en kunnen een sterk en ongewis effect hebben als deze buiten het geldigheidsbereik liggen. De berekeningsresultaten kunnen buiten het validatiegebied vallen of de berekening levert helemaal geen resultaten op.

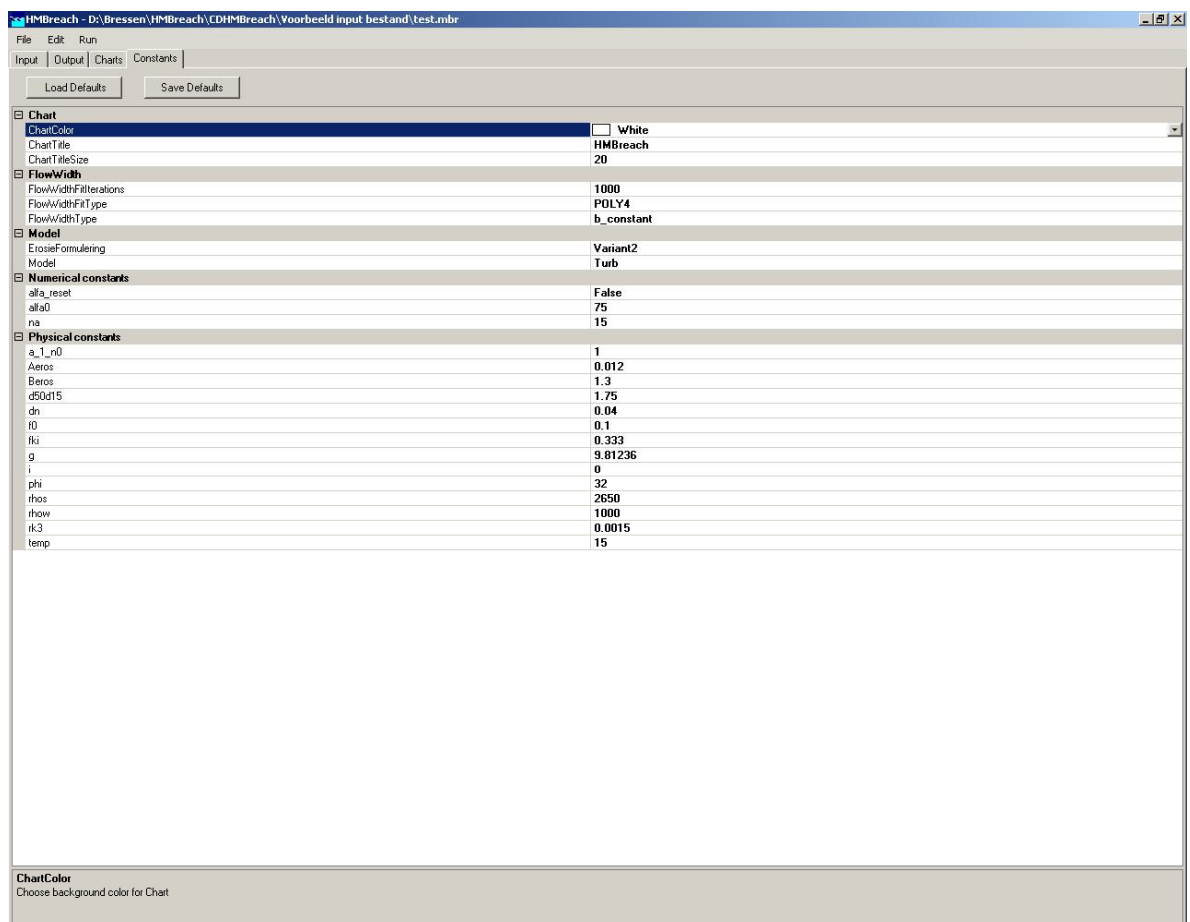
Daarom wordt voor gebruik in D-Flow slide voorgesteld de inputparameters zoveel mogelijk te beperken en default waarden te geven waarmee een realistisch standaardgeval nog wel goed wordt beschreven (een praktijk validatie). Het programma hoeft daarvoor niet software-matig aangepast te worden.

Alleen de HMTurb versie wordt gebruikt (dus geen berekening taludvorm, input bestaat talud in lagen met een hellingshoek).

De fysische interpretatie van de bovenrandvoorwaarde (hoogte en snelheid van de initiële verstoring) kan zijn een gestaag terugschrijdende bres in vastgepakt zand of een snelle uitvloeiing van verweekt losgepakt zand zoals waargenomen bij M1233, waarbij in korte tijd veel zand vrij komt, zoals Maarten heeft laten zien. Mogelijk ligt hier het belangrijkste effect van een losgepakte laag van toch beperkte omvang zoals bijv. bij de vloeiing Roompot is waargenomen.

3.2 Invoer

De volgende instellingen worden als default aangehouden in het scherm Constants



Figuur 3.1 Scherm Constants in HMBreach

Verder wordt alleen gerekend met constante breedte (geen spreiding).

zie tabel:

Symbol	value	Nederlands
Chart		
Flow Width		breedte
Flow Width Type	b_constant	constant (= 1m)
Model		
Erosieformulering	Variant2	
Model	Turb	
Numerical constants		
alfa_reset	False	
alfa0	75	beginhoek (°)
na	15	aantal iteraties
Physical constants		
a_1_n0	1	constante erosieformule
Aeros	0.012	constante erosieformule
Beros	1.3	constante erosieformule
d50/d15	1.75	zandkorreldiameter verhouding gemiddeld/fijn
dn	0.04	dilatantie
f0	0.1	wrijvingscoefficient bodem
fki	0.333	wrijvingscoefficient intern
g	9.81236	zwaartekrachtversnelling (m/s ²)
i	0	intern verhang
phi	32	hoek van inwendig wrijving
rhos	2650	dichtheid zandkorrels (kg/m ³)
rhow	1000	dichtheid water (kg/m ³)
rk3	0.0015	entrainment water coefficient
temp	15	temperatuur water (°C)

Voor de bovenrandvoorwaarde van de mengselstroming in het vak General van het input scherm:

De bovenrandvoorwaarde en ingevoerd taludgeometrie moet worden gekozen direct boven de steilste laag in het talud t/m de teen van de vooroever.

	Thickness top (m)	Froude (-)	Concentration (%)	Retrogression velocity (mm/s)
General	0.5	2	12	0.5
	breach height	initial Froude number	initial sand concentration	breach velocity
Algemeen	hoogte beginverstoring	2	12%	wordt berekend

Default $Fr = 2$, $c = 12\%$. Invloed van Fr en c is gering (mits $Fr > 1$).

Retrogression velocity = breach velocity computed from d_{15} and n_0 according v wal in input screen

Vervolgens wordt de geometrie van het talud in lagen van ongeveer 1 m met lokale bodemhelling α in graden met bijbehorende korreldiameter d_{50} (en evt. ook porositeit n_0 , d_{15} en doorlatendheid (permeability) in mm/s. Overige kolommen worden berekend.

Er wordt altijd van het talud stroomafwaarts gerekend met de bovenrandvoorwaarde als beginpunt. Dus als de bovenrandvoorwaarde niet bovenaan het talud maar ergens halverwege wordt gekozen, omdat men wil onderzoek of deze locatie kritiek is, dan hoeft alleen het talud vanaf dit punt naar beneden met grondgegevens te worden ingevoerd.

Beoordeeld wordt of het zandtransport (SZ) van de mengselstroom sterk toeneemt en steeds meer erosie veroorzaakt of niet. Het zandtransport en de taludvorm (Z) worden geplot in een grafiek als functie van de horizontale afstand X.

tabel Invoer per laag:
HMTurb

	Thickness (m)	FlowWidth (m)	Porosity (%)	D50 (mu)	Permeability (mm/s)	V wal (mm/s)	user d15?	iterations	calc points	alpha (grd)
Layer 1	1	1	40	200	0.095	3.77		3	14	21.58
Layer 2										

General	Thickness (m)	FlowWidth	Porosity (%)	D50 (mu)	Permeability (mm/s)	Vval (mm/s)	User D15?	Iterations (i)	Calc. points (i)	Alpha (grd)
Layer 1	1	1	40	200	0.095398	3.7785E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	334	33.9844
Layer 2	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	35	33.5529
Layer 3	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	19	33.5529
Layer 4	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	13	33.5529
Layer 5	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	11	31.2757
Layer 6	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	9	29.0766
Layer 7	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	8	26.6914
Layer 8	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	8	24.2933
Layer 9	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	8	21.9209
Layer 10	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	8	19.6946
Layer 11	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	8	17.6944
Layer 12	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	8	15.8973
Layer 13	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	8	14.2827
Layer 14	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	8	13.0953
Layer 15	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	8	11.9334
Layer 16	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	9	10.9079
Layer 17	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	9	10.0557
Layer 18	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	9	9.2701
Layer 19	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	9	8.6907
Layer 20	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	9	8.0796
Layer 21	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	10	7.5746
Layer 22	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	10	6.9829
Layer 23	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	10	6.0556
Layer 24	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	10	6.2396
Layer 25	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	10	5.8984
Layer 26	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	10	5.6219
Layer 27	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	11	5.2705
Layer 28	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	11	5.1058
Layer 29	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	11	4.7867
Layer 30	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	11	4.6371
Layer 31	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	11	4.4197
Layer 32	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	11	4.2816
Layer 33	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	12	4.0809
Layer 34	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	12	3.9534
Layer 35	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	12	3.7681
Layer 36	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	12	3.6503
Layer 37	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	12	3.5363
Layer 38	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	12	3.4257
Layer 39	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	12	3.3187
Layer 40	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	12	3.2150
Layer 41	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	12	3.1145
Layer 42	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	12	3.0172
Layer 43	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	13	2.8758
Layer 44	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	13	2.7859
Layer 45	1	1	40	200	0.095398	4.8358E+000	<input checked="" type="checkbox"/>	2	13	2.7424

Figuur 3.2 Scherm Input HMBreach

- Thickness = laagdikte van zandbodem in te voeren (voor redelijke resolutie ongeveer 1 m aanhouden)
- FlowWidth = breedte (blijft altijd constant 1 m bij keuze constant width)
- Porosity = in te voeren porositeit van het zand in deze laag (default 40% niet zoveel invloed)
- D50 = in te voeren mediane 50% fractie zandkorreldiameter in de laag (in mu)
- Permeability = waterdoorlatendheid in de laag (in mm/s), wordt berekend uit D15 en n0
- User d15 = indien aangevinkt kan je de D15 zelf invullen anders wordt deze berekend uit D50 (default)
- D15 = (alleen in te voeren indien user d15 aangevinkt) mediane zandkorreldiameter 15% fijnste fractie in de laag (in mu)
- Iterations = uitvoer aantal iteraties per laag (geldt alleen voor HMBreach)
- Calculation points = uitvoer aantal rekenpunten per laag
- alpha = in te voeren hellingshoek van de betreffende laag in het talud (grd)

4 Eenvoudige toets faalmechanisme bresvloeiing volgens CUR 113

4.1 Doel

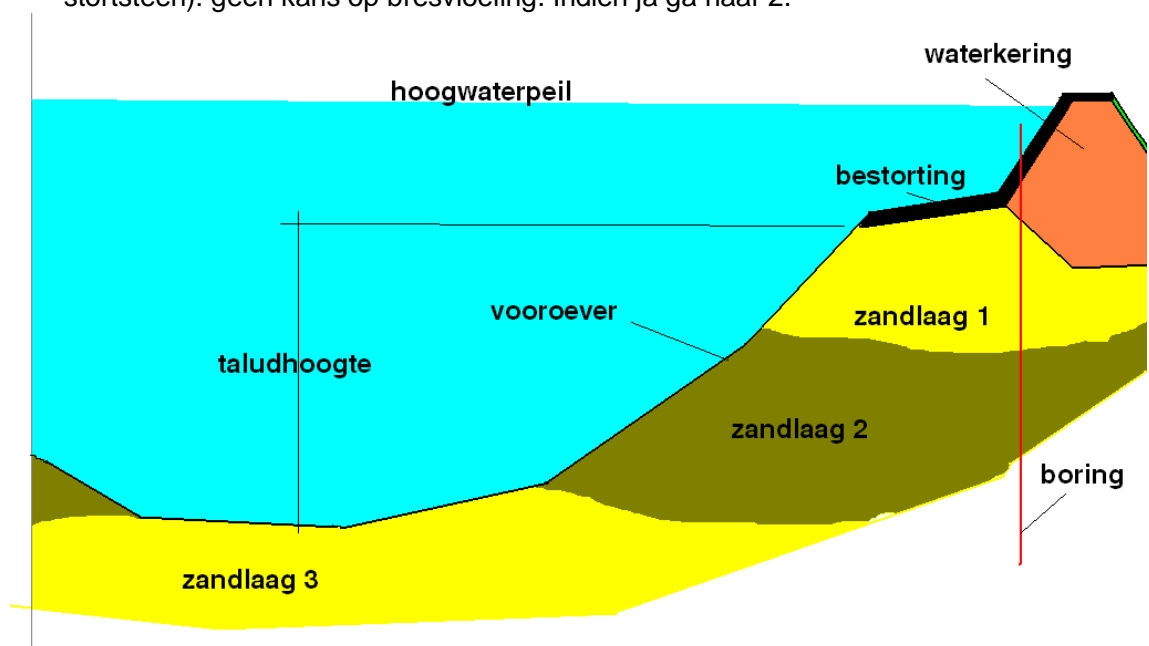
Met het rekenmodel HMBreach/ HMTurb kan een gedetailleerde toets gedaan worden voor de veiligheid van een onderwatertalud voor bresvloeiing. In CUR 113 is een meer eenvoudige methode voorgesteld voor ontwerp taluds in zandwinputten, welke onder bepaalde voorwaarden ook voor vooroevers van dijken en andere bestaande zandige taluds kan worden gehanteerd.

4.2 Voorstel tekst

Beschouw het onbeschermd zandige onderwatertalud / vooroever dijk
Maatgevend is het steilste deel van het talud en de fijnste zandsort. Voor het gehele talud en ook ieder deel van het talud moet het volgende gelden.

Uit CUR Aanbeveling 113, 2008, Zie Tabel A.2. hier toegepast als veiligheidstoets zandige vooroevers waterkeringen voor het faalmechanisme Bresvloeiing.

1. Bestaat het onderwater gelegen deel van de vooroever van de betreffende waterkering, de taludhoogte in figuur 1, uit een (deels) onbeschermd zandbodembodem? Indien Nee (dus het talud is afgedekt door een laag klei van minimaal 1 m dikte of stortsteen): geen kans op bresvloeiing. Indien ja ga naar 2.



Figuur 4.1 definitieschets

2. Is er voldoende grondonderzoek (boringen op ten hoogste 500 m tot 1 km afstand tot een diepte van de teen van het talud om de korreldiameter te bepalen)? Indien ja ga door naar 3, indien nee geen toetsing mogelijk.

3. Beschouw de korrelverdeling van het zand op basis van de boringen
- is het zand niet te fijn d.w.z. is de over lagen van ten hoogste 5 m gemiddelde korreldiameter d_{50} van het zand overal dus over de gehele taludhoogte tenminste $200 \mu\text{m}$ en d_{15} tenminste $100 \mu\text{m}$? Indien nee, zeer fijn zand: gedetailleerde analyse bresvloeiing nodig (bijv. met HMBreach). indien ja ga naar 3 b.
 - is het zand tamelijk grof d.w.z. is de over lagen van ten hoogste 5 m gemiddelde korreldiameter d_{50} van het zand over de gehele taludhoogte tenminste $500 \mu\text{m}$ en d_{15} tenminste $250 \mu\text{m}$? indien ja, tamelijk grof zand of grind ga naar 4 a anders niet te fijn zand ga naar 4 b.
4. Beschouw de geometrie van het talud onder het niveau van gemiddeld hoogwater of, als dat dieper ligt (zoals in de schets), onder de teen van een eventuele bekleding. Zijn er delen van het talud op de diepte aangegeven in de eerste kolom van de tabel gelijk of steiler dan aangegeven in de tweede kolom? Zo ja dan is het talud bresgevoelig, ga naar 5 zo nee GOEDGEKEURD. Voor taludhoogtes van meer dan 40 m is een gedetailleerde analyse nodig.
- tamelijk grof zand $d_{50} > 500 \mu\text{m}$ en $d_{15} > 250 \mu\text{m}$:

diepte talud (m)	gemiddelde helling $d_{50} > 500 \mu\text{m}$
0 - 10	1:2
10 - 20	1:2.5
20 - 30	1:3
30 - 40	1:3.75

- niet te fijn zand $d_{50} > 200 \mu\text{m}$ en $d_{15} > 100 \mu\text{m}$

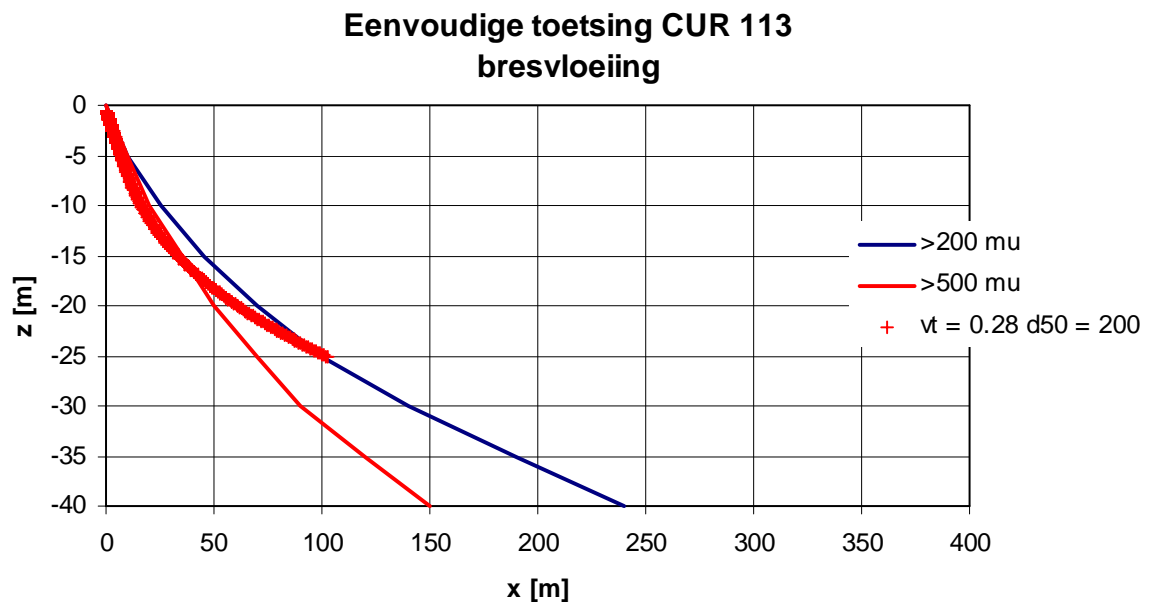
diepte talud (m)	gemiddelde helling $d_{50} > 200 \mu\text{m}$
0 - 5	1:2
5 - 10	1:2.5
10 - 15	1:3
15 - 20	1:3.5
20 - 25	1:4
25 - 30	1:4.7
30 - 35	1:5.4
35 - 40	1:6

5. De verwachte maximale inscharingslengte ten gevolge van een bresvloeiing bedraagt 2 tot 3x de taludhoogte (dit geldt voor zandwinputten in het rivierengebied, in Zeeland en Waddenzee veiligheidshalve uitgaan van 7.5x). Indien de afstand van de top van het bresgevoelige talud tot de teen van de waterkering kleiner is dan 2x de hoogte van het bresgevoelige talud dan wordt de situatie AFGEKEURD. Door aanbrengen van bestorting of bekleding op de (onderwater-) oever kan de inscharingslengte beperkt worden.

4.3 Berekening met HMBreach

Toegevoegd berekening met HMBreach met default waarden en zand van 200 μm en met een retrogression velocity van 0.28 mm/s. Dit ter vergelijking met in CUR 113 aanbevolen talud volgens methode Eenvoudig.

Geeft over 25 m een helling van 1:4, maar is bovenin wat steiler en wat flauwer op grotere diepte.



Figuur 4.2 Berekende talud en volgens aanbeveling CUR 113 Eenvoudig

5 Implementatie twee-lagen model HMBreach in Delft 3D-Flow

5.1 Inleiding

De mogelijkheden zijn onderzocht of het verschijnsel bresvloeiing ook met het meer geavanceerde bij Deltares ontwikkelde numerieke pakket Delft 3D-Flow beschreven kan worden, dit als uitbreiding van HMBreach / D-Flow Slide voor de geavanceerde toetsing.

In eerste instantie was de gedachte dat in het huidige Delft 3D-Flow een berekening van een turbidity current nog niet goed mogelijk is vanwege hellingseffecten en is nagegaan of een nieuwe Delft 3D-Flow versie gebaseerd op de vergelijkingen in HMBreach, maar dan met breedte en tijdsafhankelijkheid. Er bestaat al een 2-lagen 2L Delft 3D-Flow model voor fluid mud, maar dit model bevat specifieke formuleringen die alleen geldig zijn voor sliblagen (Winterwerp et al, 2002, waterinjectiebaggeren). Er is ook gekeken of dit model toepasbaar is door aanpassing van de slib formuleringen.

Ook zijn de vergelijkingen voor het 1D model toegepast voor turbidity currents op Zee (Mastbergen en Uittenbogaard, 2008).

Verder werkt Delft 3D-Flow met een horizontale x-as zodat een hellende bodem in termen van bodemligging en z-gradient per cel moet worden ingevoerd. Dit is mede bepalend voor de op te lossen vergelijkingen. Daarom is gekeken of implementatie van HMBreach met zo nodig specifieke zandformuleringen in Delft 3D-Flow mogelijk is.

De basisvergelijkingen van HMBreach zijn herschreven met tijdsafhankelijke termen in een vorm die in Delft 3D-Flow schema kan worden opgelost. Vergelijk o.a. Parker et al 1986, Winterwerp et al 1990.

De hier afgeleide formuleringen zijn uiteindelijk niet in software omgezet omdat een directe toepassing van Delft 3D-Flow mogelijk bleek, zie hoofdstuk 6.

5.2 2-Lagen modellering

2-lagen modelopzet. Basisvergelijkingen afgeleid in de vorm die in Delft 3D-Flow kan worden opgelost per gridcel met x -as langs hellende bodem (analoog termen in y richting nog toevoegen). Zwaartekracht in verticale richting dus maakt hoek met z-as. De bovenrandvoorwaarde (bres) kan als bewegende bron worden ingebouwd. Eerst 1D

1 D Impulsvergelijking in x-richting langs de hellende bodem:

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho_m hu^2) + \frac{\partial}{\partial t}(\rho_m hu) + \frac{\partial}{\partial x}((\rho_m - \rho_w) gh^2 \cos \alpha) = (\rho_m - \rho_w) gh \sin \alpha \cos \alpha - \frac{f_0 + f_i}{8} u^2$$

De eerste twee termen geven de verandering van de impuls, vervolgens de hydrostatische drukterm, de zwaartekracht en de wrijving langs bodem en intern grensvlak.

De dichtheid van het zand-watermengsel is uitsluitend een functie van de zand-volume concentratie c volgens:

$$\rho_m = \rho_w (1 + \Delta c)$$

substitueren in impulsvergelijking, zonder verwaarlozing van dichtheidsgradiënten (geen Boussinesq benadering) geeft:

$$\frac{\partial}{\partial x}(hu^2) + \frac{\partial}{\partial t}(hu) + \varepsilon gh \cos \alpha \left(\frac{\partial h}{\partial x} - \sin \alpha \right) + \left(u^2 + \frac{1}{2} gh \cos \alpha \right) \frac{\Delta}{1 + \Delta c} h \frac{\partial c}{\partial x} + uh \frac{\Delta}{1 + \Delta c} \frac{\partial c}{\partial t} + \frac{f_0 + f_i}{8} u^2 = 0$$

Continuïteitsvergelijking zand-water mengsel:

$$\frac{\partial}{\partial x}(hu) + \frac{\partial h}{\partial t} = v_e + v_{ent}$$

Continuïteitsvergelijking zand:

$$\frac{\partial}{\partial x}(uhc) + \frac{\partial}{\partial t}(hc) = (1 - n_0)v_e$$

Uit continuïteitsvergelijking zand-water mengsel dh/dx term elimineren, substitueren in de impulsvergelijking en delen door h geeft:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial t} + \varepsilon g \cos \alpha \left(\frac{\partial h}{\partial x} - \sin \alpha \right) + \left(u^2 + \frac{1}{2} gh \cos \alpha \right) \frac{\Delta}{1 + \Delta c} \frac{\partial c}{\partial x} + u \frac{\Delta}{1 + \Delta c} \frac{\partial c}{\partial t} + \frac{f_0 + f_i}{8} \frac{u^2}{h} = -\frac{u}{h}(v_e + v_{ent})$$

5.3 Uitbreiding naar 2Dh

Dit is een uitbreiding tov HMBreach omdat het model nu instationair en 2D-h wordt (dieptegemiddeld in de mengselstroomlaag maar met 2D bodemligging).

met bodemhelling:

$$\sin(\alpha_x) = \frac{\frac{\partial z_b}{\partial x}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\partial z_b}{\partial x}\right)^2}}$$

$$\sin(\alpha_y) = \frac{\frac{\partial z_b}{\partial y}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\partial z_b}{\partial y}\right)^2}}$$

Dichtheidsrelatie:

$$\rho_m(x, y, t) = \rho_w (1 + \Delta c(x, y, t))$$

Continuïteitsvergelijking zand-water mengsel:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(hu) + \frac{\partial}{\partial y}(hv) = v_e + v_{ent}$$

Continuïteitsvergelijking zand:

$$\frac{\partial}{\partial t}(hc) + \frac{\partial}{\partial x}(uhc) + \frac{\partial}{\partial y}(vhc) = (1 - n_0)v_e$$

Stelsel impulsvergelijkingen:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \varepsilon g \cos \alpha_x \left(\frac{\partial h}{\partial x} - \sin \alpha_x \right) + \left(u^2 + \frac{1}{2} gh \cos \alpha_x \right) \frac{\Delta}{1 + \Delta c} \frac{\partial c}{\partial x} + u \frac{\Delta}{1 + \Delta c} \frac{\partial c}{\partial t} + \frac{f_0 + f_i}{8} \frac{u}{h} \sqrt{u^2 + v^2} = -\frac{u}{h} (v_e + v_{ent})$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \varepsilon g \cos \alpha_y \left(\frac{\partial h}{\partial y} - \sin \alpha_y \right) + \left(v^2 + \frac{1}{2} gh \cos \alpha_y \right) \frac{\Delta}{1 + \Delta c} \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\Delta}{1 + \Delta c} \frac{\partial c}{\partial t} + \frac{f_0 + f_i}{8} \frac{v}{h} \sqrt{u^2 + v^2} = -\frac{v}{h} (v_e + v_{ent})$$

waarin:

x	lengte-as langs bodem	m
z	dwarsrichting \perp bodem omhoog	m
y	dwarsrichting \perp x-as langs bodem	m
z_b	bodem ligging	m
α	bodemhelling	$^\circ$
t	tijd	s
u	mengselsnelheid x-richting	m/s
v	mengselsnelheid y-richting	m/s
h	mengsellaagdikte z-richting	m
c	zand-volumeconcentratie	-
ρ_m	dichtheid zand-watermengsel	kg/m ³
ρ_w	dichtheid water	kg/m ³
ρ_s	dichtheid zandkorrels	kg/m ³
ε	$\Delta c / (1 + \Delta c)$, dichtheidsverschil mengsel	-
g	versnelling zwaartekracht	m/s ²
Δ	$(\rho_s - \rho_w) / \rho_w$, dichtheidsverschil zandkorrels	-
f_0	bodemwrijvingscoëfficiënt volgens Darcy-Weisbach = $8g/C^2$	-
C	Chézy bodemwrijvingscoëfficiënt	m ^{0.5} /s
f_i	interne wrijvingscoëfficiënt in menglaag	-
v_e	netto erosiesnelheid bodem	m/s
v_{ent}	entrainment of water aanzuiging in menglaag	m/s
n_0	porositeit zandbodem	-

6 Delft 3D-Flow berekeningen

6.1 Inleiding

Onderzocht is of het mogelijk is het verschijnsel bresvloeiing ofwel turbidity current in zand met een bres als bron direct in Delft 3D-Flow te modelleren is, gebruik makend van de bestaande mogelijkheden en software. Daarmee heeft Deltares de mogelijkheid een geavanceerd rekenmodel dat reeds jarenlang is ontwikkeld en in vele praktijksituatie toegepast met name ook voor Rijkswaterstaat, in te zetten voor geavanceerde toetsing voor bresvloeiing. Delft 3D-Flow heeft nadelen maar ook veel voordelen voor de toepassing voor SBW voor bresvloeiing.

Een bresvloeiing (breaching flow slide) is een vorm van turbidity current met een bres als zandleverende bron. De stroming heeft het karakter van een turbulente zand-watermengselstroming, dit in tegenstelling tot een verwekingsvloeiing (liquefaction flow slide) of afschuiving (shear failure) twee andere, meer geotechnische vormen van taludinstabiliteit. Er is dus geen reden dat de stroming bij een bresvloeiing niet met Delft 3D-FLOW zou kunnen worden berekend en er is dan geen noodzaak andere modellen in te zetten of te ontwikkelen met alle problemen van dien. Een complex maar essentieel onderdeel van de modellering vormt de turbulente menging in gelaagde stromingen. Dit wordt in Delft3D-Flow gemodelleerd door een twee-tal extra transportvergelijkingen voor de turbulente grootheden k (turbulente kinetische energie) en ϵ (dissipatie van turbulente kinetische energie) op te lossen en daaruit een verticale diffusiecoëfficiënt die de menging representeert af te leiden. Uiteraard kan in de toekomst ook voor deze toepassing van de lopende verdere ontwikkeling van Delft 3D-Flow bij Deltares geprofiteerd worden (zoals niet hydrostatisch rekenen).

Een bresvloeiing is een turbulente zand-watermengselstroming welke als een dichtheidsstroom langs een zandig talud afstroomt, gevoed door een stroomopwaarts bewegende bres (taludverstoring) en door interactie met de bodem (erosie en sedimentatie) en het bovenliggende water (entrainment of aanzuiging) voortdurend in kracht toeneemt (stroomsnelheid, debiet, zandtransport), vergelijkbaar met een lawine. Het uiteindelijk effect is een taludinscharing waarbij veel materiaal langs het talud naar dieper gelegen delen wordt afgevoerd.

Doel van de Delft 3D-Flow berekening is in de eerste plaats nagaan of het verschijnsel bresvloeiing met de bestaande geavanceerde software van Deltares kan worden gesimuleerd voor een realistische situatie. Een dergelijke berekening is nog nooit eerder uitgevoerd met Delft 3D-Flow. Delft 3D-Flow is een programma dat al jarenlang in ontwikkeling is bij Deltares en waarin stromings- en sedimenttransport processen in rivieren en meren, langs kusten, estuaria en zeeën worden berekend. Voor vele praktijktoepassingen zijn de resultaten geverifieerd met metingen.

De berekeningen zijn uitgevoerd door Theo van der Kaaij in overleg met Dick Mastbergen, Jan van Kester, Maarten van Ormondt en Rob Uittenboggaard (Deltares Units ZKS en DSC).

6.2 Instellingen Delft 3D-Flow

Er is niets veranderd aan de bestaande Delft 3D-Flow software, wel zijn er veel parameters te kiezen.

6.2.1 Parameterwaarden erosie / zandtransport en entrainment.

- De te gebruiken zandtransportformule. Voor de huidige berekeningen zijn de zandtransportformules van Van Rijn (2007) gebruikt. Deze formuleringen berekenen het bodem- en het suspensietransport afzonderlijk.
- Hindered settling (is gecorrigeerd voor zand, stond voor slibbodems)
- Bodemhellingeffect: met ϕ - waarde voor zand 32° .
- Calibratiefactor voor berekende transporten (is op 1 gesteld dus originele formules. N.B. staat meestal op 0.5 bij praktische toepassingen)
- Wrijvingsfactor Chézy = $50 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$. Er geldt Chézy $C = \sqrt{\frac{8g}{f_0}}$ waarin f_0 de Darcy-Weissbach wrijvingscoëfficiënt dus 0.032. (bij metingen in zand-water mengselstromingen wordt wel een hoge wrijving gemeten van 0.05 tot 0.1 dus Chézy 28 - 40).
- Concentratie / porositeit bodem = 1600 kg/m^3 , dit komt overeen met een porositeit van 40%.
- Een rekenschema voor advectie dat ook superkritische stroming aan kan (het zgn. "FLOOD" schema) met overgangen super-/subkritisch en hydraulische jumps.

Bekend is dat bestaande zandtransportformules (ook Van Rijn) bij hoge stroomsnelheden erosie en transport overschatten (effect hindered erosion). In HMBreach is een alternatieve formule opgenomen (Mastbergen / Van Rhee) met het effect van doorlatendheid.

Voor turbulente menging is er een entrainmentformule toegepast, immers HMBreach is een 2-lagen 1D model. In Delft3D-Flow is een entrainmentformulering niet nodig en volgt de verticale menging (met verticale snelheids- en concentratieverdeling) uit het k- ϵ model.

De Boussinesq term wordt in Delft 3D verwaarloosd, deze zit wel in HMBreach.

6.2.2 Parameterwaarden rooster en rekenschema.

De standaard instelling van Delft3D-Flow komt overeen met hydrostatisch rekenen. Dit houdt in dat verticale snelheden volgen uit de continuïteitsvergelijking.

De x-as is strict horizontaal (dus niet langs de bodem). De z-as is strict verticaal in de richting van de zwaartekracht. In horizontale richting is de roostergrootte 1m. In de verticale richting wordt een zogenaamde σ -verdeling toegepast. Dit betekent dat elke rekenlaag een dikte heeft van een bepaald percentage van de lokale waterdiepte. Er is gerekend met 40 lagen waarbij de bodemlaagdikte ongeveer 0.05% is. Naar het wateroppervlak worden de lagen dikker om nabij het wateroppervlak te eindigen met een laag met een dikte van 12 %. Relatief dunne lagen bij de bodem zijn noodzakelijk om de zettingsvloeiing, die plaatsvindt in een dunne laag nabij de bodem, goed weer te kunnen geven.

Hier is een 1D geometrie aangehouden over een breedte van 1000m dus de berekening is feitelijk 2DV.

De bres (bovenrandvoorwaarde) wordt weergegeven als een bron van zand en water met een bepaalde, hoge, zandconcentratie. De bron heeft een vaste positie in de tijd (dus nog niet taludopwaarts bewegend).

Aan de bron wordt ook impuls meegegeven en wel zodanig dat de snelheid bij de bodem ongeveer 0.7 m/s bedraagt. Dit is noodzakelijk om ter plaatse van de bres erosie te forceren. (Shieldscriterium in de zandtransportformulering)

Wanneer de snelheden ter plaatse van de bres te laag zijn bezinkt het middels de bron in het water gebrachte zand ter plaatse van de bres en komt de dichtheidsstroming niet op gang.

Met Delft3D-Flow wordt tijdsafhankelijk gerekend. Op $t = 0$ start de bron en de ontwikkeling vanaf $t = 0$ wordt berekend. Een morfologische berekening bestaat uit de terugkoppeling van erosie / sedimentatie op bodemligging en stroming bij aangepaste geometrie. Na 30 minuten aangezet.

6.2.3 Hellingseffect

Het (langs-)hellingseffect zit in de berekening van de kritieke bodemschuifspanning (critical bed shear stress), zie Van Rijn 3.2.6, ook wel Schoklitsch-factor genoemd, zie bijv. ook Haalbaarheidsstudie Geulwandsuppletie Oostgat, 2005. Deze bedraagt:

$$\sin(\varphi - \beta) / \sin \varphi.$$

waarin φ het natuurlijk talud is van zand ca. 32° en β de lokale bodemhelling. Bij een helling van 1:2 ($=26^\circ$) het steilste stuk van het rekenvoorbeeld, is de reductiefactor dus 0,20 dus aanzienlijk.

Het zogenaamde dwarshellingsseffect (zoals in rivierbochten optreedt) is hier niet van toepassing.

6.2.4 Hindered settling

Voor de valsnelheid van het zand in een mengsel geldt:

$$w_s = w_0 * (1 - c/c_0)^5$$

hierin is c de zand-volume concentratie. Er wordt een vijfde macht toegepast: dit geldt voor de valsnelheid t.o.v. een met de bodem mee omhoog bewegend en niet t.o.v. een vast assenstelsel, c in kg/m^3 (of g/l), $c_0 = 2650 \text{ kg/m}^3$ voor zand (voor slib worden lagere waarden gehanteerd).

6.2.5 Bres als bronterm / bovenrandvoorwaarde

Impuls bij bodem: Snelheid moet voldoende hoog zijn om erosie op gang te brengen

In Delft 3D-Flow kan een bewegende bovenrandvoorwaarde als bron opgegeven worden. Hoe breedt deze in zijwaartse richting uit bijv. axiaal-symmetrisch met vaste breshoogte of de breshoogte als verschil met een vast snijvlak (onder hoek φ natuurlijk talud).

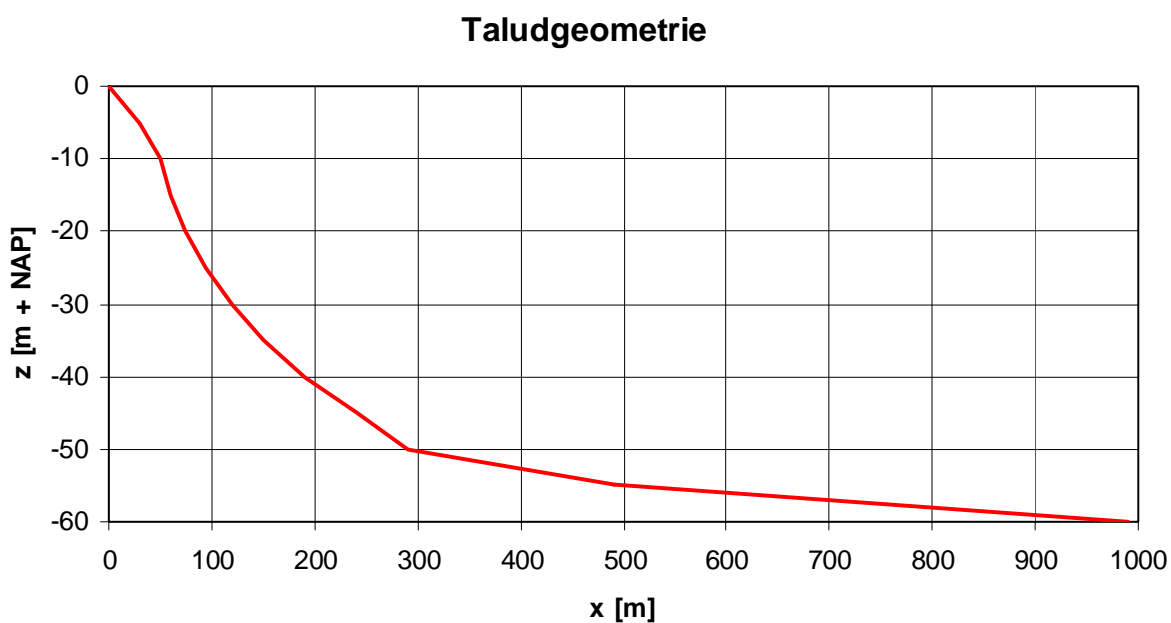
6.3 Toepassing Roompot, berekening I

Beschouw een zandig onderwatertalud van 60 m diep met taludhelling verlopend volgens onderstaande tabel (variërend van 1:2 tot 1:100). De bodem bestaat geheel uit vastgepakt zand met een mediane korreldiameter d_{50} van 200 μ m.

6.3.1 Taludgeometrie

x	z	local slope	avg. Slope
m	m	1:	1:
0	0	6	6.0
30	-5	4	5.0
50	-10	2	4.0
60	-15	3	3.8
75	-20	4	3.8
95	-25	5	4.0
120	-30	6	4.3
150	-35	8	4.8
190	-40	10	5.3
240	-45	10	5.8
290	-50	40	8.9
490	-55	100	16.5
990	-60		

Zie figuur



Figuur 6.1 Taludgeometrie Roompot, berekening I

De waterstand ligt op 0 m + NAP.

6.3.2 Bronterm

Ergens op dit talud wordt een beginverstoring aangebracht (verschillende opties) zeg op 50 m - NAP, (Diepte ongeveer -10 m NAP, Helling lokaal ongeveer 20 °), een verticale bres van 0.5 m hoogte die met gelijkblijvende hoogte het talud opkruipt met een snelheid $v_{wal} = 6.3$ mm/s. Dit wordt gemodelleerd als een taludopwaarts bewegende bron of stilstaande bron.

In HMBreach gelden de volgende waarden voor de bovenrandvoorwaarde bron

h_{top} (m) =	0.5
v_{wal} (mm/s) =	6.3
Fr =	2
c =	12%
in g/l	318
b (m) =	1
n_0 =	40%
ρ_s (kg/m ³) =	2650
ρ_w (kg/m ³) =	1000
g =	9.81
delta =	1.65
eps_0	0.165
sz0 (kg/s) =	5.01
q_0 (m ³ /s) =	0.016
u_0 (m/s) =	0.47
h_0 (m) =	0.034
ρ_m (kg/m ³) =	1198

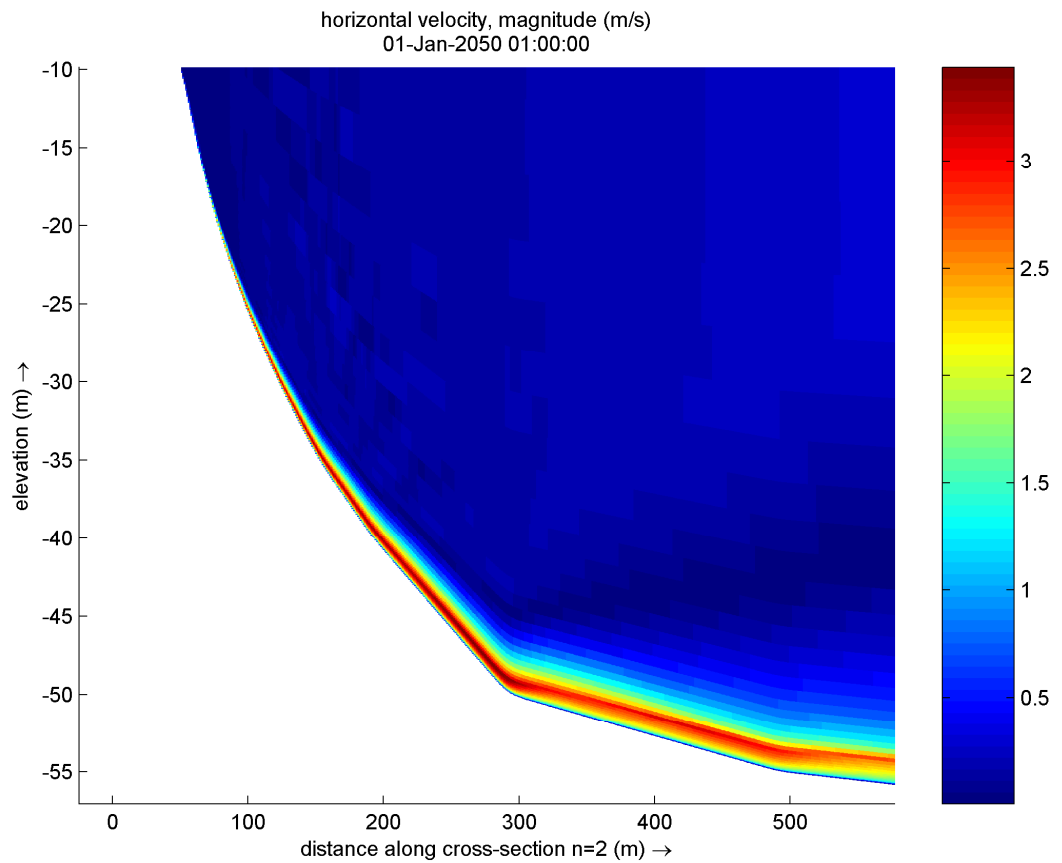
Deze bron levert een zand-watermengsel met beginsnelheid 0.47 m/s, dichtheid 1198 kg/m³ over een laagdikte van 0.034 m. De zandvolumeconcentratie is dus 12% ofwel 318 g/l.

De bron is in Delft 3D-Flow verdeeld over 5 lagen wat bij 10 m waterdiepte en de gebruikte laagverdeling overeenkomt met ongeveer 5 cm.

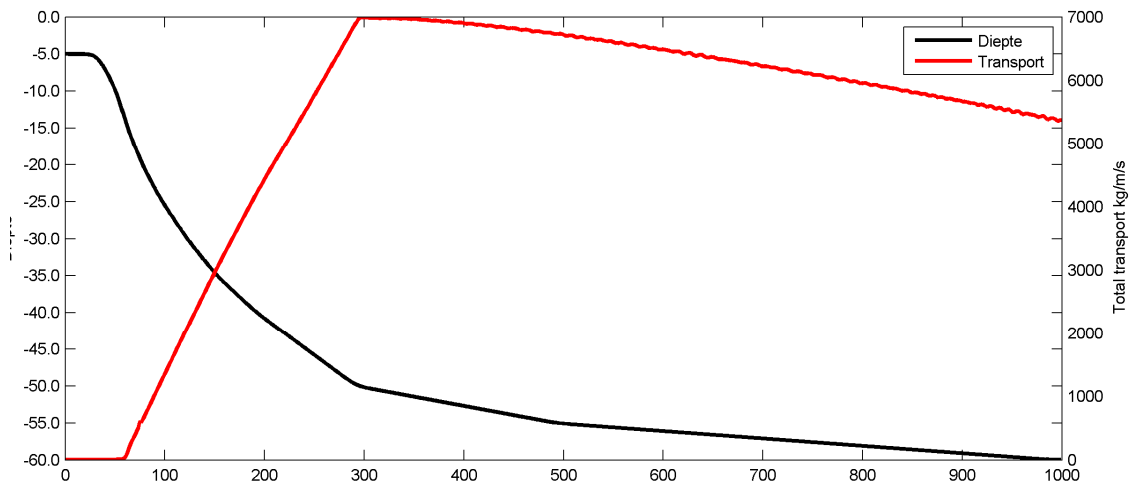
Daarbij is de impuls van de stroming bij gelijkblijvend transport zoveel opgevoerd dat de bodemsnelheid overeenkomt met de gewenste waarde.

6.3.3 Resultaten

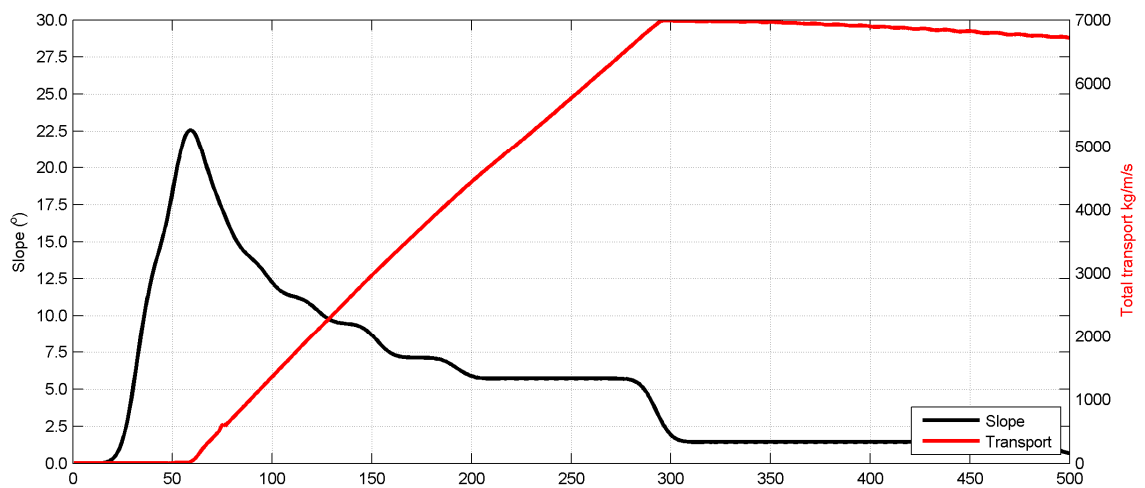
Van de berekeningsresultaten is een animatie gemaakt waarin de ontwikkeling in de tijd is te zien gedurende 30 minuten na het “aan” zetten van de bron.



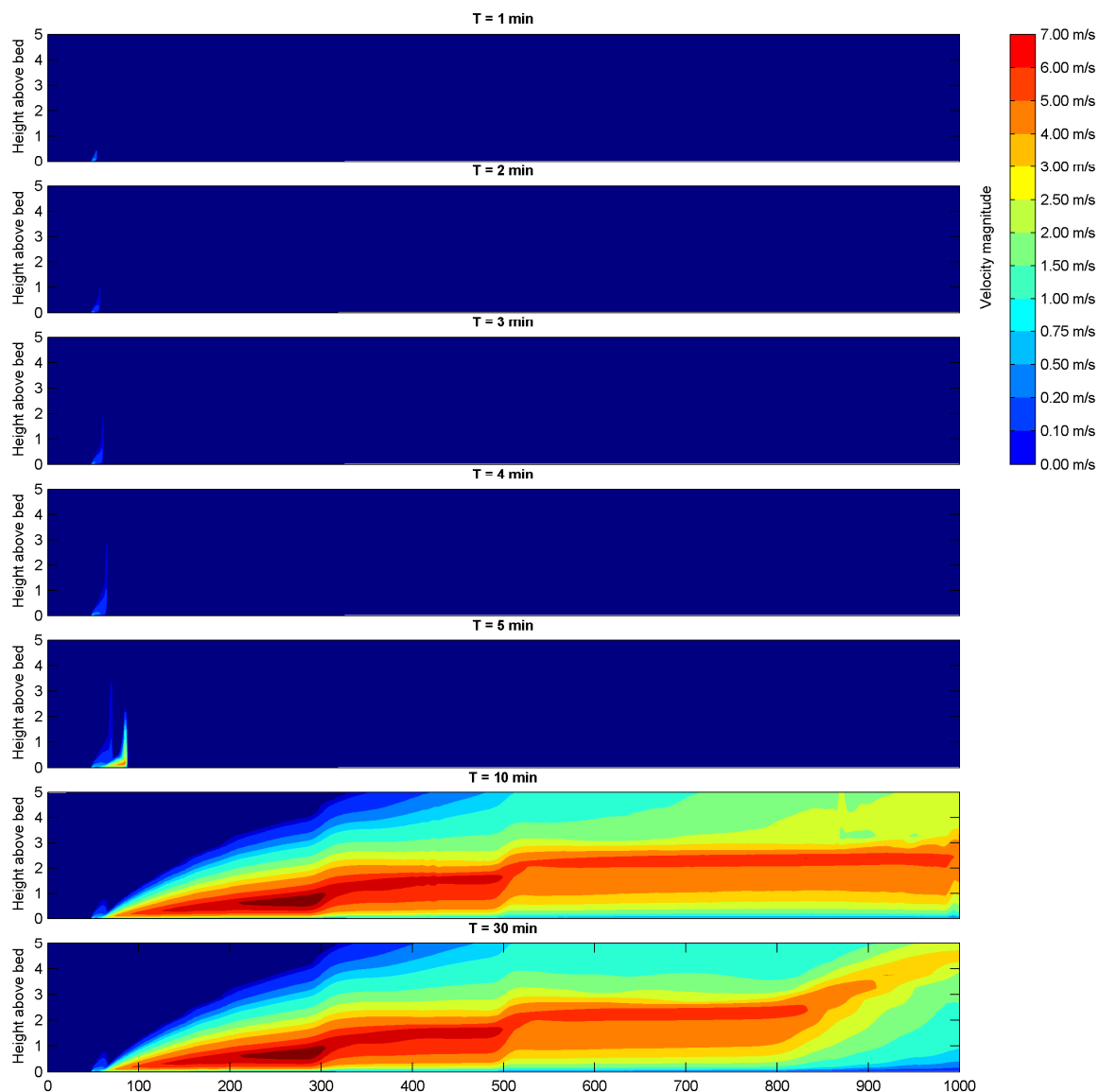
Figuur 6.2 Snelheid langs talud



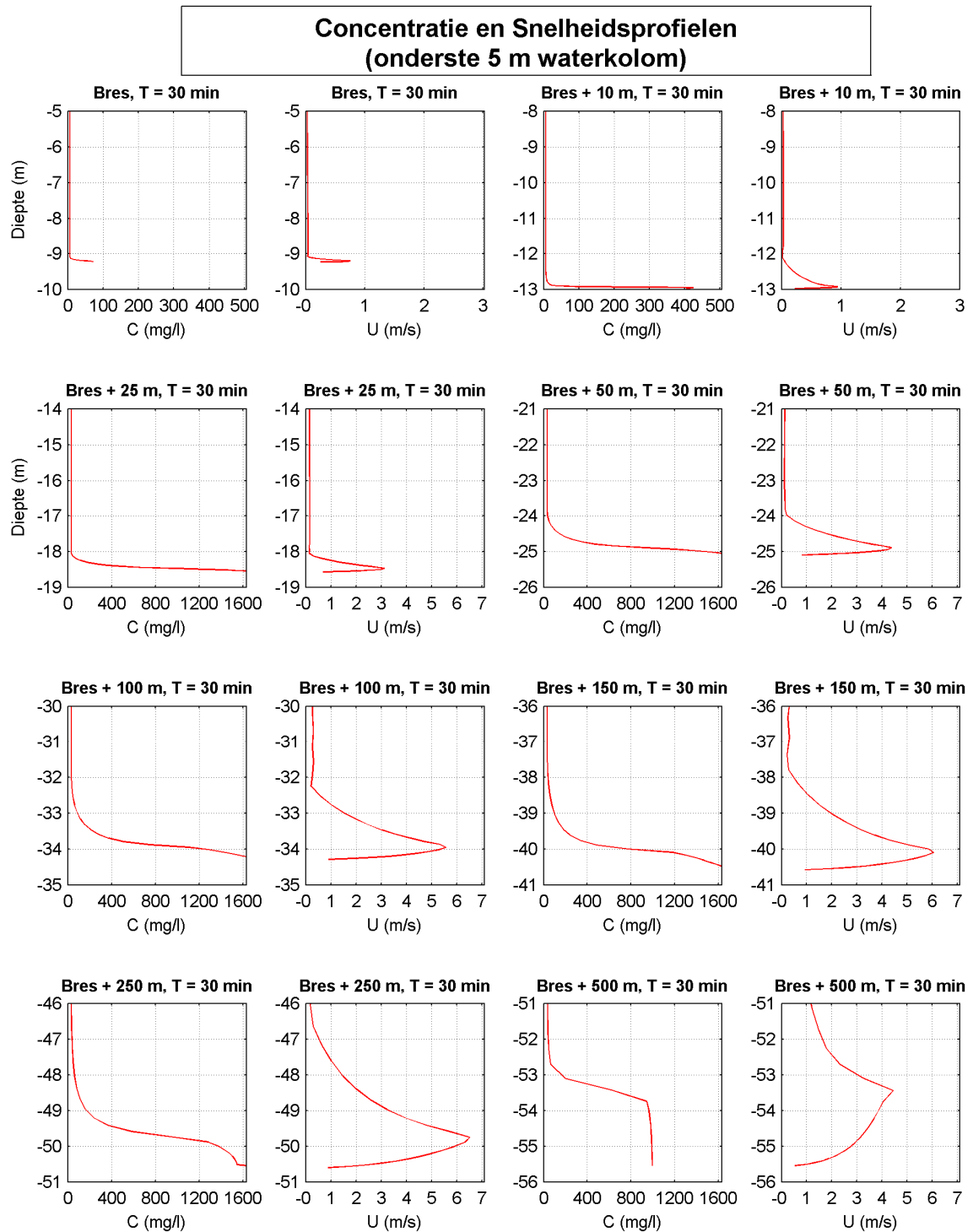
Figuur 6.3 Totaal zandtransport langs talud



Figuur 6.4 Totaal zandtransport en lokale taludhelling



Figuur 6.5 Snelheid als functie van x



Figuur 6.6 Snelheids- en concentratieverticaal op verschillende locaties langs talud na 30 minuten

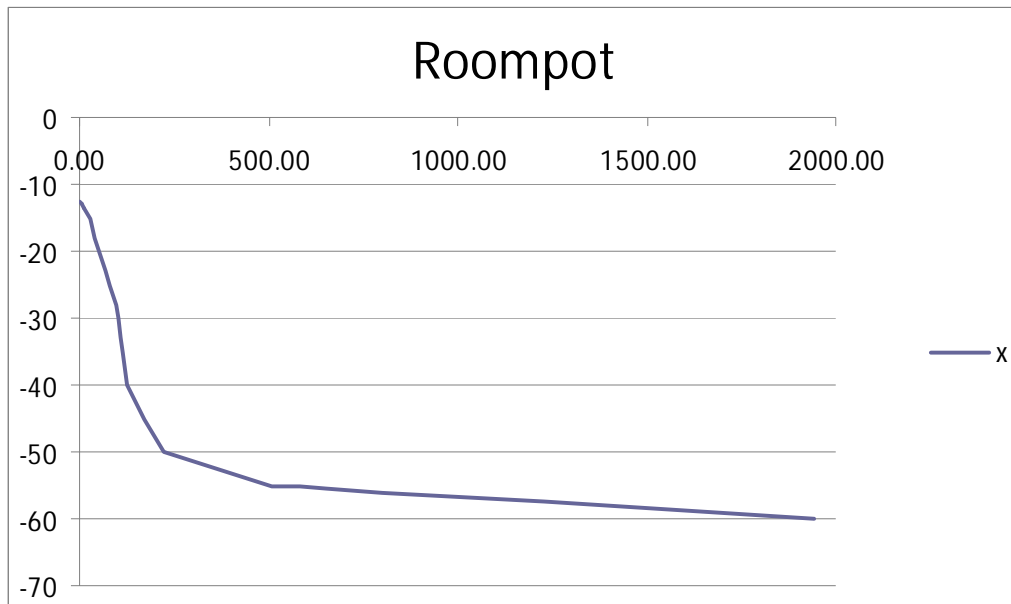
6.4 Toepassing Roompot, Berekening II

6.4.1 Taludgeometrie

Deze geometrie is iets aangepast. De z-waarden in de tabel komen overeen met m + NAP.

x	z	Slope 1:
0.0	-12.5	
5.75	-13	11.5
11.50	-13.5	11.5
28.75	-15	11.5
42.55	-18	4.6
51.76	-20	4.6
69.02	-23	5.8
80.52	-25	5.8
94.33	-28	4.6
103.53	-30	4.6
110.44	-33	2.3
115.04	-35	2.3
126.54	-40	2.3
172.57	-45	9.2
224.31	-50	10.3
510.76	-55	57.3
582.38	-55.25	286.5
654.00	-55.5	286.5
797.23	-56	286.5
1226.95	-57.5	286.5
1943.15	-60	286.5

Zie Figuur 6.7.



Figuur 6.7 Taludgeometrie Roompot Oosterschelde Berekening II

De waterstand ligt op 0 m + NAP.

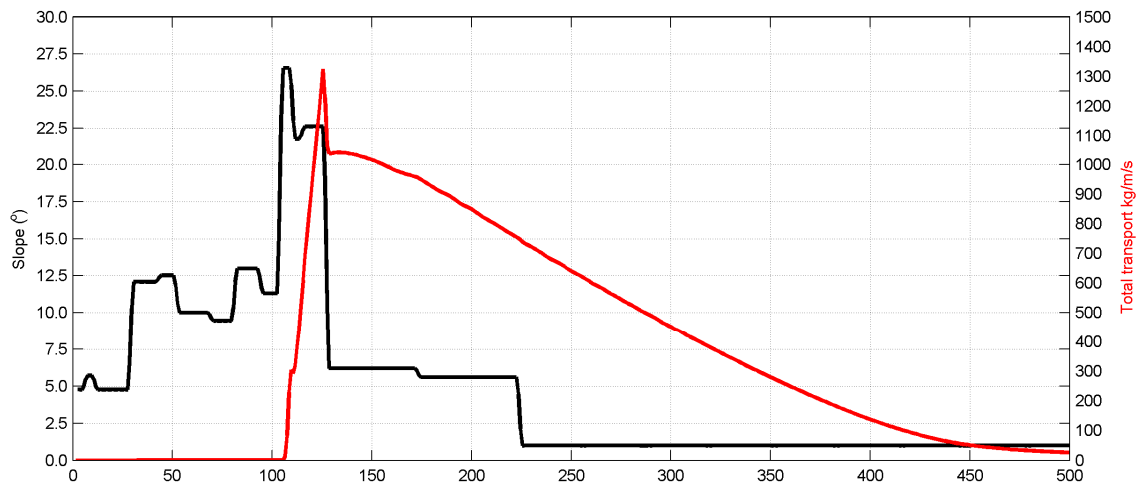
6.4.2 Bronterm

De grootte van de bronterm is identiek aan de grootte van de bronterm in de eerdere testcase, zie paragraaf 6.3.2. De bron is geplaatst op:

- X = 100 m (Helling ongeveer 10 °)
- X = 108 m (Helling ongeveer 25 °)
- X = 150 m (Helling ongeveer 5 °)

6.4.3 Resultaten

De resultaten van de 3 uitgevoerde berekeningen worden getoond in Figuur 6.9



Figuur 6.8 Totaal zandtransport en lokale taludhelling

Het berekende transport is nu aanzienlijk lager dan berekening I maar nog steeds hoog.

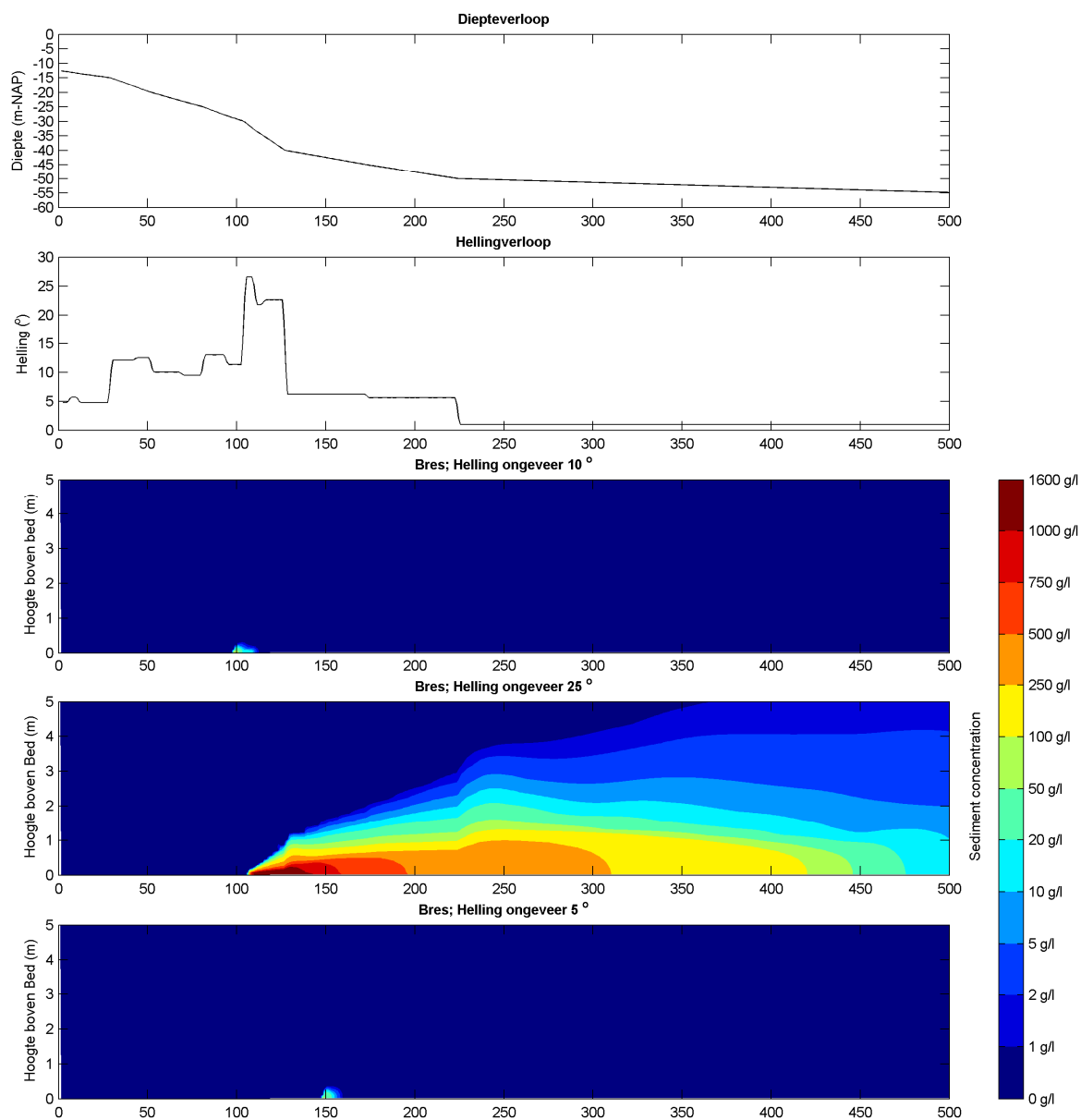
De lengte waarover het transport plaats vindt is nu ongeveer 500 m ook minder dan bij berekening I, zie Figuur 6.4.

Het verschil met berekening I is dat het deel van het profiel waar de helling steil is (de taludhoogte met een steilheid van meer dan ongeveer 10°) veel kleiner is dan bij berekening I.

Klaarblijkelijk treedt erosie op bij een helling van meer dan 6° en sedimentatie bij een helling van minder dan 6° .

De gradient in transport (dS/dx ; erosiesnelheid) in het erosiedeel is wel vergelijkbaar (30 kg/s per m^2 voor berekening I en 50 kg/s per m^2 voor II).

Het zandtransport blijft in berekening I dus langer maar met dezelfde mate toenemen.



Figuur 6.9 Talud, helling als functie van de afstand en concentratie in g/l voor drie berekeningen met verschillende positie bres.

Het lawine effect komt alleen tot ontwikkeling bij een bres met ter plaatse een helling van ongeveer 25° (1:2)

Als de helling ongeveer 5° wordt stopt de lawine-ontwikkeling (sedimentatie > erosie).

6.5 Gevoeligheidsanalyse

Grootte bronterm; als snelheid te laag (schuifspanning < kritische Shields waarde) : al het zand bezinkt in 1 cel, geen stroming

Helling: gehalveerd: geen stroming

Positie bronterm langs talud. Bij 1:2 talud: explosieve groei treedt op

Hoogte steile helling: Uit 2^e berekening lijkt te volgen dat een behoorlijke helling over een behoorlijke afstand nodig is.

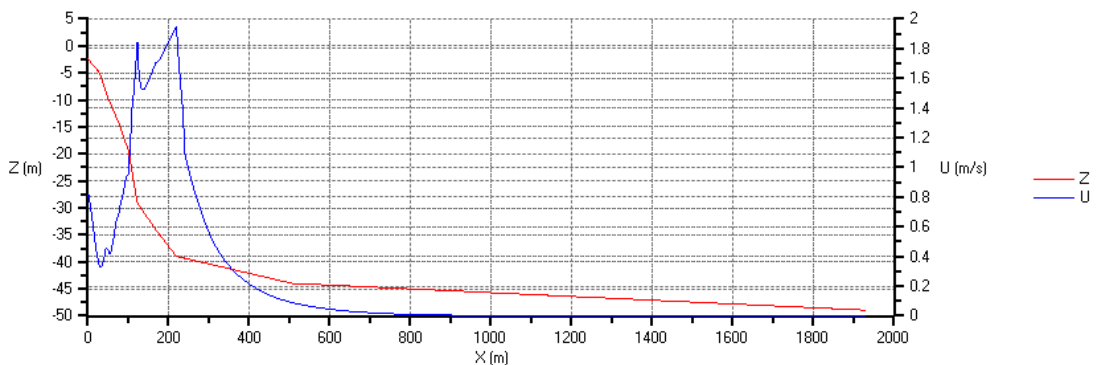
Bij een helling van ongeveer 5° of minder “dempt” de “lawine” uit.

6.6 Vergelijking resultaten met HMTurb

Deze berekeningen zijn eerder uitgevoerd voor situatie Roompot, Zie ook F. Tabak, Stuurboord en Synergieproject. Met standaardinstellingen zoals in D-Flow slide geformuleerd.

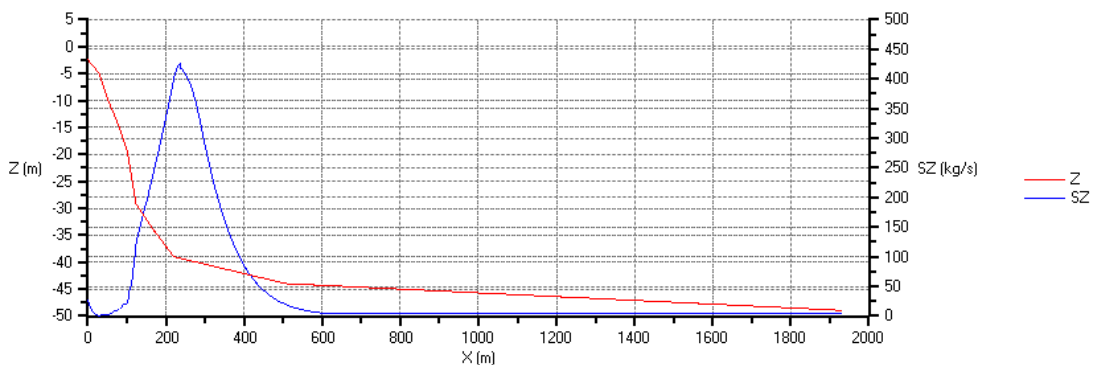
In Stuurboord is afgeleid dat het gemiddelde transport per m breedte bij Roompot gemiddeld ongeveer 150 kg/sm was. Delft 3D Berekening I geeft een piek van 7000, berekening II 1000 en HMTurb 400 kg/sm. Hier speelt naast het erosiemodel ook de wrijvingsfactor nog een belangrijke rol, deze is in de HMTurb berekening hoger gekozen, maar de werkelijke waarde is niet bekend en deze beïnvloed de berekende erosie ook.

HMBreach



Figuur 6.10 Berekende snelheid Roompot

HMBreach



Figuur 6.11 Berekende zandtransport Roompot

6.7 Conclusies Delft 3D-Flow

Het is gebleken dat een bresvloeiing met het huidige Delft 3D-Flow beschreven kan worden. Een bresvloeiing is in feite een turbidity current met erosie op een zandig onderwatertalud veroorzaakt door een bres; dit is een geleidelijke terugschrijdende zandleverende taludverstoring.

Kennelijk is de basisfysica in Delft 3D-Flow voldoende geavanceerd (dichtheidsstroming, zandtransport, turbulentie) om het verschijnsel aan te tonen zonder aanpassing in de software code. Omgekeerd kan worden gesteld dat door een numeriek experiment in Delft 3D-Flow inderdaad een verschijnsel gegenereerd kan worden dat een bresvloeiing simuleert zoals waargenomen bij gootproeven, bij zandwinningen en in Zeeland en gemodelleerd met HMTurb.

Bij een bepaalde geometrie en zandopbouw en voldoende sterke bron op een bepaalde locatie ontstaat inderdaad een krachtige zand-water mengselstroming door een zich zelf versterkend erosieproces. Of dit al of niet gebeurt in Delft 3D-Flow is afhankelijk van de taludhelling, taludhoogte, zandsoort, bodemwrijving, positie en de sterkte van de bron (beginsnelheid bij de bodem, debiet en zandconcentratie). Alleen bij een bepaalde combinatie treedt een stroming op anders gebeurt er niets.

De stroming gedraagt zich als een turbulente hoog-geconcentreerde zand-water mengselstroming zoals ook proefondervindelijk is waargenomen (WL, Z216, 1988). Ter vergelijking: afschuivende grond of vervorming van een verweekt zandpakket (ook WL Z216, 1988 of M1233) kan niet met Delft 3D-Flow berekend worden, omdat de constitutionele of stromingseigenschappen (reologie, viscositeit) niet vergelijkbaar zijn met die van water en überhaupt onbekend zijn.

Getoetste situatie is geometrie van vloeiing 2004, Roompot, Oosterschelde Toegepast is van Rijn zandtransportformule met hellingeffect en hindered settling en $k-\epsilon$ turbulentie modellering. Daarbij wordt de bres als bron ingebracht met voldoende beginsnelheid. In Delft 3D-Flow moet dan voldoende impuls meegegeven worden aan de uitstroming bij de bron. Een bewegende bres is nog niet getoetst. De morfologische ontwikkeling in de tijd (terugschrijdende erosie, oeverinscharing, sedimentatie) is nog niet te berekenen, de berekening wordt snel instabiel.

De berekende zandtransporten en snelheden zijn hoger dan berekend met HMTurb voor een vergelijkbare (1D) situatie. Mogelijk wordt in Delft 3D erosie en zandtransport met de bestaande zandtransportformules overschat voor de gegeven bijzondere condities van een steile helling, fijn zand en hoge snelheden. Maar ook de bodemwrijving speelt hierin een belangrijke rol.

7 Conclusies en Aanbevelingen

Beoordeling zandige onderwatertaluds voor veiligheid t.a.v. faalmechanisme bresvloeiing:

- HMBreach in D-Flow slide inbouwen voor gedetailleerde toetsing
 - Parameters vastzetten zoals berekend,
 - bestaande talud en zand gegevens uniform invoeren
 - variabele ter beoordeling is kritieke verstoringshoogte
- Eenvoudige toetsing mogelijk conform CUR 113
 - veiligheidsfactor / optredingskans van deze methode bij toepassing bij dijken nog nagaan.
- Met Delft 3D-Flow kan bresvloeiing gesimuleerd worden
 - Geavanceerde toetsing met 3D geometrie en in tijd
 - specifieke optredingscriteria kunnen worden vastgesteld
 - Nog geen morfologische berekening mogelijk
 - Nog toetsen / calibreren.

8 Referenties

- SBW Faalmechanismen in losgepakt zand, Onderzoek t.b.v. het Wettelijk Toetsinstrumentarium, Projectplan 2012, 1206014-000, Deltares, 2012, Geeralt van den Ham
- Analysis of Breach Flow Slides with HMBreach, F. Tabak, Deltares, dec. 2011
- Simulating Breach Flow Slides with Delft 3D, F. Tabak, Deltares, dec. 2011
- Delft Cluster (2009). "Oeverstabiliteit bij verdieping waterbodems, Rekenmodel HMBreach", DC04 43 11, 2009
- Bresvloeiing in zand, Geotechniek, 3, juli 2009
- CUR Aanbeveling 113, Oeverstabiliteit bij zandwinputten, 2008
- Malampaya Turbidity current assessment, R. Uittenbogaard, D.R. Mastbergen, H5083, Delft Hydraulics, 2008
- Deltares (2008). "Zettingsvloeiing bij ontgrondingskuil Oosterscheldekering", 427540-0029, september 2008 in opdracht van Rijkswaterstaat Bouwdienst, Stuurboord
- De Groot et al (2006). "Scour hole slope instability in sandy soil". ICSE, 2006
- Haalbaarheidsstudie Geulwandsuppletie Oostgat, WL Delft Hydraulics, Z4056, 2005
- Mastbergen, D.R. and J.H. van den Berg 2003, Breaching in fine sands and the subsequent generation of sustained turbidity currents in submarine canyons, *Sedimentology*, 50, pp. 625-637.
- Rijn, L.C. van 1993 Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas. Aqua Publ. (The Netherlands).
- J.C. Winterwerp, Z.B. Wang, J.A.Th. M. van Kester and J.F. Verweij, Far-field impact of water injection dredging in the Crouch River, *Proc. of the Inst. of Civil Eng. Water & Maritime Engineering* 154, December 2002
- Rekenmodel HMBres, D.R. Mastbergen, 1990
- Winterwerp, J.C., Groot, M.B. de, Mastbergen, D.R. and Verwoert, H. (1990) Hyperconcentrated sand-water mixture flows over flat bed. *J. Hydraul. Eng.*, 116, 36-54
- Storten van Zand, Z216, 1988
- Self-accelerating turbidity currents, G. Parker, Y. Fukushima, H.M. Pantin, *J. Fluid Mech.* Vol 171, 1986
- Zettingsvloeiingproeven in Grote Stroomgoot, M1233, 1973