

C-13973 715

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat RIKZ Middelburg

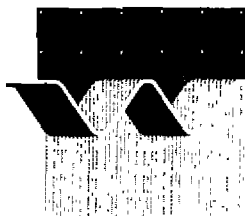
Verspreiding Boorspecie in de Westerschelde

Simulaties met een slibverspreidingsmodel

J.G. Boon en A.J. Nolte

Verslag modelonderzoek

juli 2001



wl | delft hydraulics

Inhoud

1	Inleiding.....	1-1
1.1	Aanleiding	1-1
1.2	Doelstelling	1-2
1.3	Leeswijzer	1-2
1.4	Verantwoording.....	1-2
2	Aanpak van het onderzoek	2-1
3	Modelbeschrijving	3-1
3.1	Hydrodynamica en grid	3-1
3.2	Ruimtelijke aggregatie	3-2
3.3	Gemodelleerde toestandsvariabelen en processen	3-3
3.4	Slibbronnen	3-3
4	Modelresultaten	4-1
4.1	Vergelijking T0 met veldmetingen en RESTWES resultaten.....	4-1
4.2	Bijdrage Boorspecie en Havenslib aan het zwevende stof.....	4-3
5	Conclusies.....	5-1
6	Referenties.....	6-1

Bijlagen

A	Dichtheidsstromen in 2D model.....	A-1
B	Figuren	B-1

Lijst met figuren

- B.0: Maandgemiddelde zwevende stof concentraties voor november 2000
- B.1: Tijdserie van zwevende stof bij DOW meetpaal
- B.2: Tijdserie van zwevende stof bij Hansweert
- B.3: Tijdserie van zwevende stof bij Baalhoek
- B.4: Tijdserie van zwevende stof bij Vlissingen
- B.5: Maandgemiddelde bijdrage van boorspecie in november bij hoogwater
- B.6: Relatieve bijdrage boorspecie tijdens hoogwater
- B.7: Maandgemiddelde bijdrage van boorspecie in november bij laagwater
- B.8 Relatieve bijdrage boorspecie tijdens laagwater
- B.9: Bijdrage van boorspecie op 30 november 2000 tijdens spring tij
- B.10: Bijdrage van boorspecie op 22 november 2002 tijdens dood tij
- B.11: Bijdrage havenslib aan totaal zwevend stof gemiddeld hoog water
- B.12: Relatieve bijdrage havenslib aan totaal zwevend stof gemiddeld hoog water
- B.13: Bijdrage havenslib aan totaal zwevend stof gemiddeld laag water
- B.14: Relatieve bijdrage havenslib aan totaal zwevend stof gemiddeld laag water

I Inleiding

I.1 Aanleiding

In 1995 heeft de Ministerraad besloten tot de aanleg van de Westerscheldetunnel die een verbinding zal vormen tussen Terneuzen en Ellewoutsdijk. In augustus 1999 is gestart met het boren van deze tunnel onder de Westerschelde. Het materiaal dat tijdens het boorproces vrijkomt, is een mengsel van klei en bentoniet. Deze zogenaamde boorspecie wordt voor een gedeelte afgevoerd met schepen en op een aantal locaties in de Westerschelde gestort. Daarnaast wordt materiaal (slurry) afgevoerd door een pijpleiding en geloosd in de Westerschelde.

In het RESTWES project (Villars en Vos, 1999) is de concentratie van zwevende stof (ook wel slib genoemd) in de Westerschelde voorafgaand aan de bouw van de Westerschelde tunnel en de daarmee gepaard gaande verspreiding van boorspecie vastgelegd. Daarbij is gebruik gemaakt van informatie afkomstig van zowel historische als actuele in-situ metingen, van remote sensing data en van gemodelleerde gegevens. De sterke en zwakke punten van elk van de informatiebronnen zijn hierbij aan de orde gekomen. Op basis van gegevens over het jaar 1998 werden de belangrijkste karakteristieken van zwevend stof in de Westerschelde bepaald, zoals het dynamisch gedrag en de ruimtelijke variabiliteit.

De voor de lozing van boorspecie benodigde vergunningen zijn verleend door de provincie Zeeland en Rijkswaterstaat directie Zeeland. In het kader van deze vergunningverlening is het noodzakelijk een studie uit te voeren naar de verwachte effecten van het verspreiden van de boorspecie. Om het effect van de verspreiding van de boorspecie op de slibhuishouding nader in beeld te brengen wordt door RIKZ een monitoringsprogramma uitgevoerd onder de naam Boorspecie. Dit programma maakt gebruik van een combinatie van technieken, waaronder in-situ metingen van troebelheid en aanslibbing, remote sensing en een slibtransportmodel. De in-situ troebelheidsmetingen zijn in december 1998 van start gegaan om de referentiesituatie vast te leggen.

Troebelheidsmetingen vinden plaats met een meetpaal bij de DOW steiger in de nabijheid van het tunneltraject. Momenteel is echter nog niet voldoende duidelijk in hoeverre en in welke mate bij deze vaste meetpaal het effect van een lozing van boorslib waarneembaar is. Daarnaast is het onbekend hoe de lozingswolk van boorslib zich ruimtelijk in de Schelde verspreid. Om dit nader te onderzoeken heeft Rijkswaterstaat (RIKZ) aan WL|Delft Hydraulics gevraagd om een modelstudie uit te voeren met het model zoals dat in het RESTWES project is ontwikkeld en gecalibreerd. Informatie over deze opdracht is verstrekt in een schriftelijke offerteaanvraag met kenmerk RIKZ/AB/2001/60094 d.d. 26 maart 2001.

1.2 Doelstelling

Het doel van deze onderhavige modelstudie wordt als volgt omschreven:

Kwantificeren van de effecten van de verspreiding van geloosde boorspecie die in de vorm van een slurry via een pijpleiding op de Westerschelde wordt geloosd.

Deze modelstudie beoogt antwoord te krijgen op de volgende vragen:

- Hoe snel verdunt de verspreide slurry zodra het in de Westerschelde wordt gepompt ?
- Hoe verhoudt zich de bijdrage van de boorspecie tot de achtergrondsconcentraties ?
- Wat is de vorm en omvang van de slibverspreiding als gevolg van de slurrylozing?
- Hoe lang blijft de concentratie zichtbaar (meetbaar) boven de achtergrondsconcentratie?
- In hoeverre is de verhoogde concentratie meetbaar bij de DOW steiger onder verschillende kenmerkende getijsituaties? (ofwel in hoeverre is de concentratie verandering significant ten opzichte van de natuurlijke variabiliteit) ?
- Hoe groot is de bijdrage aan het slibgehalte van havenslibstortingen vanuit de Braakmanhaven ?

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving gegeven van de aanpak van het modelonderzoek. Vervolgens volgt in hoofdstuk 3 een beknopte beschrijving van de modelopzet. In hoofdstuk 4 worden de modelresultaten besproken, waarna in hoofdstuk 5 de conclusies van de studie worden samengevat.

1.4 Verantwoording

Het project is van WL|Delft Hydraulics zijde uitgevoerd door J.G. Boon (projectleiding), J.K.L. van Beek en A.J. Nolte in de periode mei-juli 2001. Van de zijde van de opdrachtgever, RIKZ in Middelburg, zijn B.A. Kornman, K. van der Male en A. Zindler de projectbegeleiders. Het onderhavige rapport is geschreven door J.G. Boon en A.J. Nolte. Opdrachtverlening vond plaats door middel van de opdrachtbon met het nummer 67010631 d.d. 26 april 2001.

2 Aanpak van het onderzoek

Om de bijdrage van de slurry afkomstig van de Westerscheldetunnel aan de zwevende stofconcentratie in de Westerschelde te onderscheiden van andere factoren die concentratie(patronen) beïnvloeden, zijn twee berekeningen gedefinieerd:

variant T0: referentie situatie zonder inbreng van slurry;
variant T1: situatie met slurrylozing.

Deze twee varianten worden met het slibverspreidingsmodel (zie Hoofdstuk 3) berekend. De benodigde modelinvoer (i.e. waterbeweging, randvoorwaarden en initiële condities) is voor beide situaties identiek met uitzondering van de geloosde hoeveelheid slurry. Het verschil tussen de twee berekeningen maakt het netto effect van de boorspecie zichtbaar.

De verblijftijd van water in de Schelde bedraagt enkele maanden. Dit betekent dat bij een verandering van aanvoer van stoffen, het een aantal maanden duurt voordat een nieuwe evenwichtssituatie zich heeft ingesteld. Vanuit deze achtergrond is het noodzakelijk dat voor het bereiken van een evenwichtssituatie, het model een aantal maanden wordt doorgerekend. Na deze inspeelperiode worden de berekende slibconcentraties dus niet meer beïnvloed door de aan het begin van de simulatie opgelegde waarden. Op basis van de gegevens vanuit het RESTWES project is het model circa 8 maanden ingespeeld. De aan het einde van deze inspeelperiode berekende evenwichtssituatie, is vervolgens als initiële conditie gehanteerd voor de twee door te rekenen varianten T0 en T1.

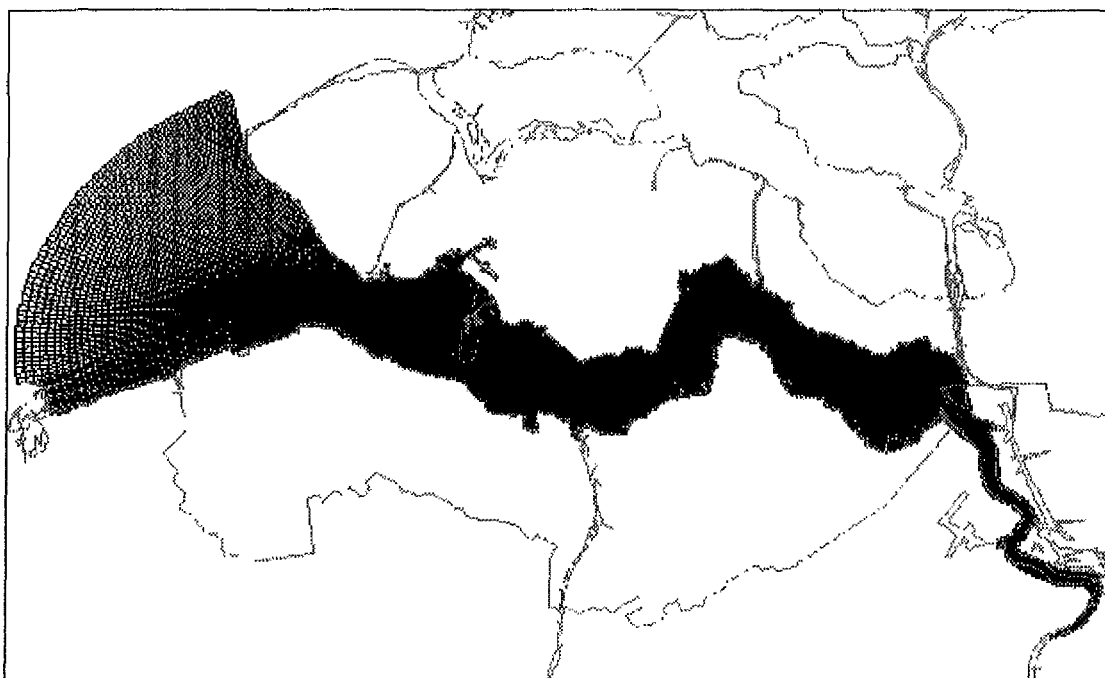
De slurrylozingen vinden discontinue in de tijd plaats. Dit betekent dat er perioden zijn waarin geen of geringe hoeveelheden slurry worden geloosd en momenten waarop grote slurrylozingen plaatsvinden. Om een enigszins representatief beeld te verkrijgen van de effecten van de geloosde slurry, is op basis van de door de opdrachtgever verstrekte gegevens, besloten om de periode 1 oktober 2000 - 10 januari 2001 voor de twee varianten te hanteren. Dit geselecteerde tijdvak omvat zowel perioden met geringe als met grote pieklozingen.

3 Modelbeschrijving

In dit hoofdstuk worden de modelopzet en de gehanteerde invoergegevens nader beschreven. Deze studie gaat uit van het in RESTWES kader ontwikkelde en gecalibreerde slib-model voor de Westerschelde. Een gedetailleerde technische beschrijving is gerapporteerd in Villars en Vos, 1999.

3.1 Hydrodynamica en grid

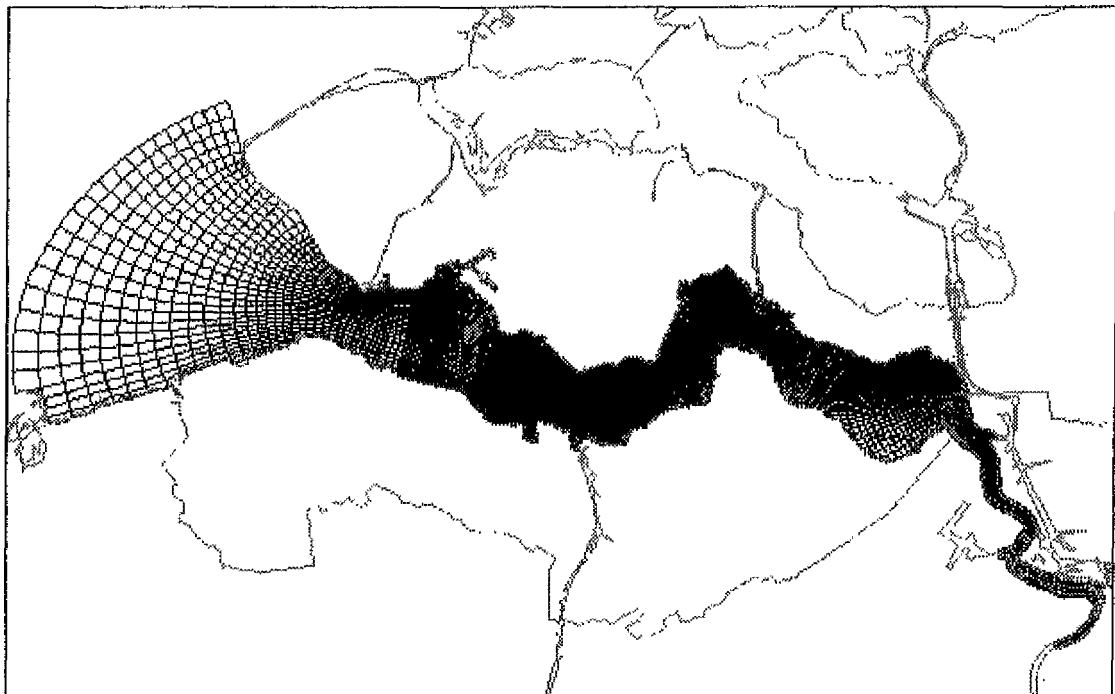
De voor het slib-model benodigde waterbeweging is door RIKZ berekend met het SCALWEST model. Ten tijde van het RESTWES project is gebruik gemaakt van een dieptegemiddelde (2DH) waterbeweging over spring/doodtij van 14.5 dagen. Deze waterbeweging was echter niet geheel cyclisch waardoor een faseverschuiving in de berekende slibconcentraties optrad. Recentelijk is door RIKZ (in de persoon van K. van der Male) een hernieuwde cyclische waterbeweging opgeleverd voor een periode van 29.5 dagen. Deze waterbeweging is berekend onder gemiddelde condities zoals wind en Schelde-afvoer. In overleg met de opdrachtgever is besloten dat deze waterbeweging de basis zal vormen voor de in deze studie uit te voeren slibberekeningen. In Figuur 3.1 is het fijnmazige rekengrid van het SCALWEST model weergegeven.



Figuur 3.1 Rekengrid van het SCALWEST model voor de Westerschelde

3.2 Ruimtelijke aggregatie

Het rekenrooster en de onderliggende waterbeweging vormen de basis voor de transportberekeningen met het slib-model. De transportmodellering in het slib-model is ontleend aan de berekeningsresultaten van het hydrodynamisch model SCALWEST. Gelet op de enorme hoeveelheid rekenelementen in het fijnmazige SCALWEST model, zal de rekentijd van het slib-model ongeveer een week bedragen voor een simulatieperiode van enkele maanden. Het is navenant dat een dergelijk grid qua rekentijd en dataopslag onhanteerbaar is voor het uitvoeren van simulaties. Vanuit praktische overwegingen is het daarom noodzakelijk om het rekenrooster van het slib-model en de onderliggende hydrodynamica ruimtelijk te aggregeren. Bij het aggregeren worden cellen uit het oorspronkelijke rekenrooster samengevoegd tot grotere cellen. De eigenschappen van de samengenomen rekencellen zijn hierbij het gemiddelde van de onderliggende rekencellen. Ten tijde van het RESTWES project is een regelmatige aggregatie van de waterbeweging van 4×4 cellen uitgevoerd. Gelet op de vraagstelling van dit project is het zinvol om een niet reguliere aggregatie toe te passen op de vernieuwde waterbeweging. Dit betekent dat geen aggregatie in het directe beïnvloedingsgebied van de lozing (slurrypijp en meetpaal) van de boorspecie is uitgevoerd, terwijl in de buitengebieden opeenvolgend een aggregatie van 2×2 en 4×4 is toegepast. Op deze wijze worden de grootschalige karakteristieke stoftransportpatronen beschreven met behoud van voldoende ruimtelijk onderscheidend vermogen in het onderzoeksgebied. De uiteindelijke aggregatie is afgebeeld in Figuur 3.2. Het totaal aantal rekencellen is hierbij gereduceerd van circa 80000 tot ruim 20000.



Figuur 3.2 Rekengrid ten behoeven van de slibmodellering in de Westerschelde

3.3 Gemodelleerde toestandsvariabelen en processen

De initiële condities, randvoorwaarden, procesparameters en gemodelleerde toestandsvariabelen zijn zoveel mogelijk overgenomen uit het RESTWES project. Voor een uitgebreide beschrijving hiervan wordt verwezen naar het RESTWES rapport (Villars en Vos, 1999).

In vergelijking met het RESTWES model is het huidige model uitgebreid met toestandsvariabelen voor de boorspecie en het havenslib. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de toestandsvariabelen. Het anorganisch zwevend stof wordt onderverdeeld in totaal vijf slibfracties. Drie fracties zijn autogeen aanwezig: marien slib, rivierslib en 'zwaar' slib. Deze slibfracties onderscheiden zich in sedimentatie en erosie karakteristieken. De overige twee fracties worden door menselijk handelen in de Westerschelde gebracht. Aangenomen is dat deze fracties qua karakteristieken overeenkomen met het rivierslib.

Tabel 3.1 Gemodelleerde toestandsvariabelen (de extensie S1 of S2 in de modelnaam duidt op het voorkomen van de toestandsvariabele in respectievelijk de eerste en tweede sedimentlaag)

Fractie	bron	modelnaam
Marien slib	Noordzee	IM1, IM1S1, IM1S2
Rivier slib	Schelde	IM2, IM2S1, IM2S2
Zwaar slib	autogeen	IM3, IM3S1, IM3S2
Slib van slurrylozing	boorspecie	DetC, DetCS1, DetCS2
Slib van havenstortingen	baggerspecie Braakmanhaven	OOC, OOCs1, OOCs2

De volgende processen zijn onderdeel van de slibmodellering:

1. horizontale advectie en diffusie;
2. sedimentatie/resuspensie aan water-bodem interface;
3. concentratieafhankelijke valsnelheid.

Zowel sedimentatie als erosie worden gestuurd door de actuele stromings-geïnduceerde bodemschuifspanning. Indien deze actuele schuifspanning lager is dan de kritische schuifspanning voor sedimentatie (τ_{sed}) treedt sedimentatie op. Indien de actuele schuifspanning hoger is dan de kritische schuifspanning voor resuspensie (τ_{res}) treedt erosie op.

De stroomsnelheid van het water en de interactie van golven met het sediment bepalen de actuele schuifspanning. In het model wordt onderscheid gemaakt tussen de ondiepe delen (platen, waterdiepte gemiddeld minder dan 2 meter diep) en de diepere delen. De instelling is zodanig dat op de platen geen (netto) erosie optreedt.

3.4 Slibbronnen

Als slibbronnen zijn gedefinieerd:

1. de Noordzeerand van het model (randvoorwaarde) ;

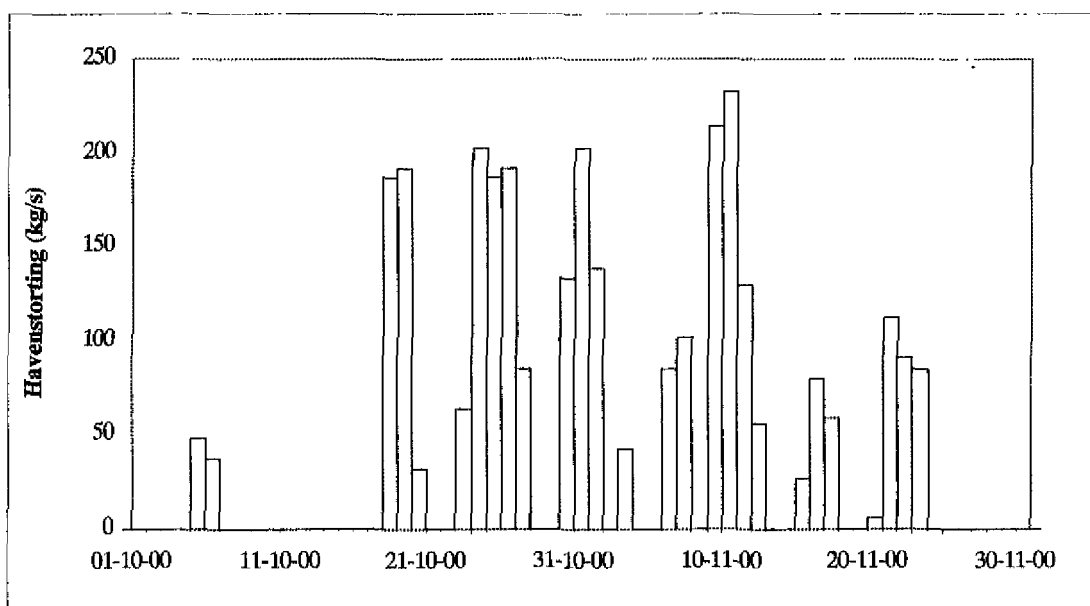
2. riviervracht van de Schelde (randvoorwaarde);
3. overige zoetwater vrachten (Antwerpse dokken, Spuikanaal Bath en het Kanaal van Gent naar Terneuzen) ;
4. slurrylozing;
5. havenslibstortingen.

De eerste drie bronnen zijn overgenomen uit het RESTWES model en staan vermeld in Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Concentratie slib (in mg/l) voor de diverse slibbronnen. De Noordzee en de Schelde worden opgegeven als randvoorwaarde. De overige drie zijn als lozing gedefinieerd.

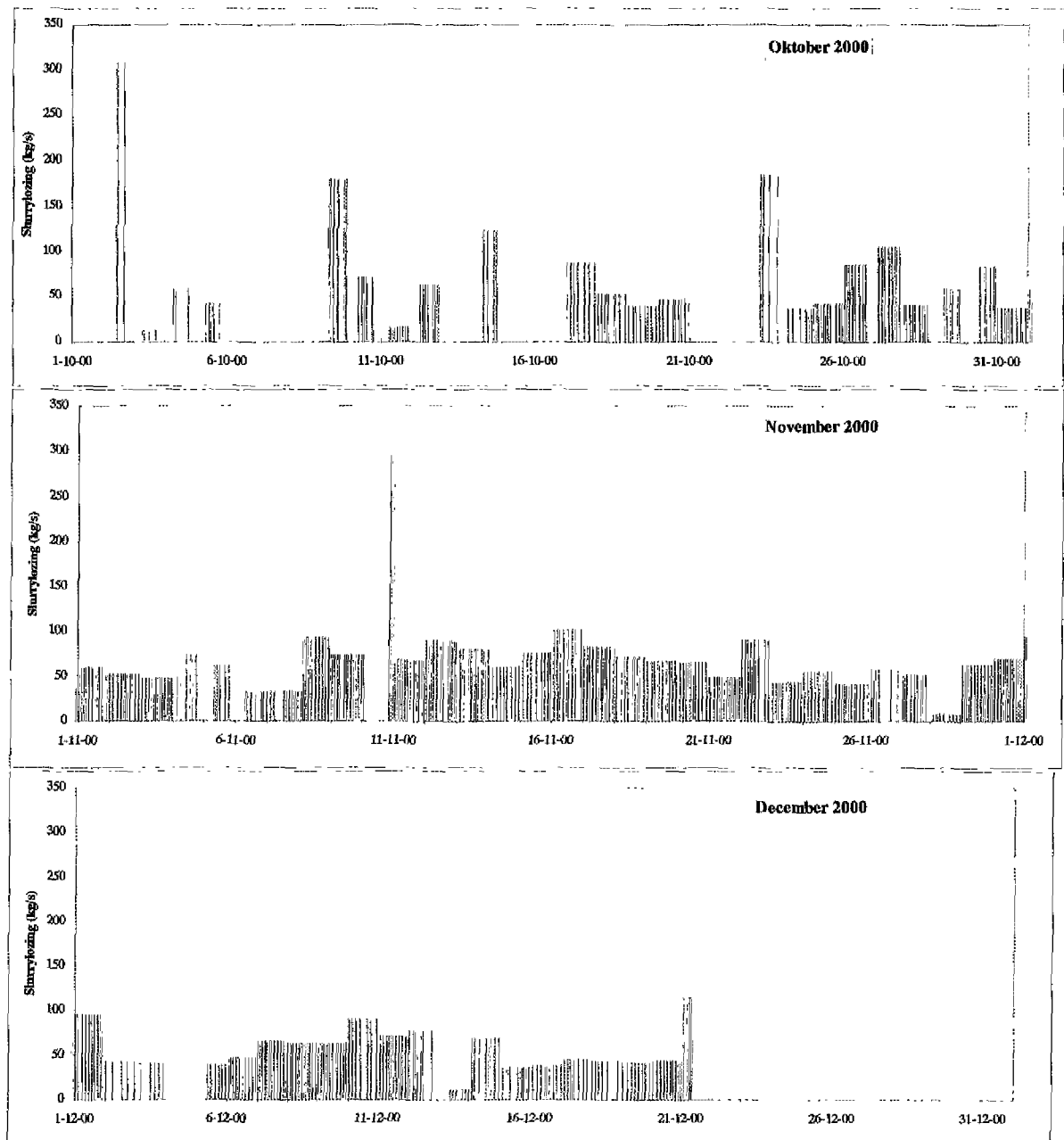
2000/2001	Noordzee randvoorwaarde	Schelde randvoorwaarde	Antwerpse dokken debiet 12 m ³ /s	Spuikanaal Bath debiet 2 m ³ /s	Kanaal Gent - Terneuzen debiet 20 m ³ /s
1 september	13.5	35	100	100	20
1 oktober	22	35	100	100	20
1 november	29	55	100	100	20
1 december	36	75	100	100	20
1 januari	40	85	100	100	20
1 februari	40	85	100	100	20

Baggerspecie uit havens wordt in de Westerschelde gestort. Alleen voor de Braakmanhaven zijn gegevens bekend voor de beschouwde periode van oktober tot december 2000. In overleg met de opdrachtgever is voor de baggerspecie een slibfractie van 60% en een drooggewicht van 0,5 ton/m³ aangenomen. Figuur 3.3 geeft het tijdsverloop van de havingsstorting weer.



Figuur 3.3 Havenstortingen in de Westerschelde in de maanden oktober en november 2000

Gegevens van de slurrylozing zijn bekend voor de periode 29 september tot 21 december 2000. Ook hier is een drooggewicht van $0,5 \text{ ton/m}^3$ aangenomen. Het verloop van de slurrylozing met de tijd is weergegeven in Figuur 3.4.



Figuur 3.4 Slurrylozing in de maanden oktober, november en december 2000. Merk op dat de lozing bestaat uit korte pulsen en niet uit langdurige periodes.

Tabel 3.3 vermeldt de maandelijkse totale hoeveelheden boorspecie en gestorte havenslib. Uit deze tabel valt af te leiden dat de hoeveelheid gestort havenslib in de maand november circa 2,5 keer de hoeveelheid gestort boorspecie is.

Tabel 3.3: Maandelijkse hoeveelheden gestort havenslib en boorspecie (in kton droge stof)

	Boorspecie	Havenslib
oktober 2000	23,0	134,7
november 2000	49,1	126,2
december 2000	27,1	0

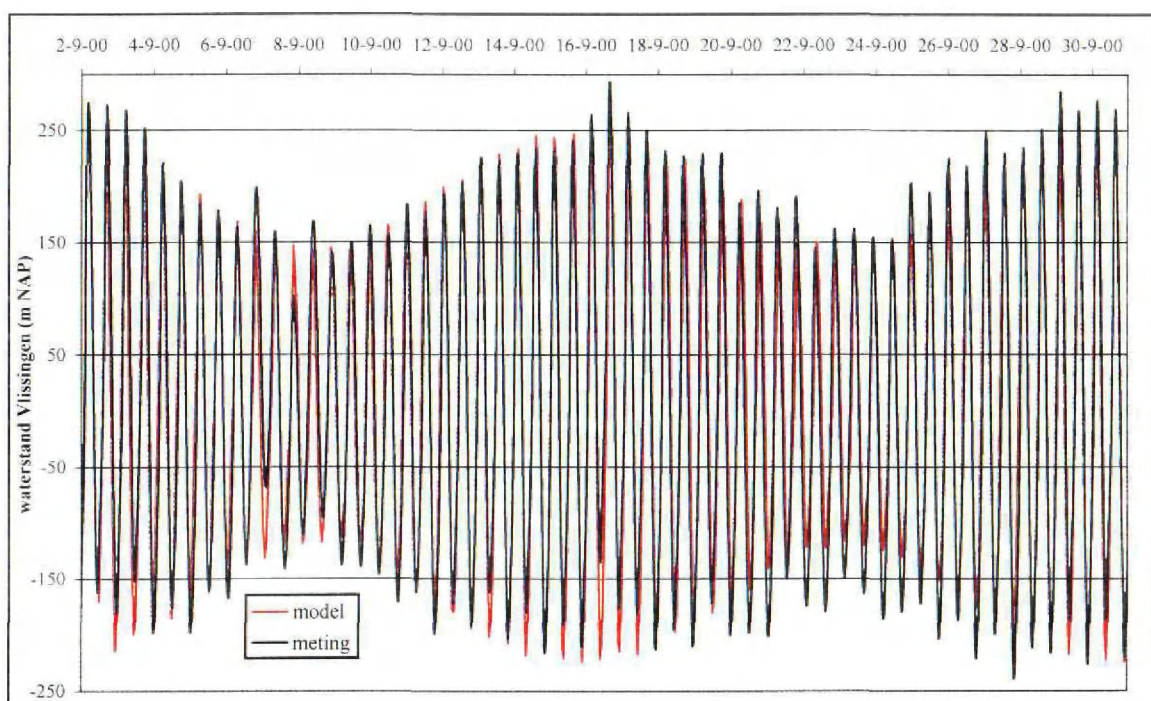
4 Modelresultaten

4.1 Vergelijking T0 met veldmetingen en RESTWES resultaten

Alvorens de bijdrage van de boor- en havenspecie aan de zwevende stof concentratie te analyseren, zijn de modelresultaten van de referentiesituatie (T0) vergeleken met eerdere modelberekeningen en veldgegevens. Hiertoe is de gemodelleerde T0 situatie vergeleken met de resultaten zoals deze in RESTWES kader zijn berekend en met in-situ metingen (Maldegem et al., 1999).

Waterstanden

In Figuur 4.1 staan de gemeten en berekende waterstanden weergegeven voor het station Vlissingen. De waterstanden zijn afgeleid uit de met SCALWEST berekende hydrodynamica. Het model en de meting komen redelijk met elkaar overeen. Verschillen in de waterstanden kunnen worden toegewezen aan locale windeffecten die niet in het model zijn meegenomen.



Figuur 4.1 Vergelijking tussen model en meting van de waterstand bij Vlissingen

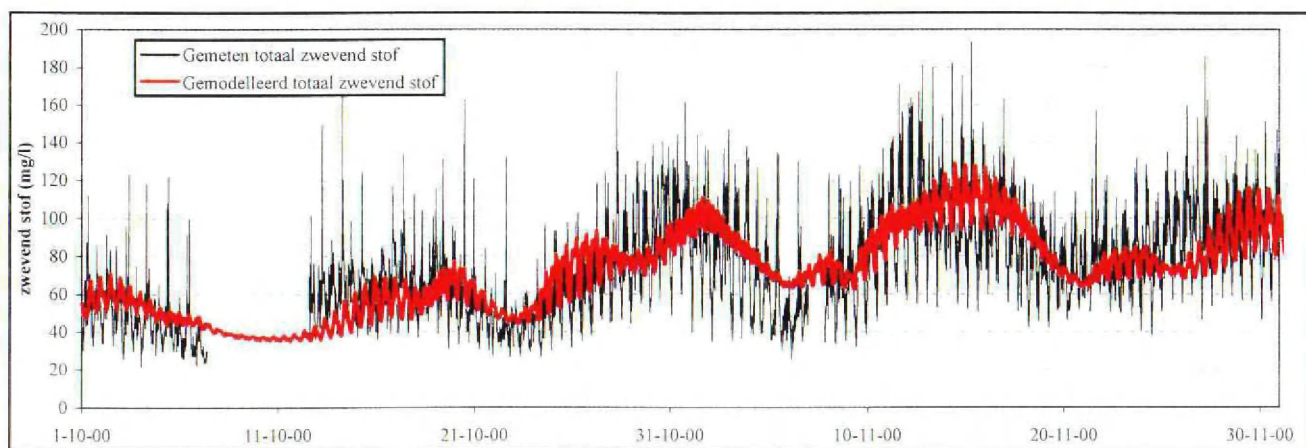
Ruimtelijke slibpatroon

Uit langjarige metingen blijkt dat het jaarlijkse slibverloop in de Schelde een duidelijk seizoensmatig patroon heeft met lage concentraties in de zomerperiode (10-30 mg/l) en hoge waarden in de winter (50-80 mg/l) (Villars en Vos, 1999). In Figuur B.1 in Bijlage B is

het gemiddelde zwevend stof patroon weergegeven voor de referentie (T0) situatie in november 2000. Hieruit blijkt dat in het Schelde estuarium de slibconcentraties variëren tussen de 50 en 100 mg/l. Dit komt overeen met de typische winterwaarden zoals deze uit langjarige metingen zijn bepaald. Een vergelijking met de slibverspreidingspatronen uit de RESTWES studie (Villars en Vos, 1999) laat een overeenkomstig beeld zien. Een toenemende gradiënt van benedenstrooms naar bovenstrooms in de Westerschelde is waarneembaar. In tegenstelling tot de RESTWES resultaten is, in het centrale gedeelte van het Schelde estuarium (in het gebied rondom Terneuzen), de maandgemiddelde slib concentraties het hoogst. Dit wordt veroorzaakt door de grotere hoeveelheid geloosde havenslib vanuit de Braakmanhaven. In het RESTWES model is een havenslibblozing van circa 67 kton gehanteerd (oktober-december 1998) en in de huidige toepassing ruim 260 kton (zie Tabel 3.3).

Temporele slibconcentraties

Figuur 4.2 geeft voor de maanden oktober en november 2000 de berekende en gemeten zwevende stof concentraties ter hoogte van Terneuzen. De berekende concentratieniveaus komen goed overeen met de gemeten waarden. Verder valt uit het figuur op te maken dat het model de waargenomen regelmatige variaties over de springtij/doodtij cycli uitstekend reproduceert. Echter, op kortere tijdschaal zijn de inter-getijden fluctuaties in de metingen aanzienlijk groter dan in de modelberekening. Dit wordt veroorzaakt doordat variaties in het slibgehaltes behalve door het getij eveneens worden beïnvloed door factoren als fluctuerende windcondities en de effecten hiervan op de stroomsnelheden en de bodemschuifspanning. Deze variërende windcondities zijn niet in de hydrodynamica en derhalve in het slib-model meegenomen.



Figuur 4.2 Gemeten en gemodelleerd zwevend stof concentratie op locatie Terneuzen (referentie situatie)

Beperkingen modelconcept

De aangeleverde SCALWEST waterbeweging is dieptegemiddeld (2DH). In de RESTWES toepassing heeft dit ertoe geleid dat een netto slibexport plaatsvindt vanuit de Westerschelde naar de Noordzee. Door de horizontale dichtheidsgradiënten is er echter een netto slibimport van marien sediment te verwachten. Dit effect speelt een belangrijke rol in de slibhuishouding van de Westerschelde (Wartel et al., 2000). In appendix A is een beknopte uiteenzetting gegeven van hoe de dichtheidsstromen op een geparameteriseerde wijze in een 2DH model kunnen worden ingebracht. Gelet op de beschouwde tijdsperiode

beknopte uiteenzetting gegeven van hoe de dichtheidsstromen op een geparameteriseerde wijze in een 2DH model kunnen worden ingebracht. Gelet op de beschouwde tijdsperiode en het ruimtelijk plaatsdomein, is de verwachting dat dit proces de resultaten van deze studie niet wezenlijk zal veranderen. Met de opdrachtgever is overeengekomen dit proces niet in de huidige modellering mee te nemen.

Gegeven de aannamen dat de hydrodynamica en het zwevende stof in het model bepaald zijn voor gemiddelde meteorologische condities; gegeven ook de aannamen omtrent het modelconcept (zoals dieptegemiddelde waterbeweging) wordt de dynamiek in de metingen door de modelresultaten goed gereproduceerd. De gemodelleerde referentiesituatie (T0) vormt hierbij een goede uitgangspositie om de effecten van de slurrylozing op de slibverspreiding te onderzoeken.

4.2 Bijdrage Boorspecie en Havenslib aan het zwevende stof

In deze paragraaf worden de effecten van de geloosde boorspecie en baggerspecie op de zwevend stof concentratie nader beschreven.

Temporele slibconcentraties

De Figuren B.1 - B.4 laten het tijdsverloop van zwevende stof zien voor vier monitoringslocaties: respectievelijk DOW meetpaal, Hansweert, Baalhoek en Vlissingen. De zwevend stof concentraties als gevolg van boorspecie en dumping van havenslib vanuit de Braakmanhaven zijn hierin zichtbaar gemaakt tezamen met het totale slibgehalte.

Uit de figuren valt het volgende te constateren:

- Het aandeel van havenslib aan het totale slibgehalte is gemiddeld voor alle stations groter dan dat van de boorspecie (met name in de maand november). Dit wordt veroorzaakt door de grotere hoeveelheden gestorte havenslib ten opzichte van de slurrylozing. De totale hoeveelheid geloosde havenslib over de maanden oktober-december 2000 is ongeveer driemaal zoveel als de hoeveelheid slurrylozing (zie Tabel 3.3).
- Zowel de concentratie van het havenslib als de boorspecie nemen aan het begin van de simulatieperiode toe doordat de toevoer van het materiaal groter is dan de verdunning met het omgevingswater. Nadat eind november de havenstortingen zijn gestopt, is een langzame afname in de concentratie zichtbaar. De lozing van boorspecie is na 21 december gestopt waarna eveneens een afname in concentratie is te zien, doordat steeds meer verdunning met het omgevingswater plaatsvindt en doordat materiaal uit de waterfase kan verdwijnen door eventuele netto sedimentatie.
- Het verloop van de concentratie is bij de meetpaal is het meest fluctuerend omdat dit monitorpunt vlak nabij het lozingspunt van de slurry en het havenslib is gesitueerd, daar waar de concentratiegradiënten het grootst zijn.
- Het gemiddelde aandeel van boorspecie bij de DOW meetpaal is circa 10-20 mg/l met piekconcentraties tot 100 mg/l. De relatieve bijdrage van boorspecie aan het totale slibgehalte (T1 variant) is gemiddeld 10-20% tot 50% vlak na pieklozingen. Een relatieve bijdrage van 50% betekent een verhoging van een factor 2 ten opzichte van T0.

- het gemiddelde aandeel van het havenslib in november bij de DOW meetpaal is circa 40-50 mg/l (relatief 40-50%).
- het aandeel boorspecie is op de overige monitoringslocaties sterk gereduceerd tot maximaal 10 mg/l. Het aandeel havenslib blijft relatief hoog.

Ruimtelijke slibverspreidingspatronen

In de Figuren B.5 - B.14 zijn de ruimtelijke slibverspreidingspatronen op verschillende momenten in het getij weergegeven (gemiddeld hoogwater, gemiddeld laagwater en tijdens springtij en doottij).

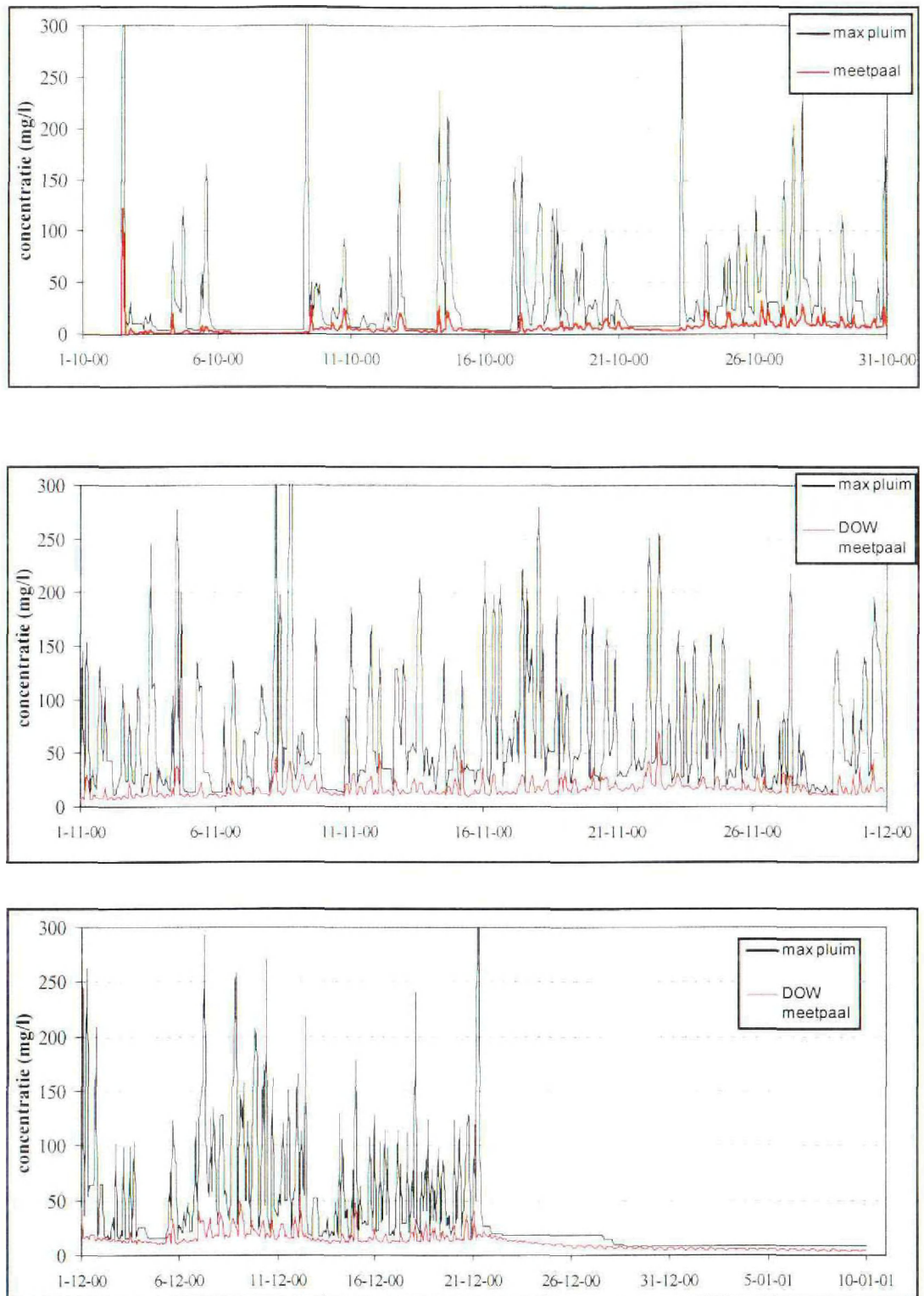
Uit de figuren valt het volgende te constateren:

- De absolute bijdrage van de boorspecie is voor zowel hoog als laag water ongeveer hetzelfde (tot 20 mg/l in het gebied rondom de DOW meetpaal en de slurripijp). Tijdens hoogwater is de lozingspluim bovenstrooms gericht (opkomend tij) en tijdens laagwater benedenstrooms (afgaand tij).
- De relatieve bijdragen zijn voor zowel hoog als laag water ongeveer gelijk.
- In een groot gedeelte van de Westerschelde is de berekende bijdrage van geloosde havenslib uit de Braakmanhaven 30-50% van het totale slibgehalte.
- Een vergelijking tussen verspreidingspatronen tijdens springtij en doottij lijkt aan te geven dat gedurende doottij een hogere absolute bijdrage van boorspecie bereikt wordt dan gedurende springtij (respectievelijk Figuur B.9 en B.10). Hoewel dit te verklaren zou zijn doordat het dispersieve vermogen van de doottij stroming minder is dan van de springtij stroming met haar langere getijslag, mogen we deze verklaring niet voetstoots aannemen. Immers het actuele patroon is in hoge mate afhankelijk van de boorspecielozingen in de dagen die hieraan voorafgaand. In de onderhavige vergelijking is in de dagen voorafgaande aan het doottij meer boorspecie geloosd dan in de dagen voorafgaande aan het springtij. Een deel van de hogere concentratie zal hierdoor worden veroorzaakt.

Hoe de lozingspluim zich ruimtelijk in de tijd gedraagt is te zien in de animatie over de periode 1 oktober 2000 tot 10 januari 2001. Hierin is tevens de geloosde hoeveelheden boorspecie in een tijdserie aangegeven. Hoe de pluim zich tijdens kenmerkende getijsituaties gedraagt valt moeilijk te bepalen aangezien de bijdrage voor een groot gedeelte wordt bepaald aan de hand van de in de voorafgaande periode geloosde hoeveelheid specie.

Maximale concentratie boorspecie in de lozingspluim versus concentratie bij DOW

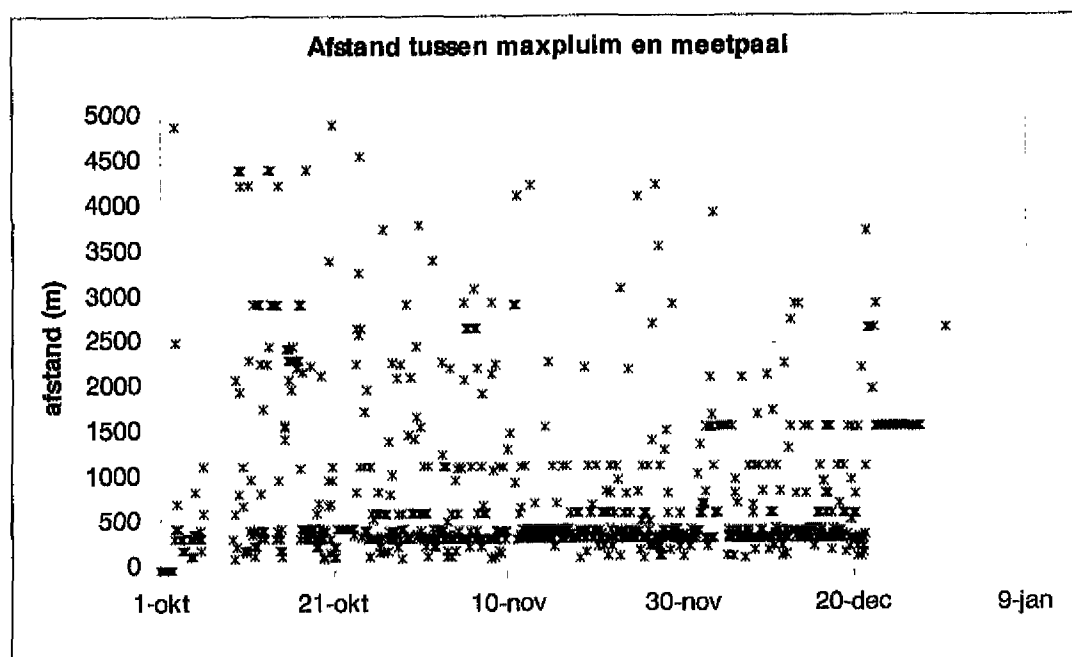
Om een indicatie te krijgen in hoeverre de DOW meetpaal de concentratie van boorspecie in de pluim meet, is in Figuur 4.3 de maximale concentratie in de lozingspluim weergegeven tezamen met de concentratie ter plaatse van de DOW meetpaal.



Figuur 4.3: Maximale slurry concentratie in de lozingspluim en de concentratie ter plaatse van de DOW meetpaal. In deze figuur zijn de concentraties om de 2 uur weergegeven. Dit betekent dat opgetreden piekconcentraties binnen een 2-uurs tijdsinterval niet zijn weergegeven.

Uit de figuur valt direct op dat de maximale concentratie als gevolg van de slurrylozing aanzienlijk groter is dan die bij de DOW meetpaal. De maximale concentratie van boorspeciepluim kan oplopen tot meer dan 300 mg/l. Deze hoge concentraties vallen samen

boorspeciepluim kan oplopen tot meer dan 300 mg/l. Deze hoge concentraties vallen samen met het directe uitstroompunt van de slurripijp (zie eveneens Figuur 4.4). Verder valt te constateren dat de maximale piekconcentraties zeer snel afnemen als gevolg van initiële menging. Binnen enkele uren na de lozing is de maximale concentratie sterk gereduceerd tot het niveau van enkele tientallen mg/l; het niveau wat gemeten wordt bij de meetpaal. In Figuur 4.4 is de afstand weergegeven tussen de locatie van het maximum van de pluim en de meetpaal in de tijd.



Figuur 4.4: Afstand tussen de locatie van het maximum in de lozingspluim en de DOW meetpaal

Vergelijking met gegevens uit Boorspecie voortgangsverslagen

Uit de in-situ metingen van de DOW-meetpaal is eveneens een schatting gemaakt van de bijdrage van de boorspecie aan het totale slibgehalte (T0 vs. T1). Uit de voortgangsrapportage over de periode oktober - november 2000 (RIKZ, 2001) wordt een verhoging van ongeveer een factor 2 in het slibgehalte ten opzicht van de T0 situatie waargenomen (met name in de maand november). Verder is hierin geconstateerd dat slibpieken voorkomen van maximaal 100 mg/l. Op grond van de modeluitkomsten is een toename als gevolg van de slurrylozing te verwachten van gemiddeld 20% tot maximaal een factor 2 tijdens pieklozingen.

Uit de in-situ metingen is niet eenduidig vast te stellen of de geconstateerde verhoging van het slibgehalte volledig is toe te schrijven aan de slurrylozing of dat nog andere aspecten een rol spelen, zoals de storting van havenslib. Daarnaast heeft het model de beperking dat het de bijdrage van boorspecie bepaald onder gemiddelde meteorologische condities. Storm condities of perioden met fluctuerende winden zullen het stromingspatroon en daarmee gepaarde verspreiding van de boorspecie beïnvloeden, met name op kortere tijdschalen.

Op grond van het bovenstaande concluderen wij dat de waargenomen verhoging van het slibgehalte bij de DOW meetpaal in overeenstemming is met de berekende bijdrage van de boorspecie.

5 Conclusies

Modelberekeningen zijn een belangrijk hulpmiddel om de effecten van lozingen te bestuderen. Hierbij dient opgemerkt te worden dat het toegepaste slib-model gebruik maakt van een dieptegemiddelde waterbeweging die is berekend met een langjarige gemiddelde externe forcing. Dit beperkt de mogelijkheden om variaties in veldmetingen binnen het getij nauwkeurig te reproduceren. Met name niet-lineaire interacties tussen meteorologische forcing, slibafvoer door rivieren en waterbewegingspatronen worden in het model niet beschouwd. Daarom dienen de berekende effecten van de lozing van boorspecie en havenslib als indicatief te worden geïnterpreteerd.

Het voordeel van het gebruik van het slib-model ten opzichte van de in-situ metingen is dat het model de temporele variatie van slib combineert met het ruimtelijke verspreidingspatroon. Bovendien is het met het model relatief eenvoudig om verschillende componenten van het slib afzonderlijk zichtbaar te maken. Hierdoor levert het een belangrijke bijdrage in het inzicht in de verspreiding en verdunning van boorspecie en havenslib in de Westerschelde.

Op grond van de modeluitkomsten wordt het volgende geconstateerd:

- Het effect van de lozing van boorspecie is in de modeluitkomsten duidelijk waarneembaar in de slibverspreiding in de Westerschelde;
- Het gemiddelde relatieve aandeel van de boorspecie aan het totale slibgehalte in de T1-situatie bij de Meetpaal is circa 20% (10-20 mg/l) oplopend tot 50% (~100 mg/l) tijdens pieklozingen. Een relatieve bijdrage van 50% in de T1-situatie betekent dus dat de concentraties ten opzichte van de T0-situatie zijn verdubbeld;
- Maximale slibconcentraties in de lozingspluim kunnen oplopen tot meer dan 300 mg/l.
- Als gevolg van initiële menging neemt deze piekconcentratie binnen enkele uren af tot enkele tientallen mg/l;
- Het aandeel van het havenslib uit de Braakmanhaven is over de gehele linie groter dan dat van de boorspecie (bij de Meetpaal 40-50%, ofwel 50 mg/l);
- De uit de monitoringcampagne waargenomen verhoging van het slibgehalte is in overeenstemming met de berekende bijdrage van de boorspecie aan het totale slibgehalte;
- Het gedrag van de lozingspluim wordt in sterke mate bepaald door de heersende getijcondities en door de in de voorafgaande periode geloosde hoeveelheid slurry.

6 Referenties

Boon, J.G., 1995

Zeetoets, modelmatig onderzoek naar de verontreinigingssituatie van de Noordzee en waddenzee in 1990 en 2000. WL| Delft Hydraulics report T1357.

Maldegem, D. van, Winder de, B en A. Arends, 1999

Slib in de Westerschelde. Een beschrijving van de troebelheid en slibverspreiding in de Westerschelde voor de periode december 1998 tot juli 1999

RIKZ, 2001

Monitoring verspreiding boorslib in de Westerschelde (fase 3), periode oktober - november 2000. Datarapportage, RIKZ/AB/2000/842x, 2001

Villars, M.T. and R.J. Vos, 1999

RESTWES, *Remote sensing as a tool for intergrated monitoring of the Western Scheldt*. WL| Delft Hydraulics, Report Z2472

Wartel S. and G.T.M. van Eck, 2000

Slibhuishouding van het Schelde estuarium, Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen

A Dichtheidsstromen in 2D model

De aangeleverde SCALWEST waterbeweging is dieptegemiddeld (2DH). In de RESTWES toepassing heeft dit ertoe geleid dat een netto slibexport plaatsvindt vanuit de Westerschelde naar de Noordzee. Door de horizontale dichtheidsgradiënten als gevolg van saliniteitsverschillen is er echter een netto slibimport van marien sediment te verwachten. Omdat zout water zwaarder is dan zoet water, is de dichtheid van het water bovenstrooms de Schelde geringer vergeleken met het water benedenstrooms. Door deze dichtheidsverschillen heeft het Schelde water aan de oppervlak de neiging zeewaarts te bewegen, terwijl het water nabij de bodem landwaarts beweegt. Omdat in het algemeen de concentratie zwevende stof nabij de bodem hoger is dan aan het oppervlak zal een netto import van marien slib richting de Westerschelde plaatsvinden. Dit effect speelt een belangrijke rol in de slibhuishouding van de Westerschelde (Wartel et al., 2000). Dit proces kan op geparameteriseerde wijze in het 2DH model worden ingebracht door in aanvulling op het advectione en dispersieve transport een extra transportsnelheid tot te voegen die representatief is voor het landinwaartse transport van zwevend marien materiaal. De additionele snelheidsterm wordt bepaald aan de hand van de horizontale berekende saliniteitsgradiënten. Deze methodiek is in het verleden succesvol toegepast voor diverse studies (Boon, 1995).

De extra snelheidsterm kan als volgt worden afgeleid:

In een 2DH model bestaat het zouttransport uit een advectione en diffusie-term:

$$s_s = \bar{u} h \bar{c}_s - D_h h \frac{\partial \bar{c}_s}{\partial x} \quad (1)$$

waar:

- s_s = zouttransport per eenheid breedte (g / m · s)
- $\bar{c}_s$ = dieptegemiddelde zoutconcentratie (g / l)
- D_h = horizontale dispersiecoëfficiënt (m² / s)
- h = waterdiepte (m)
- x = horizontale coördinaat (m)
- $\bar{u}$ = dieptegemiddelde snelheid (m / s)

Het dispersieve gedeelte omvat de informatie over de verticale snelheidsverdeling en de zoutconcentratie. Indien de verticale verdeling van de sediment concentratie gelijk is aan dat van zout, is de relatie tussen het zout -en het sedimenttransport:

$$s = s_s \cdot \frac{\bar{c}}{\bar{c}_s}$$

waar:

s = sedimenttransport (g / m · s)

$\bar{c}$ = dieptegemiddelde sedimentconcentratie (g / m³)

(2)

Invullen in (1) levert :

$$s = \left(\bar{u} - \frac{D_h}{\bar{c}_s} \cdot \frac{\partial \bar{c}_s}{\partial x} \right) \cdot h \cdot \bar{c}$$

Over het algemeen is de verticale verdeling van de zoutconcentratie ongeveer gelijk aan die van de sediment concentratie (hoger aan de bodem en lager aan het oppervlak). Hierdoor is een correctie op de horizontale snelheidsveld om het effect op het sediment transport te bepalen:

$$\bar{u}_{corrected} = \bar{u} - \alpha \cdot D_h \cdot \frac{\nabla \bar{c}_s}{\bar{c}_s}$$

(3)

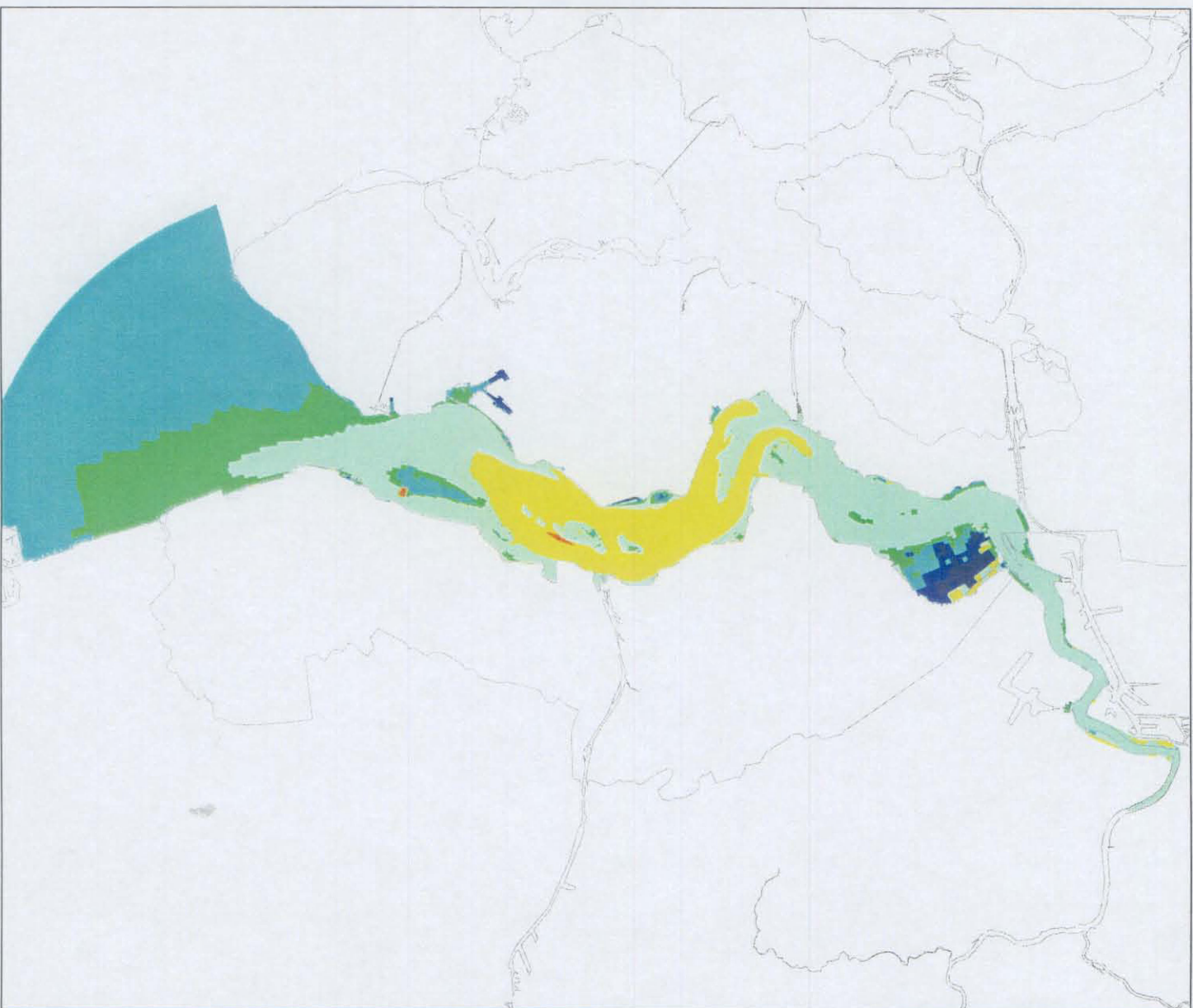
waar:

α = dimensieloze coefficient (-)

Deze gecorrigeerde snelheidsterm vervangt de term tussen de haakjes van (2). De waarde van alfa is afhankelijk van het verschil tussen de verticale verdeling van zout en van sediment. Ingeval beide hetzelfde zijn, is alfa gelijk aan 1. Ingeval het verschil maximaal is, is alfa is bijna 0.

Gelet op de doelstelling van de huidige studie, is het echter onze verwachting dat het effect van een netto slibimport de modelresultaten niet zodanig zal veranderen dat de uitkomsten worden gewijzigd.

B Figuren

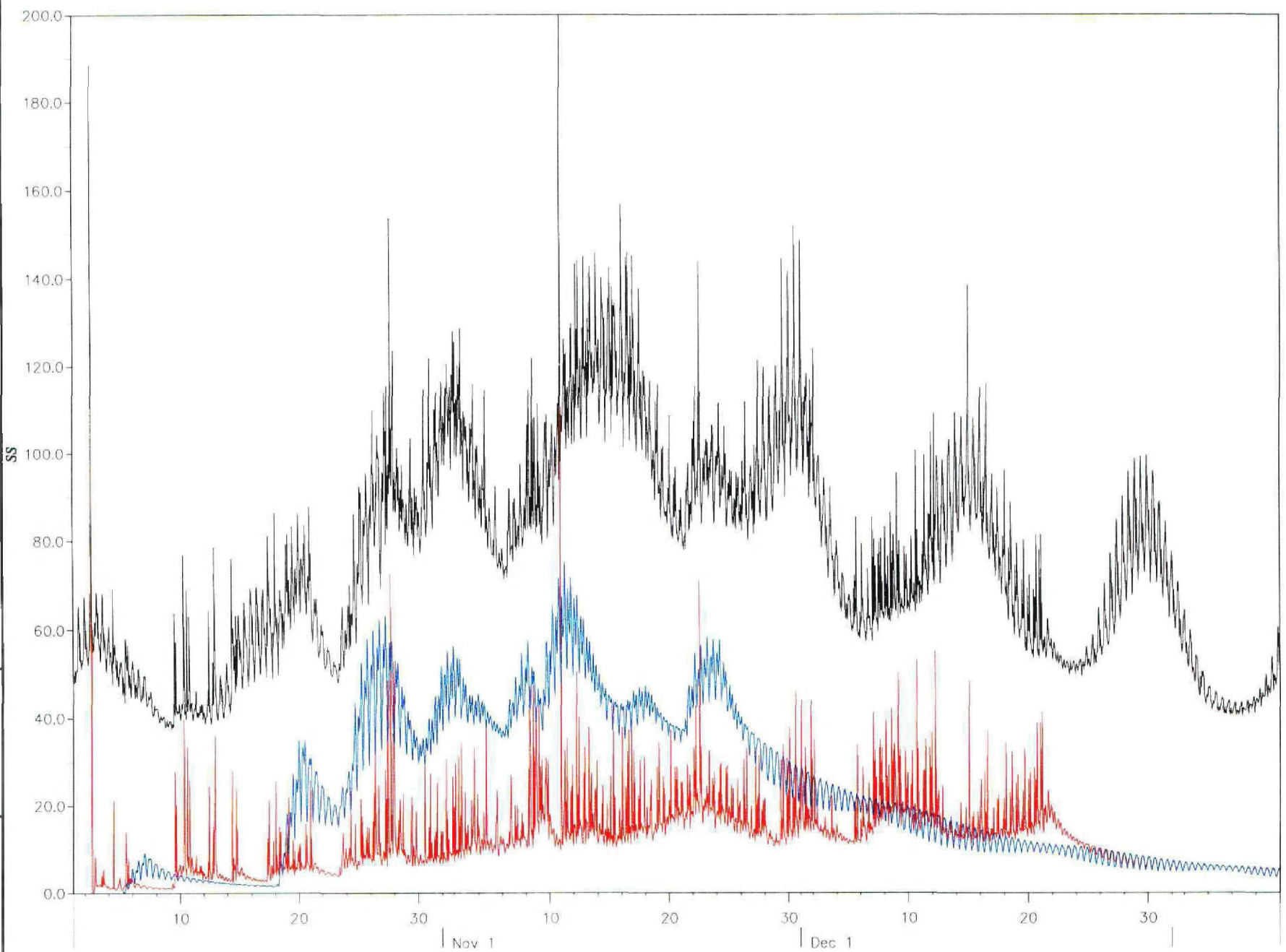


Gemiddeld zwevend stof concentratie (in mg/l) voor november 2000
Referentie situatie (zonder slurrylozing)

Westerschelde

WL | Delft Hydraulics

Figuur B.0

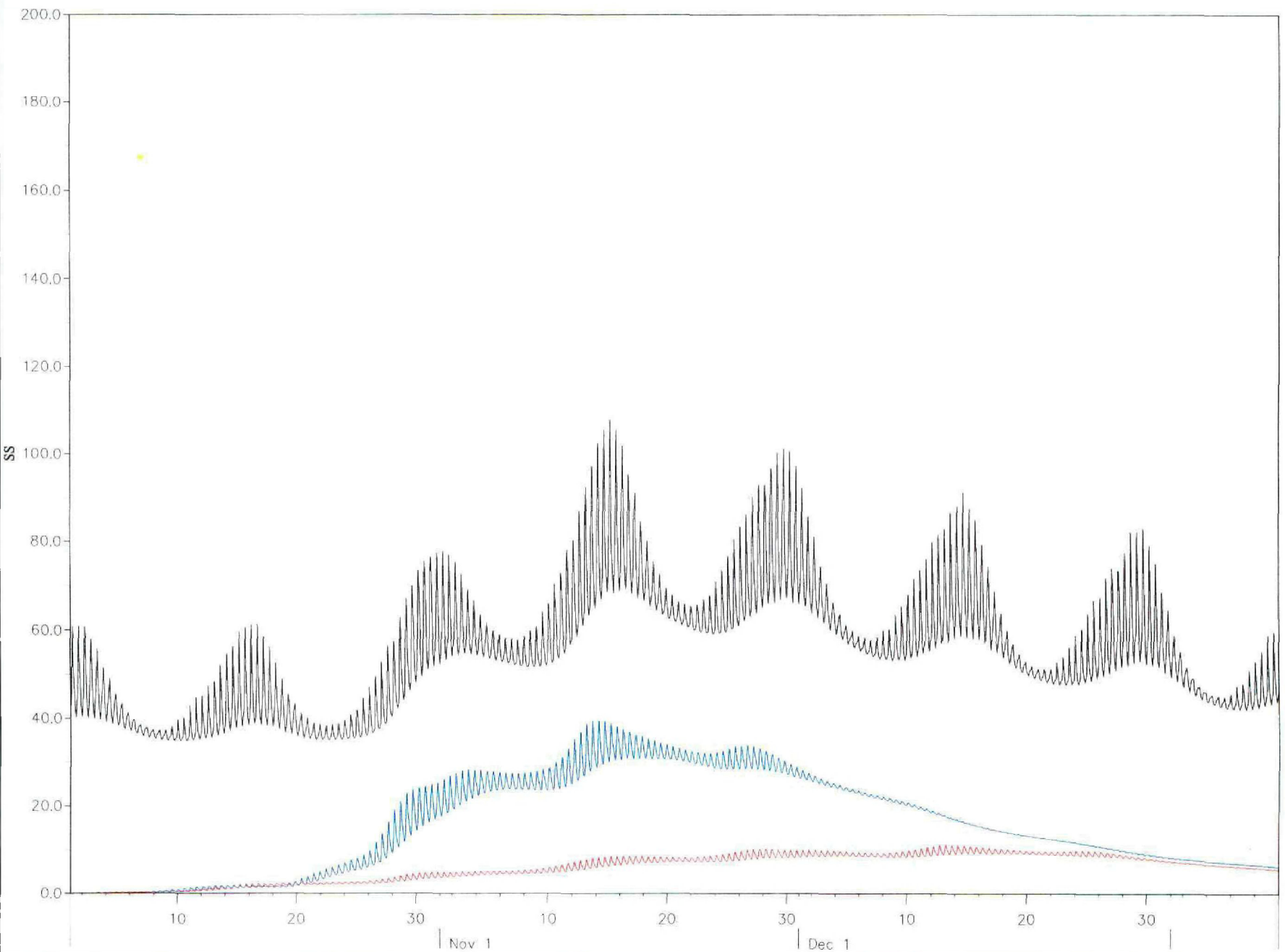


Totaal zwevend stof (zwarte lijn, in mg/l) ter hoogte van de DOW Meelpool
en bijdrage van havenslib (blauw) en slurrylozing (rood)

Westerschelde

WL | Delft Hydraulics

Figur B.1

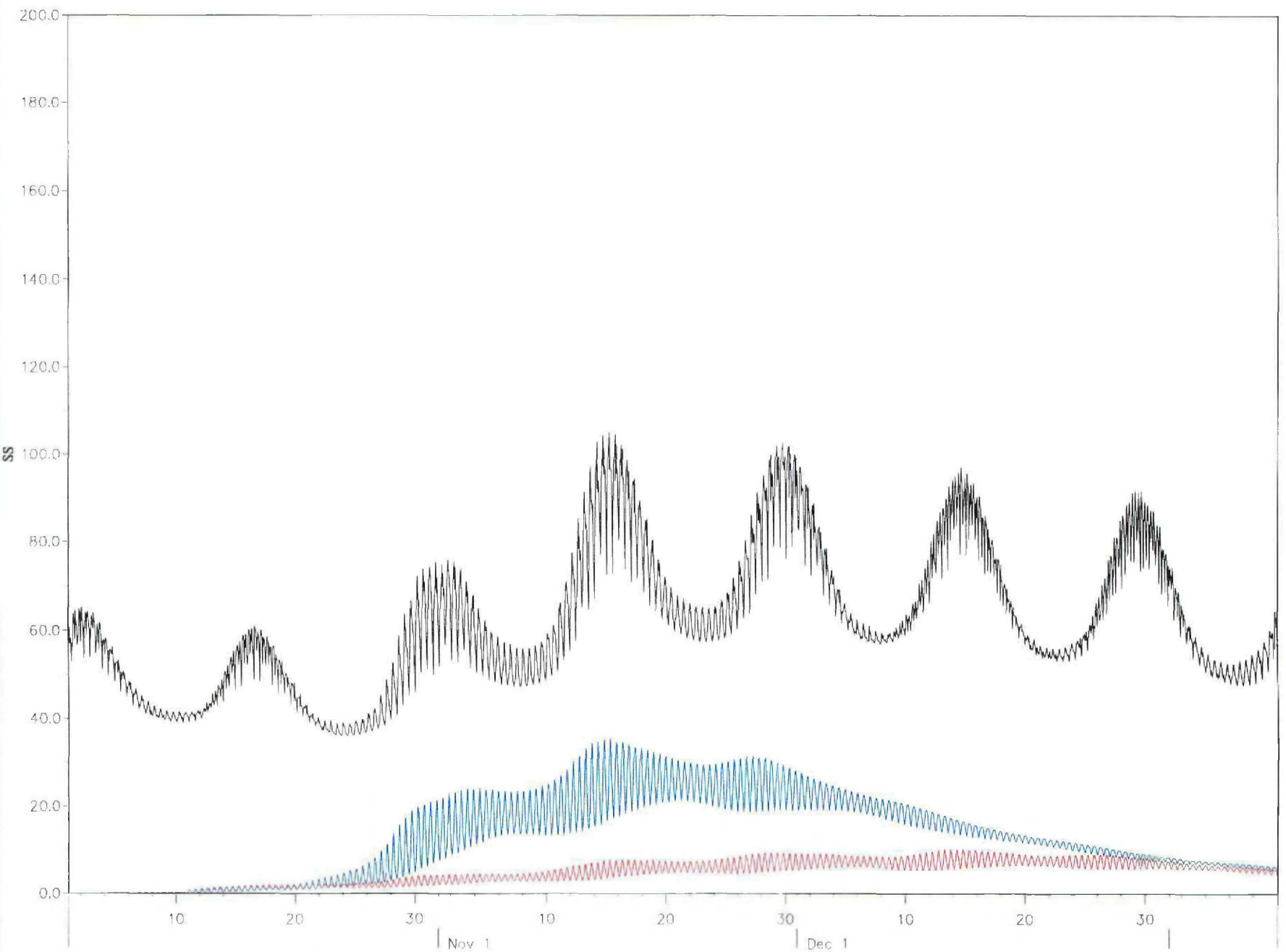


Totaal zwevend stof (zwarte lijn, in mg/l) ter hoogte van Hansweert
en bijdrage van havenslib (blauw) en slurryozing (rood)

WL | Delft Hydraulics

Westerschelde

Figuur B.2

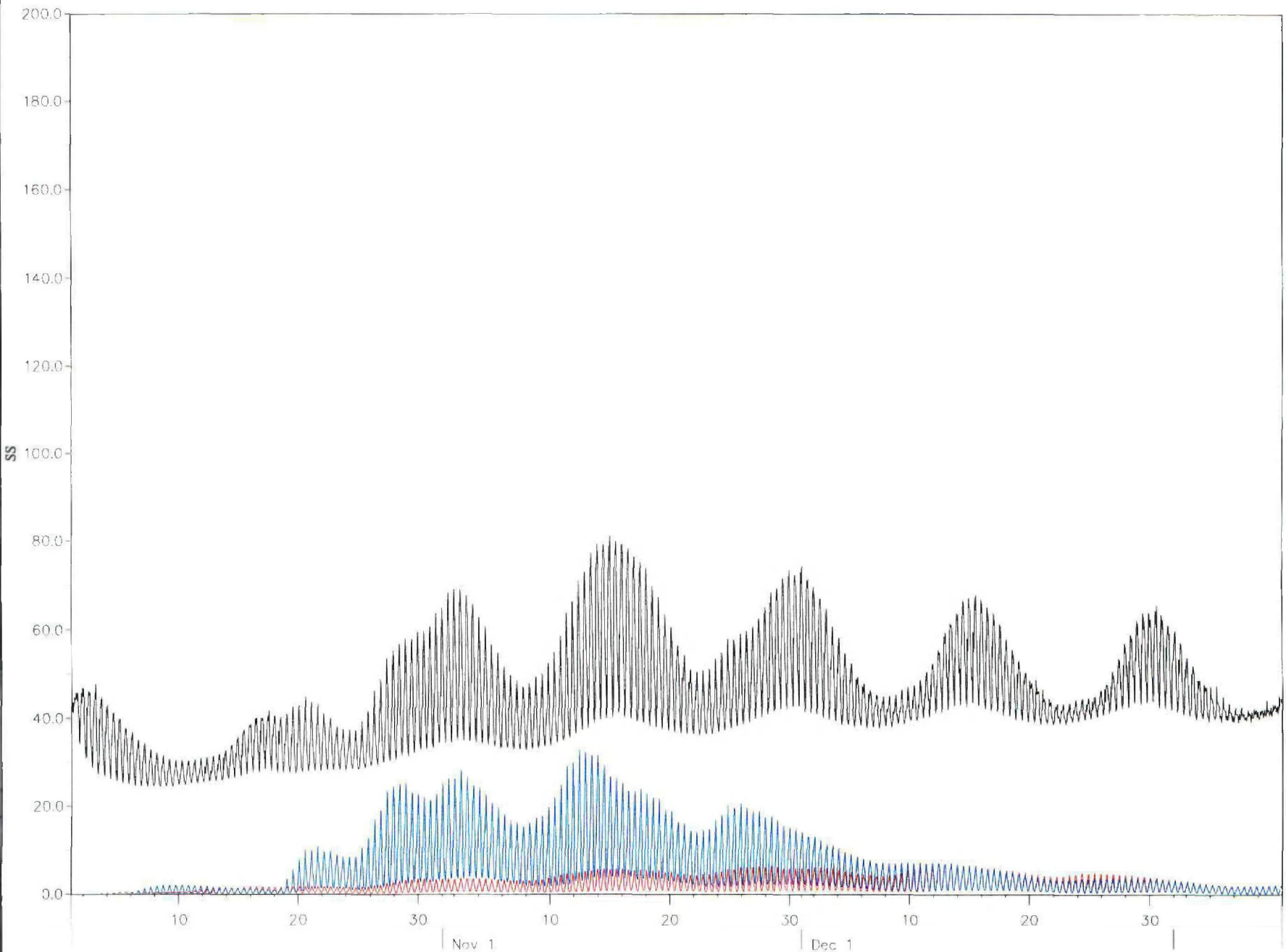


Totaal zwevend stof (zwarte lijn, in mg/l) ter hoogte van Badhoeke
en bijdrage van havenslib (blauw) en slurrijozing (rood)

Westerschelde

WL | Delft Hydraulics

Figuur B.3

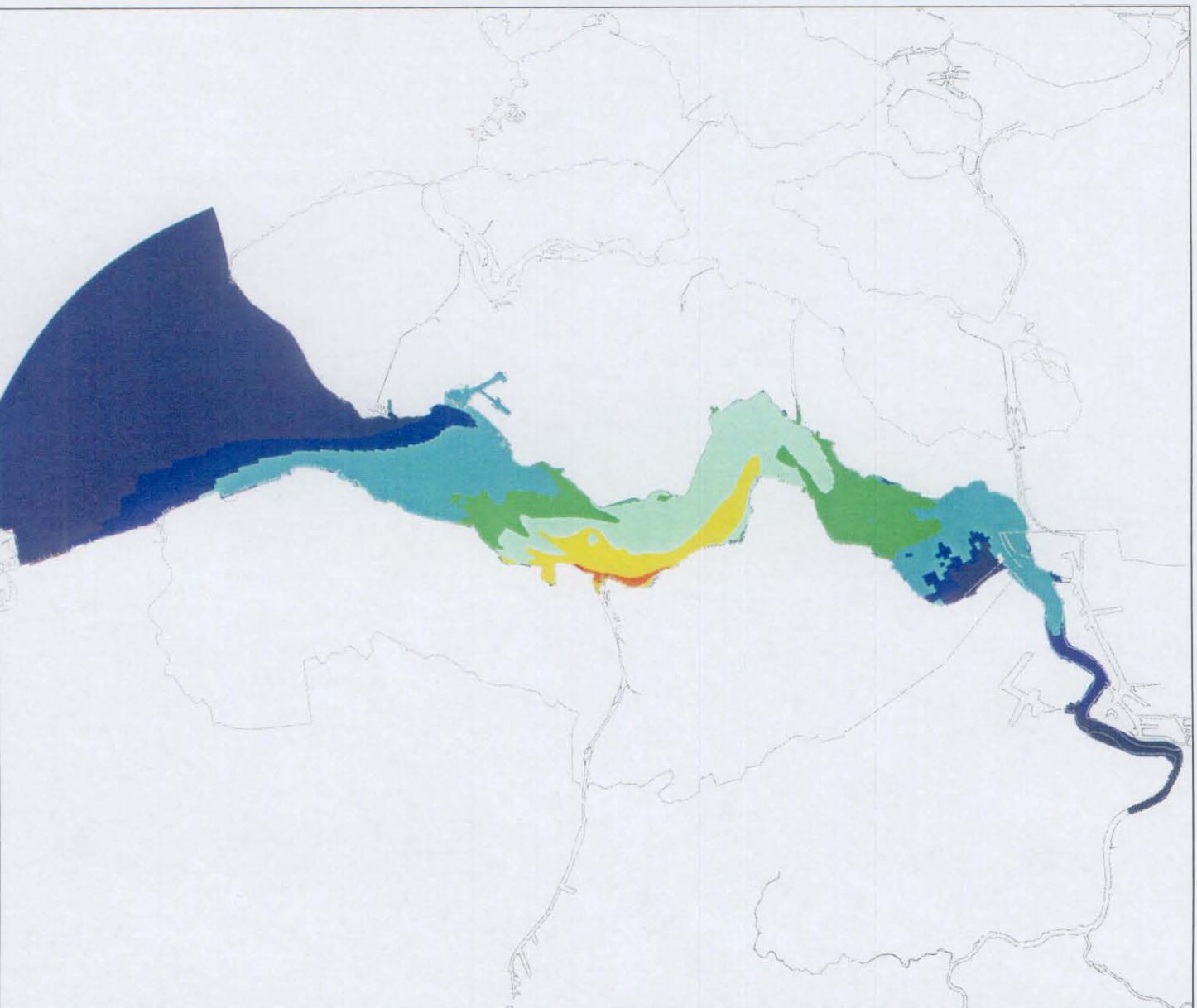


Totaal zwevend stof (zwarte lijn, in mg/l) ter hoogte van Vlissingen
en bijdrage van havenslib (blauw) en slurrielozing (rood)

Westerschelde

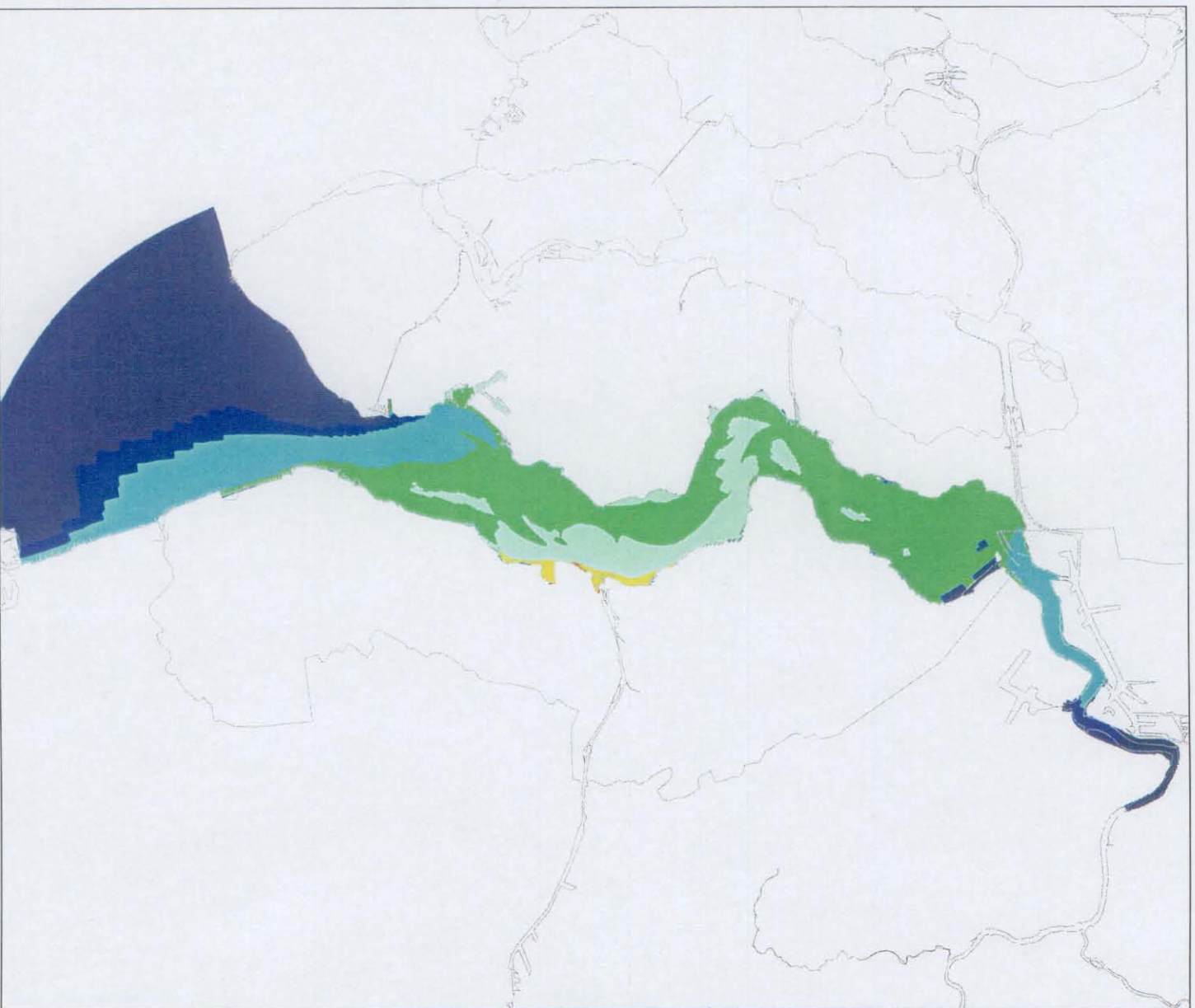
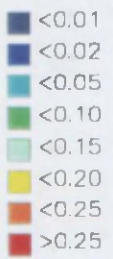
WL | Delft Hydraulics

Figuur B.4



Absolute bijdrage van sluryplooiing aan zwevend stof (mg/l)
 Gemiddelde bij hoog water gedurende november 2000

Wester schelde

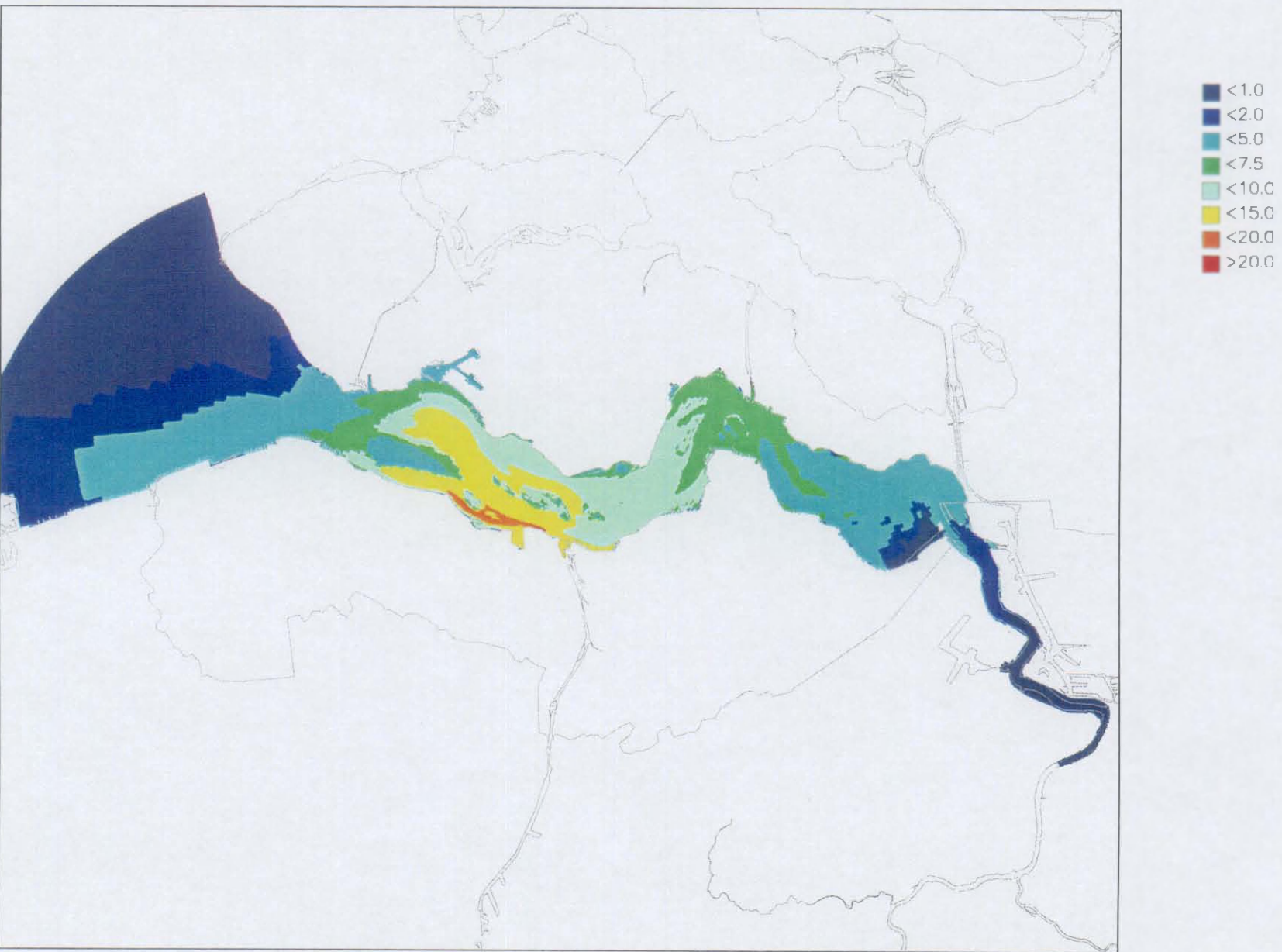


Relatieve bijdrage van slurrytoezing aan zwevend stof (mg/l)
Gemiddelde bij hoog water gedurende november 2000

Westerse Schelde

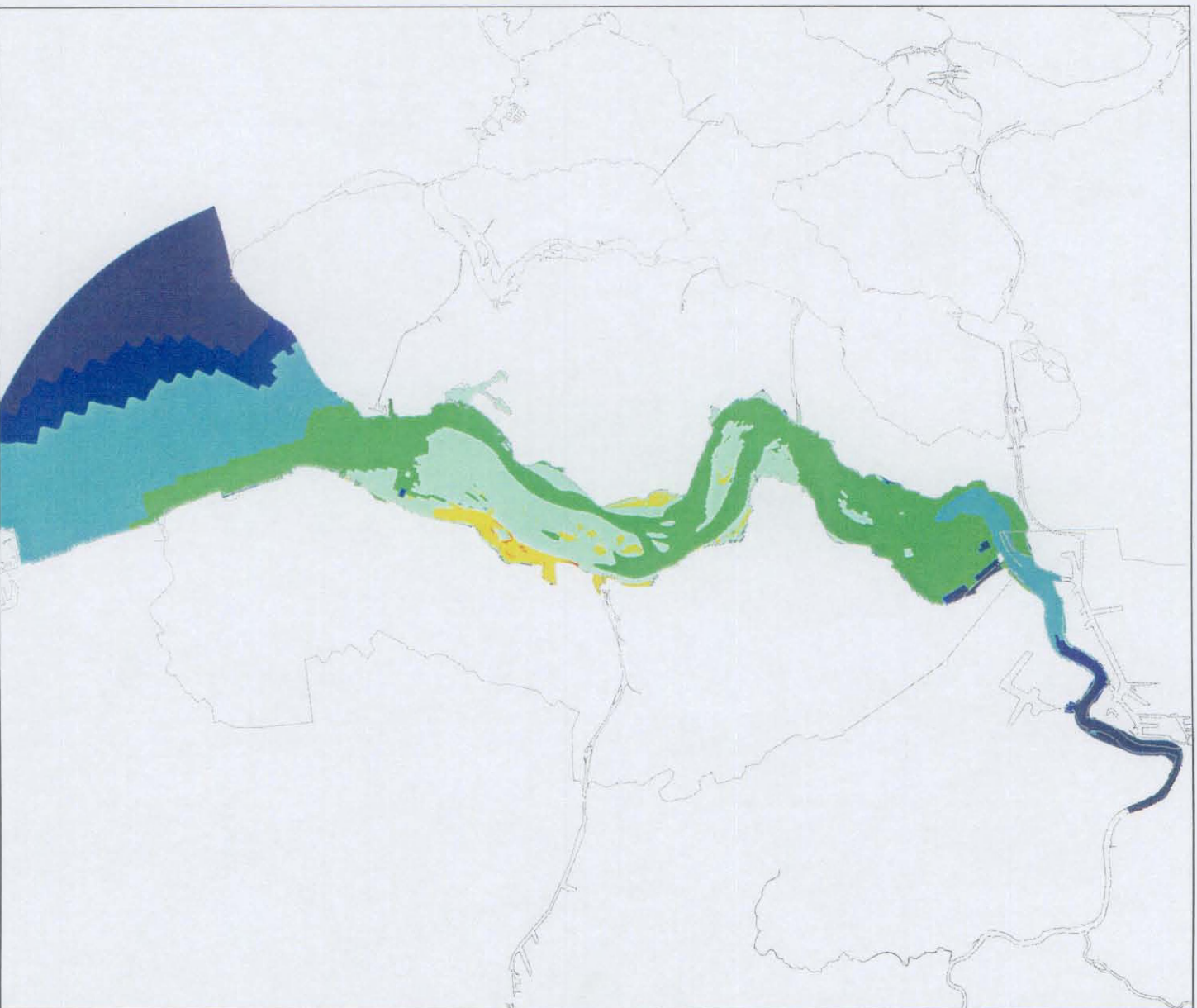
WL | Delft Hydraulics

Figuur B.6



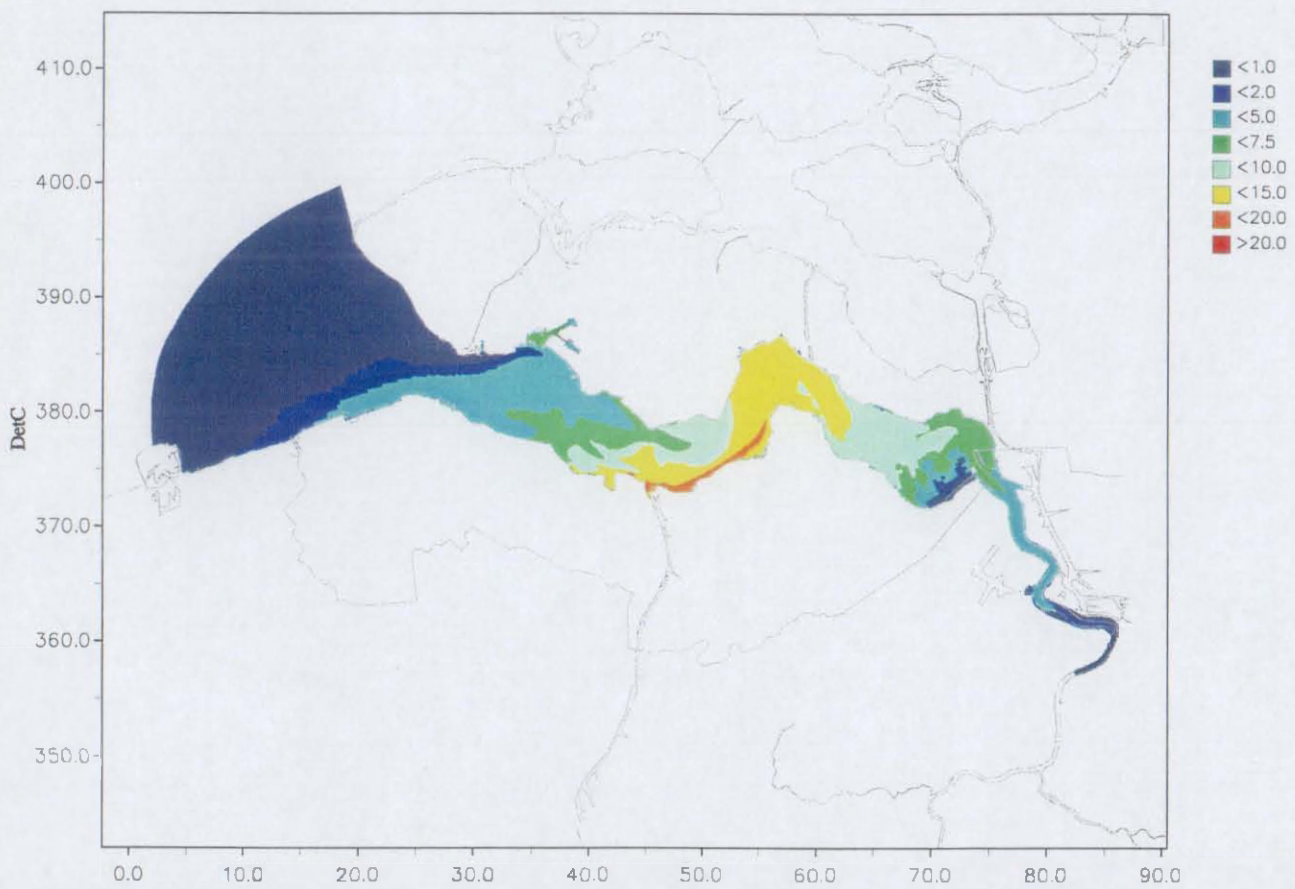
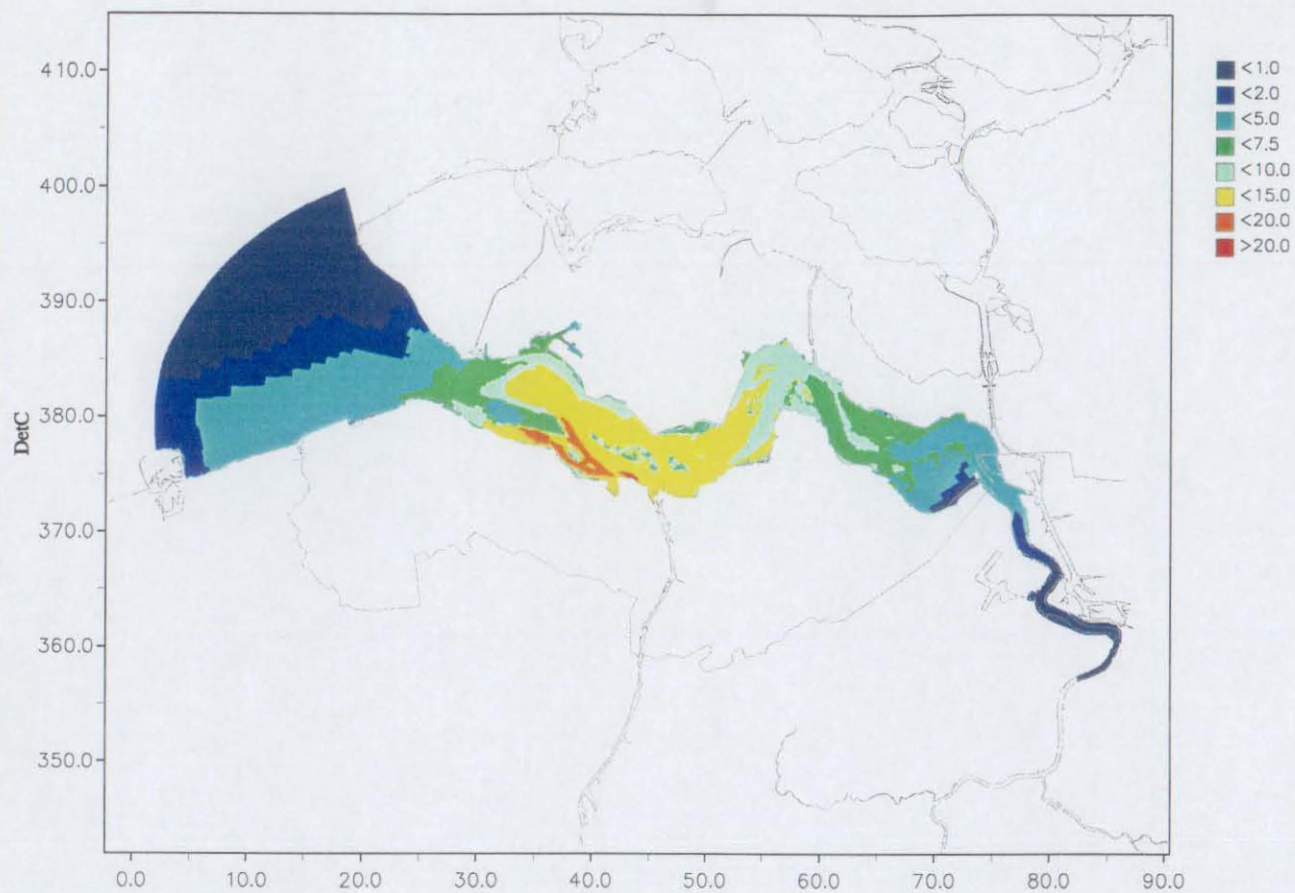
Absolute bijdrage van stroomvoeding aan zwevend stof (mg/l)
Gemiddelde bij hoog water gedurende november 2000

Westerse Schelde



Relatieve bijdrage van slurry yfiozing aan zwevend stof (-)
Gemiddelde bij laag water gedurende november 2000

Westerschelde

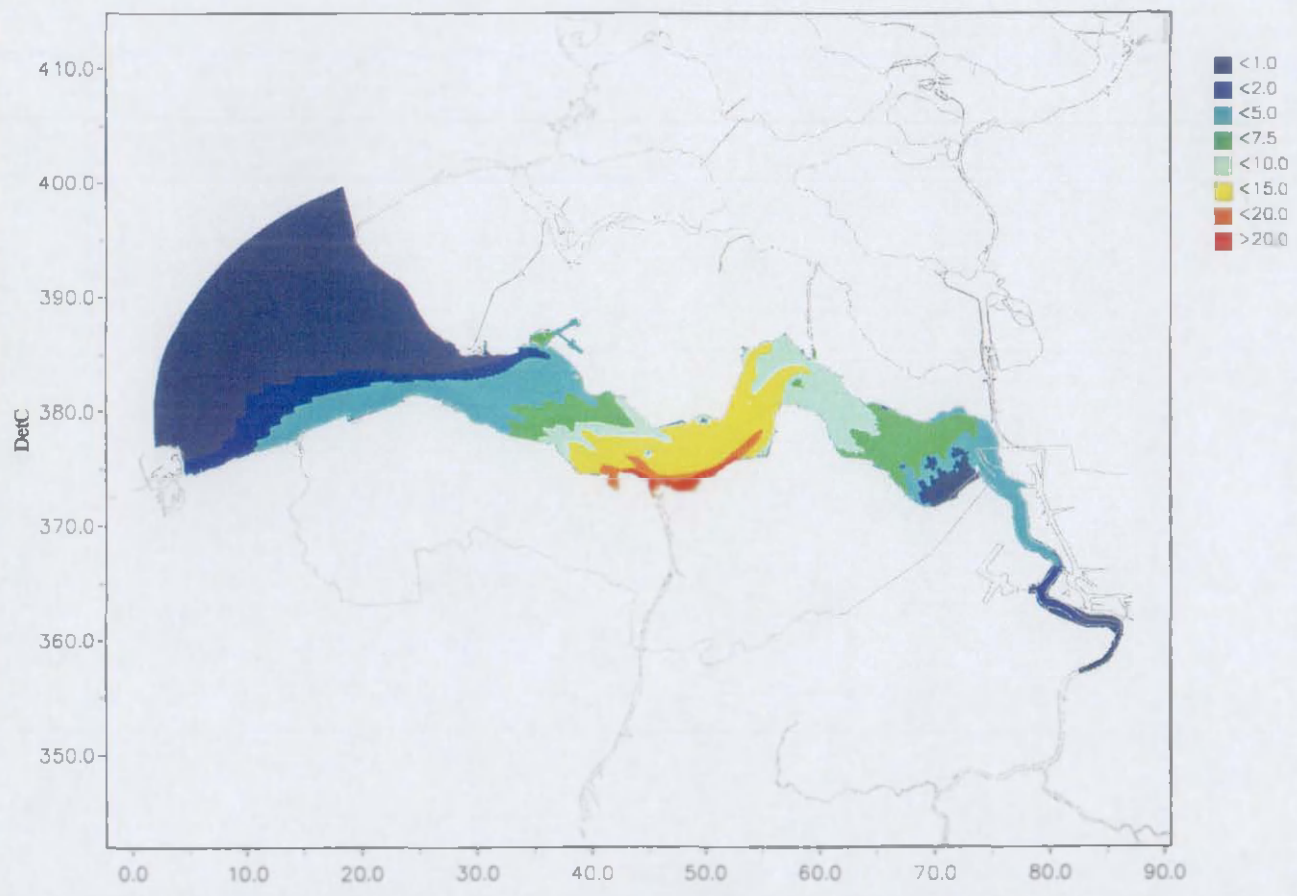
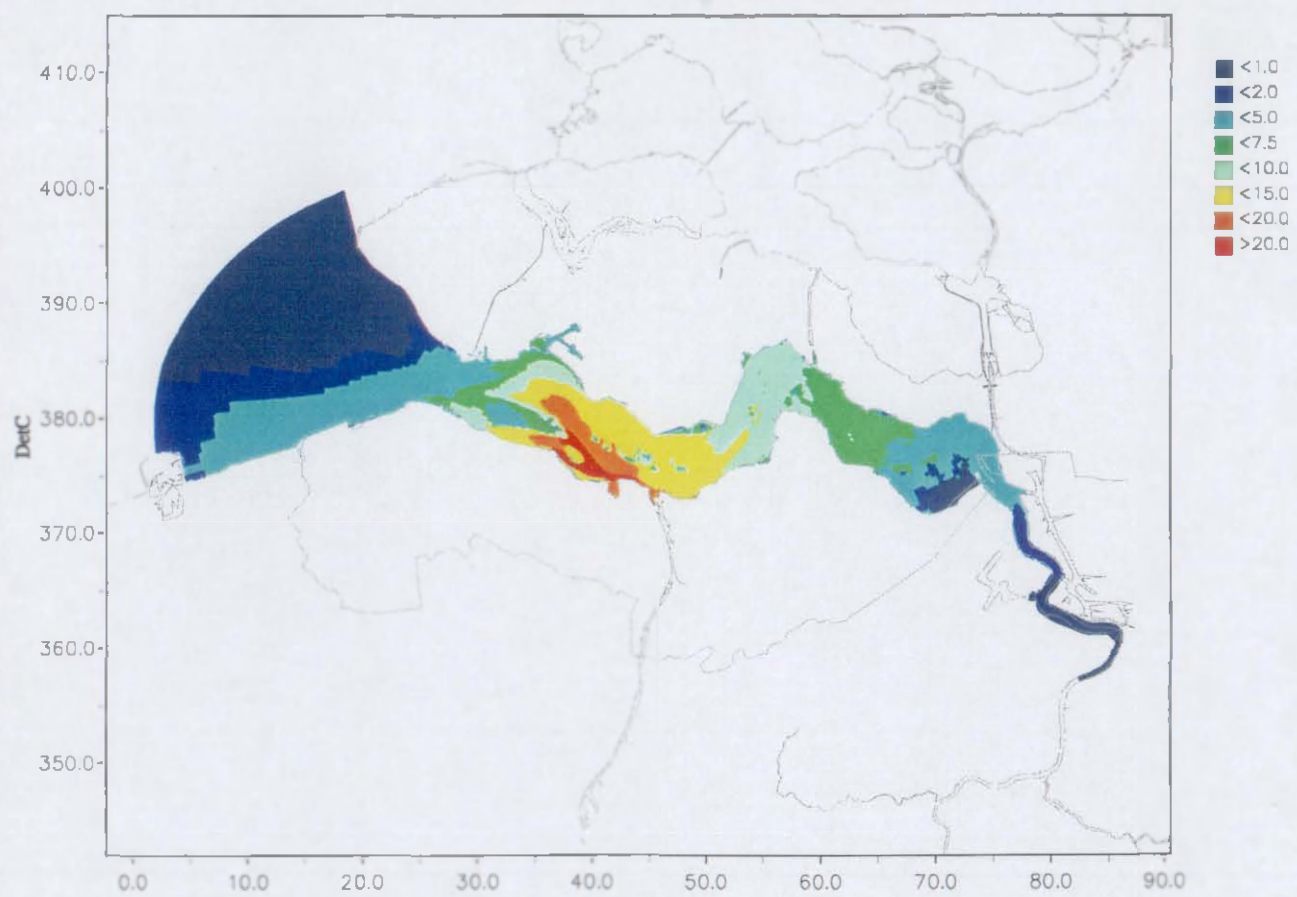


Absolute bijdrage slurrylozing aan zwevend stof (in mg/l)

Boven: Laag water tijdens springtij – 30 november 2000 12:00

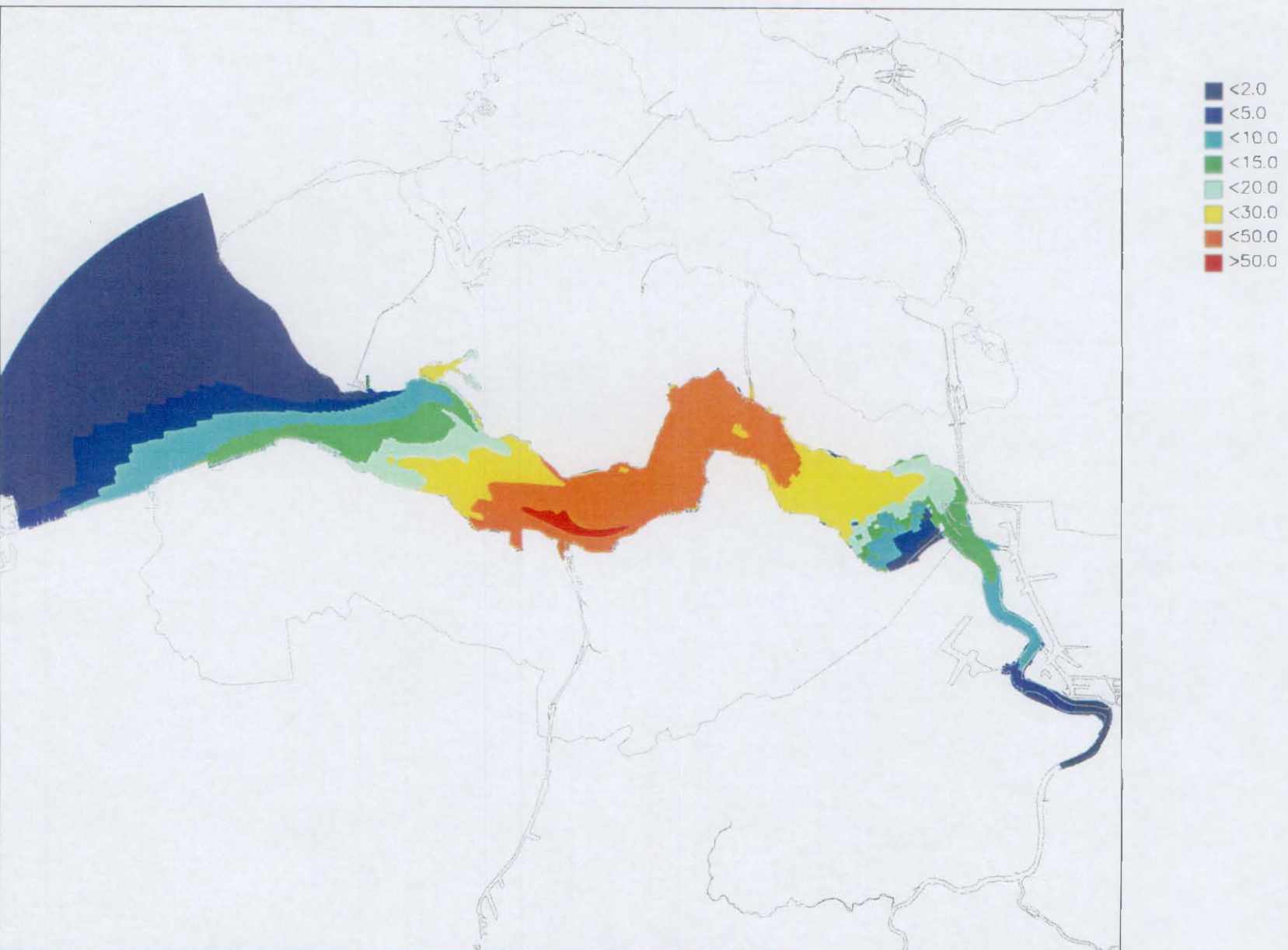
Onder: Hoog water tijdens springtij – 30 november 2000 18:00

Westerschelde



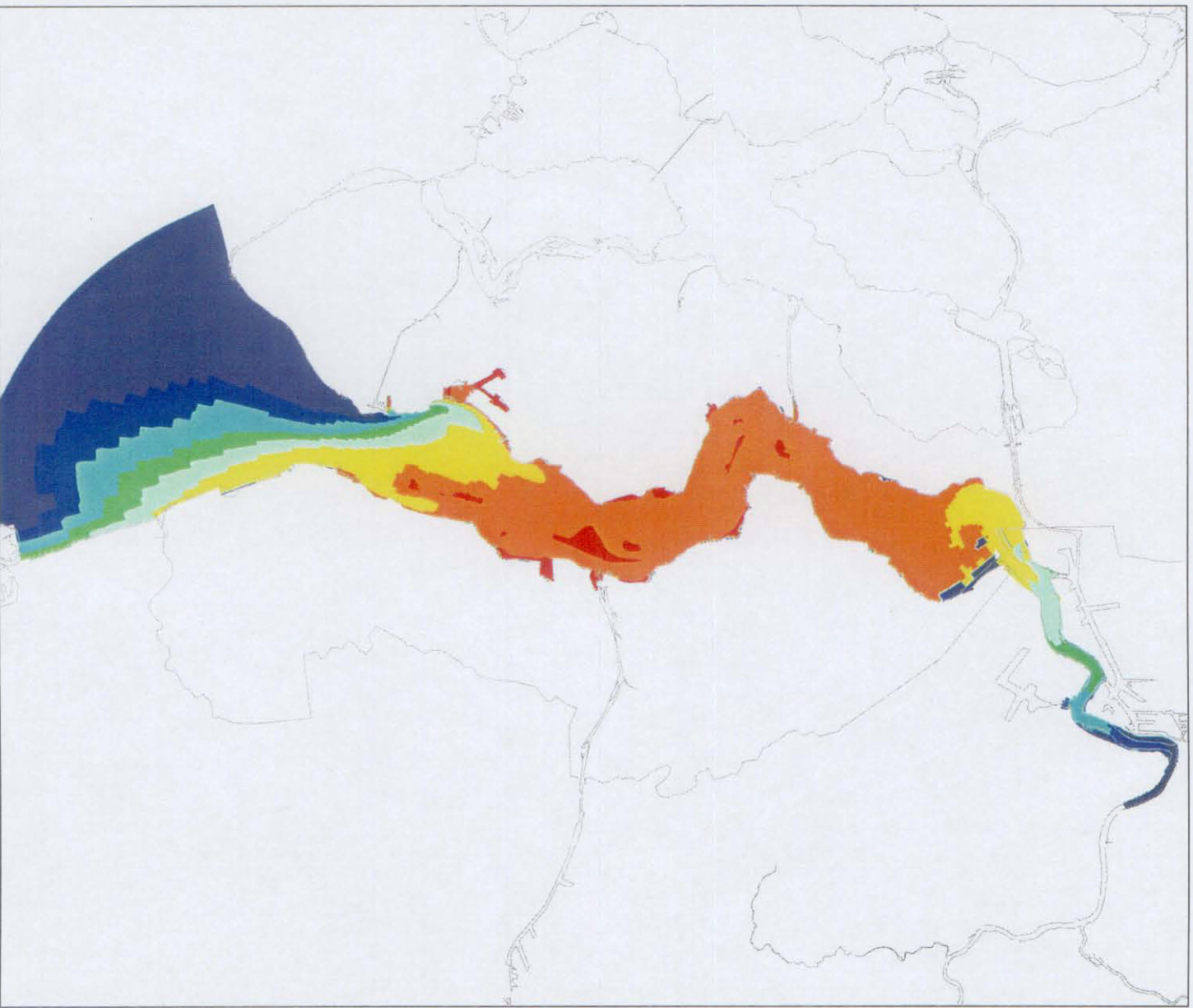
Absolute bijdrage slurrylozing aan zwevend stof (in mg/l)
 Boven: Laag water tijdens doottij – 22 november 2000 4:00
 Onder: Hoog water tijdens doottij – 22 november 2000 12:00

Westerschelde



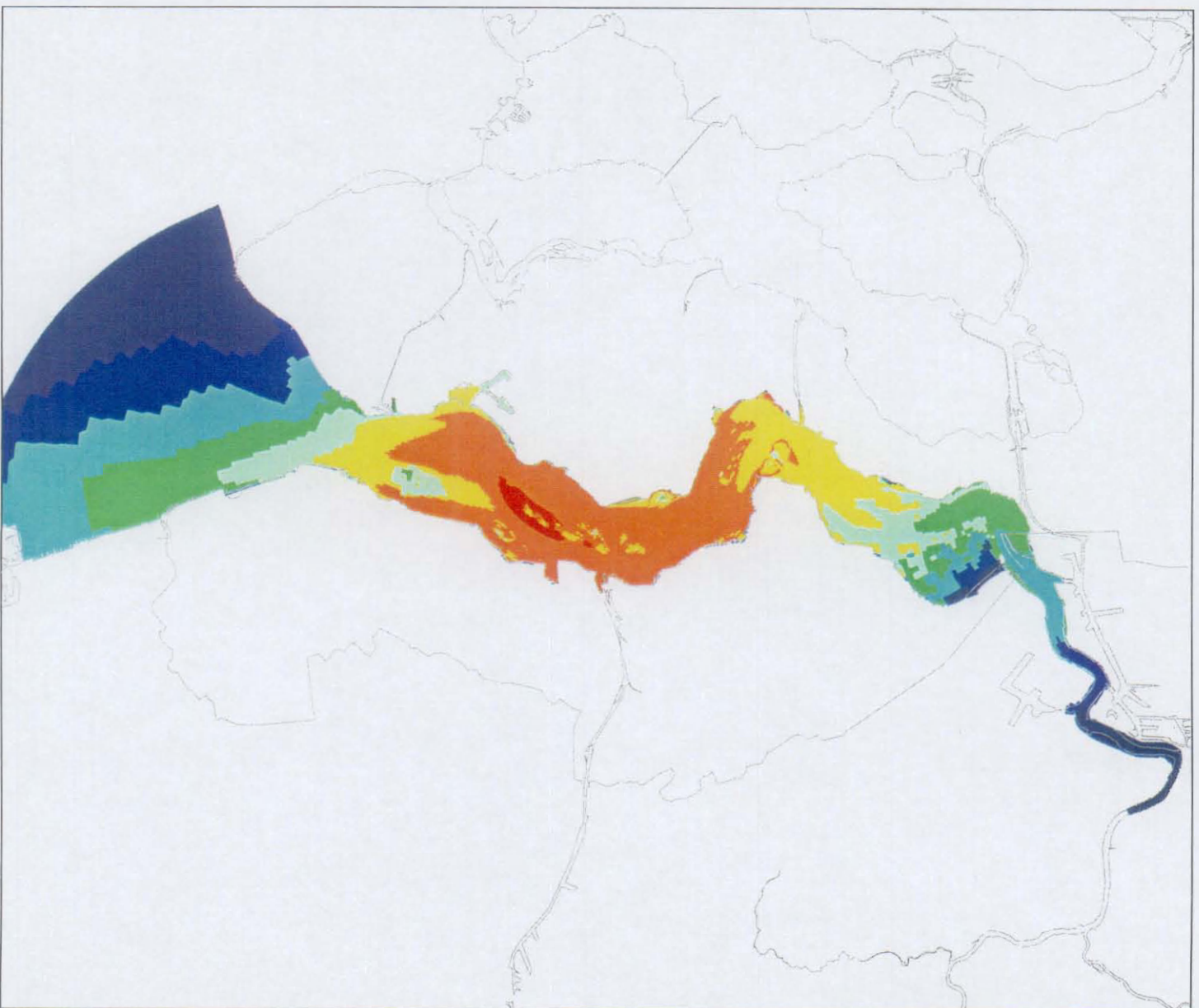
Absolute bijdrage van havenslib aan zwevend stof (mg/l)
Gemiddelde bij hoog water gedurende november 2000

Westerse Schelde



Relatieve bijdrage van havenslib aan zwevend stof (mg/l)
Gemiddelde bij hoog water gedurende november 2000

Westerse Schelde

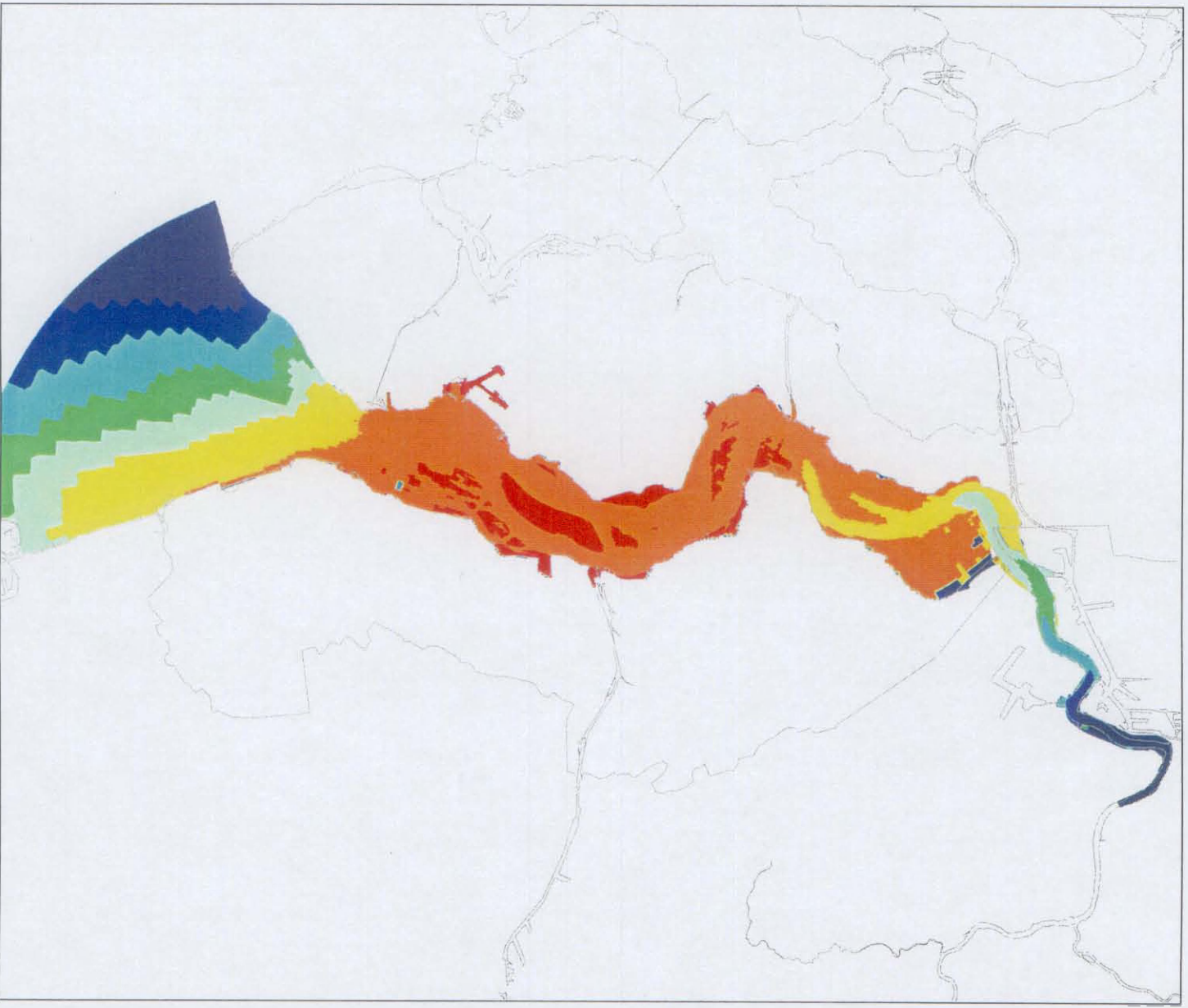


Absolute bijdrage van havenslib aan zwevend stof (mg/l)
Gemiddelde bij laag water gedurende november 2000

Waterschelde

WL | Delft Hydraulics

Figuur B.13



Relatieve bijdrage van hoverslib aan zwevend stof (–)
Gemiddelde bij laag water gedurende november 2000

Wester schelde

C-13973 715

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat RIKZ Middelburg

Verspreiding Boorspecie in de Westerschelde

Simulaties met een slibverspreidingsmodel

J.G. Boon en A.J. Nolte

Verslag modelonderzoek

juli 2001



wl | delft hydraulics

Inhoud

1	Inleiding.....	1-1
1.1	Aanleiding	1-1
1.2	Doelstelling	1-2
1.3	Leeswijzer	1-2
1.4	Verantwoording.....	1-2
2	Aanpak van het onderzoek	2-1
3	Modelbeschrijving	3-1
3.1	Hydrodynamica en grid	3-1
3.2	Ruimtelijke aggregatie	3-2
3.3	Gemodelleerde toestandsvariabelen en processen	3-3
3.4	Slibbronnen	3-3
4	Modelresultaten	4-1
4.1	Vergelijking T0 met veldmetingen en RESTWES resultaten.....	4-1
4.2	Bijdrage Boorspecie en Havenslib aan het zwevende stof.....	4-3
5	Conclusies.....	5-1
6	Referenties.....	6-1

Bijlagen

A	Dichtheidsstromen in 2D model.....	A-1
B	Figuren	B-1

Lijst met figuren

- B.0: Maandgemiddelde zwevende stof concentraties voor november 2000
- B.1: Tijdserie van zwevende stof bij DOW meetpaal
- B.2: Tijdserie van zwevende stof bij Hansweert
- B.3: Tijdserie van zwevende stof bij Baalhoek
- B.4: Tijdserie van zwevende stof bij Vlissingen
- B.5: Maandgemiddelde bijdrage van boorspecie in november bij hoogwater
- B.6: Relatieve bijdrage boorspecie tijdens hoogwater
- B.7: Maandgemiddelde bijdrage van boorspecie in november bij laagwater
- B.8 Relatieve bijdrage boorspecie tijdens laagwater
- B.9: Bijdrage van boorspecie op 30 november 2000 tijdens spring tij
- B.10: Bijdrage van boorspecie op 22 november 2002 tijdens dood tij
- B.11: Bijdrage havenslib aan totaal zwevend stof gemiddeld hoog water
- B.12: Relatieve bijdrage havenslib aan totaal zwevend stof gemiddeld hoog water
- B.13: Bijdrage havenslib aan totaal zwevend stof gemiddeld laag water
- B.14: Relatieve bijdrage havenslib aan totaal zwevend stof gemiddeld laag water

I Inleiding

I.1 Aanleiding

In 1995 heeft de Ministerraad besloten tot de aanleg van de Westerscheldetunnel die een verbinding zal vormen tussen Terneuzen en Ellewoutsdijk. In augustus 1999 is gestart met het boren van deze tunnel onder de Westerschelde. Het materiaal dat tijdens het boorproces vrijkomt, is een mengsel van klei en bentoniet. Deze zogenaamde boorspecie wordt voor een gedeelte afgevoerd met schepen en op een aantal locaties in de Westerschelde gestort. Daarnaast wordt materiaal (slurry) afgevoerd door een pijpleiding en geloosd in de Westerschelde.

In het RESTWES project (Villars en Vos, 1999) is de concentratie van zwevende stof (ook wel slib genoemd) in de Westerschelde voorafgaand aan de bouw van de Westerschelde tunnel en de daarmee gepaard gaande verspreiding van boorspecie vastgelegd. Daarbij is gebruik gemaakt van informatie afkomstig van zowel historische als actuele in-situ metingen, van remote sensing data en van gemodelleerde gegevens. De sterke en zwakke punten van elk van de informatiebronnen zijn hierbij aan de orde gekomen. Op basis van gegevens over het jaar 1998 werden de belangrijkste karakteristieken van zwevend stof in de Westerschelde bepaald, zoals het dynamisch gedrag en de ruimtelijke variabiliteit.

De voor de lozing van boorspecie benodigde vergunningen zijn verleend door de provincie Zeeland en Rijkswaterstaat directie Zeeland. In het kader van deze vergunningverlening is het noodzakelijk een studie uit te voeren naar de verwachte effecten van het verspreiden van de boorspecie. Om het effect van de verspreiding van de boorspecie op de slibhuishouding nader in beeld te brengen wordt door RIKZ een monitoringsprogramma uitgevoerd onder de naam Boorspecie. Dit programma maakt gebruik van een combinatie van technieken, waaronder in-situ metingen van troebelheid en aanslibbing, remote sensing en een slibtransportmodel. De in-situ troebelheidsmetingen zijn in december 1998 van start gegaan om de referentiesituatie vast te leggen.

Troebelheidsmetingen vinden plaats met een meetpaal bij de DOW steiger in de nabijheid van het tunneltraject. Momenteel is echter nog niet voldoende duidelijk in hoeverre en in welke mate bij deze vaste meetpaal het effect van een lozing van boorslib waarneembaar is. Daarnaast is het onbekend hoe de lozingswolk van boorslib zich ruimtelijk in de Schelde verspreid. Om dit nader te onderzoeken heeft Rijkswaterstaat (RIKZ) aan WL|Delft Hydraulics gevraagd om een modelstudie uit te voeren met het model zoals dat in het RESTWES project is ontwikkeld en gecalibreerd. Informatie over deze opdracht is verstrekt in een schriftelijke offerteaanvraag met kenmerk RIKZ/AB/2001/60094 d.d. 26 maart 2001.

1.2 Doelstelling

Het doel van deze onderhavige modelstudie wordt als volgt omschreven:

Kwantificeren van de effecten van de verspreiding van geloosde boorspecie die in de vorm van een slurry via een pijpleiding op de Westerschelde wordt geloosd.

Deze modelstudie beoogt antwoord te krijgen op de volgende vragen:

- Hoe snel verdunt de verspreide slurry zodra het in de Westerschelde wordt gepompt ?
- Hoe verhoudt zich de bijdrage van de boorspecie tot de achtergrondsconcentraties ?
- Wat is de vorm en omvang van de slibverspreiding als gevolg van de slurrylozing?
- Hoe lang blijft de concentratie zichtbaar (meetbaar) boven de achtergrondsconcentratie?
- In hoeverre is de verhoogde concentratie meetbaar bij de DOW steiger onder verschillende kenmerkende getijsituaties? (ofwel in hoeverre is de concentratie verandering significant ten opzichte van de natuurlijke variabiliteit) ?
- Hoe groot is de bijdrage aan het slibgehalte van havenslibstortingen vanuit de Braakmanhaven ?

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving gegeven van de aanpak van het modelonderzoek. Vervolgens volgt in hoofdstuk 3 een beknopte beschrijving van de modelopzet. In hoofdstuk 4 worden de modelresultaten besproken, waarna in hoofdstuk 5 de conclusies van de studie worden samengevat.

1.4 Verantwoording

Het project is van WL|Delft Hydraulics zijde uitgevoerd door J.G. Boon (projectleiding), J.K.L. van Beek en A.J. Nolte in de periode mei-juli 2001. Van de zijde van de opdrachtgever, RIKZ in Middelburg, zijn B.A. Kornman, K. van der Male en A. Zindler de projectbegeleiders. Het onderhavige rapport is geschreven door J.G. Boon en A.J. Nolte. Opdrachtverlening vond plaats door middel van de opdrachtbon met het nummer 67010631 d.d. 26 april 2001.

2 Aanpak van het onderzoek

Om de bijdrage van de slurry afkomstig van de Westerscheldetunnel aan de zwevende stofconcentratie in de Westerschelde te onderscheiden van andere factoren die concentratie(patronen) beïnvloeden, zijn twee berekeningen gedefinieerd:

variant T0: referentie situatie zonder inbreng van slurry;
variant T1: situatie met slurrylozing.

Deze twee varianten worden met het slibverspreidingsmodel (zie Hoofdstuk 3) berekend. De benodigde modelinvoer (i.e. waterbeweging, randvoorwaarden en initiële condities) is voor beide situaties identiek met uitzondering van de geloosde hoeveelheid slurry. Het verschil tussen de twee berekeningen maakt het netto effect van de boorspecie zichtbaar.

De verblijftijd van water in de Schelde bedraagt enkele maanden. Dit betekent dat bij een verandering van aanvoer van stoffen, het een aantal maanden duurt voordat een nieuwe evenwichtssituatie zich heeft ingesteld. Vanuit deze achtergrond is het noodzakelijk dat voor het bereiken van een evenwichtssituatie, het model een aantal maanden wordt doorgerekend. Na deze inspeelperiode worden de berekende slibconcentraties dus niet meer beïnvloed door de aan het begin van de simulatie opgelegde waarden. Op basis van de gegevens vanuit het RESTWES project is het model circa 8 maanden ingespeeld. De aan het einde van deze inspeelperiode berekende evenwichtssituatie, is vervolgens als initiële conditie gehanteerd voor de twee door te rekenen varianten T0 en T1.

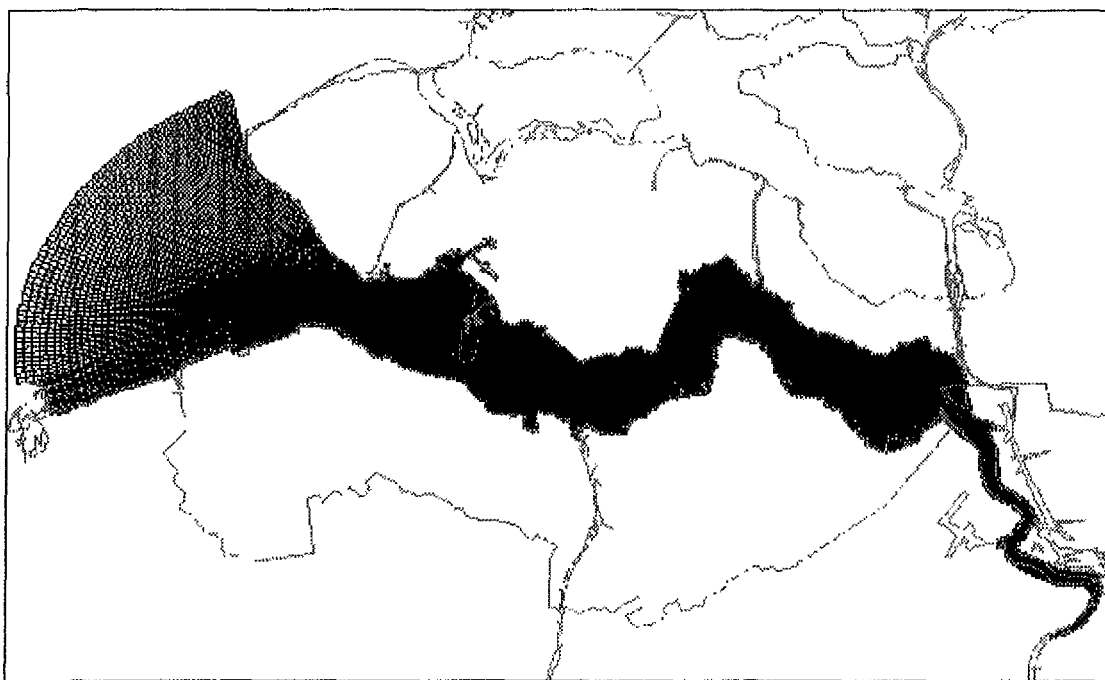
De slurrylozingen vinden discontinue in de tijd plaats. Dit betekent dat er perioden zijn waarin geen of geringe hoeveelheden slurry worden geloosd en momenten waarop grote slurrylozingen plaatsvinden. Om een enigszins representatief beeld te verkrijgen van de effecten van de geloosde slurry, is op basis van de door de opdrachtgever verstrekte gegevens, besloten om de periode 1 oktober 2000 - 10 januari 2001 voor de twee varianten te hanteren. Dit geselecteerde tijdvak omvat zowel perioden met geringe als met grote pieklozingen.

3 Modelbeschrijving

In dit hoofdstuk worden de modelopzet en de gehanteerde invoergegevens nader beschreven. Deze studie gaat uit van het in RESTWES kader ontwikkelde en gecalibreerde slib-model voor de Westerschelde. Een gedetailleerde technische beschrijving is gerapporteerd in Villars en Vos, 1999.

3.1 Hydrodynamica en grid

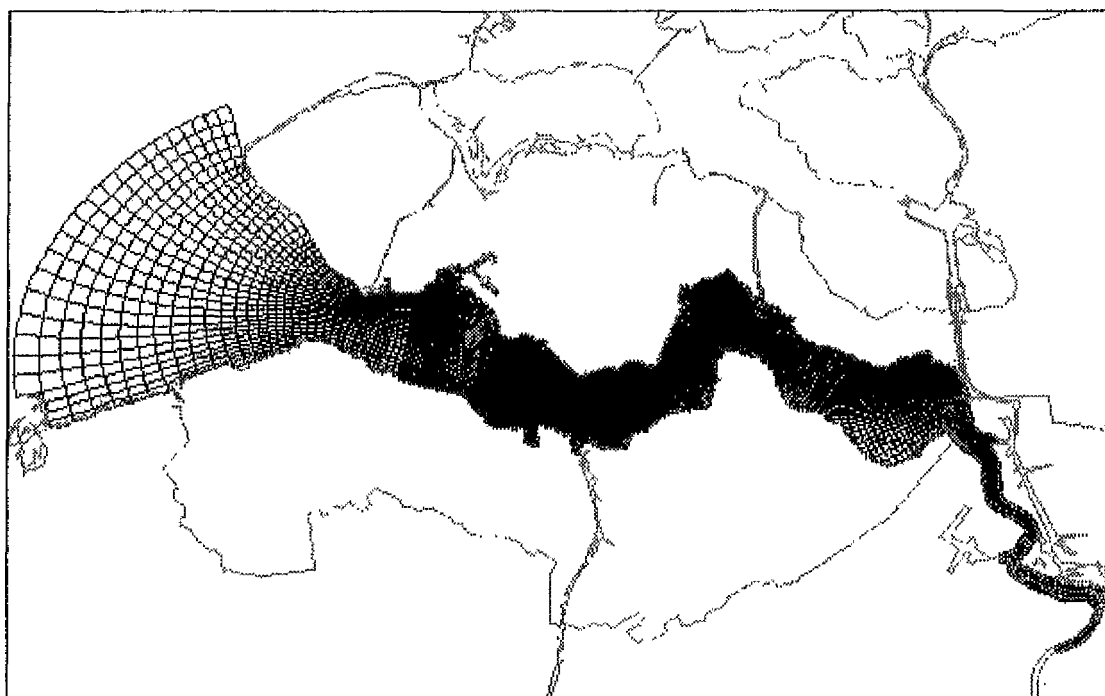
De voor het slib-model benodigde waterbeweging is door RIKZ berekend met het SCALWEST model. Ten tijde van het RESTWES project is gebruik gemaakt van een dieptegemiddelde (2DH) waterbeweging over spring/doodtij van 14.5 dagen. Deze waterbeweging was echter niet geheel cyclisch waardoor een faseverschuiving in de berekende slibconcentraties optrad. Recentelijk is door RIKZ (in de persoon van K. van der Male) een hernieuwde cyclische waterbeweging opgeleverd voor een periode van 29.5 dagen. Deze waterbeweging is berekend onder gemiddelde condities zoals wind en Schelde-afvoer. In overleg met de opdrachtgever is besloten dat deze waterbeweging de basis zal vormen voor de in deze studie uit te voeren slibberekeningen. In Figuur 3.1 is het fijnmazige rekengrid van het SCALWEST model weergegeven.



Figuur 3.1 Rekengrid van het SCALWEST model voor de Westerschelde

3.2 Ruimtelijke aggregatie

Het rekenrooster en de onderliggende waterbeweging vormen de basis voor de transportberekeningen met het slib-model. De transportmodellering in het slib-model is ontleend aan de berekeningsresultaten van het hydrodynamisch model SCALWEST. Gelet op de enorme hoeveelheid rekenelementen in het fijnmazige SCALWEST model, zal de rekentijd van het slib-model ongeveer een week bedragen voor een simulatieperiode van enkele maanden. Het is navenant dat een dergelijk grid qua rekentijd en dataopslag onhanterbaar is voor het uitvoeren van simulaties. Vanuit praktische overwegingen is het daarom noodzakelijk om het rekenrooster van het slib-model en de onderliggende hydrodynamica ruimtelijk te aggregeren. Bij het aggregeren worden cellen uit het oorspronkelijke rekenrooster samengevoegd tot grotere cellen. De eigenschappen van de samengenomen rekencellen zijn hierbij het gemiddelde van de onderliggende rekencellen. Ten tijde van het RESTWES project is een regelmatige aggregatie van de waterbeweging van 4×4 cellen uitgevoerd. Gelet op de vraagstelling van dit project is het zinvol om een niet reguliere aggregatie toe te passen op de vernieuwde waterbeweging. Dit betekent dat geen aggregatie in het directe beïnvloedingsgebied van de lozing (slurrypijp en meetpaal) van de boorspecie is uitgevoerd, terwijl in de buitengebieden opeenvolgend een aggregatie van 2×2 en 4×4 is toegepast. Op deze wijze worden de grootschalige karakteristieke stoftransportpatronen beschreven met behoud van voldoende ruimtelijk onderscheidend vermogen in het onderzoeksgebied. De uiteindelijke aggregatie is afgebeeld in Figuur 3.2. Het totaal aantal rekencellen is hierbij gereduceerd van circa 80000 tot ruim 20000.



Figuur 3.2 Rekengrid ten behoeven van de slibmodellering in de Westerschelde

3.3 Gemodelleerde toestandsvariabelen en processen

De initiële condities, randvoorwaarden, procesparameters en gemodelleerde toestandsvariabelen zijn zoveel mogelijk overgenomen uit het RESTWES project. Voor een uitgebreide beschrijving hiervan wordt verwezen naar het RESTWES rapport (Villars en Vos, 1999).

In vergelijking met het RESTWES model is het huidige model uitgebreid met toestandsvariabelen voor de boorspecie en het havenslib. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de toestandsvariabelen. Het anorganisch zwevend stof wordt onderverdeeld in totaal vijf slibfracties. Drie fracties zijn autogeen aanwezig: marien slib, rivierslib en 'zwaar' slib. Deze slibfracties onderscheiden zich in sedimentatie en erosie karakteristieken. De overige twee fracties worden door menselijk handelen in de Westerschelde gebracht. Aangenomen is dat deze fracties qua karakteristieken overeenkomen met het rivierslib.

Tabel 3.1 Gemodelleerde toestandsvariabelen (de extensie S1 of S2 in de modelnaam duidt op het voorkomen van de toestandsvariabele in respectievelijk de eerste en tweede sedimentlaag)

Fractie	bron	modelnaam
Marien slib	Noordzee	IM1, IM1S1, IM1S2
Rivier slib	Schelde	IM2, IM2S1, IM2S2
Zwaar slib	autogeen	IM3, IM3S1, IM3S2
Slib van slurrylozing	boorspecie	DetC, DetCS1, DetCS2
Slib van havenstortingen	baggerspecie Braakmanhaven	OOC, OOCs1, OOCs2

De volgende processen zijn onderdeel van de slibmodellering:

1. horizontale advectie en diffusie;
2. sedimentatie/resuspensie aan water-bodem interface;
3. concentratieafhankelijke valsnelheid.

Zowel sedimentatie als erosie worden gestuurd door de actuele stromings-geïnduceerde bodemschuifspanning. Indien deze actuele schuifspanning lager is dan de kritische schuifspanning voor sedimentatie (τ_{sed}) treedt sedimentatie op. Indien de actuele schuifspanning hoger is dan de kritische schuifspanning voor resuspensie (τ_{res}) treedt erosie op.

De stroomsnelheid van het water en de interactie van golven met het sediment bepalen de actuele schuifspanning. In het model wordt onderscheid gemaakt tussen de ondiepe delen (platen, waterdiepte gemiddeld minder dan 2 meter diep) en de diepere delen. De instelling is zodanig dat op de platen geen (netto) erosie optreedt.

3.4 Slibbronnen

Als slibbronnen zijn gedefinieerd:

1. de Noordzeerand van het model (randvoorwaarde) ;

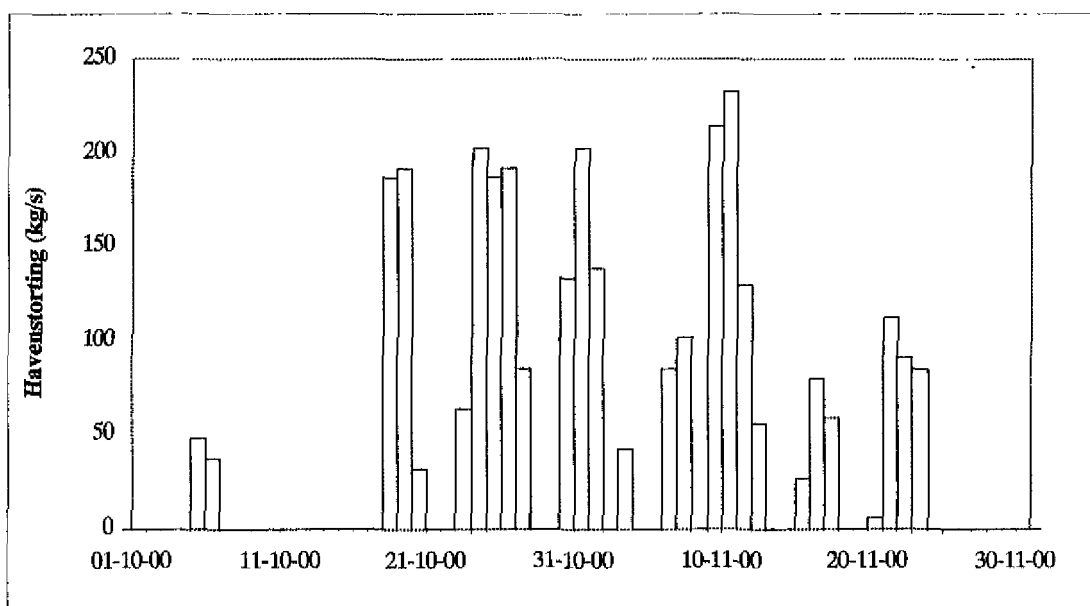
2. riviervracht van de Schelde (randvoorwaarde);
3. overige zoetwater vrachten (Antwerpse dokken, Spuikanaal Bath en het Kanaal van Gent naar Terneuzen) ;
4. slurrylozing;
5. havenslibstortingen.

De eerste drie bronnen zijn overgenomen uit het RESTWES model en staan vermeld in Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Concentratie slib (in mg/l) voor de diverse slibbronnen. De Noordzee en de Schelde worden opgegeven als randvoorwaarde. De overige drie zijn als lozing gedefinieerd.

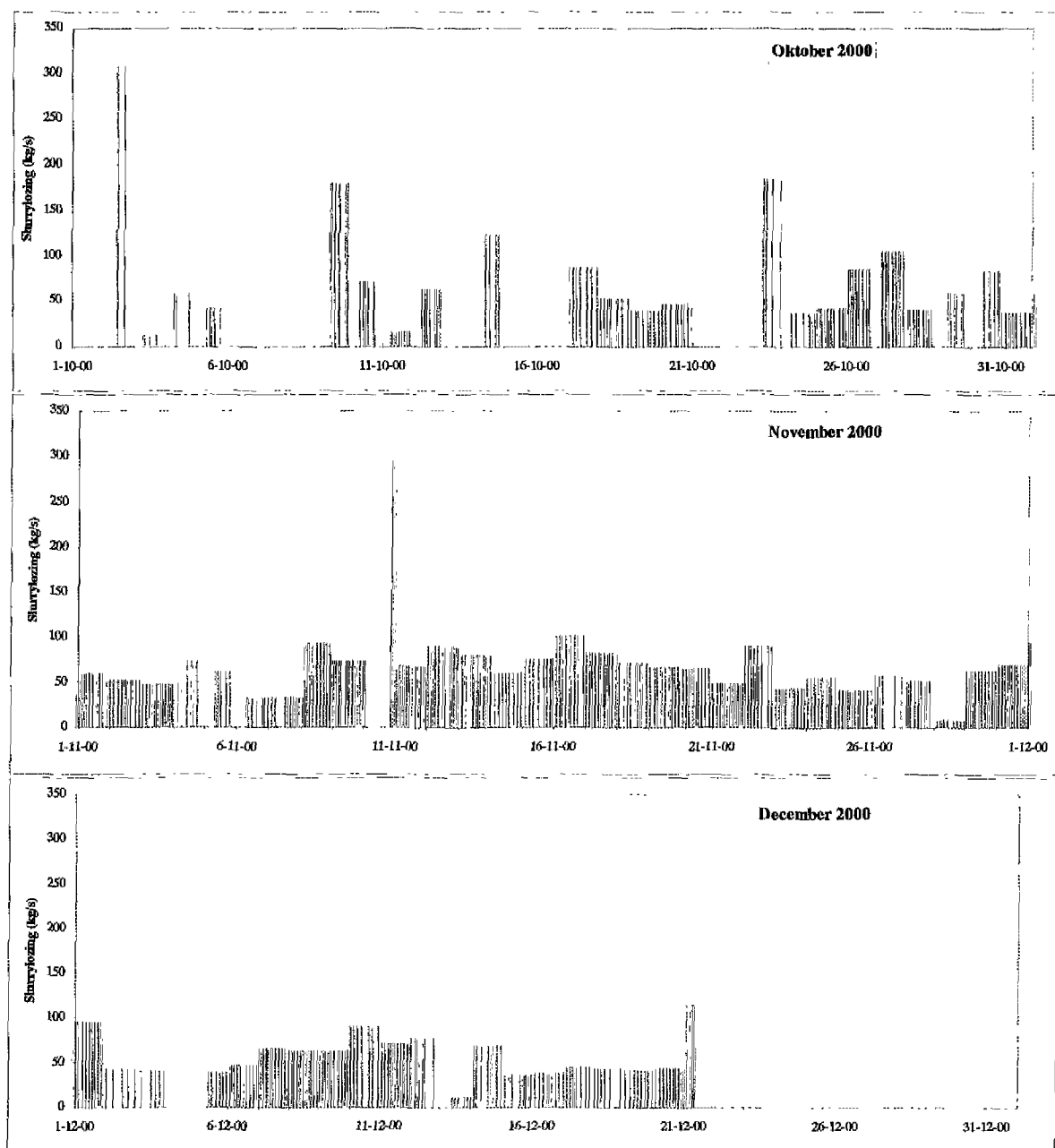
2000/2001	Noordzee randvoorwaarde	Schelde randvoorwaarde	Antwerpse dokken debiet 12 m ³ /s	Spuikanaal Bath debiet 2 m ³ /s	Kanaal Gent - Terneuzen debiet 20 m ³ /s
1 september	13.5	35	100	100	20
1 oktober	22	35	100	100	20
1 november	29	55	100	100	20
1 december	36	75	100	100	20
1 januari	40	85	100	100	20
1 februari	40	85	100	100	20

Baggerspecie uit havens wordt in de Westerschelde gestort. Alleen voor de Braakmanhaven zijn gegevens bekend voor de beschouwde periode van oktober tot december 2000. In overleg met de opdrachtgever is voor de baggerspecie een slibfractie van 60% en een drooggewicht van 0,5 ton/m³ aangenomen. Figuur 3.3 geeft het tijdsverloop van de havingstorting weer.



Figuur 3.3 Havenstortingen in de Westerschelde in de maanden oktober en november 2000

Gegevens van de slurrylozing zijn bekend voor de periode 29 september tot 21 december 2000. Ook hier is een drooggewicht van $0,5 \text{ ton/m}^3$ aangenomen. Het verloop van de slurrylozing met de tijd is weergegeven in Figuur 3.4.



Figuur 3.4 Slurrylozing in de maanden oktober, november en december 2000. Merk op dat de lozing bestaat uit korte pulsen en niet uit langdurige periodes.

Tabel 3.3 vermeldt de maandelijkse totale hoeveelheden boorspecie en gestorte havenslib. Uit deze tabel valt af te leiden dat de hoeveelheid gestort havenslib in de maand november circa 2,5 keer de hoeveelheid gestort boorspecie is.

Tabel 3.3: Maandelijkse hoeveelheden gestort havenslib en boorspecie (in kton droge stof)

	Boorspecie	Havenslib
oktober 2000	23,0	134,7
november 2000	49,1	126,2
december 2000	27,1	0

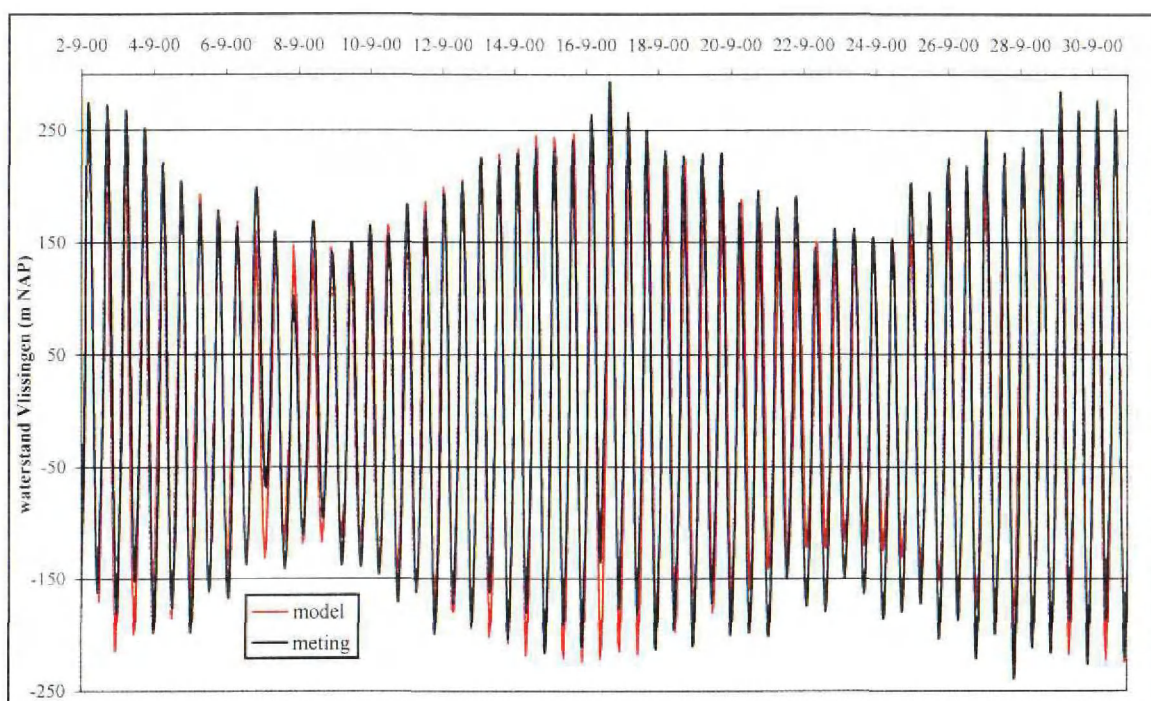
4 Modelresultaten

4.1 Vergelijking T0 met veldmetingen en RESTWES resultaten

Alvorens de bijdrage van de boor- en havenspecie aan de zwevende stof concentratie te analyseren, zijn de modelresultaten van de referentiesituatie (T0) vergeleken met eerdere modelberekeningen en veldgegevens. Hiertoe is de gemodelleerde T0 situatie vergeleken met de resultaten zoals deze in RESTWES kader zijn berekend en met in-situ metingen (Maldegem et al., 1999).

Waterstanden

In Figuur 4.1 staan de gemeten en berekende waterstanden weergegeven voor het station Vlissingen. De waterstanden zijn afgeleid uit de met SCALWEST berekende hydrodynamica. Het model en de meting komen redelijk met elkaar overeen. Verschillen in de waterstanden kunnen worden toegewezen aan locale windeffecten die niet in het model zijn meegenomen.



Figuur 4.1 Vergelijking tussen model en meting van de waterstand bij Vlissingen

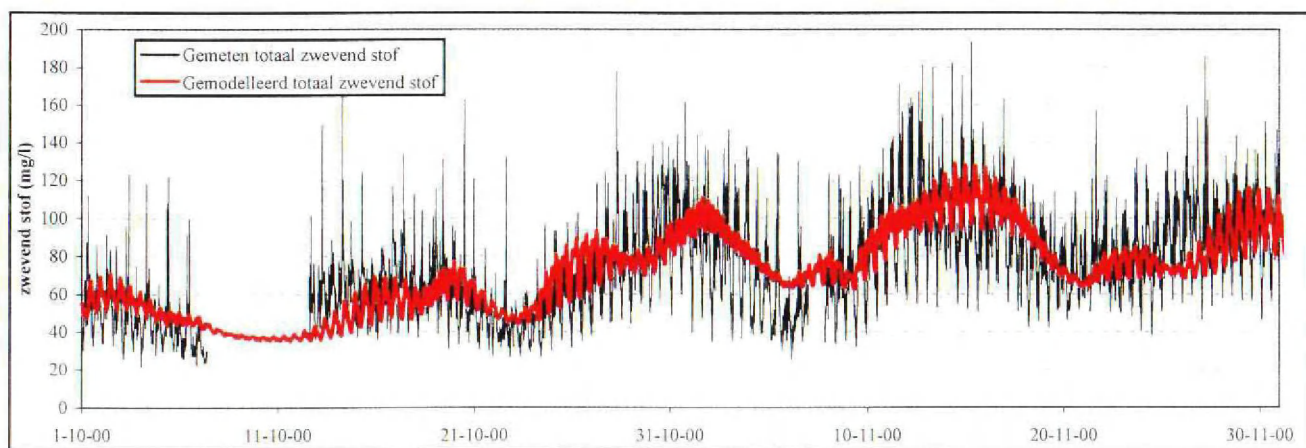
Ruimtelijke slibpatroon

Uit langjarige metingen blijkt dat het jaarlijkse slibverloop in de Schelde een duidelijk seizoensmatig patroon heeft met lage concentraties in de zomerperiode (10-30 mg/l) en hoge waarden in de winter (50-80 mg/l) (Villars en Vos, 1999). In Figuur B.1 in Bijlage B is

het gemiddelde zwevend stof patroon weergegeven voor de referentie (T0) situatie in november 2000. Hieruit blijkt dat in het Schelde estuarium de slibconcentraties variëren tussen de 50 en 100 mg/l. Dit komt overeen met de typische winterwaarden zoals deze uit langjarige metingen zijn bepaald. Een vergelijking met de slibverspreidingspatronen uit de RESTWES studie (Villars en Vos, 1999) laat een overeenkomstig beeld zien. Een toenemende gradiënt van benedenstrooms naar bovenstrooms in de Westerschelde is waarneembaar. In tegenstelling tot de RESTWES resultaten is, in het centrale gedeelte van het Schelde estuarium (in het gebied rondom Terneuzen), de maandgemiddelde slib concentraties het hoogst. Dit wordt veroorzaakt door de grotere hoeveelheid geloosde havenslib vanuit de Braakmanhaven. In het RESTWES model is een havenslibblozing van circa 67 kton gehanteerd (oktober-december 1998) en in de huidige toepassing ruim 260 kton (zie Tabel 3.3).

Temporele slibconcentraties

Figuur 4.2 geeft voor de maanden oktober en november 2000 de berekende en gemeten zwevende stof concentraties ter hoogte van Terneuzen. De berekende concentratieniveaus komen goed overeen met de gemeten waarden. Verder valt uit het figuur op te maken dat het model de waargenomen regelmatige variaties over de springtij/doodtij cycli uitstekend reproduceert. Echter, op kortere tijdschaal zijn de inter-getijden fluctuaties in de metingen aanzienlijk groter dan in de modelberekening. Dit wordt veroorzaakt doordat variaties in het slibgehaltes behalve door het getij eveneens worden beïnvloed door factoren als fluctuerende windcondities en de effecten hiervan op de stroomsnelheden en de bodemschuifspanning. Deze variërende windcondities zijn niet in de hydrodynamica en derhalve in het slib-model meegenomen.



Figuur 4.2 Gemeten en gemodelleerd zwevend stof concentratie op locatie Terneuzen (referentie situatie)

Beperkingen modelconcept

De aangeleverde SCALWEST waterbeweging is dieptegemiddeld (2DH). In de RESTWES toepassing heeft dit ertoe geleid dat een netto slibexport plaatsvindt vanuit de Westerschelde naar de Noordzee. Door de horizontale dichtheidsgradiënten is er echter een netto slibimport van marien sediment te verwachten. Dit effect speelt een belangrijke rol in de slibhuishouding van de Westerschelde (Wartel et al., 2000). In appendix A is een beknopte uiteenzetting gegeven van hoe de dichtheidsstromen op een geparameteriseerde wijze in een 2DH model kunnen worden ingebracht. Gelet op de beschouwde tijdsperiode

beknopte uiteenzetting gegeven van hoe de dichtheidsstromen op een geparameteriseerde wijze in een 2DH model kunnen worden ingebracht. Gelet op de beschouwde tijdsperiode en het ruimtelijk plaatsdomein, is de verwachting dat dit proces de resultaten van deze studie niet wezenlijk zal veranderen. Met de opdrachtgever is overeengekomen dit proces niet in de huidige modellering mee te nemen.

Gegeven de aannamen dat de hydrodynamica en het zwevende stof in het model bepaald zijn voor gemiddelde meteorologische condities; gegeven ook de aannamen omtrent het modelconcept (zoals dieptegemiddelde waterbeweging) wordt de dynamiek in de metingen door de modelresultaten goed gereproduceerd. De gemodelleerde referentiesituatie (T0) vormt hierbij een goede uitgangspositie om de effecten van de slurrylozing op de slibverspreiding te onderzoeken.

4.2 Bijdrage Boorspecie en Havenslib aan het zwevende stof

In deze paragraaf worden de effecten van de geloosde boorspecie en baggerspecie op de zwevend stof concentratie nader beschreven.

Temporele slibconcentraties

De Figuren B.1 - B.4 laten het tijdsverloop van zwevende stof zien voor vier monitoringslocaties: respectievelijk DOW meetpaal, Hansweert, Baalhoek en Vlissingen. De zwevend stof concentraties als gevolg van boorspecie en dumping van havenslib vanuit de Braakmanhaven zijn hierin zichtbaar gemaakt tezamen met het totale slibgehalte.

Uit de figuren valt het volgende te constateren:

- Het aandeel van havenslib aan het totale slibgehalte is gemiddeld voor alle stations groter dan dat van de boorspecie (met name in de maand november). Dit wordt veroorzaakt door de grotere hoeveelheden gestorte havenslib ten opzichte van de slurrylozing. De totale hoeveelheid geloosde havenslib over de maanden oktober-december 2000 is ongeveer driemaal zoveel als de hoeveelheid slurrylozing (zie Tabel 3.3).
- Zowel de concentratie van het havenslib als de boorspecie nemen aan het begin van de simulatieperiode toe doordat de toevoer van het materiaal groter is dan de verdunning met het omgevingswater. Nadat eind november de havenstortingen zijn gestopt, is een langzame afname in de concentratie zichtbaar. De lozing van boorspecie is na 21 december gestopt waarna eveneens een afname in concentratie is te zien, doordat steeds meer verdunning met het omgevingswater plaatsvindt en doordat materiaal uit de waterfase kan verdwijnen door eventuele netto sedimentatie.
- Het verloop van de concentratie is bij de meetpaal is het meest fluctuerend omdat dit monitorpunt vlak nabij het lozingspunt van de slurry en het havenslib is gesitueerd, daar waar de concentratiegradiënten het grootst zijn.
- Het gemiddelde aandeel van boorspecie bij de DOW meetpaal is circa 10-20 mg/l met piekconcentraties tot 100 mg/l. De relatieve bijdrage van boorspecie aan het totale slibgehalte (T1 variant) is gemiddeld 10-20% tot 50% vlak na pieklozingen. Een relatieve bijdrage van 50% betekent een verhoging van een factor 2 ten opzichte van T0.

- het gemiddelde aandeel van het havenslib in november bij de DOW meetpaal is circa 40-50 mg/l (relatief 40-50%).
- het aandeel boorspecie is op de overige monitoringslocaties sterk gereduceerd tot maximaal 10 mg/l. Het aandeel havenslib blijft relatief hoog.

Ruimtelijke slibverspreidingspatronen

In de Figuren B.5 - B.14 zijn de ruimtelijke slibverspreidingspatronen op verschillende momenten in het getij weergegeven (gemiddeld hoogwater, gemiddeld laagwater en tijdens springtij en doottij).

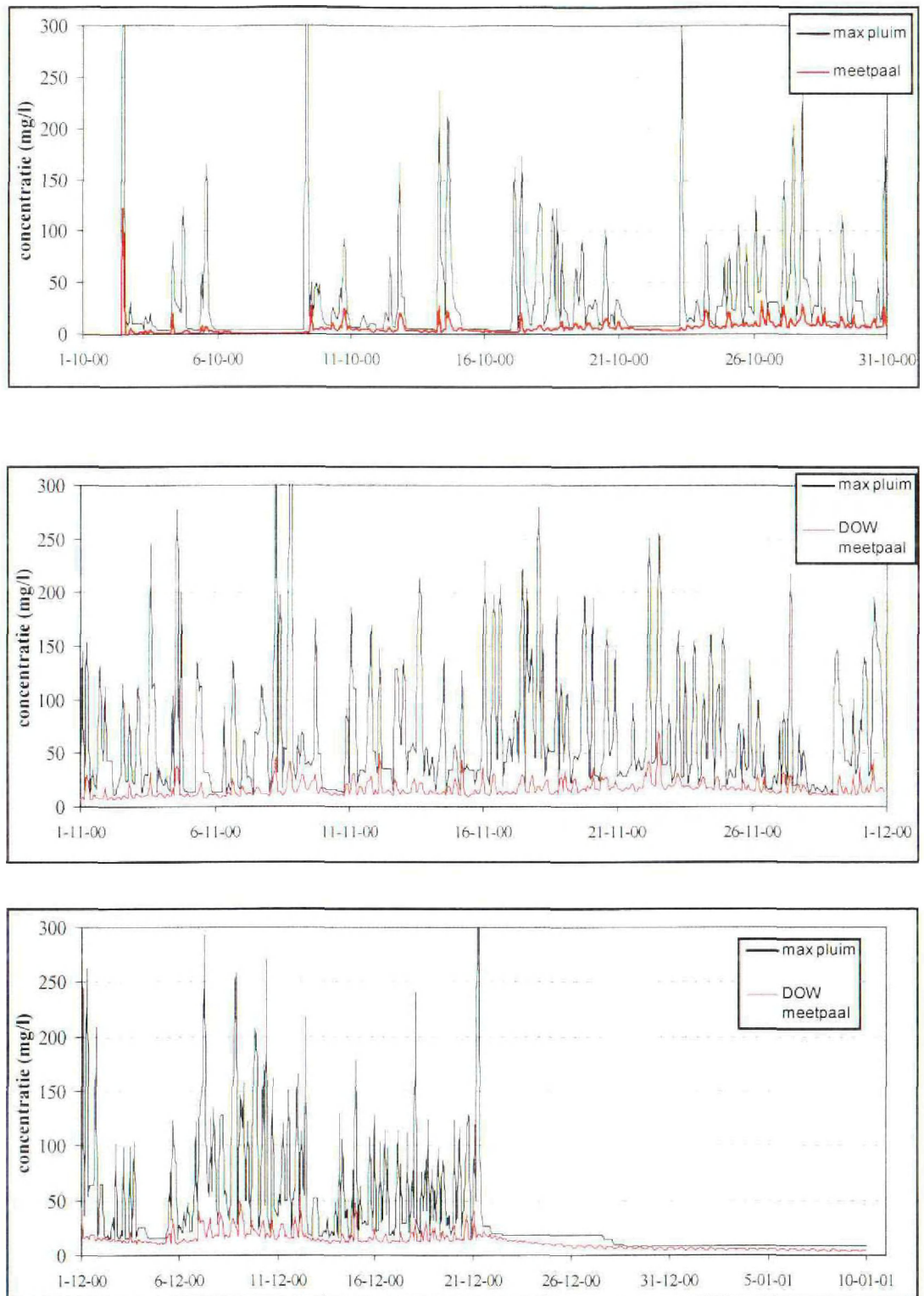
Uit de figuren valt het volgende te constateren:

- De absolute bijdrage van de boorspecie is voor zowel hoog als laag water ongeveer hetzelfde (tot 20 mg/l in het gebied rondom de DOW meetpaal en de slurripijp). Tijdens hoogwater is de lozingspluim bovenstrooms gericht (opkomend tij) en tijdens laagwater benedenstrooms (afgaand tij).
- De relatieve bijdragen zijn voor zowel hoog als laag water ongeveer gelijk.
- In een groot gedeelte van de Westerschelde is de berekende bijdrage van geloosde havenslib uit de Braakmanhaven 30-50% van het totale slibgehalte.
- Een vergelijking tussen verspreidingspatronen tijdens springtij en doottij lijkt aan te geven dat gedurende doottij een hogere absolute bijdrage van boorspecie bereikt wordt dan gedurende springtij (respectievelijk Figuur B.9 en B.10). Hoewel dit te verklaren zou zijn doordat het dispersieve vermogen van de doottij stroming minder is dan van de springtij stroming met haar langere getijslag, mogen we deze verklaring niet voetstoots aannemen. Immers het actuele patroon is in hoge mate afhankelijk van de boorspecielozingen in de dagen die hieraan voorafgaand. In de onderhavige vergelijking is in de dagen voorafgaande aan het doottij meer boorspecie geloosd dan in de dagen voorafgaande aan het springtij. Een deel van de hogere concentratie zal hierdoor worden veroorzaakt.

Hoe de lozingspluim zich ruimtelijk in de tijd gedraagt is te zien in de animatie over de periode 1 oktober 2000 tot 10 januari 2001. Hierin is tevens de geloosde hoeveelheden boorspecie in een tijdserie aangegeven. Hoe de pluim zich tijdens kenmerkende getijsituaties gedraagt valt moeilijk te bepalen aangezien de bijdrage voor een groot gedeelte wordt bepaald aan de hand van de in de voorafgaande periode geloosde hoeveelheid specie.

Maximale concentratie boorspecie in de lozingspluim versus concentratie bij DOW

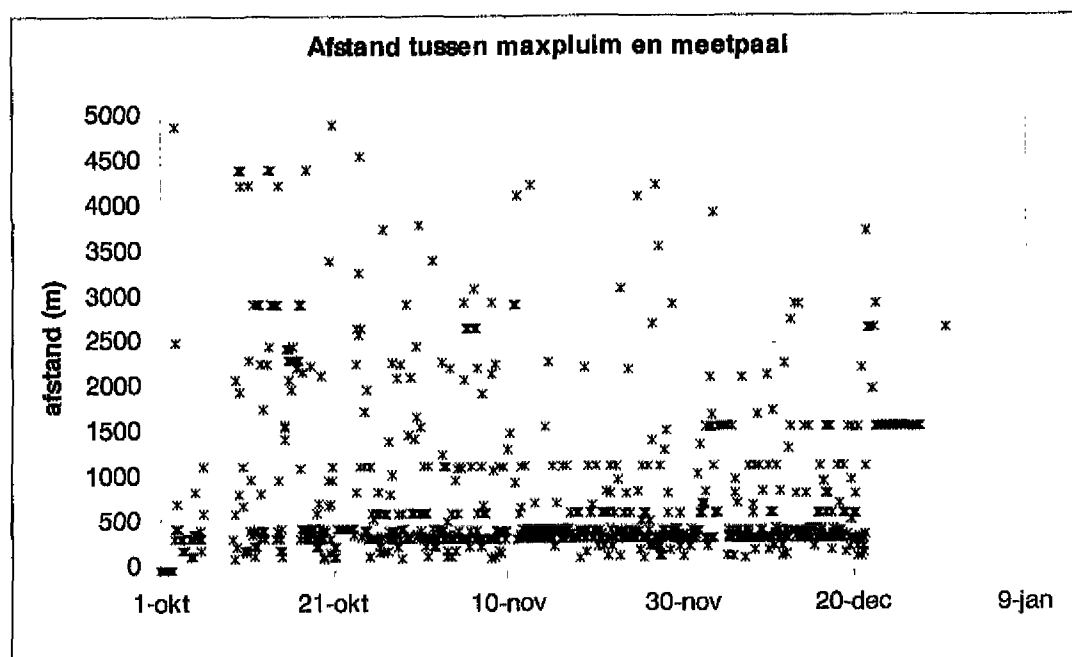
Om een indicatie te krijgen in hoeverre de DOW meetpaal de concentratie van boorspecie in de pluim meet, is in Figuur 4.3 de maximale concentratie in de lozingspluim weergegeven tezamen met de concentratie ter plaatse van de DOW meetpaal.



Figuur 4.3: Maximale slurry concentratie in de lozingspluim en de concentratie ter plaatse van de DOW meetpaal. In deze figuur zijn de concentraties om de 2 uur weergegeven. Dit betekent dat opgetreden piekconcentraties binnen een 2-uurs tijdsinterval niet zijn weergegeven.

Uit de figuur valt direct op dat de maximale concentratie als gevolg van de slurrylozing aanzienlijk groter is dan die bij de DOW meetpaal. De maximale concentratie van boorspeciepluim kan oplopen tot meer dan 300 mg/l. Deze hoge concentraties vallen samen

boorspeciepluim kan oplopen tot meer dan 300 mg/l. Deze hoge concentraties vallen samen met het directe uitstroompunt van de slurripijp (zie eveneens Figuur 4.4). Verder valt te constateren dat de maximale piekconcentraties zeer snel afnemen als gevolg van initiële menging. Binnen enkele uren na de lozing is de maximale concentratie sterk gereduceerd tot het niveau van enkele tientallen mg/l; het niveau wat gemeten wordt bij de meetpaal. In Figuur 4.4 is de afstand weergegeven tussen de locatie van het maximum van de pluim en de meetpaal in de tijd.



Figuur 4.4: Afstand tussen de locatie van het maximum in de lozingspluim en de DOW meetpaal

Vergelijking met gegevens uit Boorspecie voortgangsverslagen

Uit de in-situ metingen van de DOW-meetpaal is eveneens een schatting gemaakt van de bijdrage van de boorspecie aan het totale slibgehalte (T0 vs. T1). Uit de voortgangsrapportage over de periode oktober - november 2000 (RIKZ, 2001) wordt een verhoging van ongeveer een factor 2 in het slibgehalte ten opzicht van de T0 situatie waargenomen (met name in de maand november). Verder is hierin geconstateerd dat slibpieken voorkomen van maximaal 100 mg/l. Op grond van de modeluitkomsten is een toename als gevolg van de slurrylozing te verwachten van gemiddeld 20% tot maximaal een factor 2 tijdens pieklozingen.

Uit de in-situ metingen is niet eenduidig vast te stellen of de geconstateerde verhoging van het slibgehalte volledig is toe te schrijven aan de slurrylozing of dat nog andere aspecten een rol spelen, zoals de storting van havenslib. Daarnaast heeft het model de beperking dat het de bijdrage van boorspecie bepaald onder gemiddelde meteorologische condities. Storm condities of perioden met fluctuerende winden zullen het stromingspatroon en daarmee gepaarde verspreiding van de boorspecie beïnvloeden, met name op kortere tijdschalen.

Op grond van het bovenstaande concluderen wij dat de waargenomen verhoging van het slibgehalte bij de DOW meetpaal in overeenstemming is met de berekende bijdrage van de boorspecie.

5 Conclusies

Modelberekeningen zijn een belangrijk hulpmiddel om de effecten van lozingen te bestuderen. Hierbij dient opgemerkt te worden dat het toegepaste slib-model gebruik maakt van een dieptegemiddelde waterbeweging die is berekend met een langjarige gemiddelde externe forcing. Dit beperkt de mogelijkheden om variaties in veldmetingen binnen het getij nauwkeurig te reproduceren. Met name niet-lineaire interacties tussen meteorologische forcing, slibafvoer door rivieren en waterbewegingspatronen worden in het model niet beschouwd. Daarom dienen de berekende effecten van de lozing van boorspecie en havenslib als indicatief te worden geïnterpreteerd.

Het voordeel van het gebruik van het slib-model ten opzichte van de in-situ metingen is dat het model de temporele variatie van slib combineert met het ruimtelijke verspreidingspatroon. Bovendien is het met het model relatief eenvoudig om verschillende componenten van het slib afzonderlijk zichtbaar te maken. Hierdoor levert het een belangrijke bijdrage in het inzicht in de verspreiding en verdunning van boorspecie en havenslib in de Westerschelde.

Op grond van de modeluitkomsten wordt het volgende geconstateerd:

- Het effect van de lozing van boorspecie is in de modeluitkomsten duidelijk waarneembaar in de slibverspreiding in de Westerschelde;
- Het gemiddelde relatieve aandeel van de boorspecie aan het totale slibgehalte in de T1-situatie bij de Meetpaal is circa 20% (10-20 mg/l) oplopend tot 50% (~100 mg/l) tijdens pieklozingen. Een relatieve bijdrage van 50% in de T1-situatie betekent dus dat de concentraties ten opzichte van de T0-situatie zijn verdubbeld;
- Maximale slibconcentraties in de lozingspluim kunnen oplopen tot meer dan 300 mg/l.
- Als gevolg van initiële menging neemt deze piekconcentratie binnen enkele uren af tot enkele tientallen mg/l;
- Het aandeel van het havenslib uit de Braakmanhaven is over de gehele linie groter dan dat van de boorspecie (bij de Meetpaal 40-50%, ofwel 50 mg/l);
- De uit de monitoringcampagne waargenomen verhoging van het slibgehalte is in overeenstemming met de berekende bijdrage van de boorspecie aan het totale slibgehalte;
- Het gedrag van de lozingspluim wordt in sterke mate bepaald door de heersende getijcondities en door de in de voorafgaande periode geloosde hoeveelheid slurry.

6 Referenties

Boon, J.G., 1995

Zeetoets, modelmatig onderzoek naar de verontreinigingssituatie van de Noordzee en waddenzee in 1990 en 2000. WL| Delft Hydraulics report T1357.

Maldegem, D. van, Winder de, B en A. Arends, 1999

Slib in de Westerschelde. Een beschrijving van de troebelheid en slibverspreiding in de Westerschelde voor de periode december 1998 tot juli 1999

RIKZ, 2001

Monitoring verspreiding boorslib in de Westerschelde (fase 3), periode oktober - november 2000. Datarapportage, RIKZ/AB/2000/842x, 2001

Villars, M.T. and R.J. Vos, 1999

RESTWES, *Remote sensing as a tool for intergrated monitoring of the Western Scheldt*. WL| Delft Hydraulics, Report Z2472

Wartel S. and G.T.M. van Eck, 2000

Slibhuishouding van het Schelde estuarium, Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen

A Dichtheidsstromen in 2D model

De aangeleverde SCALWEST waterbeweging is dieptegemiddeld (2DH). In de RESTWES toepassing heeft dit ertoe geleid dat een netto slibexport plaatsvindt vanuit de Westerschelde naar de Noordzee. Door de horizontale dichtheidsgradiënten als gevolg van saliniteitsverschillen is er echter een netto slibimport van marien sediment te verwachten. Omdat zout water zwaarder is dan zoet water, is de dichtheid van het water bovenstrooms de Schelde geringer vergeleken met het water benedenstrooms. Door deze dichtheidsverschillen heeft het Schelde water aan de oppervlak de neiging zeewaarts te bewegen, terwijl het water nabij de bodem landwaarts beweegt. Omdat in het algemeen de concentratie zwevende stof nabij de bodem hoger is dan aan het oppervlak zal een netto import van marien slib richting de Westerschelde plaatsvinden. Dit effect speelt een belangrijke rol in de slibhuishouding van de Westerschelde (Wartel et al., 2000). Dit proces kan op geparameteriseerde wijze in het 2DH model worden ingebracht door in aanvulling op het advectione en dispersieve transport een extra transportsnelheid tot te voegen die representatief is voor het landinwaartse transport van zwevend marien materiaal. De additionele snelheidsterm wordt bepaald aan de hand van de horizontale berekende saliniteitsgradiënten. Deze methodiek is in het verleden succesvol toegepast voor diverse studies (Boon, 1995).

De extra snelheidsterm kan als volgt worden afgeleid:

In een 2DH model bestaat het zouttransport uit een advectione en diffusie-term:

$$s_s = \bar{u} h \bar{c}_s - D_h h \frac{\partial \bar{c}_s}{\partial x} \quad (1)$$

waar:

- s_s = zouttransport per eenheid breedte (g / m · s)
- $\bar{c}_s$ = dieptegemiddelde zoutconcentratie (g / l)
- D_h = horizontale dispersiecoëfficiënt (m² / s)
- h = waterdiepte (m)
- x = horizontale coördinaat (m)
- $\bar{u}$ = dieptegemiddelde snelheid (m / s)

Het dispersieve gedeelte omvat de informatie over de verticale snelheidsverdeling en de zoutconcentratie. Indien de verticale verdeling van de sediment concentratie gelijk is aan dat van zout, is de relatie tussen het zout -en het sedimenttransport:

$$s = s_s \cdot \frac{\bar{c}}{\bar{c}_s}$$

waar:

s = sedimenttransport (g / m · s)

$\bar{c}$ = dieptegemiddelde sedimentconcentratie (g / m³)

(2)

Invullen in (1) levert :

$$s = \left(\bar{u} - \frac{D_h}{\bar{c}_s} \cdot \frac{\partial \bar{c}_s}{\partial x} \right) \cdot h \cdot \bar{c}$$

Over het algemeen is de verticale verdeling van de zoutconcentratie ongeveer gelijk aan die van de sediment concentratie (hoger aan de bodem en lager aan het oppervlak). Hierdoor is een correctie op de horizontale snelheidsveld om het effect op het sediment transport te bepalen:

$$\bar{u}_{corrected} = \bar{u} - \alpha \cdot D_h \cdot \frac{\nabla \bar{c}_s}{\bar{c}_s}$$

(3)

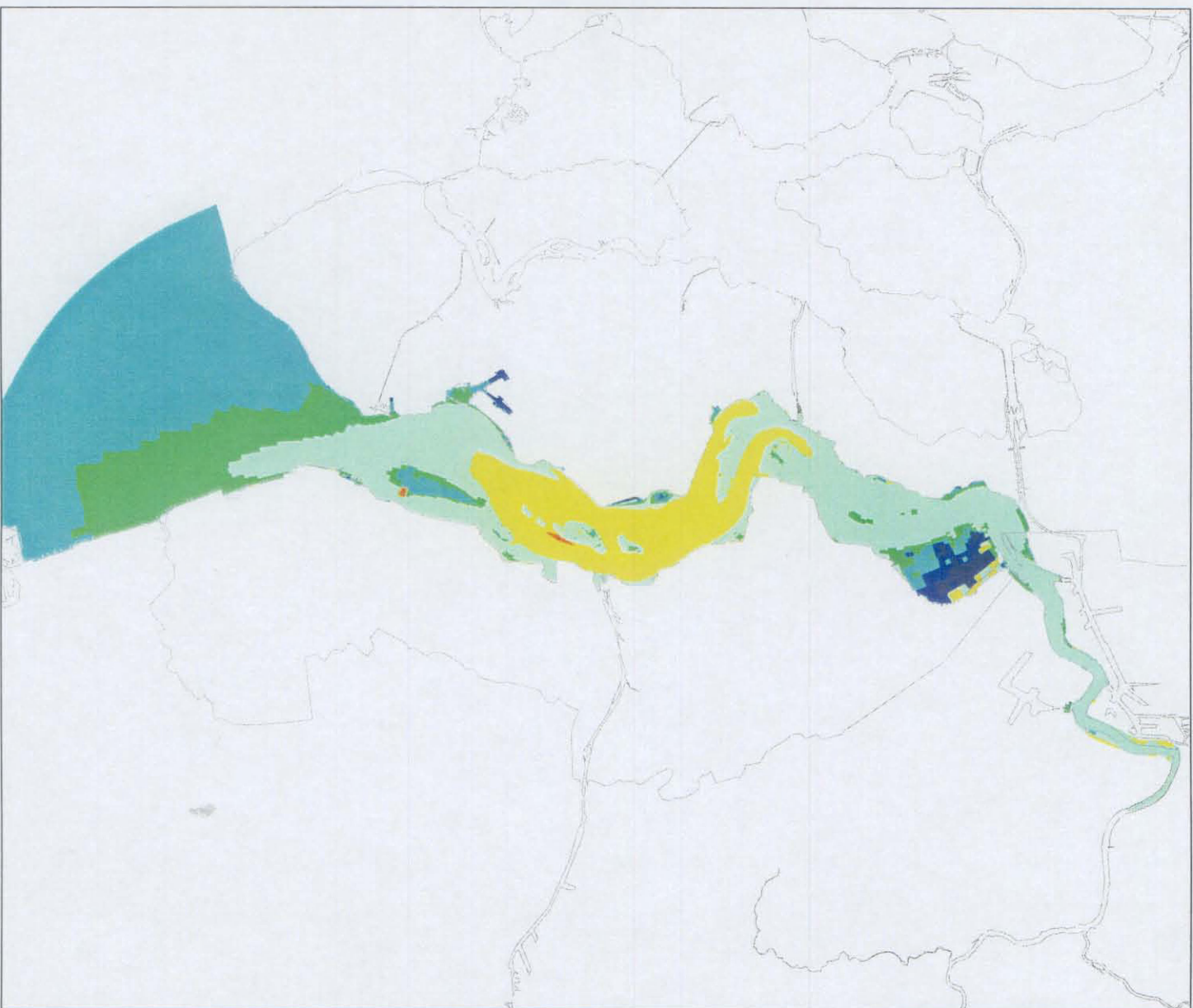
waar:

α = dimensieloze coefficient (-)

Deze gecorrigeerde snelheidsterm vervangt de term tussen de haakjes van (2). De waarde van alfa is afhankelijk van het verschil tussen de verticale verdeling van zout en van sediment. Ingeval beide hetzelfde zijn, is alfa gelijk aan 1. Ingeval het verschil maximaal is, is alfa is bijna 0.

Gelet op de doelstelling van de huidige studie, is het echter onze verwachting dat het effect van een netto slibimport de modelresultaten niet zodanig zal veranderen dat de uitkomsten worden gewijzigd.

B Figuren

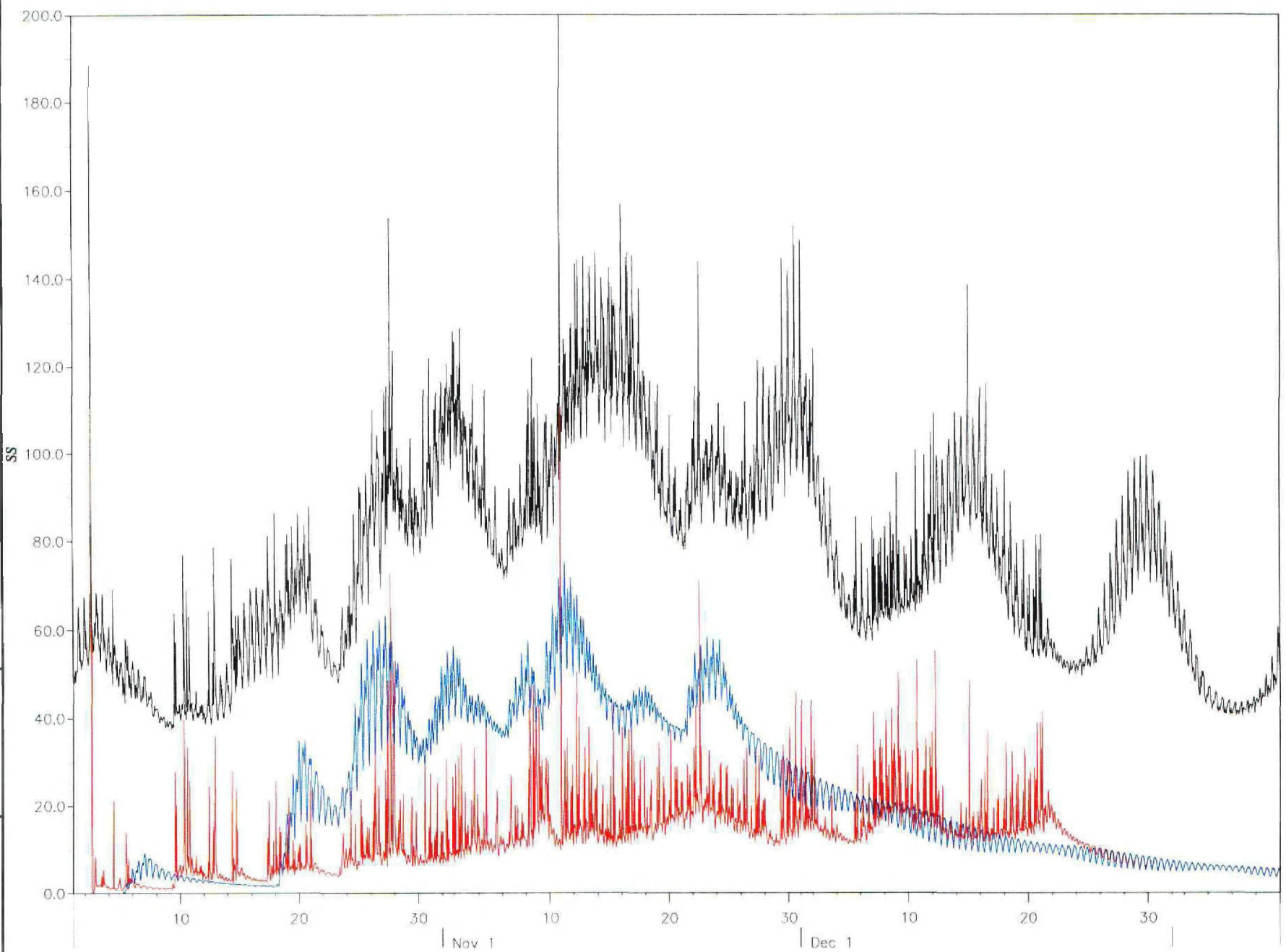


Gemiddeld zwevend stof concentratie (in mg/l) voor november 2000
 Referentie situatie (zonder slurrylozing)

Westerschelde

WL | Delft Hydraulics

Figuur B.0

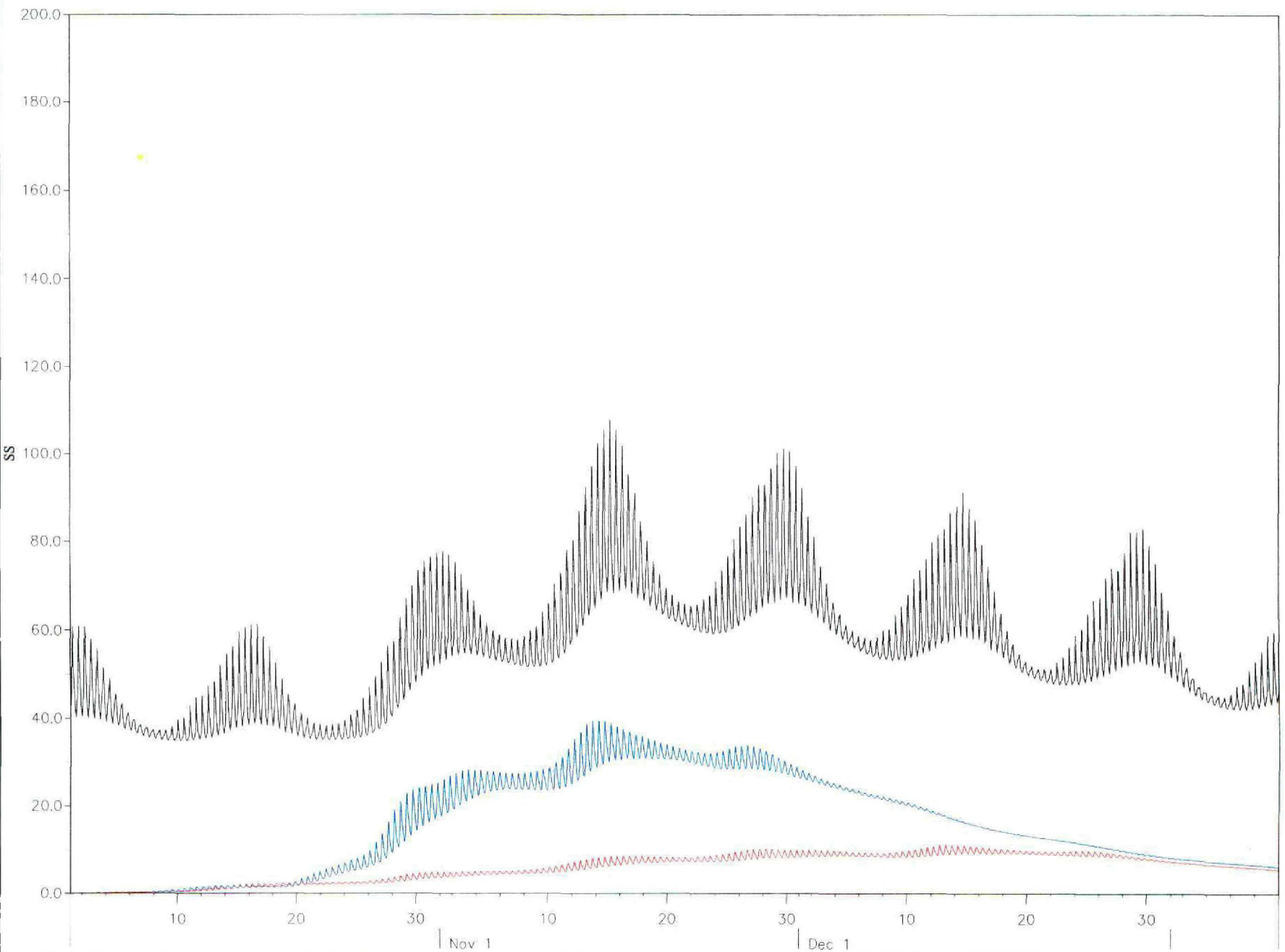


Totaal zwevend stof (zwarte lijn, in mg/l) ter hoogte van de DOW Meelpool
en bijdrage van havenslib (blauw) en slurrylozing (rood)

Westerschelde

WL | Delft Hydraulics

Figur B.1

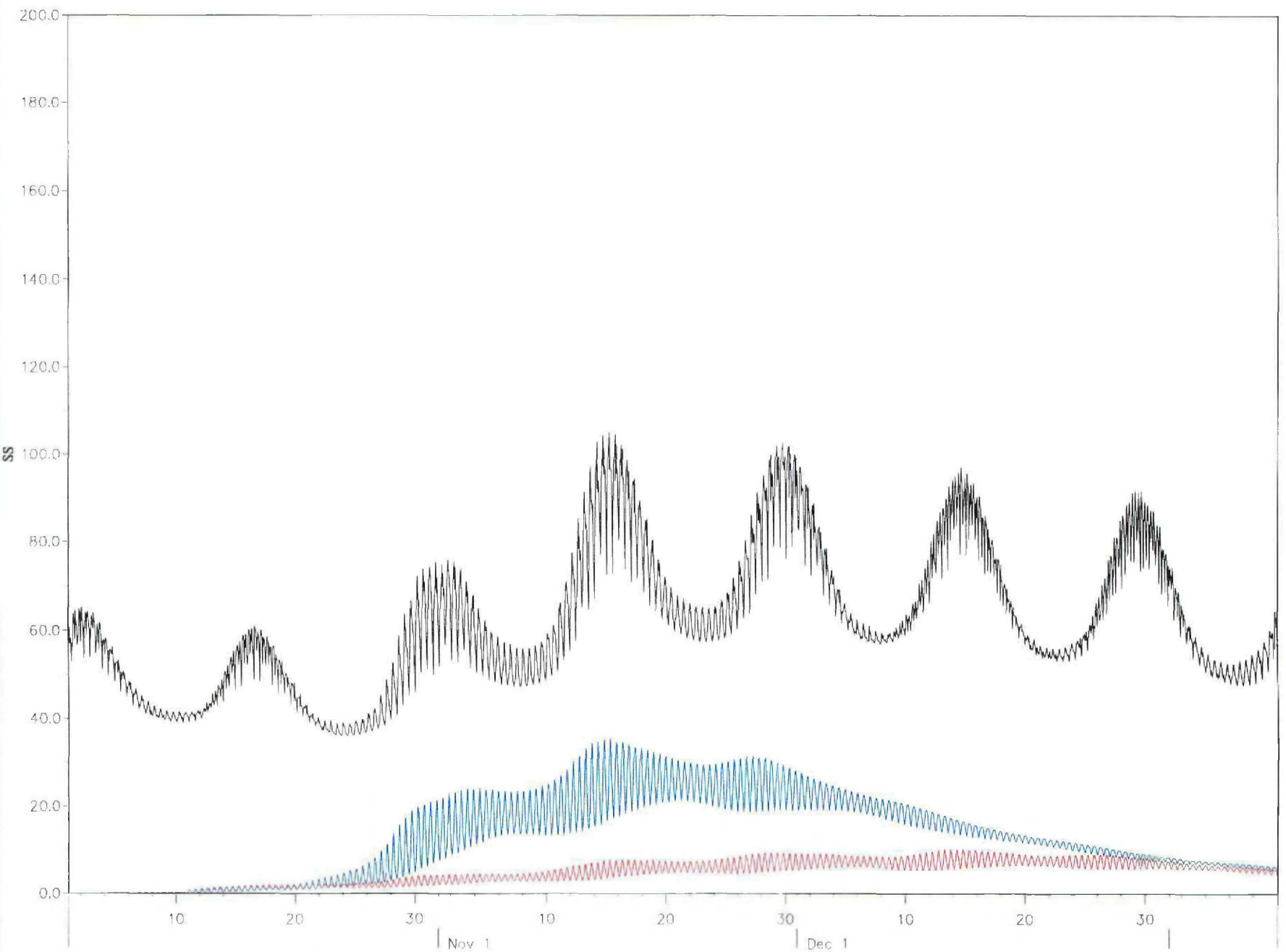


Totaal zwevend stof (zwarte lijn, in mg/l) ter hoogte van Hansweert
en bijdrage van havenslib (blauw) en slurryozing (rood)

WL | Delft Hydraulics

Westerschelde

Figuur B.2

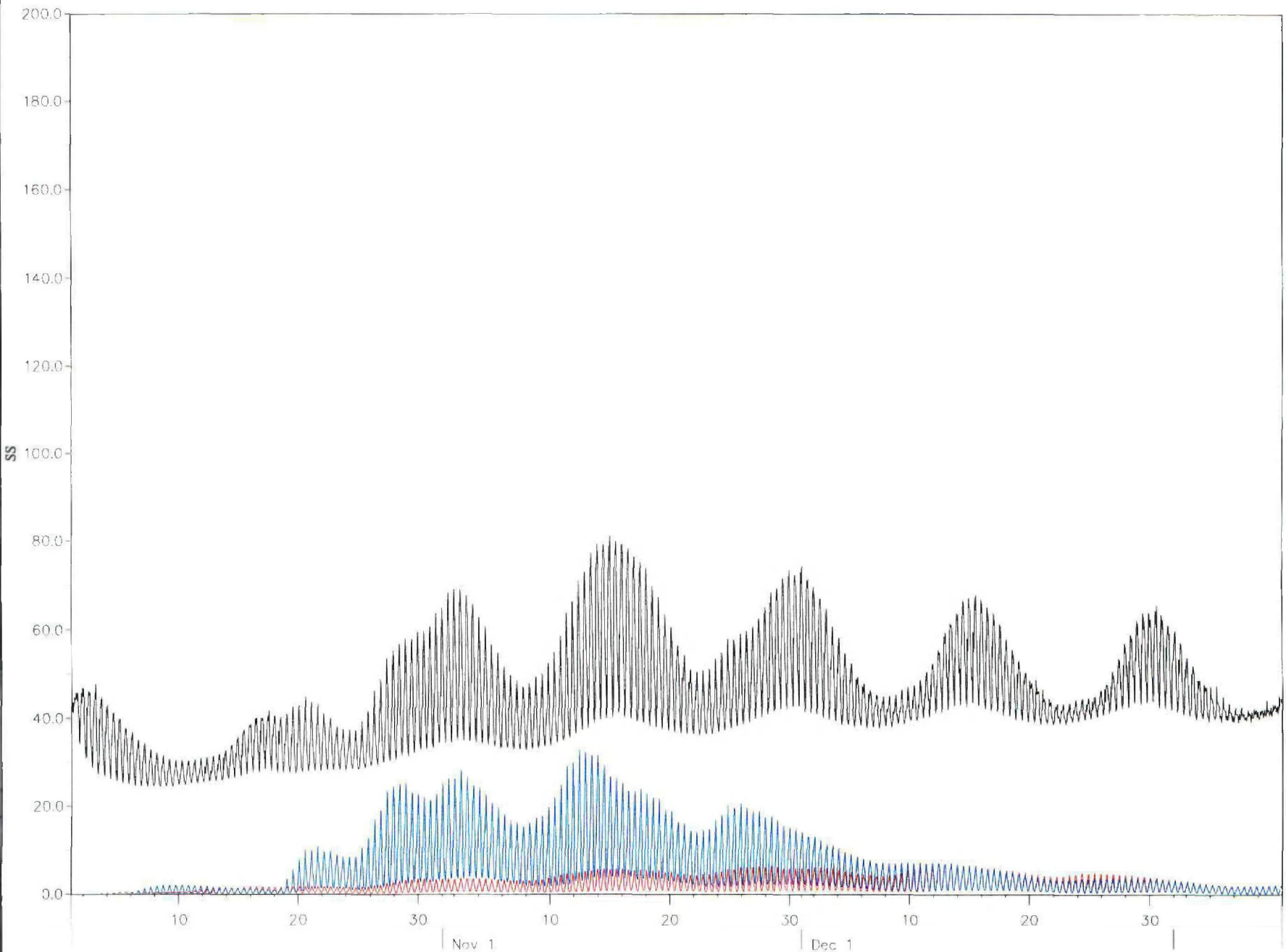


Totaal zwevend stof (zwarte lijn, in mg/l) ter hoogte van Badhoeke
en bijdroge van havenslib (blauw) en slurrijozing (rood)

Westerschelde

WL | Delft Hydraulics

Figuur B.3

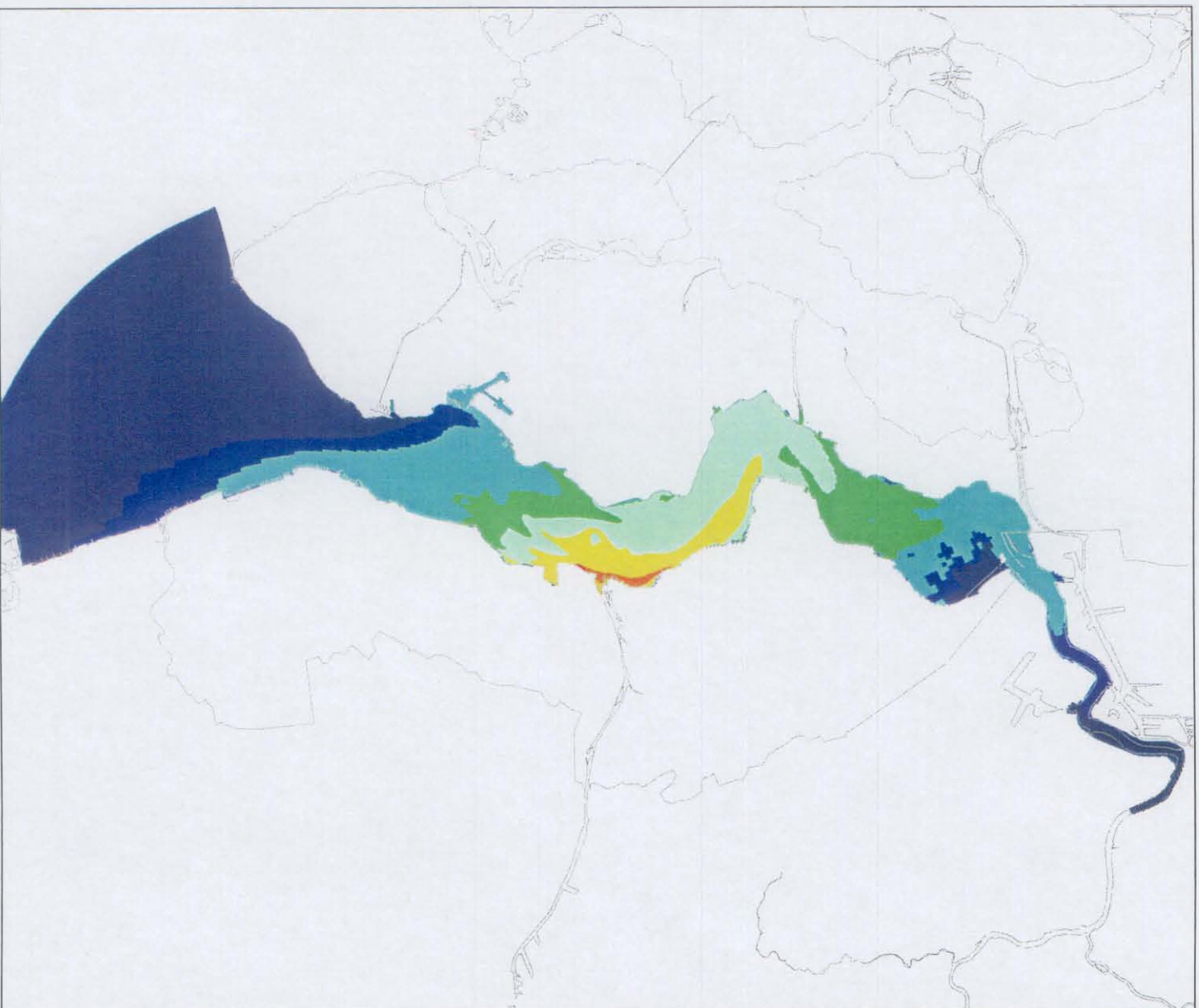
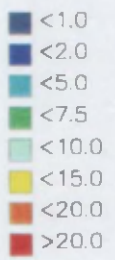


Totaal zwevend stof (zwarte lijn, in mg/l) ter hoogte van Vlissingen
en bijdrage van havenslib (blauw) en slurrylozing (rood)

Westerschelde

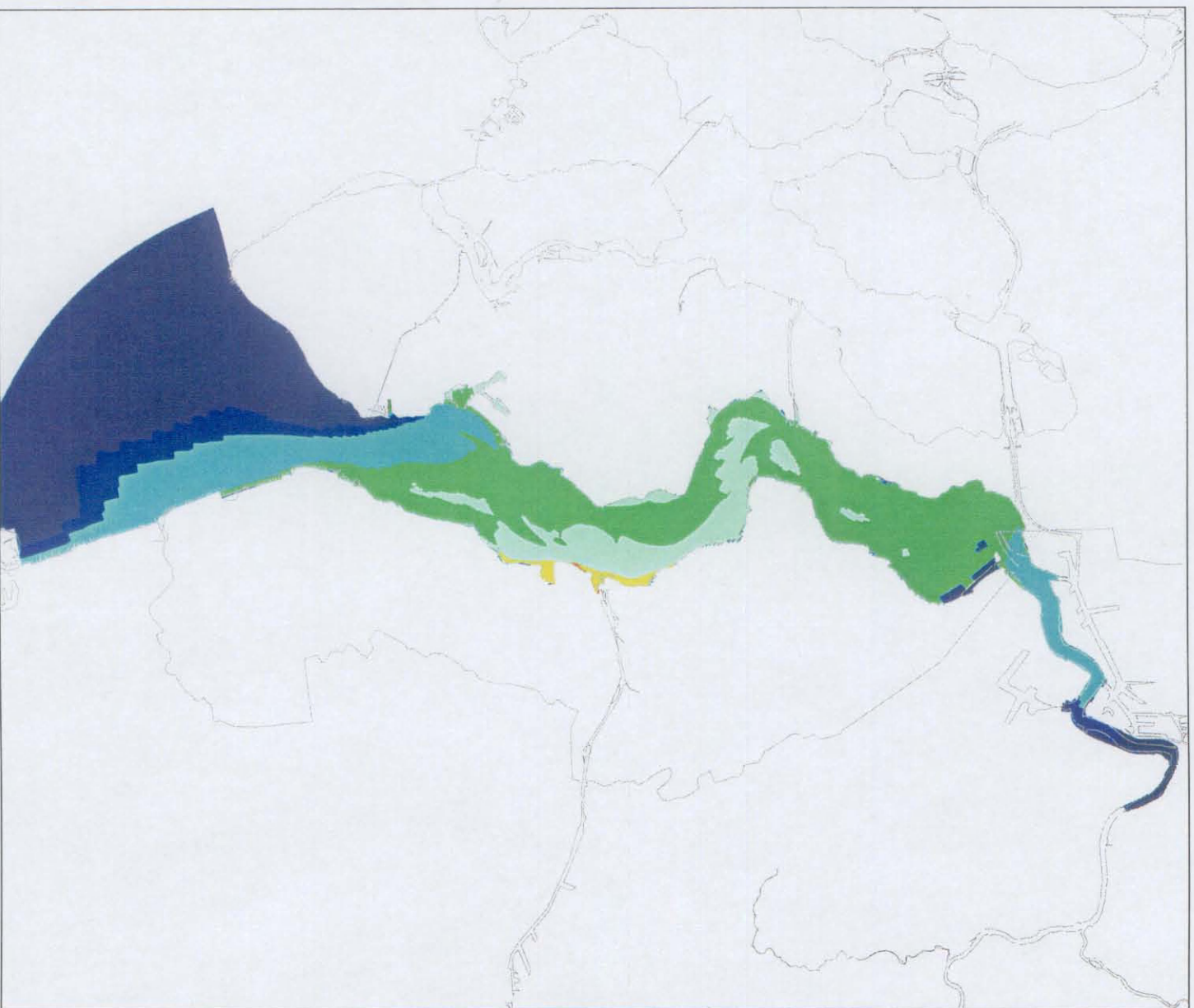
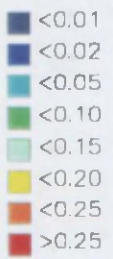
WL | Delft Hydraulics

Figuur B.4



Absolute bijdrage van surrylozing aan zwevend stof (mg/l)
 Gemiddelde bij hoog water gedurende november 2000

Wester schelde

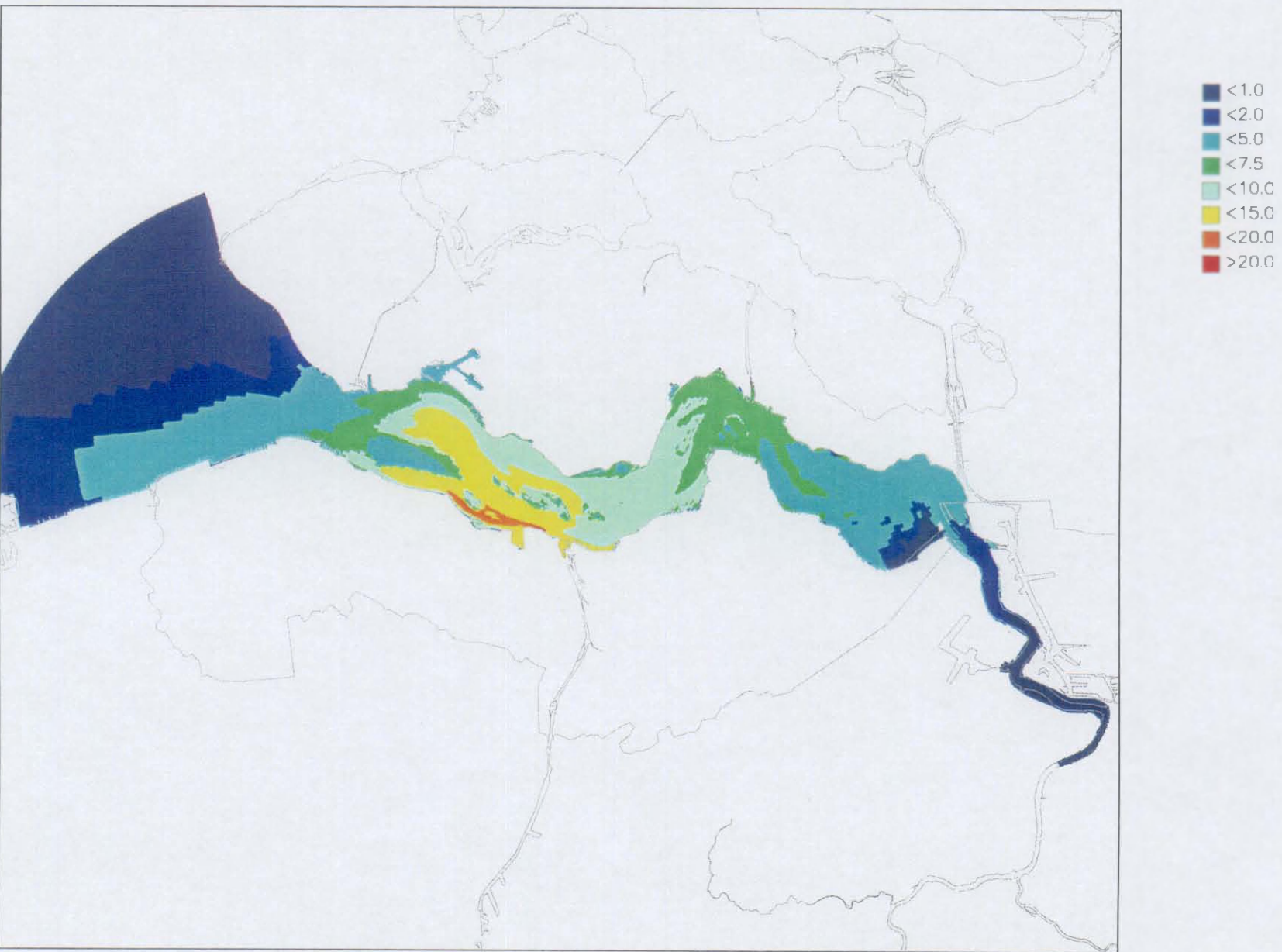


Relatieve bijdrage van slurrytoezing aan zwevend stof (mg/l)
Gemiddelde bij hoog water gedurende november 2000

Westerse Schelde

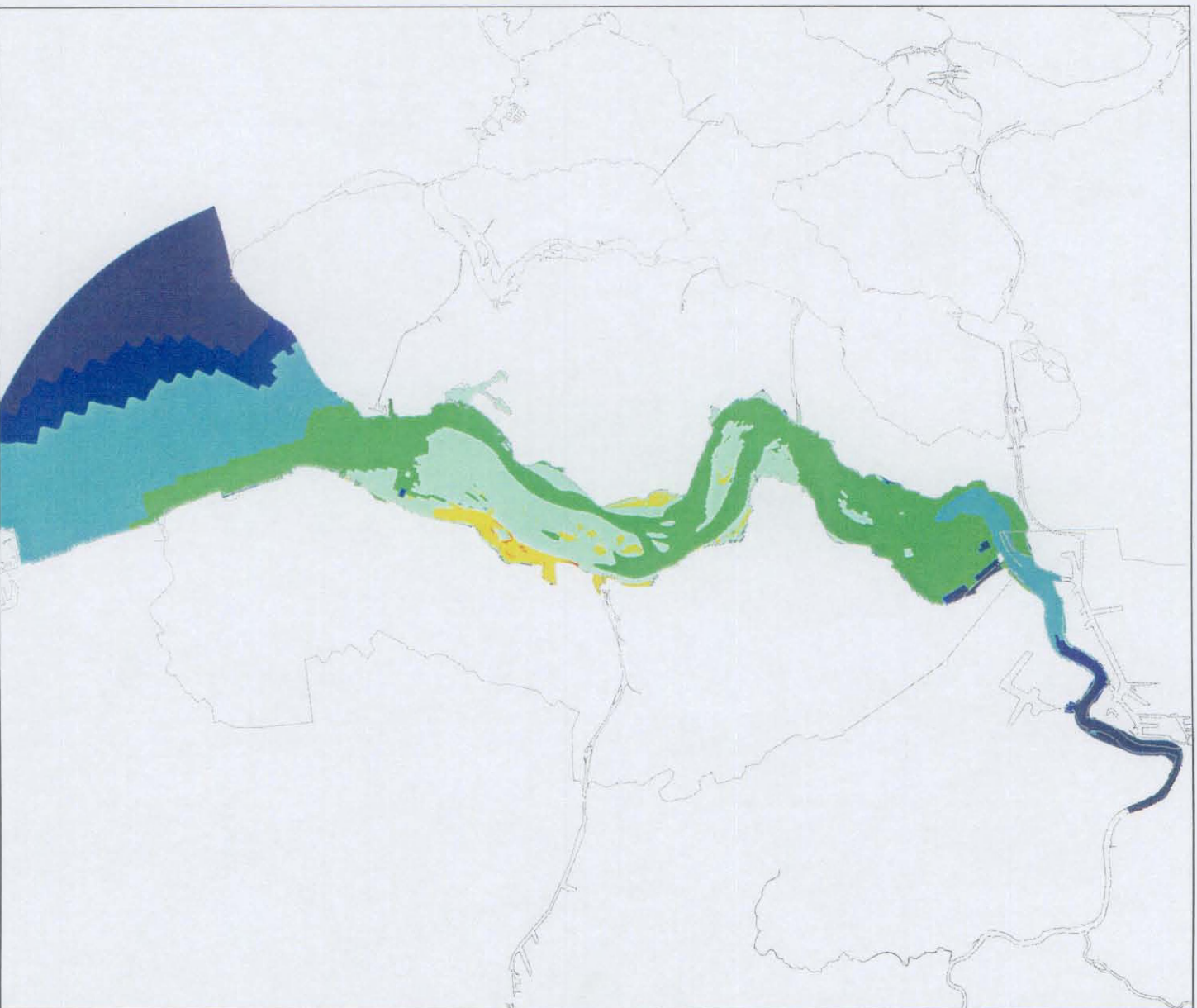
WL | Delft Hydraulics

Figuur B.6



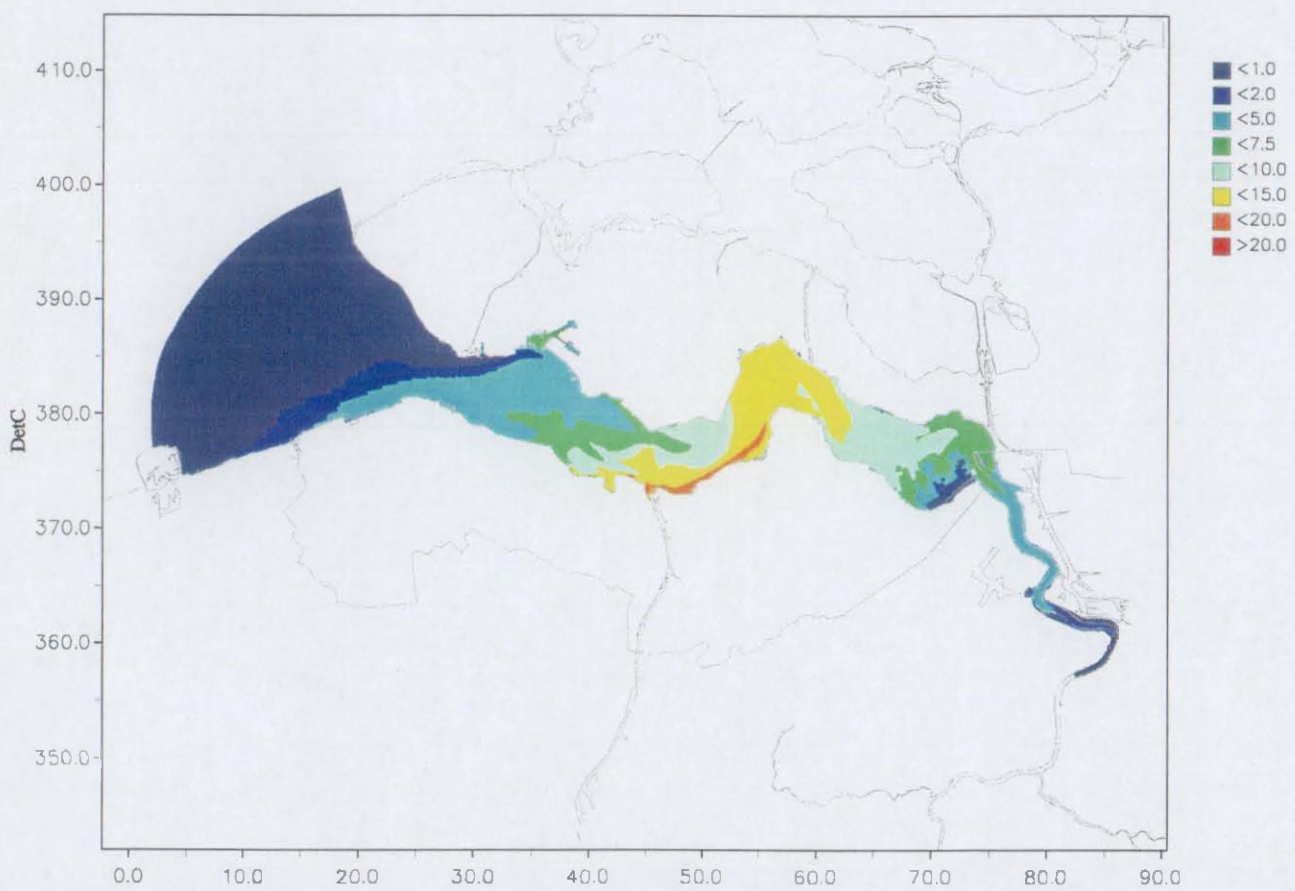
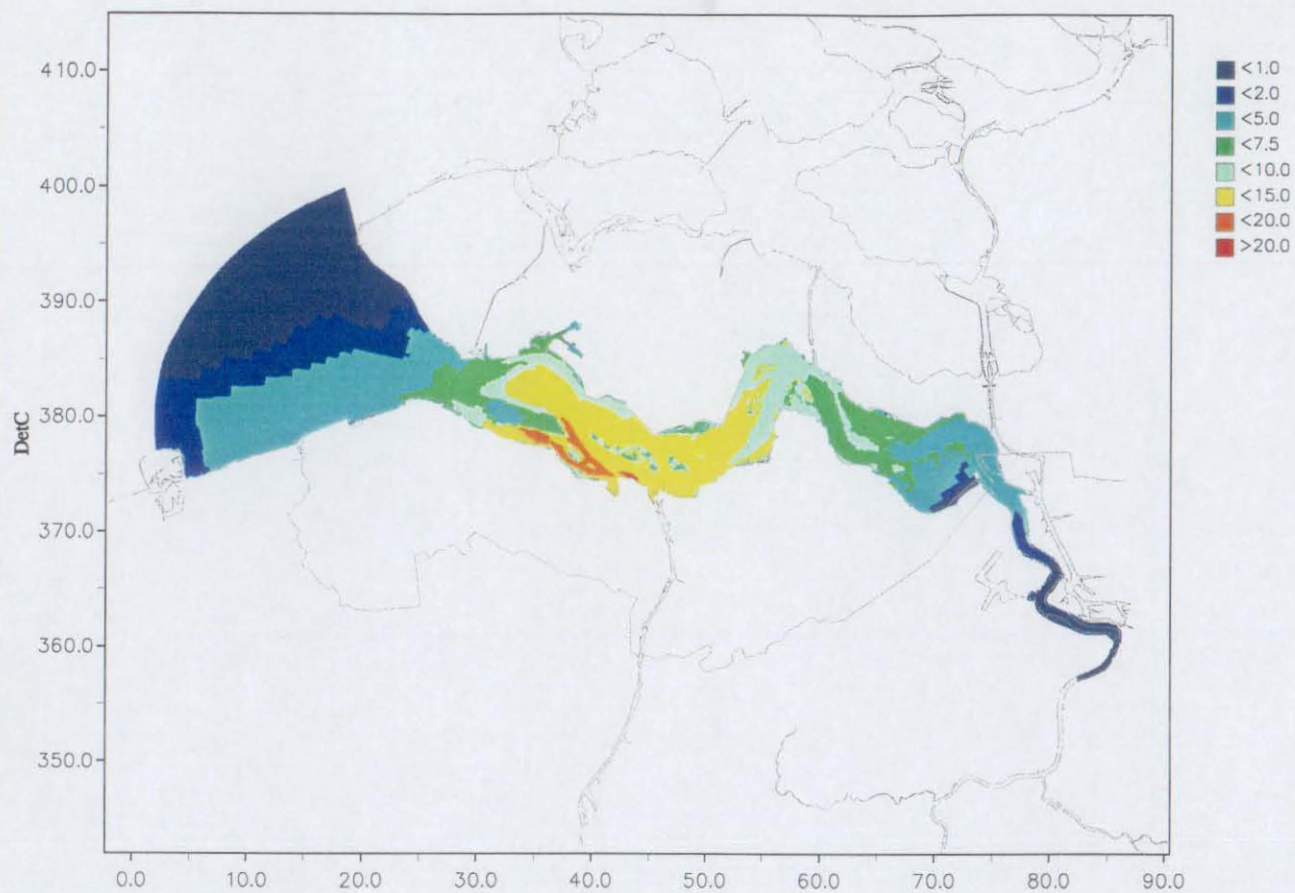
Absolute bijdrage van stroomvoeding aan zwevend stof (mg/l)
Gemiddelde bij hoog water gedurende november 2000

Westerse Schelde



Relatieve bijdrage van slurry yfzozing aan zwevend stof (-)
Gemiddelde bij laag water gedurende november 2000

Westerschelde

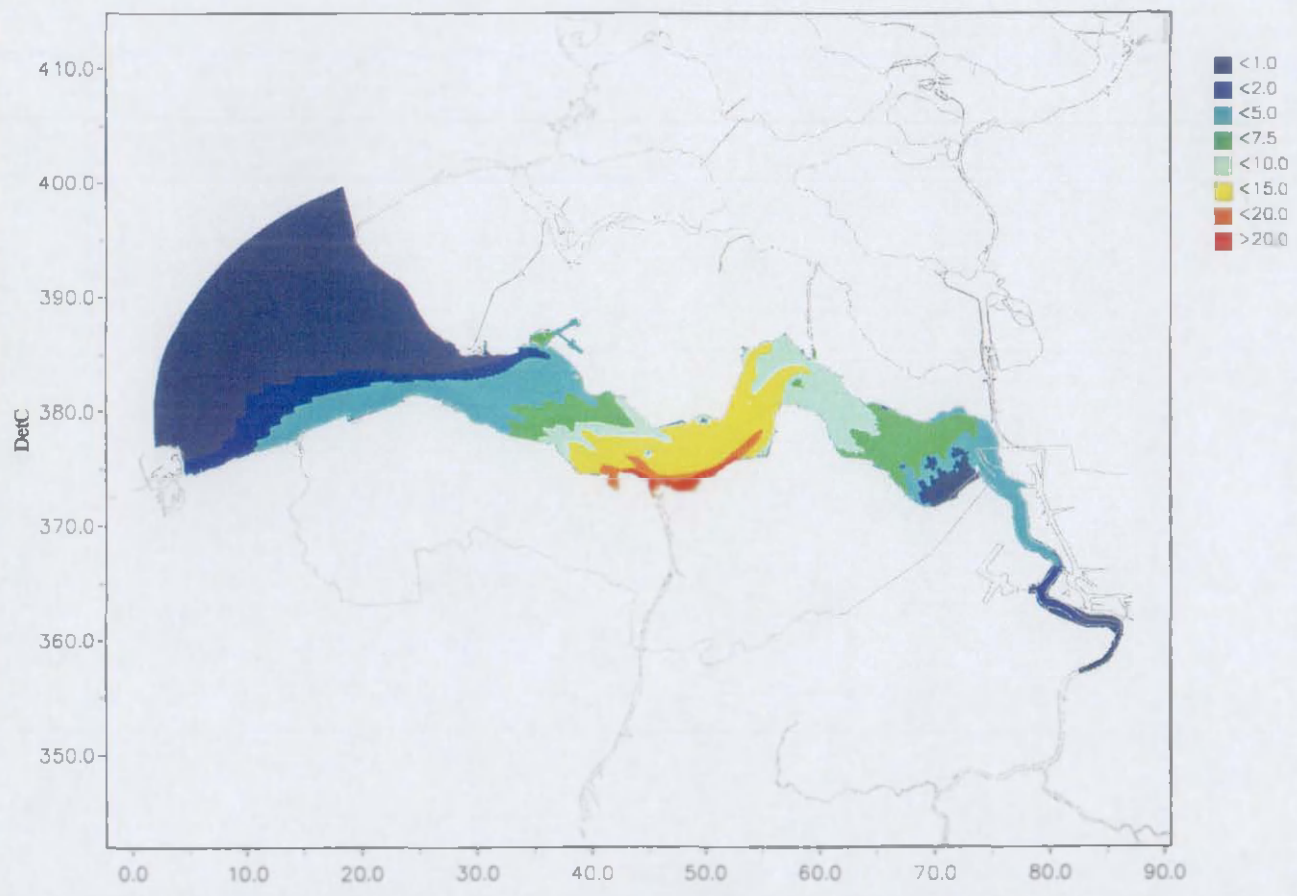
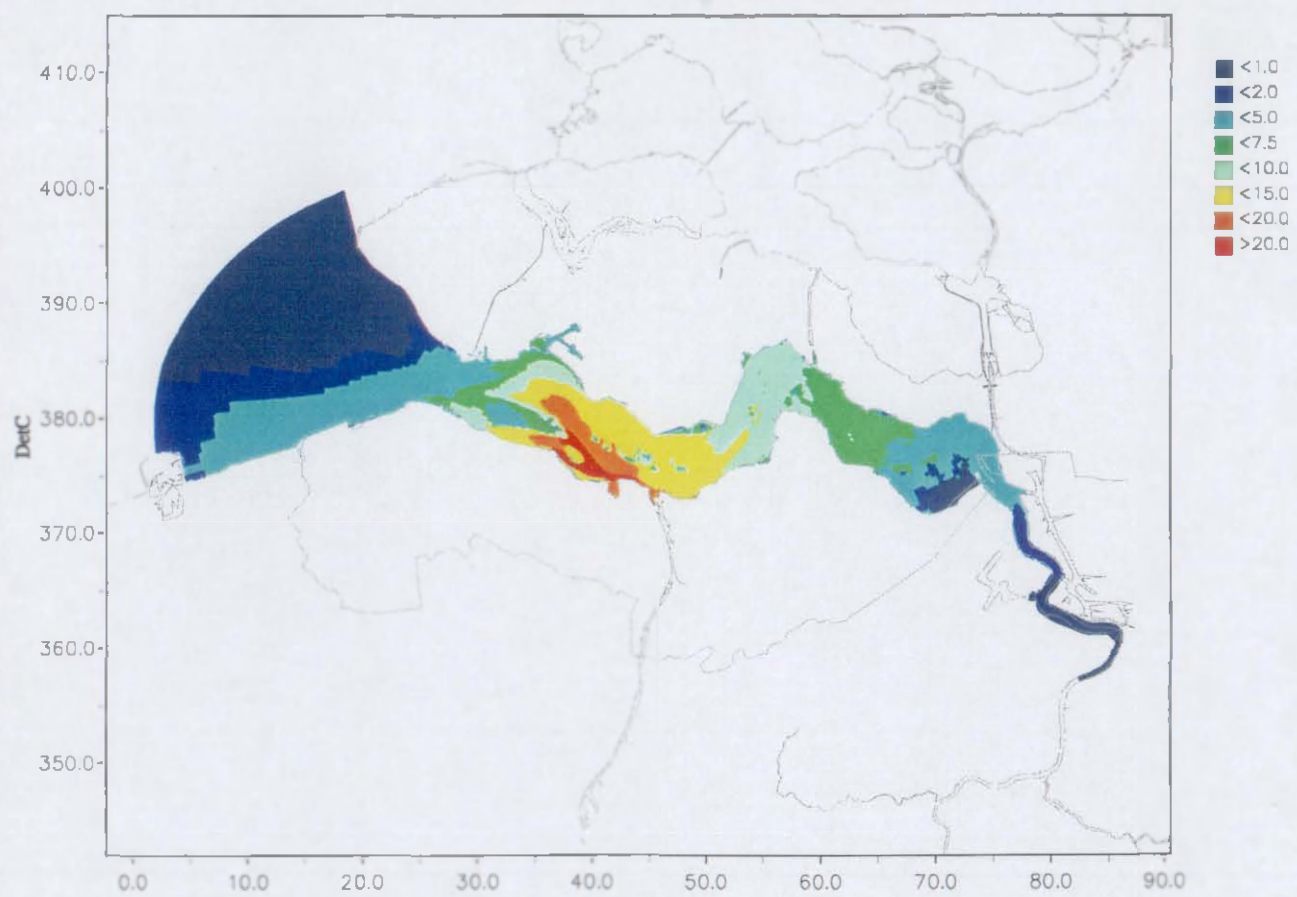


Absolute bijdrage slurrylozing aan zwevend stof (in mg/l)

Boven: Laag water tijdens springtij – 30 november 2000 12:00

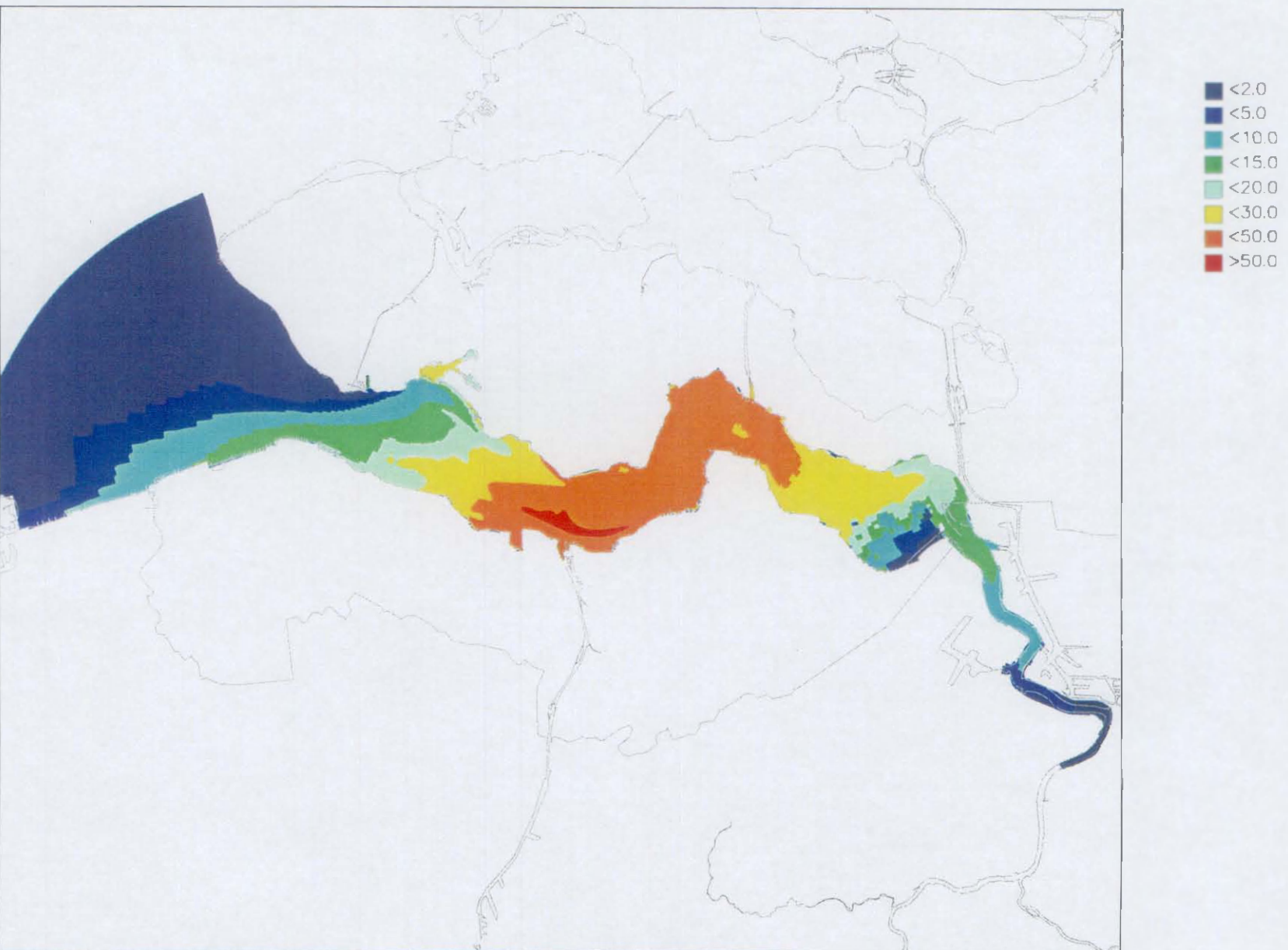
Onder: Hoog water tijdens springtij – 30 november 2000 18:00

Westerschelde



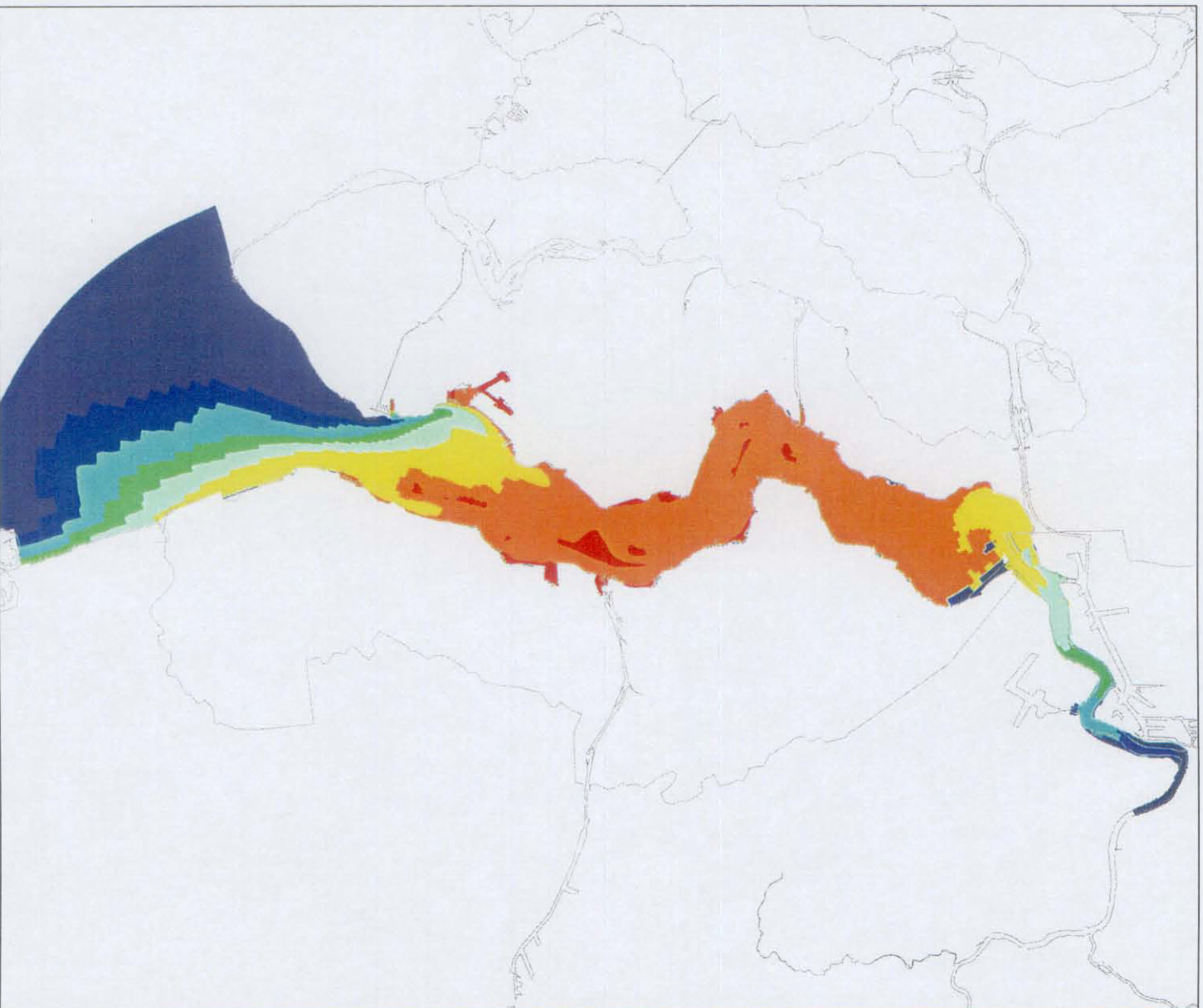
Absolute bijdrage slurrylozing aan zwevend stof (in mg/l)
 Boven: Laag water tijdens doottij – 22 november 2000 4:00
 Onder: Hoog water tijdens doottij – 22 november 2000 12:00

Westerschelde



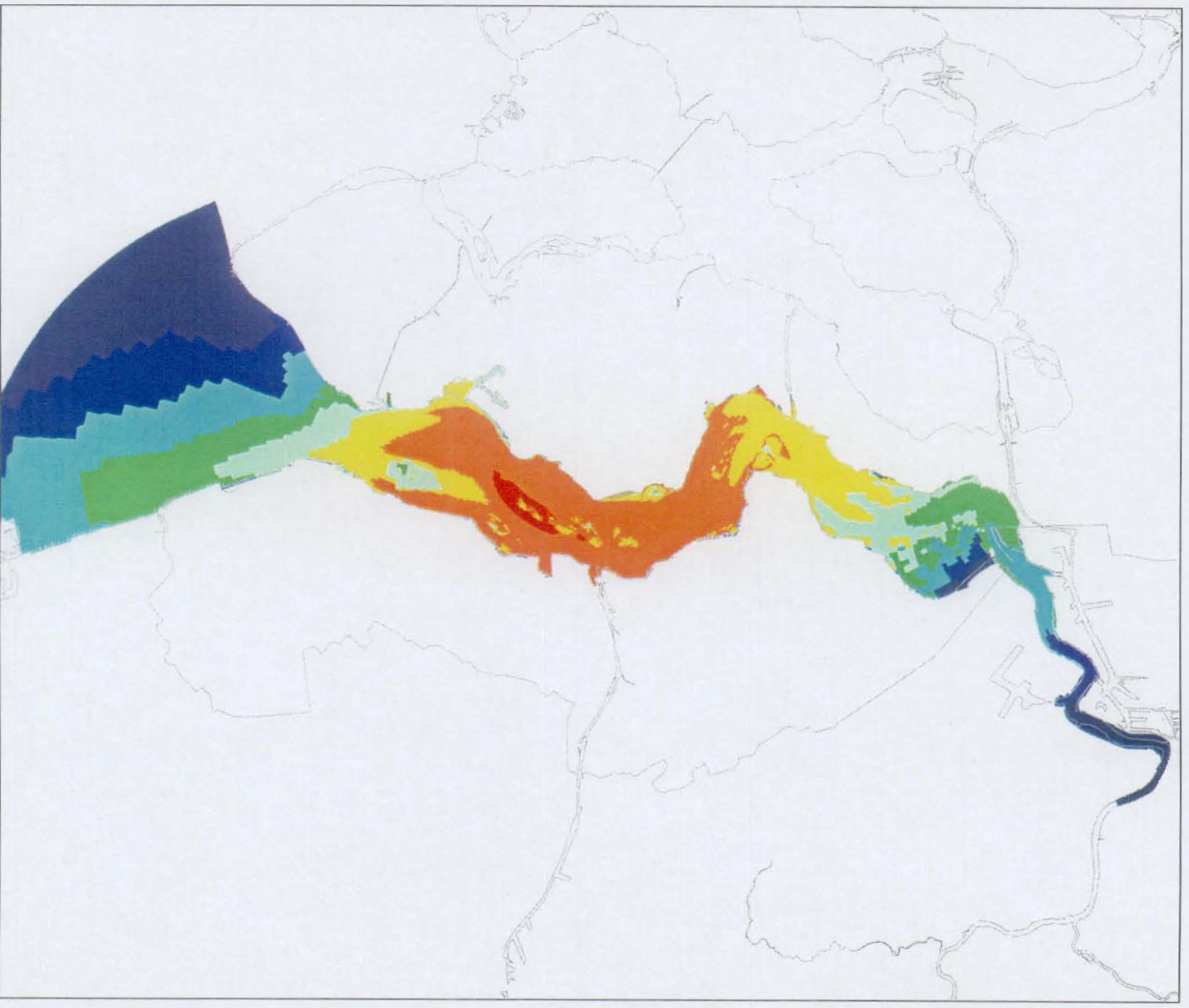
Absolute bijdrage van havenslib aan zwevend stof (mg/l)
Gemiddelde bij hoog water gedurende november 2000

Westerse Schelde

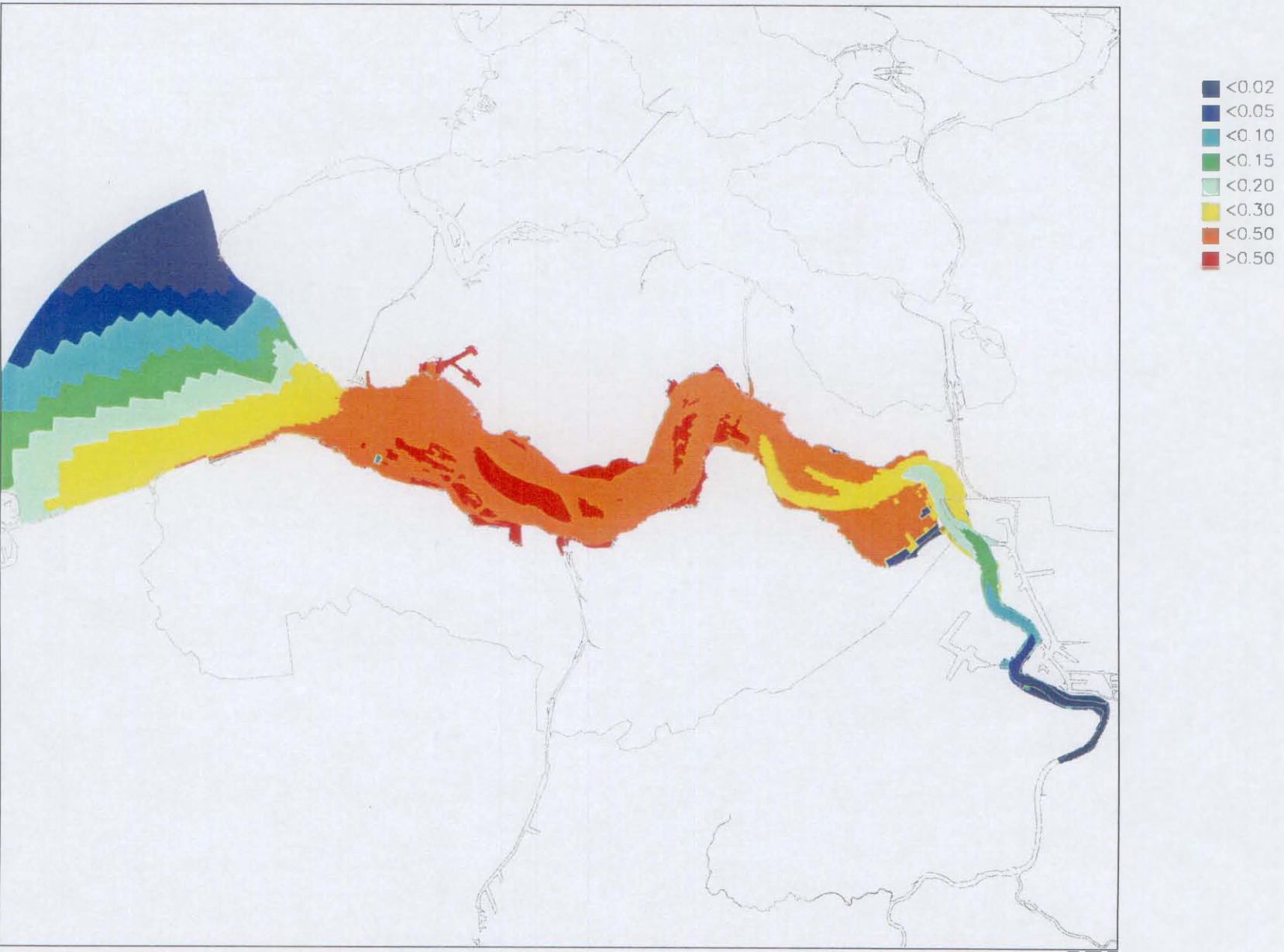


Relatieve bijdrage van havenslib aan zwevend stof (mg/l)
Gemiddelde bij hoog water gedurende november 2000

Westerse Schelde



Absolute bijdrage van havenslib aan zwevend stof (mg/l)
Gemiddelde bij laag water gedurende november 2000



Relatieve bijdrage van havenslib aan zwevend stof (—)
Gemiddelde bij laag water gedurende november 2000