

Opdrachtgever:

RIKZ

Voortgangsrapport LTV-slib fase 1

Ontwikkeling 3D slibmodel voor de Schelde

Report

oktober 2006

Opdrachtgever:

RIKZ

Voortgangsrapport LTV-slib fase 1

Ontwikkeling 3D slibmodel voor de Schelde

Thijs van Kessel, Joris Vanlede

Report

oktober 2006

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Voortgang van Fase 1.....	2
2.1	Algemeen.....	2
2.2	Systeembeschrijving en data-analyse.....	3
2.3	Opzet en calibratie hydrodynamica.....	4
2.3.1	Algemeen	4
2.3.2	Rooster	4
2.3.3	Bathymetrie.....	6
2.3.4	Uitvoerpunten.....	7
2.3.5	Schotjes	7
2.3.6	Raaien	8
2.4	Koppeling hydrodynamica – slibmodel	9
2.5	Opzet en calibratie slibmodel	10
3	Doorkijk naar Fase 2	12
4	Conclusies en evaluatie	13
5	Referenties	13
A	Notulen vergaderingen 6/9 en 4/10.....	14
B	Figuren hydrodynamica	15

I Inleiding

Op 7 augustus 2006 is door RIKZ opdracht verleend aan WL | Delft Hydraulics (overeenkomst RKZ – 1740 MB) voor de ontwikkeling van een modelinstrumentarium voor de beheersproblematiek slib in de Schelde. Deze opdracht wordt uitgevoerd in samenwerking met het Waterbouwkundig Laboratorium te Borgerhout (België) en is opgeknipt in twee fasen:

1. Fase 1: van 14 augustus tot 15 oktober 2006
2. Fase 2: van 15 oktober tot 5 december 2006

Dit voortgangsrapport bespreekt het verloop van de eerste fase en geeft op basis van de bevindingen uit de eerste fase aan in hoeverre de eindproducten genoemd in overeenkomst RKZ – 1740 MB naar verwachting gedurende de tweede fase kunnen worden gerealiseerd.

Het doel van dit rapport is het verstrekken van volledige informatie over de projectvoortgang tot nu toe (fase 1) op basis waarvan een goed gefundeerde beslissing mogelijk is over de doorgang van het vervolg (fase 2).

2 Voortgang van Fase I

2.1 Algemeen

Zoals vermeld in de bijlagen van overeenkomst RKZ – 1740 MB is het project verdeeld in een aantal stappen:

1. Systeembeschrijving en data-analyse
2. Opzet en calibratie hydrodynamisch model
3. Koppeling hydrodynamisch model – slibmodel
4. Opzet en calibratie slibmodel
5. Identificatie beheersvragen
6. Toepassing slibmodel ter beantwoording van beheersvragen

In de eerste fase van het project zijn alleen stappen 1 t/m 4 aan bod gekomen conform de in overeenkomst RKZ – 1740 MB opgenomen planning. Bovendien zijn deze stappen nog niet volledig voltooid in de eerste fase, maar ook dat was voorzien. De voortgang wat betreft stappen 1 t/m 4 komt hieronder aan bod.

Deze tekst borduurt voort op hetgeen besproken en genotuleerd is tijdens de twee formele overlegmomenten die tot nu toe zijn ingelast:

- Het startoverleg van 6 september gehouden te Delft.
- Het voortgangsoverleg van 4 oktober gehouden te Antwerpen.

De notulen van deze vergaderingen zijn bijgevoegd in Appendix A. Het overleg van 4 oktober is gehouden naar aanleiding van de oplevering van het eerste concept-rapport met als inhoud een systeembeschrijving, een data-analyse en een stappenplan voor de calibratie van het slibmodel. Tussentijds is regelmatig gecommuniceerd per telefoon of e-mail.

2.2 Systeembeschrijving en data-analyse

Voor de inhoudelijke aspecten van de systeembeschrijving en data-analyse wordt verwezen naar het conceptrapport dat als afzonderlijk document beschikbaar is (Van Kessel *et al.*, 2006). De systeembeschrijving heeft zich vooralsnog geconcentreerd op die aspecten van het estuarium die van direct belang zijn voor het begrip van de slibdynamiek of de formulering van beheersvragen. Het is de bedoeling dat de systeembeschrijving in een volgende fase van het project verder wordt uitgewerkt. De beknopte huidige beschrijving vormt een voldoende uitgangspunt voor de in de tweede fase uit te voeren calibratie.

Een overzicht van data die gebruikt kan worden voor de calibratie van een slibmodel voor het Schelde-estuarium is gegeven door Van Maldegem (2002). Hieruit blijkt dat de hoeveelheid beschikbare data aanzienlijk is. Bovendien zijn van het Vlaamse deel van de Schelde nog aanvullende meetgegevens beschikbaar. De calibratie wordt daarom gelukkig niet gehinderd door een gebrek aan meetgegevens. Tijdens het startoverleg van 6 september is besloten om in eerste instantie de data-analyse met name te concentreren op:

- a. de MWTL-metingen (twee wekelijks over de Westerschelde)
- b. de continu-metingen (gedurende meer dan een jaar in één punt) in het kader van de boorspecielozingen voor het Westerscheldetunnelproject.
- c. de 13-uurs verticaal metingen NAUWESB 1970 – 1981 (172 stuks)

Deze gegevens over de slibconcentratie in de waterkolom vormen, samen met de McLarenkaarten van het slibpercentage in de bodem en de bagger- en stortgegevens van de havengebieden, een goede basis voor de calibratie van het slibmodel. Dit wordt verder besproken in Van Kessel *et al.* (2006).

Kortom, het globale inzicht in de slibdynamiek in de Schelde en de beschikbare meetgegevens zijn beide voldoende voor een eerste calibratie van het slibmodel. Dit sluit overigens niet uit dat in een later stadium meer meetgegevens van een detailaspect gewenst kunnen zijn, maar voorlopig (d.w.z. in de tweede fase) hoeft de calibratie niet te leiden onder een gegevensschaarste.

2.3 Opzet en calibratie hydrodynamica

2.3.1 Algemeen

In de eerste fase van het project zijn de volgende elementen van het hydrodynamische model gerealiseerd:

- aanpassing van het rooster
- aanpassing van de bodemligging
- aanmaak van randvoorwaarden
- uitvoeren van testsimulaties

Het model is derhalve technisch operationeel en met de calibratie/validatie is een begin gemaakt. De calibratieprocedure moet per 27 oktober zijn afgerond en vastgelegd in een calibratierapport. Er mag worden verwacht dat de prestaties van het model vergelijkbaar zullen zijn aan die van het bestaande NEVLA-model met uitzondering van het Ruppelbekken, waar als gevolg van een grovere schematisatie de nauwkeurigheid wat kan afnemen. Rond Zeebrugge wordt de nauwkeurigheid waarschijnlijk groter door de lokale uitbreiding van het rooster.

De rekentijd van het model is circa 1:17 bij een volledige inzet van de beschikbare rekenknoten, d.w.z. een simulatieperiode van 14 dagen kan in minder dan 1 dag computertijd worden berekend. Hierdoor belemmert de benodigde rekentijd de voortgang van de calibratieprocedure niet erg sterk. Indien de hydrodynamische uitvoer ieder half uur naar schijf wordt weggeschreven, bedraagt de benodigde schuifruimte 30 GB per 14-daagse periode. Deze ruimte is ruimschoots beschikbaar op het rekencluster.

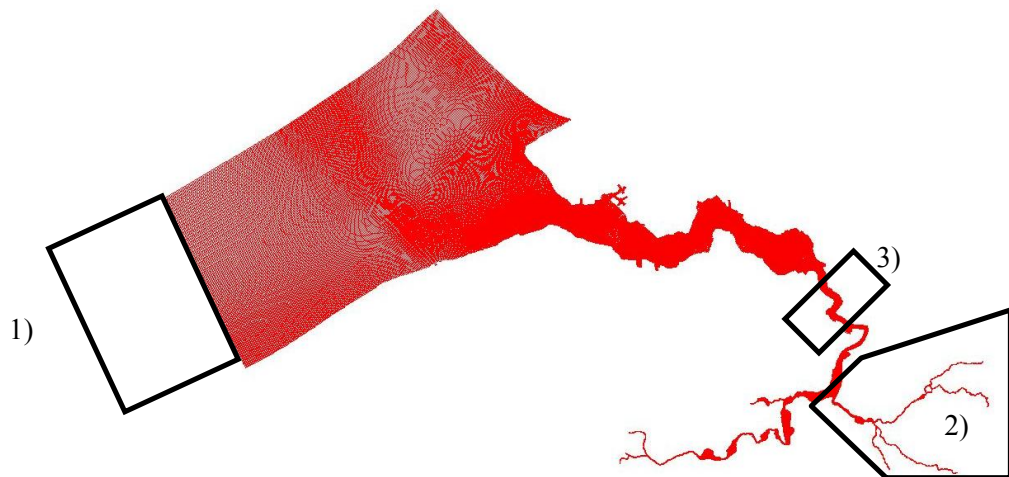
In de onderstaande paragrafen worden de werkzaamheden tot nu toe in meer detail toegelicht. Aanvullende figuren van het rekenrooster en de bodem zijn opgenomen in Appendix B.

2.3.2 Rooster

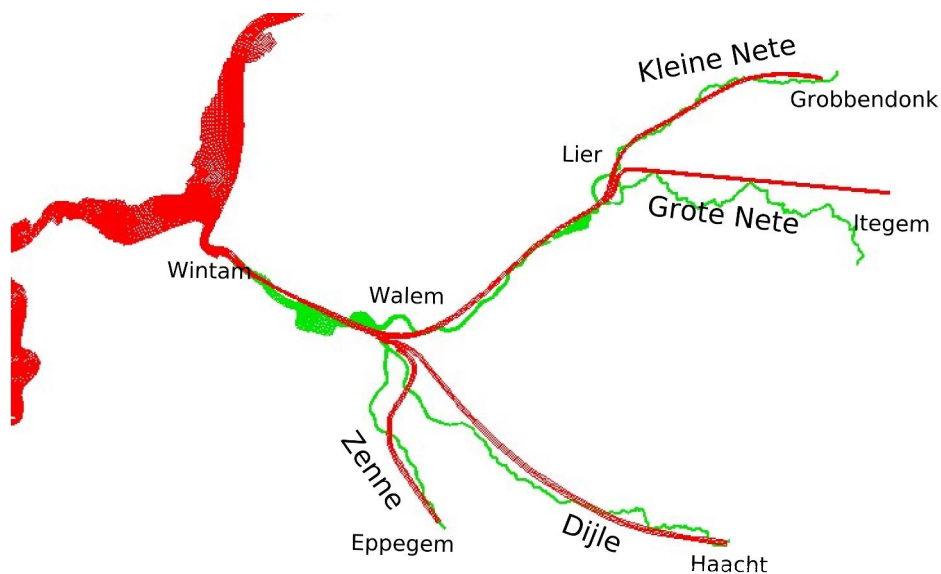
Het rooster voor onderhavig model is gegenereerd vanuit het NEVLA rooster (WLB, 2004). Zoals aangegeven op Figuur 2.1, worden drie aanpassingen gedaan aan het NEVLA rooster. Eerst en vooral wordt het rooster op zee uitgebreid tot aan de Franse grens. Verder wordt het Ruppelbekken sterk vereenvoudigd geschematiseerd. Tenslotte wordt ook het Deurganckdok aan het rooster toegevoegd.

De vereenvoudigde schematisatie van het Rupelbekken wordt weergegeven in Figuur 2.2. De naamgeving wordt verderop in de nota gebruikt om de deelzones in de bathymetrie aan te geven. De vergroving van het rooster van het Rupelbekken is verantwoord omdat in het Rupelbekken zelf geen beheersvragen spelen. Toch moet de link met de opwaartse meetposten van fluviatiele sediment influx en van bovenafvoer blijven bestaan, en moet ook de komberging binnen het bekken geschematiseerd blijven. Bij de vereenvoudiging van het Rupelbekken vallen bijna 50.000 rekencellen weg (bijna 25% van de actieve rekencellen in het oorspronkelijke NEVLA rooster).

Voor een aantal detail-uitsneden van het rooster wordt verwezen naar Appendix B.



Figuur 2.1: LTV slib rekendomein; door te voeren wijzigingen aan het bestaande NEVLA rooster (1) uitbreiden tot de Franse grens, (2) vereenvoudiging Rupelbekken en (3) toevoeging DGD



Figuur 2.2: NEVLA rooster van het Rupelbekken (groen) en vereenvoudigd rooster (rood)

2.3.3 Bathymetrie

Bij het genereren van de bathymetrie voor het LTV-slib rooster, worden vier zones onderscheiden:

1. Het “extra” stuk rooster tot aan de Franse grens
2. Het vereenvoudigde rooster in het Rupelbekken
3. Deurganckdok
4. Het resterende rooster, dat 1 op 1 overeenkomt met het NEVLA rooster.

De bathymetrie van het model bestaat uit aanvullingen op de NEVLA bathymetrie, zoals gerapporteerd in WLB (2004). Als bathymetrie in Deurganckdok (DGD) is de ontwerpdiepte opgelegd, zijnde –19 mTAW in de centrale geul, en –17 mTAW bij de kaaimuren. De drempel aan de ingang van DGD ligt op –14,5 mTAW. Voor de omrekening van TAW naar NAP wordt de waarde 2,35 m aangehouden in de Zeeschelde en de Westerschelde (E. Taverniers, pers. comm.). Dit geeft een diepte van 21,35 mNAP voor de rekenpunten in de geul; 19,35 mNAP voor de rekenpunten tegen de kaaimuur en 16,85 mNAP voor de rekenpunten op de drempel van DGD.

De bathymetrie voor het stuk rooster tot aan de Franse grens wordt getrianguleerd vanuit de bathymetrie van het KUSTZUID (versie 4) model. De bathymetrie voor het vereenvoudigde rooster in het Rupelbekken wordt gegenereerd op basis van een aantal karakteristieke waarden, die in Tabel 2.1 zijn opgenomen. Voor een grafische weergave van de bodemligging zie Figuur 2.4 en Appendix B.

De locaties en karakteristieke waarden zijn aangeduid in Tabel 2.1 en Figuur 2.2. In de rivierpanden tussen de opgegeven locaties, wordt een lineaire interpolatie toegepast. De komberging voor de verschillende deelpanden is gecontroleerd door het volume onder het referentieniveau 0 mNAP te berekenen voor zowel de vereenvoudigde als de oorspronkelijke (NEVLA-) bathymetrie. Voor de geschematiseerde geometrie bedraagt het volume onder het referentieniveau $7,0 \times 10^6$ m³. Voor de NEVLA schematisatie bedraagt dit volume $7,3 \times 10^6$ m³. Voor het grootste deel van het rooster zijn geen aanpassingen in de bathymetrie nodig, en wordt de NEVLA bathymetrie overgenomen.

Tabel 2.1: Karakteristieke waarden voor de vereenvoudigde bathymetrie.

Rivierpand	Begin	Bathymetrie [mTAW, pos. neerwaarts]	Eind	Bathymetrie [mTAW, pos. neerwaarts]
Rupel	Wintam	5	Walem	4.5
Zenne	Walem	4.5	Eppegem	0
Dijle	Walem	4.5	Haacht	–1
Beneden-Nete	Walem	4.5	Lier	1
Kleine Nete	Lier	1	Grobbendonk	–1
Grote Nete	Lier	1	Itegem	–1

2.3.4 Uitvoerpunten

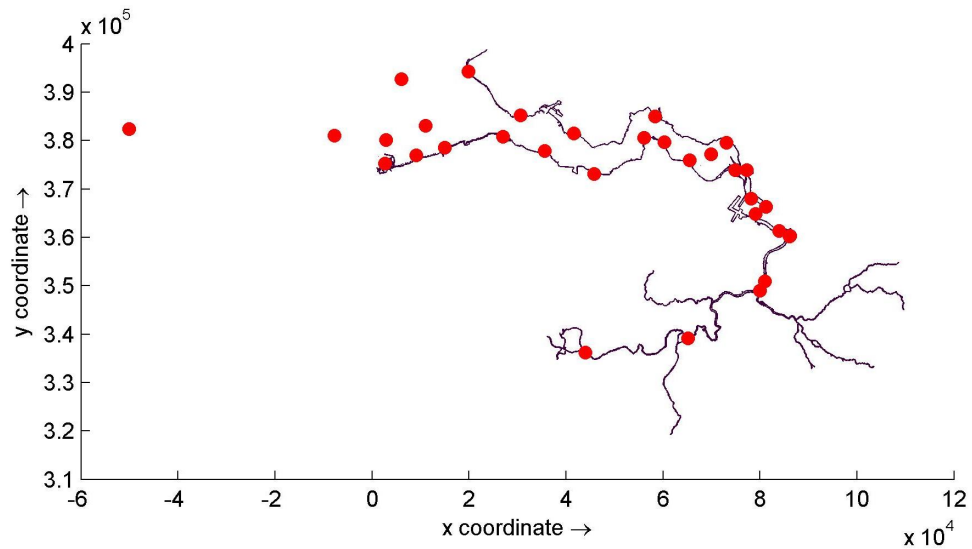
De waterstand in het model wordt uitgevoerd op de locaties van de tijmeters in het modeldomein. Bij de keuze van de uitvoerpunten is voor een goede spreiding gezorgd van de controlepunten over het modeldomein. De gehanteerde uitvoerpunten worden opgesomd in Tabel 2.2 en gevisualiseerd in Figuur 2.3.

Tabel 2.2: Uitvoerlocaties in het model, alfabetisch gerangschikt. Zie ook Figuur 2.3.

Naam	X (RD Parijs)	Y (RD Parijs)	M	N
Antwerpen [Zege - Bonaparte]	86200.00	360360.00	115	979
Antwerpen Loodsgebouw	86039.42	360260.55	117	981
Appelzak	9134.56	376967.95	169	172
Baalhoek	65540.76	375998.47	173	635
Bol Van Heist	2880.44	380157.06	160	130
Bol van Knokke	11029.95	383102.80	126	178
Borssele	41651.82	381517.16	55	380
Boudewijnsluis	81229.63	366280.63	111	879
Breskens	27033.00	380764.00	156	292
Cadzand	15004.07	378597.07	163	204
Dendermonde	65104.78	339199.14	130	1510
Hansweert	58390.00	384990.00	100	541
Hemiksem	81022.74	350944.55	119	1072
Hoofdplaat	35623.90	377900.39	149	362
Kallo Sluis	79030.19	364849.60	131	899
Liefkenshoek fort	78179.64	368036.54	131	849
Melle	43967.06	336169.41	127	2027
MP7 - Westhinder	-50138.13	382451.00	343	8
Oosterweel	83999.77	361345.47	127	948
Ossensisse	56041.62	380549.39	155	502
Overloop van Hansweert	56042.00	380549.00	155	502
Prosperpolder	74934.94	373871.10	128	759
Rilland-Bath	73090.35	379509.95	89	697
Schaar van de Noord	69912.78	377197.41	137	673
Schelle	79986.58	349051.91	117	1093
Terneuzen	45793.12	373070.26	171	425
Vlakte van de Raan	6083.00	392714.00	102	87
Vlaktevdraan	6092.00	392703.39	102	88
Vlissingen	30568.36	385259.06	54	310
Walsoorden	60289.62	379692.73	174	590
Wandelaar	-7754.94	380999.22	215	75
Westkapelle	19872.47	394230.44	51	176
Zandvliet	77212.90	373948.99	103	785
Zeebrugge	2655.51	375303.62	192	145

2.3.5 Schotjes

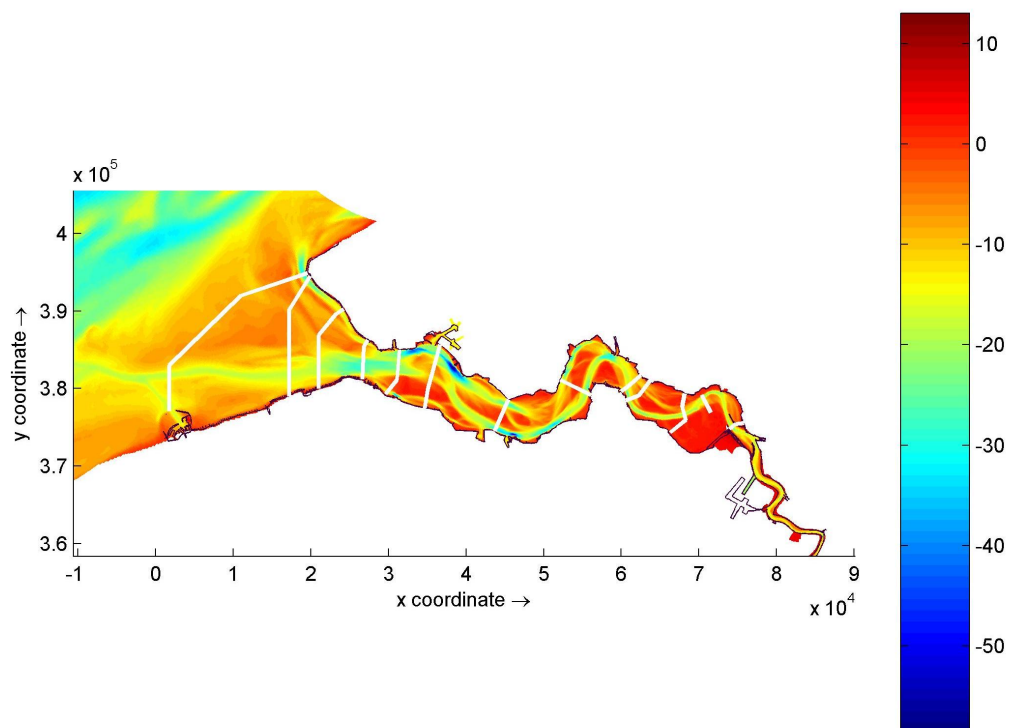
De schotjes in het model dienen nog gedefinieerd te worden. Voor de definitie van de thin dams zal worden gekeken naar het KUSTZUID (v4) modelrooster. De posities van de thin dams in het KUSTZUID (v4) rooster zijn in appendix opgenomen.



Figuur 2.3: Locatie uitvoerpunten in het model. Zie ook Tabel 2.2.

2.3.6 Raaien

De uitvoerraaen in het model dienen nog gedefinieerd te worden. De plaatsing van de uitvoerraaen zal worden gebaseerd op de ligging van de “standaardraaien” van RIKZ. Debietsmetingen over deze raaien zijn beschikbaar tussen 2000 en 2002. De ligging van deze raaien is weergegeven in Figuur 2.4.



Figuur 2.4: Ligging debietsraaien, samen met modelbathymetrie in mNAP.

2.4 Koppeling hydrodynamica – slibmodel

De hydrodynamische uitvoerbestanden moeten met een zogeheten ‘koppelingsprogramma’ worden geconverteerd naar voor DELWAQ leesbare invoerbestanden. Om deze koppeling een vroeg stadium te kunnen testen, is alvast proefgedraaid met hydrodynamische testbestanden (‘sds-files’). De koppeling blijkt naar behoren te functioneren. Een resterend probleem is het ontbreken van de verticale diffusie in de huidige testbestanden. De verticale diffusie wordt weggeschreven naar een aparte groep (sds-map) die hiertoe moet worden geactiveerd via de invoer van Simona. Dit laatste onderdeel moet dus nog worden getest, maar problemen worden hier niet verwacht.

Tevens is een inventarisatie gemaakt van de benodigde rekentijden voor het slibmodel, zie Tabel 2.3. Er is onderzocht hoe de rekentijden worden beïnvloed door de keuze van het rekenschema en door de roosterresolutie. Er zijn vier testberekeningen gemaakt: één met de oorspronkelijk roosterresolutie van de hydrodynamica en één met een 2×2 geaggregeerd rooster. Beide berekeningen zijn zowel uitgevoerd met een nauwkeurig¹ (maar langzaam) rekenschema als met een minder nauwkeurig (maar snel) rekenschema.

Uit Tabel 2.3 blijkt dat voor een 2×2 aggregatie met een minder nauwkeurig rekenschema (s16) een simulatieperiode van een heel jaar (d.w.z. 25× achtereen een doortij-springtij cyclus) tot de reële mogelijkheden behoort en voor een 1×1 aggregatie met een nauwkeurig rekenschema (s12) een simulatieperiode tot circa 14 dagen. In het eerstgenoemde geval bedraagt de rekentijd 37 uur, in het tweede geval bedraagt de rekentijd 120 uur. Langere simulaties zijn ook mogelijk, maar leiden tot rekentijden die onwenselijk zijn in relatie tot de beperkte doorlooptijd van de tweede projectfase, waarin de calibratie plaatsvindt.

<i>duur in uren</i>	<i>aggregatie</i>	1x1	1x1	2x2	2x2
	<i>no. seg</i>	847110	847110	218120	218120
	<i>schema</i>	s12	s16	s12	s16
	<i>tijdstap</i>	10 s	30 min	40 s	30 min
12.5h		4.3	0.4	0.3	0.1
14d		120	9.8	7.5	1.5
jaar		2990	245	186	37

Tabel 2.3: Rekentijd in uren met het DELWAQ-slibmodel voor een simulatieperiode van 12.5u, 14 dagen en 1 jaar afhankelijk van rekenschema en mate van aggregatie.

¹ Het nauwkeurige schema (no. 12 in DELWAQ) werkt volgens de FCT-methode (Boris en Book, 1973) in de horizontaal en is impliciet in de tijd en centraal gediscrètiseerd in de vertikaal. Het minder nauwkeurige schema (no. 16 in DELWAQ) is impliciet upwind in de horizontaal en centraal gediscrètiseerd in de vertikaal. Het tweede schema kan veel grotere tijdstappen aan.

2.5 Opzet en calibratie slibmodel

De opzet van het slibmodel is reeds gedeeltelijk afgerond in de eerste fase. Het DELWAQ instrumentarium, dat ten behoeve van dit project een kleine aanpassing² heeft ondergaan, is getest en functioneert naar behoren. Invoerbestanden zijn in gereedheid gebracht voor simulaties met twee sedimentfracties, namelijk marien en fluviatiel slib. Er zijn testberekeningen uitgevoerd om de rekentijd te bepalen, zie paragraaf 2.4. Nog resterende activiteiten voor de modelopzet zijn:

- definitie van vakken voor de slibbalans
- specificatie van slibbronnen Vlaamse zijde (sedimentlast zijrivieren en speciéstoringen)
- correctie bodemschuifspanning voor golfeffecten

Wat betreft het laatste punt is op de voortgangsvergadering van 4 oktober besloten om in de tweede fase golfeffecten op een pragmatische wijze in rekening te brengen, door de bodemschuifspanning te verhogen met een diepte-afhankelijke constante (zie notulen Appendix A). In een later stadium verdient de toepassing van golfvoortplantingsberekeningen met SWAN de voorkeur.

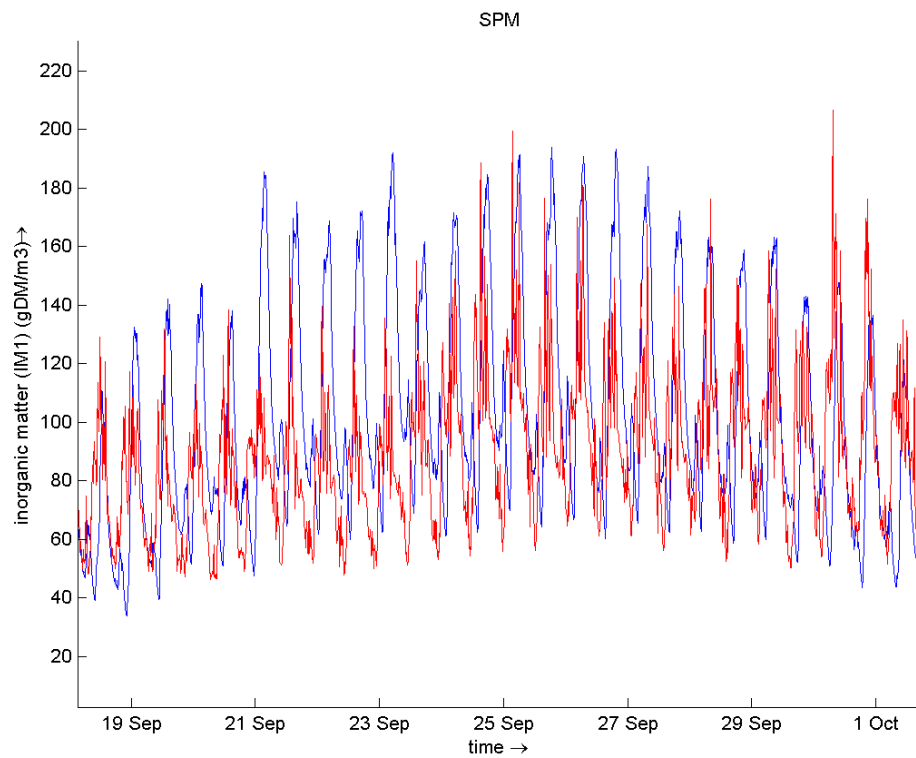
In Van Kessel *et al.* (2006) is een stappenplan opgenomen voor de calibratie van het slibmodel. Hierover was consensus op de vergadering van 4 oktober. Kortom, er is aan de volgende randvoorwaarden voldaan voor een vlotte calibratie:

1. voldoende meetgegevens (zie paragraaf 2.2)
2. technisch goed functionerend instrumentarium
3. beperkte rekentijden voor 2×2 aggregatie
4. uitgewerkt stappenplan

Deze randvoorwaarden maken het aannemelijk dat er —binnen de mogelijkheden van de gebruikte procesformuleringen, de hydrodynamische aandrijving (getij, wind, golven) en de geselecteerde simulatieperiode— een redelijk optimum gevonden kan worden in de beperkte tijd die beschikbaar is voor calibratie.

Eén van de eerste stappen bij de calibratie is het gebruik van een 1DV-puntmodel voor een eerste optimalisatie van modelparameters als valsnelheid w_s , kritische schuifspanning voor erosie τ_{crit} en resuspensieparameter M_E . De eerste resultaten met dit puntmodel laten zien dat de metingen bij de steiger bij DOW Terneuzen in het kader van het Westerschelde tunnelproject redelijk goed kunnen worden gereproduceerd, zie Figuur 2.5. Enig optimisme over de prestaties van het ruimtelijk dekkende 3D-model is dus gerechtvaardigd, maar een definitieve conclusie kan natuurlijk pas na de toepassing van het 3D-model zelf worden getrokken.

² Nieuw is de overgang tussen een 1^e orde resuspensie voor slib op een zandige bodem en een 0^e orde resuspensie voor een slibrijke bodem bij een door de gebruiker te specificeren bedekkingsgraad (kg/m^2). Bij 0^e orde resuspensie is de flux onafhankelijk van de hoeveelheid slib op de bodem, bij 1^e orde resuspensie neemt de flux lineair toe met de hoeveelheid slib.



Figuur 2.5: Gemeten (rood) en berekende (blauw) slibconcentratie bij Terneuzen, diepte = -17 m NAP.
Berekening gebaseerd op lokaal (punt) model met uitsluitend verticale uitwisseling tussen de waterkolom en de bodem ($w_s = 0.5$ mm/s, $\tau_{crit} = 0.3$ Pa; $M_{1E} = 2.3 \times 10^{-6}$ s⁻¹).

3 Doorkijk naar Fase 2

De voortgang in de eerste fase van het LTV-slibproject geeft geen aanleiding om het tijdschema of de productomschrijving in overeenkomst RKZ – 1740 MB bij te stellen. Er zijn in de eerste fase geen technische beperkingen aan het licht gekomen die een tijdige oplevering van de producten in de tweede fase in de weg staan.

Fase 2 vraagt wel een aanzienlijke inspanning in een korte tijd (ruim anderhalve maand), dus het is voor alle teamleden zaak om voldoende tijd te blijven besteden aan dit project en het tijdschema steeds in het oog te houden. Het in de opdracht genoemde tijdschema blijft dan haalbaar. Dit luidt voor de tweede fase:

- Oplevering concept-rapport hydrodynamica: 27 oktober
- Oplevering concept-eindrapport: 25 november
- Oplevering notitie beheersvragen: 5 december (in overleg, geen datum in contract)

De hydrodynamische gegevensbestanden zullen op 13 oktober (ongecalibreerd) en 27 oktober (gecalibreerd) worden toegeleverd ten behoeve van de calibratie van het slibmodel. Tot de oplevering in twee stappen is besloten in de vergadering van 4 oktober om te voorkomen dat er vertraging ontstaat bij de calibratie van het slibmodel.

Er is besloten om de waterbeweging als twee 14-daagse (springtij-doodtij) periodes toe te leveren, de ene representatief voor gemiddelde wintercondities (met een hogere bovenafvoer en een sterkere wind), de andere voor gemiddelde zomercondities (met een lagere bovenafvoer en een zwakkere wind). Op basis hiervan kunnen met het slibmodel zowel evenwichtscondities voor zomer en winter worden bepaald als het transiënte gedrag tussen zomer en winter.

Als voorbeeldtoepassing van het slibmodel voor beheersvragen zal in eerste instantie de invloed van baggerspeciëstort op het systeem worden bestudeerd. Andere mogelijke toepassingen ter beantwoording van systeemvragen zullen in een afzonderlijke notitie ‘beheersvragen’ worden benoemd in relatie tot de mogelijkheden en beperkingen van het modelinstrumentarium.

Naast deze notitie en de oplevering van een werkend instrumentarium is ook het eindrapport een belangrijk eindproduct. Dit rapport beschrijft de opzet en ontwikkeling van het instrumentarium, alsmede de eerste hiermee verkregen eerste resultaten.

De haalbaarheid van de tijdige oplevering van deze producten wordt groot geacht, wel zijn de uiteindelijke prestaties van het slibmodel op dit moment nog onzeker. Hiervoor zijn drie scenario's denkbaar:

1. Scenario A: Het model presteert zeer goed. Indien het slibmodel wordt gevoed met actuele condities wat betreft getij, wind en golven, worden zowel de gemeten slibconcentraties als de waargenomen netto sedimentatie en erosie zeer goed gereproduceerd. Het model is inzetbaar voor de beantwoording van (bijna) alle beheersvragen gerelateerd aan slib.

2. Scenario B: Het model presteert redelijk goed, maar wat betreft sommige aspecten zijn de prestaties nog onvoldoende om het model te kunnen inzetten voor sommige beheersvragen. De hier en daar minder goede prestaties kunnen verklaard worden door een nog te sterk geschematiseerde aandrijving of door met onvoldoende detail gemodelleerde fysische processen. Op basis hiervan wordt de mogelijkheid tot verdere verbetering kansrijk geacht.
3. Scenario C: Het model presteert op teveel punten onder de maat om een serieuze inzet ter beantwoording van beheersvragen te rechtvaardigen. Het tekortschietende gedrag is slecht te verklaren en de mogelijkheden voor de vereiste sterke verbetering tegen een realistische inspanning worden laag ingeschat.

Scenario C is een erg zwart scenario dat niet erg waarschijnlijk is, mede ook gezien de tamelijk goede prestaties van het puntmodel en de bestaande ervaring met kleinschaliger slibmodellen van de Schelde. Scenario A is daarentegen wel erg optimistisch, het zou verrassend zijn als het Schelde-estuarium zich zo goed zou laten beschrijven op basis van de huidige relatief eenvoudige kennisregels. Scenario B is daarom het meest waarschijnlijke scenario, waarbij het onzeker is of de modelprestaties neigen naar B+ of B-. Geen van de drie scenario's kan echter bij voorbaat worden uitgesloten.

4 Conclusies en evaluatie

Op basis van het voorafgaande is er geen aanleiding om de verwachtingen zoals bij aanvang van het project LTV-slib verwoord in overeenkomst RKZ – 1740 MB bij te stellen. Er zijn in de eerste fase geen belemmeringen opgetreden die een tijdige oplevering van de in de overeenkomst genoemde eindproducten onaannemelijk maken en aanleiding geven tot een vroegtijdige beëindiging van het project.

Een werkend instrumentarium kan in ieder geval worden opgeleverd. De prestaties van het slibmodel (d.w.z. de mate van overeenkomst tussen modelresultaten en veldgegevens) zijn weliswaar nog onzeker, maar deze onzekerheid is inherent aan de vroege fase van het project. De prestaties moeten blijken uit de toepassing van het gecalibreerde slibmodel. De eerste reeds uitgevoerde stap van het calibratieproces, namelijk het gebruik van puntmetingen met een hoge temporele resolutie voor de calibratie van een puntmodel, geven echter aanleiding tot enig optimisme.

5 Referenties

- Boris, J.P. and D.L. Book (1973). Flux-Correct Transport. SHASTA A Fluid Transport Algorithm That Works. *J. Comp. Phys.* 11, pp. 38–69.
- Kessel, T. van *et al.* (2006). Development of silt transport model of the Scheldt estuary in the framework of LTV. System description, data-analysis and calibration method. WL | Delft Hydraulics Report Z4210.
- Maldegem, D. van (2002). Overzicht gegevens voor LTV slibmodel Schelde estuarium. Werkdocument RIKZ/AB/2004.821x. RIKZ.
- RKZ 1740 MB. Overeenkomst betreffende de ontwikkeling van een 3D zwevend stof model voor de Schelde. Rijkswaterstaat.
- WLB (2004) 2Dh NEVLA Scheldemodel. Bouw en afregeling stromingsmodel. Alkyon rapport A1114R1r2.

A Notulen vergaderingen 6/9 en 4/10

Aan : Johan de Kok (RIKZ), Joris Vanlede (WLB), Johan Boon (WL), Theo van der Kaaij (WL), Jan van Beek (WL), Xavier Desmit (WL)
 Van : Thijs van Kessel
 Betreft : verslag startvergadering LTV-slib
 Datum : 19 september 2006
 Kopie : Tony Minns
 Afhandeling: t.k.n.

Op 6 september 2006 van 13:00 tot 15:45 is de startbijeenkomst van het project LTV-slib gehouden te WL | Delft Hydraulics te Delft. Het doel van dit project is de ontwikkeling van een slibtransportmodel van het Schelde-estuarium dat kan dienen als instrument ter beantwoording van een aantal beheersvragen.

Aanwezig waren: Johan de Kok (RIKZ), Joris Vanlede (Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout), Johan Boon, Theo van der Kaaij en Thijs van Kessel (allen WL | Delft Hydraulics).

De volgende punten kwamen achtereenvolgens aan de orde:

1. Data en data-analyse. Er is veel data beschikbaar, niet alles is op korte termijn toegankelijk. In ieder geval zal gebruik worden gemaakt van de 13-uurs verticaalmetingen in de Westerschelde t.b.v. slibtransportmodellering door H.P.J. Mulder.

Het idee is dat enerzijds gebruik wordt gemaakt van enkele puntmetingen met een hoge tijdsresolutie en anderzijds van een aantal ruimtelijk dekkende metingen met een lage tijdsresolutie en van 13- uurs verticaalmetingen. In principe gaan we uit van

- a. de MWTL metingen (twee wekelijks over de Westerschelde)
- b. de boorspecie metingen (continu gedurende meer dan een jaar in 1 punt)
- c. de 13-uurs verticaal metingen waar Herman Mulder gebruik van heeft gemaakt. Deze zijn niet digitaal beschikbaar.

Actie: Johan de Kok kijkt in RIKZ-bibliotheek of deze beschikbaar zijn en zo nee, neemt contact op met Herman Mulder.

Actie: Thijs van Kessel regelt dit indien noodzakelijk verder met Herman Mulder tijdens de vakantie van Johan de Kok. Een overzicht van de beschikbare data is gegeven in het document 'Overzicht gegevens voor LTV slibmodel Schelde-estuarium' door Dirk van Maldegem.

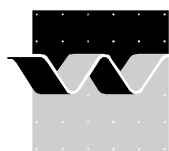
Actie: Thijs van Kessel selecteert hieruit een beperkte set en vraagt deze op bij RIKZ via de Basis Info desk

Actie: Thijs van Kessel neemt contact op met Dirk van Maldegem over de meetgegevens n.a.v. de boorspecielozing voor de Westerscheldetunnel en zo nodig met WLB of IMDC m.b.t. meetgegevens in de Zeeschelde.

Actie: Joris Vanlede stuurt Thijs van Kessel de data uit 2000/2001 over baggeren en storten in Vlaanderen (inclusief stortvakken) alsmede de McLaren data van de Vlaamse zijde van de Schelde.

De beheersvragen die dit jaar al met het LTV model aangepakt kunnen worden zijn baggeren en storten voor vaargeulverdieping en havenonderhoud, vertroebeling als gevolg hiervan (i.v.m. ecologische aspecten) en aanslibbing in havens, m.n. aan de Vlaamse zijde.

2. Hydrodynamica. Het modelrooster is aangepast en de randvoorwaarden zijn gegenereerd, met model is echter nog niet stabiel. Dit probleem is voorgelegd aan Vortech. Besloten is om het model 2x2 te vergroven en te proberen of dit soelaas biedt; dit is ook wenselijk gezien de rekentijden, m.n. 3D. Indien rond 25 september nog geen zicht is op een stabiele hydrodynamica, kan als terugvaloptie besloten worden om voor het afregelen van het slibmodel alvast gebruik te maken van een reeds bestaande Delft3D waterbeweging. Calibratie vindt m.n. plaats aan de hand van astronomische waterstanden en jaargemiddelde zoutgehaltes. Ter controle worden ook enkele debietmetingen gebruikt als vergelijkingsmateriaal.



Actie: Theo van de Kaaij stuurt Joris Vanlede debietmetingen voor de calibratie. Afregeling van het zout vindt plaats in 2D, vervolgens worden in 3D kortere simulaties uitgevoerd met een zodanig aangepaste horizontale dispersie dat het zout netjes 'op z'n plaats blijft' na de overschakeling van 2D naar 3D.

3. Koppeling hydrodynamica en slib. Het is wenselijk dat Jan van Beek na zijn vakantie hieraan gelijk kan beginnen.

Actie: Joris Vanlede levert aan Jan van Beek Simona sds-bestanden toe rond 18 september, mits de hydrodynamische berekeningen stabiel blijven.

4. Slibtransport. De gebruikte formuleringen zijn om te beginnen gelijk aan de formuleringen die afgelopen jaar zijn gebruikt in het project 'zandwinning t.b.v. Maasvlakte-2'. Dit houdt een 1^e orde erosie term is voor slib op/in een zandige bodem (d.w.z. erosiesnelheid evenredig met de aanwezige hoeveelheid slib). Nieuw is de toepassing van een maximum hierin, d.w.z. boven een bepaalde hoeveelheid slib op de bodem wordt de erosie term 0^e orde (onafhankelijk van hoeveelheid slib). Dit is realistischer in slibrijke gebieden zoals die ook voorkomen in het Schelde-estuarium. Er wordt gerekend met 2 fracties: een mariene fractie en een fluviatiele fractie. Calibratiecriteria zijn onder andere: ruimtelijke slibverspreiding, verticale concentratieprofielen, gedrag binnen een getij en binnen een doottij-springtij cyclus, seizoensvariaties, bodemsamenstelling, slibflux en –balans, aanslibbingssnelheid havenbekkens en platen, verhouding marien/fluviatiel slib (in meer detail te verwoorden in aparte notitie). Initiële parameterinstellingen worden afgeleid uit literatuurgegevens, verdere modeloptimalisatie wordt mede gestuurd door de beheersvragen die dit jaar aan bod komen.

5. Tijdschema. Voor de 1^e fase is de belangrijkste deadline 11 oktober, wanneer het concept-tussenrapport gereed moet zijn. Hieraan is een go/no go toets verbonden.

Actie: Thijs van Kessel stuurt een datumbriefje rond voor week 42 (16 – 20 oktober) voor een vergadering waarin het tussenrapport wordt besproken en geëvalueerd. Verder wordt een rapport opgeleverd over de data-analyse, systeembeschrijving en stappenplan calibratie slibmodel.

Actie: Thijs van Kessel levert aan Johan de Kok een eerste concept op rond 20 september en maakt met hem een afspraak over de bespreking hiervan. In dit concept is de systeembeschrijving nog niet volledig uitgewerkt, maar het raamwerk hiervoor wordt al wel gegeven. Verder wordt hier het evaluatiemoment genoemd voor de hydrodynamica (zie punt 2): rond 25 september wordt (in onderling overleg, liefst telefonisch of per e-mail) besloten of de Simona-hydrodynamica kan worden gebruikt of dat wordt teruggedrepen op bestaande Delft3D-hydrodynamica.

6. Kwaliteitscontrole: de interne kwaliteitscontrole wordt verzorgd door Han Winterwerp, voor de externe kwaliteitscontrole benoemt RIKZ een RIKZ-deskundigenpanel, dat voor dit jaar nog beperkt van omvang zal zijn. Er wordt naar gestreefd om in 2007 een klankbordgroep bijeen te roepen van Nederlandse en Belgische experts die een deel van het draagvlak voor het LTV model zouden kunnen gaan opleveren.

De vergadering wordt om 15:45 afgesloten.

Aan : Johan de Kok (RIKZ), Joris Vanlede (WLB), Johan Boon, Theo van der Kaaij, Jan van Beek, Han Winterwerp, Xavier Desmit (allen WL)
 Van : Thijs van Kessel
 Betreft : verslag voortgangvergadering LTV-slib
 Datum : 5 oktober 2006
 Kopie : Tony Minns
 Afhandeling: ter kennisname

Op woensdag 4 oktober 2006 van 13:00 tot 15:30 is een voortgangsoverleg gehouden van het project LTV-slib bij het Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout te Antwerpen. Het doel van dit project is de ontwikkeling van een slibtransportmodel van het Schelde-estuarium dat kan dienen als instrument ter beantwoording van een aantal beheersvragen. De belangrijkste aanleiding voor het overleg van 4 oktober was de bespreking van het op 22 september opgeleverde eerste conceptrapport met een systeembeschrijving, een data-analyse en een stappenplan voor de calibratie van het modelinstrumentarium.

Aanwezig waren: Johan de Kok (RIKZ), Joris Vanlede (Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout), Han Winterwerp, Jan van Beek en Thijs van Kessel (allen WL | Delft Hydraulics).

De volgende punten kwamen achtereenvolgens aan de orde:

1. Bespreking conceptrapport. De algemene indruk was dat dit conceptrapport een goede basis vormt om op voort te bouwen in het vervolg van het project. Het bevat geen grote lacunes, al moet de data-analyse en vooral de systeembeschrijving nog verder worden uitgewerkt. Hiertoe ontbrak de tijd in de periode voor 22 september. Johan de Kok vraagt toelichting op de genoemde verblijftijd van (zoet) water in de Schelde van 2 tot 3 maanden. Dit aspect zal verder worden uitgewerkt, ook kunnen ter controle saliniteitsberekeningen met DELWAQ worden uitgevoerd. De genoemde aanslibbingssnelheden van 1 – 2 cm/j van de platen en slikken tot wel 1 cm/dag in havenbekkens moet worden omgerekend naar kg/m² per tijdseenheid, rekening houdend met de typische bulkdichtheid en gecorrigeerd voor zandafzettingen (die niet in het model worden meegenomen). Joris Vanlede heeft een notitie geschreven met zijn beknopte commentaar en met een aanvulling van het gegevensoverzicht wat betreft de Vlaamse zijde van het estuarium. Han Winterwerp merkt op dat de waargenomen sterkere verticale slibconcentratiegradiënten in de monding van het estuarium t.o.v. verder landinwaarts waarschijnlijk niet worden veroorzaakt door saliniteitsgradiënten (die klein zijn in de monding), maar door de grotere waterdiepte in de geulen. Verder is in geval van een beperkte hoeveelheid slib op de bodem die bij toenemende getijsnelheid uitgeput raakt, de relatieve duur van de eb- en vloedkentering meer van belang voor de netto transportrichting dan de maximale eb- en vloodsnelheid.

Er wordt besloten om golfeffecten in eerste instantie op een eenvoudige, pragmatische manier mee te nemen door de getij-geïnduceerde bodemschuifspanning te verhogen met diepte-afhankelijke constante. In een latere fase van het project verdient het de voorkeur om de golfvoortplanting te berekenen met SWAN, liefst met een bestaand, gecalibreerd golfmodel i.v.m. efficiëntie en kwaliteitsborging.

Bij de calibratie van het slibmodel moet ervoor worden gezorgd dat de aanslibbing in de havenbekkens globaal gelijk is aan de baggerspeciéstort in het estuarium. Deze stortingen worden door aparte bronnen gerepresenteerd in het model. In eerste instantie wordt gestreefd naar ruimtelijk onafhankelijke parameter-instellingen. In een latere fase kan het echter nodig blijken om lokale aanpassingen door te voeren om de lokale aanslibbing goed te krijgen. Johan de Kok oordeelt dat dit niet ten koste hoeft te gaan van het draagvlak voor het model.

Actie: Johan de Kok stuurt aan Thijs van Kessel het detailcommentaar op het conceptrapport.



Actie: Thijs van Kessel verwerkt het commentaar van Johan de Kok, Joris Vanlede en Han Winterwerp in het tweede conceptrapport, dat samen met het Nederlandstalige voortgangsverslag op 11 oktober aan RIKZ zal worden toegeleverd. In het tweede concept zal ook de systeembeschrijving verder zijn uitgewerkt en zal de data-analyse worden uitgebreid met Vlaamse meetgegevens.

Actie: Joris Vanlede stuurt Thijs van Kessel de meetreeksen die in het kader van de constructie van de Liefkenshoektunnel zijn verzameld. Dit zijn soortgelijke meetreeksen als beschikbaar via het Westerscheldetunnelproject. Ze zijn bruikbaar als calibratiemateriaal voor het puntmodel, mits kleinschalige effecten hierin niet domineren. Joris vult tevens de reeds toegeleverde storthoeveelheden en –locaties aan met gegevens voor Zeebrugge, indien deze hieraan blijken te ontbreken.

Actie: Thijs van Kessel gaat na welke bestaande golfmodellen voor het Schelde-estuarium er zijn en in hoeverre deze geschikt zijn voor inzet in een latere fase van het LTV-slibproject.

2. Voortgang hydrodynamica inclusief calibratie. Joris Vanlede meldt dat de eerdere problemen met de stabiliteit van het model bij de eerste tijdstap(pen) zijn verholpen. Het probleem was te wijten aan een probleem met het rooster / de bodem dat de preprocessingsoftware ten onrechte liet passeren. Bij de calibratie richten we ons in eerste instantie op de waterstanden, vervolgens komen bruto getijdebieten (inclusief verdeling over eb- en vloedgeul), relatieve kenteringsduur en zoutverdeling bij hoge en lage rivierafoer aan de orde. De rekentijd van het hydrodynamische model is 1:17 indien alle nodes van het rekencluster worden gebruikt. Een 14-daagse cyclus kost derhalve minder dan 1 dag rekentijd en kan zonder problemen worden gedraaid. Een aandachtspunt is wel de bestandsgrootte van de uitvoer, deze bedraagt circa 30 GB voor een 14-daagse periode.

Actie: Joris Vanlede inventariseert hoe hij de huidige 2 GB bestandslimiet kan omzeilen of, indien dit niet mogelijk blijkt, hoe hij het makkelijkste de uitvoer in blokken < 2 GB kan laten wegschrijven.

Actie: Joris Vanlede neemt contact op met Dirk van Maldegem voor aanvullende gegevens over waterstanden en saliniteit.

Actie: Thijs van Kessel informeert bij Theo van der Kaaij of de eerder toegeleverde data-set met getij-debieten voor de jaren 2000 – 2001 kan worden uitgebreid met andere jaren. Thijs informeert tevens bij Wang naar de beschikbaarheid van een document met calibratie-criteria voor de hydrodynamica in het Schelde-estuarium.

Actie: Joris Vanlede levert op 27 oktober het conceptrapport calibratie hydrodynamica aan RIKZ (formeel via WL | Delft Hydraulics). Tevens levert Joris op deze datum de sds-bestanden op aan WL bestaande uit twee gecalibreerde 14.5 daagse doottij-springtij cycli (de ene onder zomercondities, de andere onder wintercondities). In een eerder stadium (rond 13 oktober) levert Joris aan WL sds-bestanden met ongecalibreerde hydrodynamica om de voortgang van de calibratie van het slibmodel te bespoedigen.

3. Voortgang koppeling hydrodynamica en slib. Jan van Beek licht de status van dit onderdeel toe. Er is proefgedraaid met door Joris Vanlede toegestuurde sds-testbestanden. De koppeling werkt naar behoren. Een resterend probleem is het ontbreken van de verticale diffusie in de huidige bestanden. De verticale diffusie wordt weggeschreven naar een aparte groep (sds-map) die hiertoe moet worden geactiveerd via de invoer van Simona. Met testsommen is de volgende performance van het slibmodel vastgesteld:

<i>duur</i>	<i>aggregatie</i>	1x1	1x1	2x2	2x2
<i>in uren</i>	<i>no. seg</i>	847110	847110	218120	218120
	<i>schema</i>	s12	s16	s12	s16
	<i>tijdstap</i>	10 s	30 min	40 s	30 min
12.5h		4.3	0.4	0.3	0.1
14d		120	9.8	7.5	1.5
jaar		2990	245	186	37

Tabel 1: Rekentijd in uren met het DELWAQ-slibmodel voor een simulatieperiode van 12.5u, 14 dagen en 1 jaar afhankelijk van rekenschema en mate van aggregatie.

Uit Tabel 1 blijkt dat voor een 2×2 aggregatie met rekenschema 16 een simulatieperiode van een heel jaar (d.w.z. 25× achtereen een doottij-springtij cyclus) tot de reële mogelijkheden behoort en voor een 1×1 aggregatie met rekenschema 12 — resulterend in een hogere resolutie en numerieke nauwkeurigheid — een simulatieperiode tot circa 14 dagen.

Actie: Joris Vanlede neemt contact op met Vortech om te informeren hoe de uitvoer van verticale diffusie kan worden gerealiseerd. Vervolgens stuurt Joris een testbestand inclusief verticale diffusie naar Jan van Beek, zodat Jan ook dit aspect van de koppeling kan controleren.

Actie: Jan van Beek test de koppeling met het nieuwe testbestand inclusief verticale diffusie.

4. Definitie hydrodynamische basistruns. Er wordt besloten om twee doottij-springtij cycli te genereren die representatief zijn voor de gemiddelde winterconditie en de gemiddelde zomerconditie. In een later stadium van het project verdient het de voorkeur om met actuele forcering van wind, golven, rivierafvoer en getij te werken. In de huidige fase wordt tevens nog niet gewerkt met een waterstandsopzet aan de modelranden. De intern gegenereerde windopzet in de monding van de Westerschelde wordt natuurlijk wel meegenomen. Afgezien van de verschillende windcondities en bovenafvoer zijn de instellingen voor beide 14-daagse cycli gelijk wat betreft de hydrodynamica.

Actie: Thijs van Kessel bepaalt de representatieve windsnelheid en –richting voor zomer- en winter die leidt tot de juiste gemiddelde windschuifspanning. Dit kan door u^3 vectoriëel te middelen (o.a. volgens Smith en Bank).

Actie: Joris Vanlede bepaalt de gemiddelde bovenafvoeren voor zomer en winter.

N.B. Voor de toepassing in DELWAQ is het van belang dat het watervolume in het estuarium aan het begin en einde van de geselecteerde periode (zo goed als) gelijk is. Zuivere cycliciteit kan worden gerealiseerd door alleen M_2 , S_2 en hogere harmonischen van M_2 en S_2 op te leggen, of door de waterstandsvarianties in de geselecteerde 14-daagse periode te beschrijven met Fourier-componenten.

5. Definitie slibruns en beheersvraag. Het snel rekenende schema zal met het 2×2 geaggregeerde rooster worden gebruikt voor inspelen, eerste calibratie en het bepalen van transiënt gedrag tussen zomer- en wintercondities. De overgang tussen zomer- en wintercondities kan als een stapfunctie worden opgelegd, maar het is ook mogelijk om deze overgang geleidelijk te laten verlopen met behulp van weegfactoren. Zo kan 75% van de zomercondities worden opgeteld bij 25% van de wintercondities (of juiste andersom). Het 1×1 model met nauwkeuriger numeriek schema wordt gebruikt voor de analyse van de kleine tijd- en ruimteschaal (tot 14 dagen). De initiële condities (m.n. slibconcentratie en hoeveelheid slib op de bodem) worden door het 2×2 model gegenereerd. Ter illustratie van de mogelijkheden van het instrumentarium zal dit jaar met name de stort van baggerspecie worden beschouwd. Simulaties met en zonder deze stortingen geven een indicatie van de invloed hiervan op het systeem, zowel op de korte termijn (tot 14 dagen) als lange termijn (1 jaar). Overige beheersvragen (invloed speciestort Zeebrugge, aanslibbing in havens, effect ontpollering...) kunnen waarschijnlijk pas in een volgende fase aan de orde komen.

6. Voortgangsverslag 11 oktober. Deze Nederlandstalige tekst van ca. 10 pagina's zal een overzicht geven van het tot nu toe uitgevoerde werk (mede onder verwijzing naar het conceptrapport systeembeschrijving, data-analyse en stappenplan calibratie) en een doorkijk bieden naar de volgende fase over de aanvang waarvan moet worden geoordeeld op 19 oktober. Uit het voortgangsverslag moet blijken in hoeverre de in de offerte en het plan van aanpak gestelde doelen voor het einde van het jaar kunnen worden gehaald.

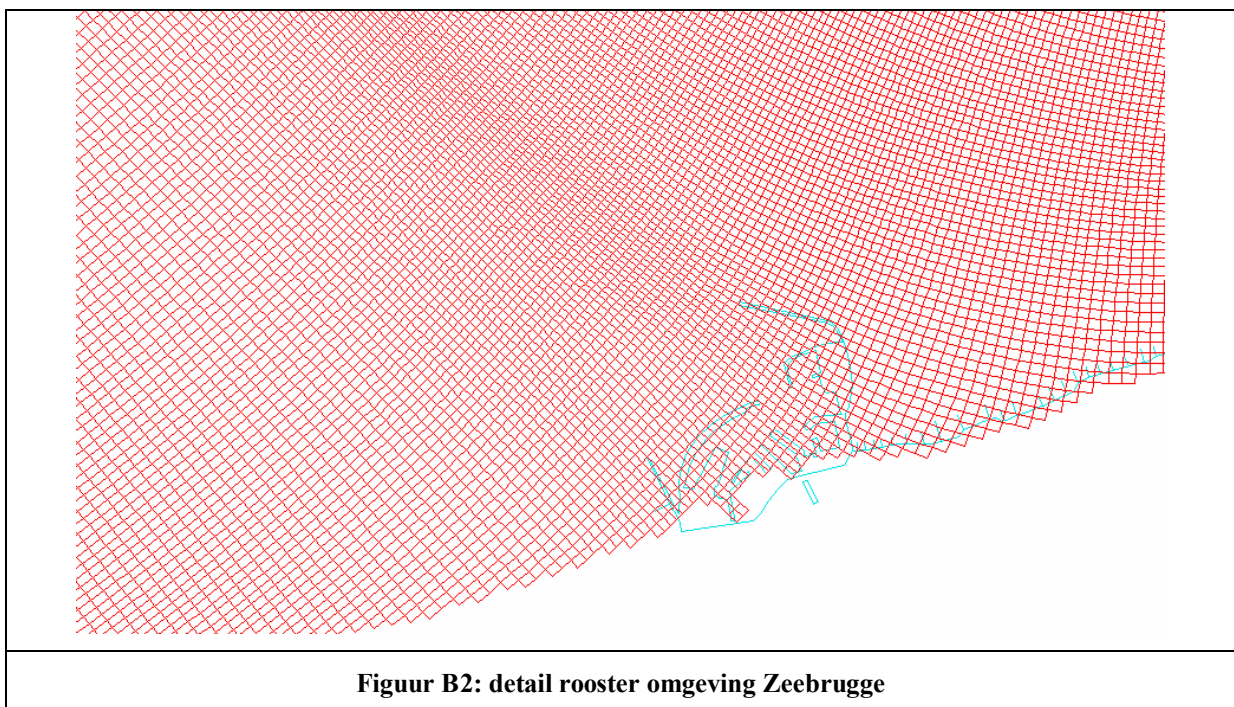
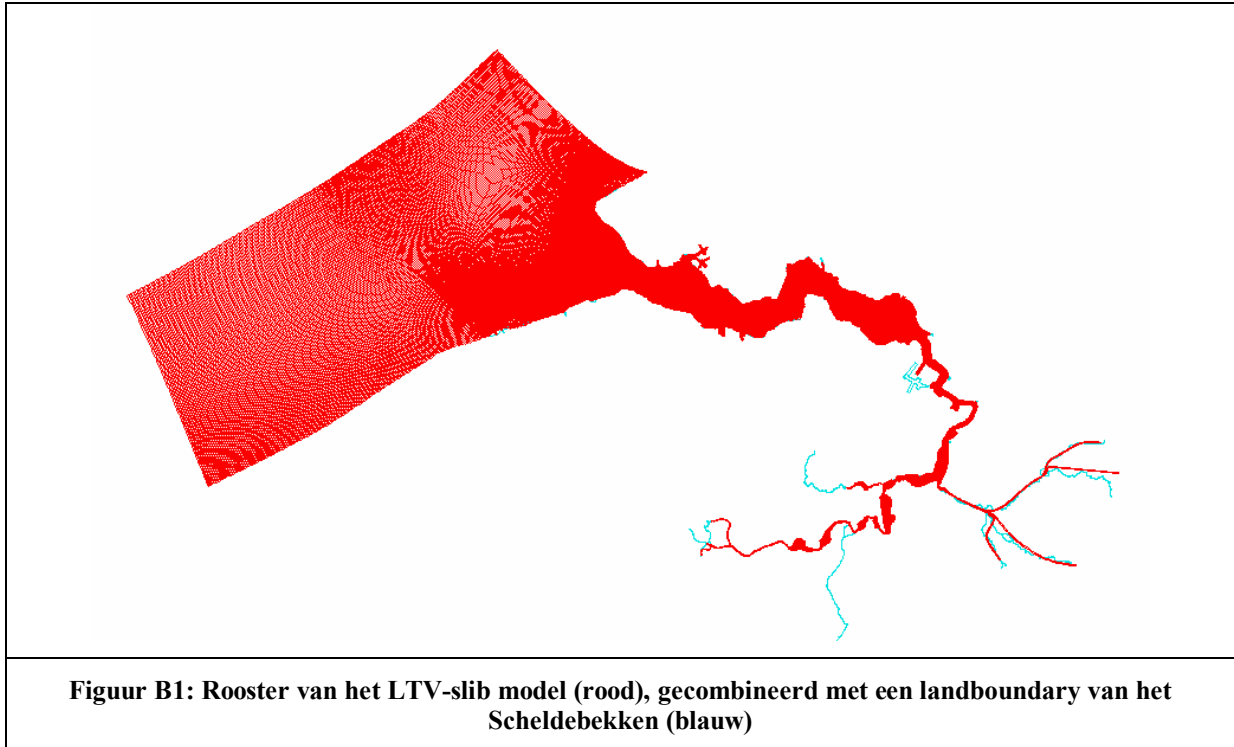
Actie: Thijs van Kessel (met bijdrage van Joris Vanlede) levert op 11 oktober het voortgangsverslag toe aan Johan de Kok.

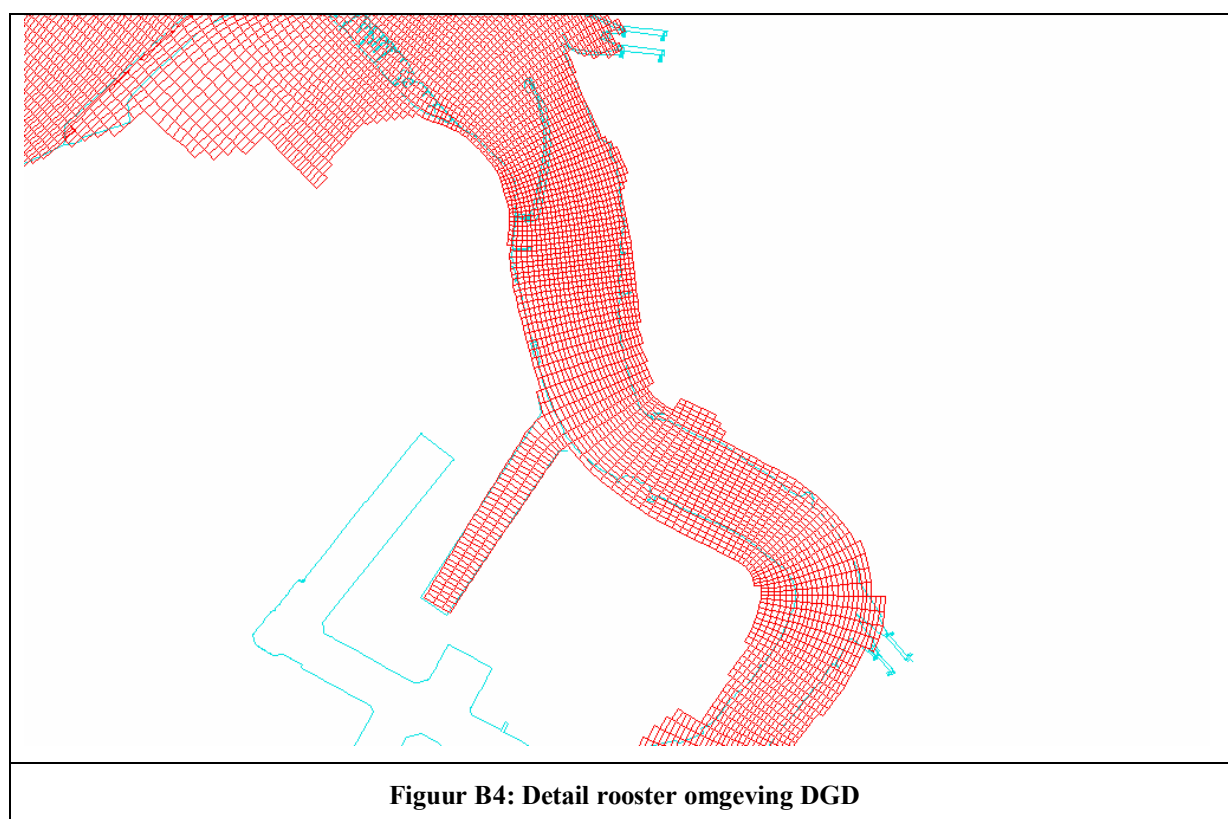
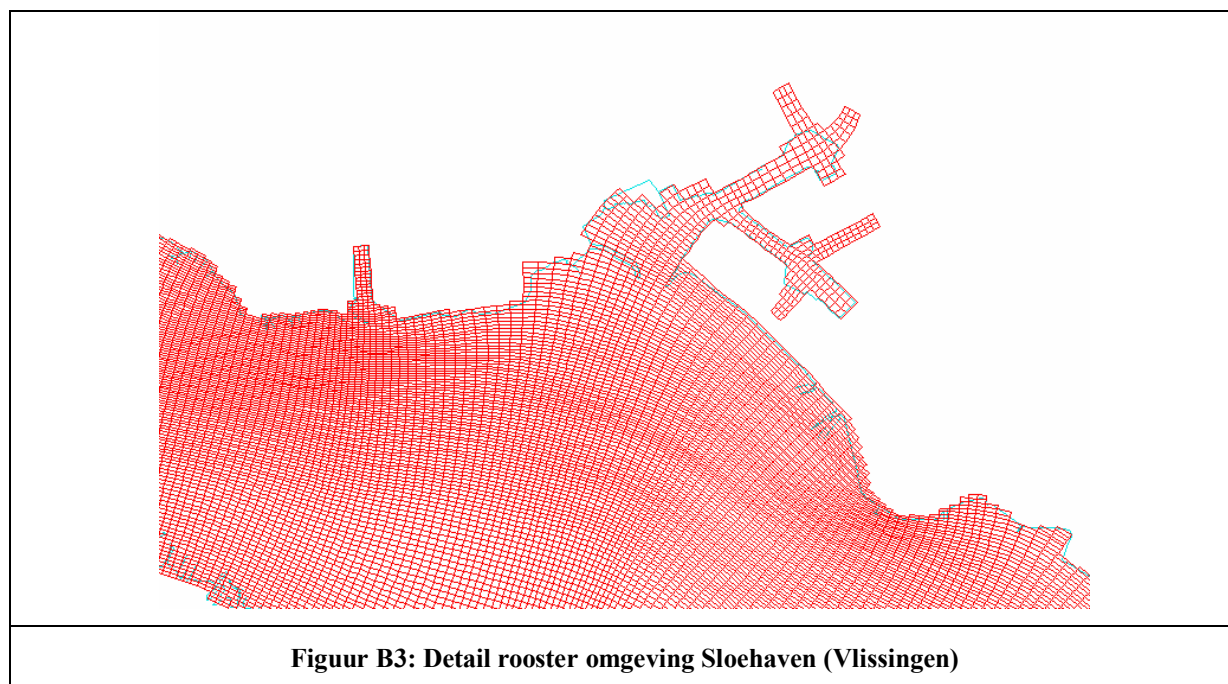
De volgende vergadering wordt vastgelegd op donderdag 19 oktober van 10:00u tot ca. 12:30u bij WL | Delft Hydraulics te Delft. Het belangrijkste bespreekpunt is het voortgangsverslag van 11 oktober, op basis waarvan een besluit wordt genomen over de voortgang van het project.

Tijdens de rondvraag wordt geconstateerd dat alle actiepunten gedefinieerd tijdens het startoverleg van 6 september zijn afgehandeld. De vergadering wordt om 15:25 afgesloten.

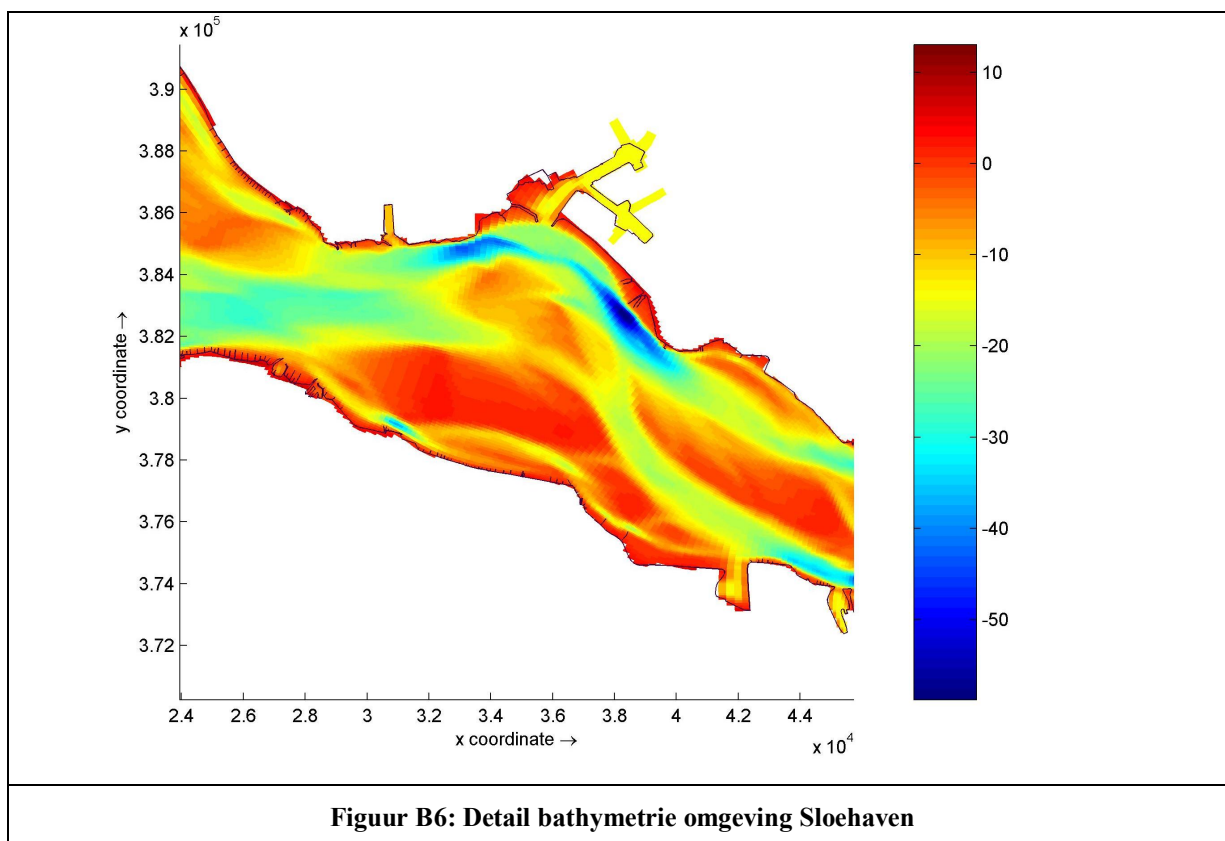
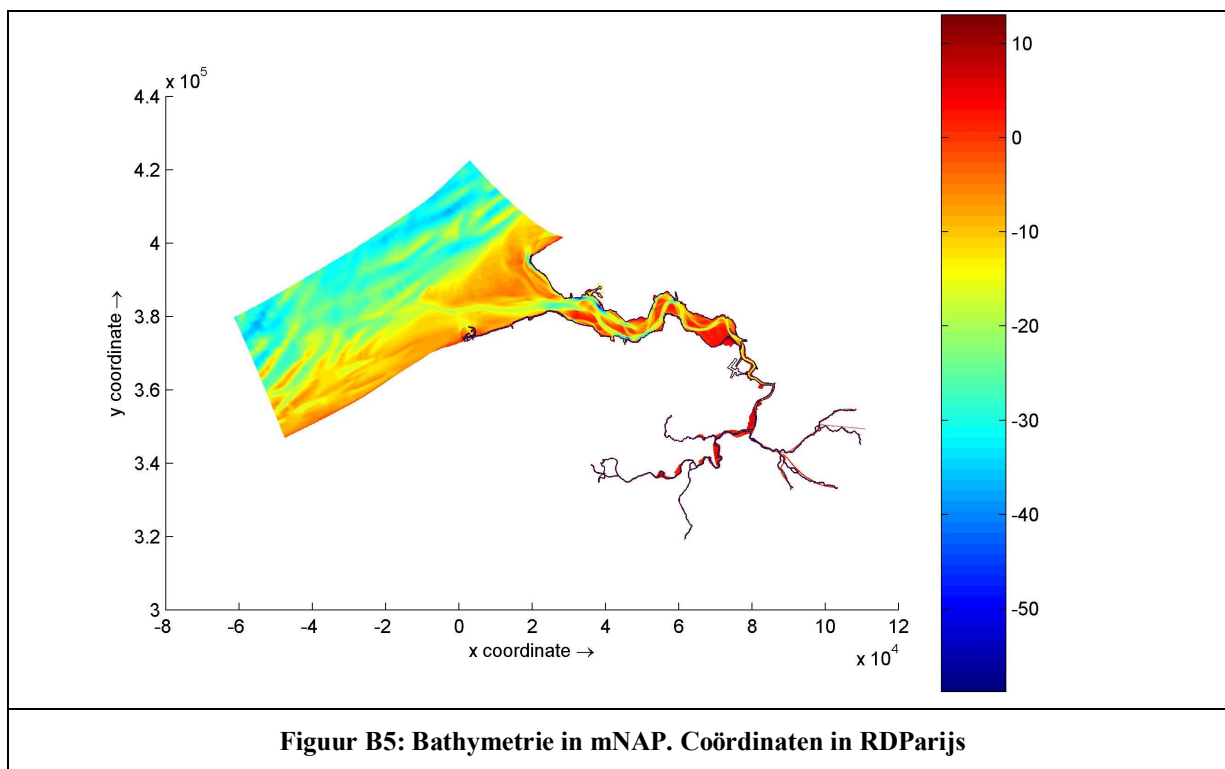
B. Appendix Hydrodynamica

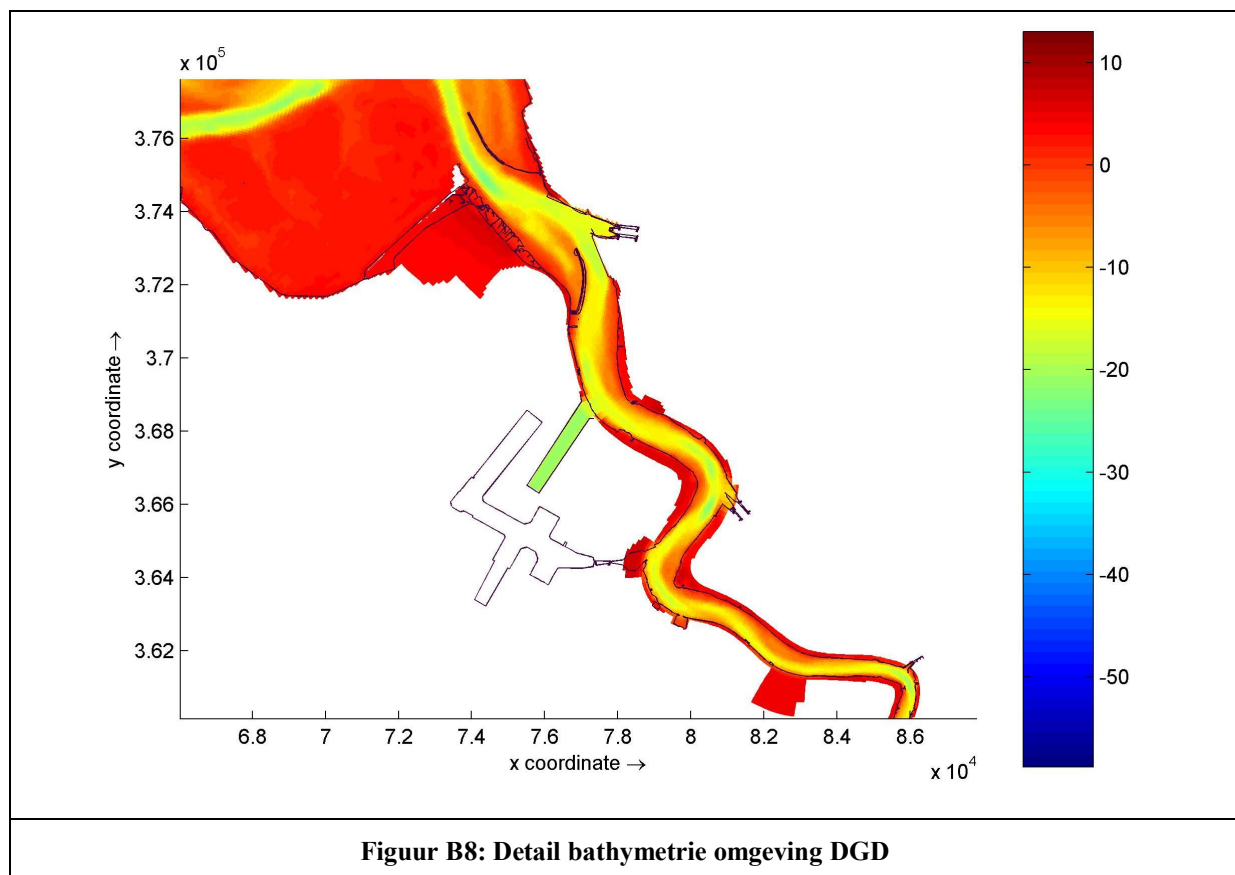
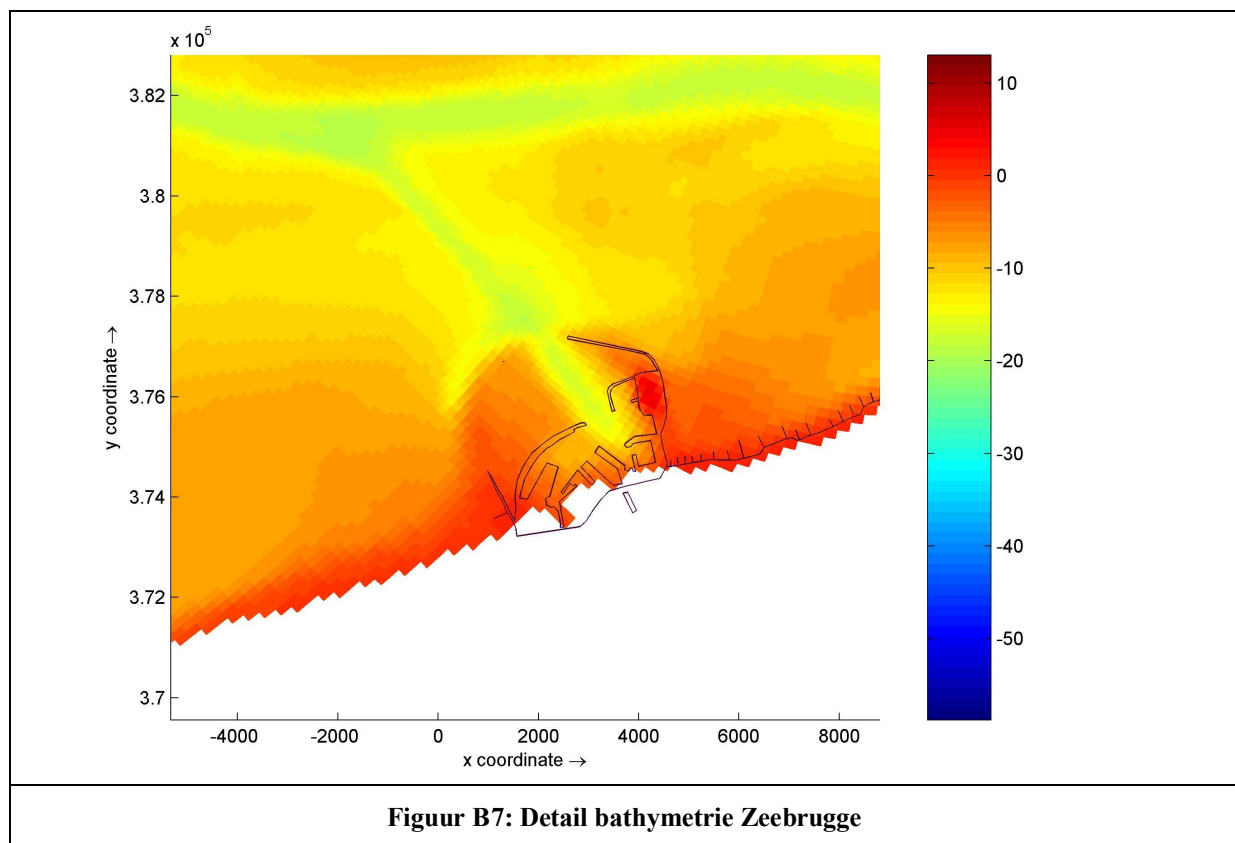
B.1. Rooster



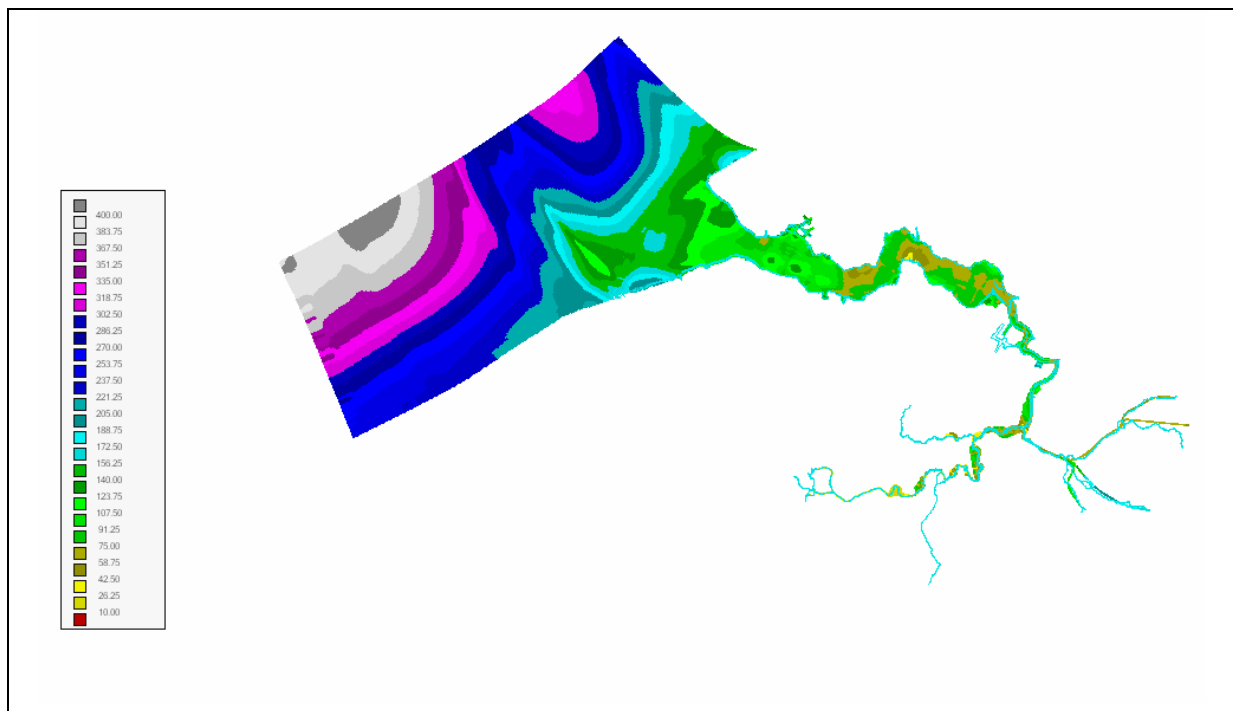


B.2. Bathymetrie

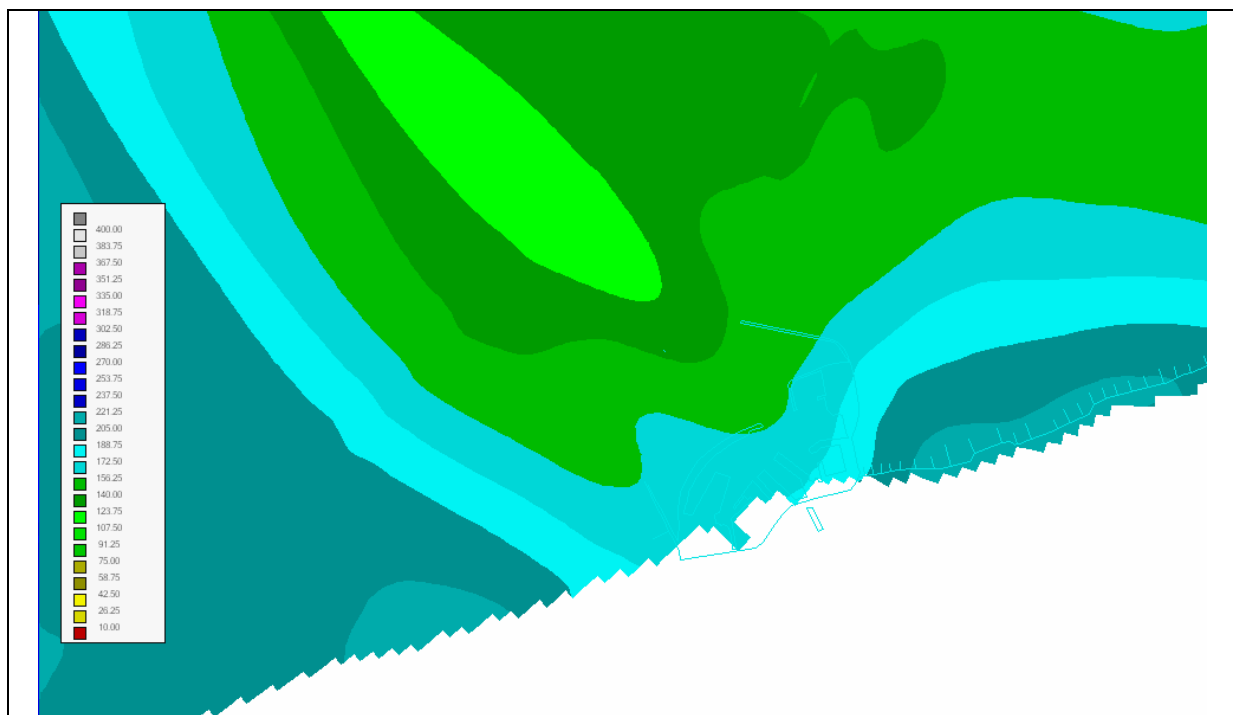




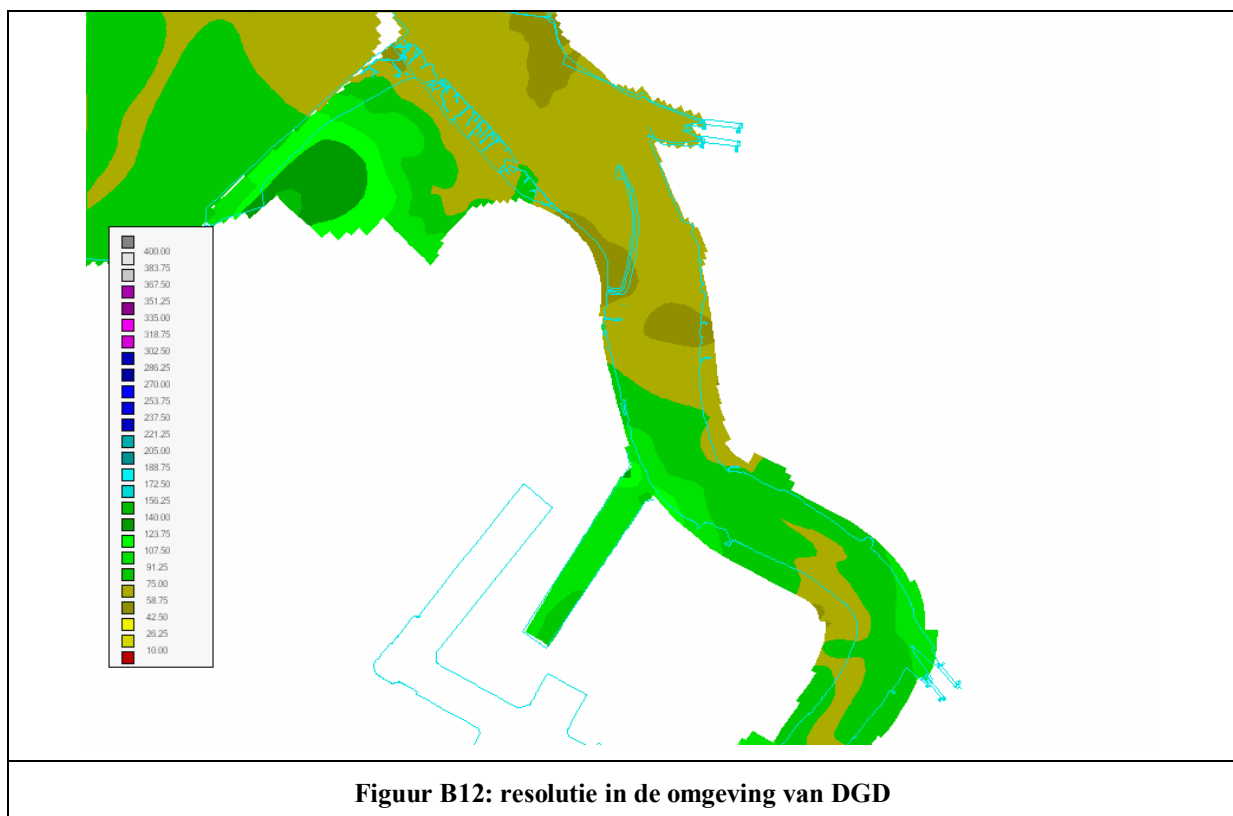
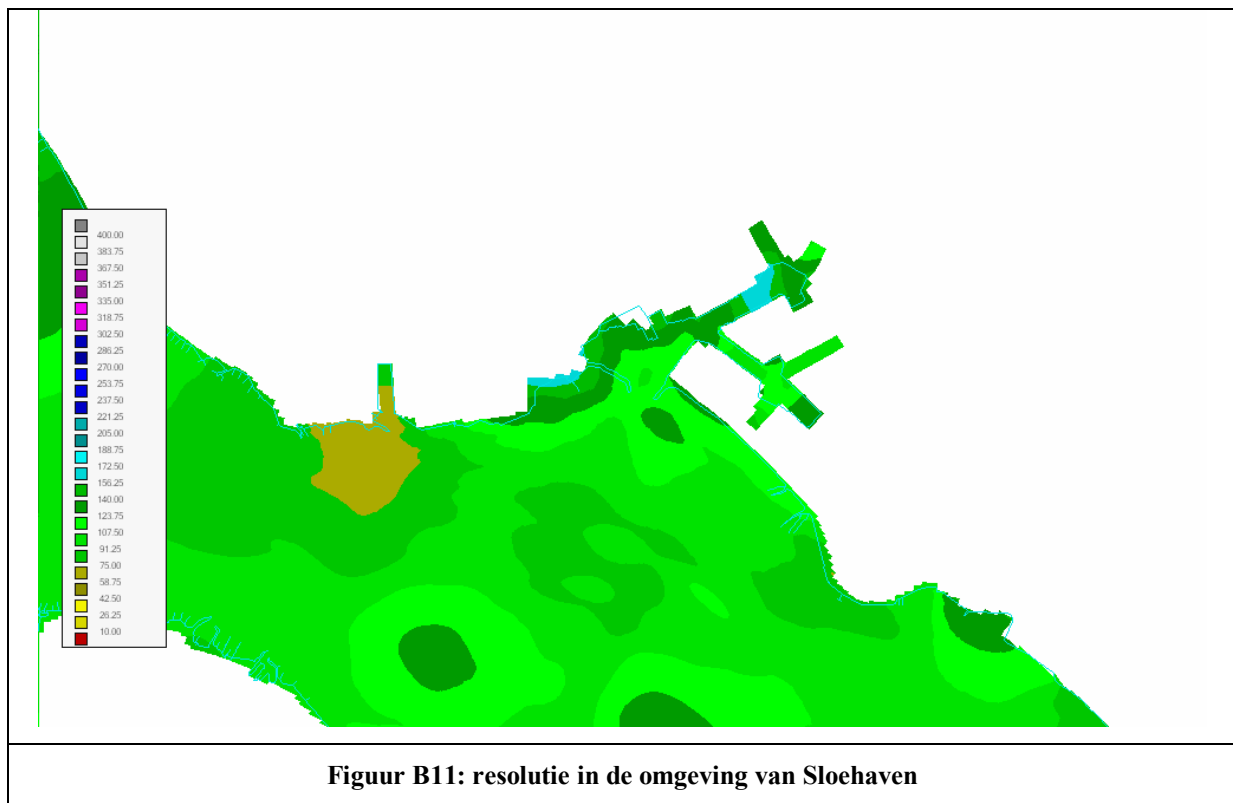
B.3. Resolutie



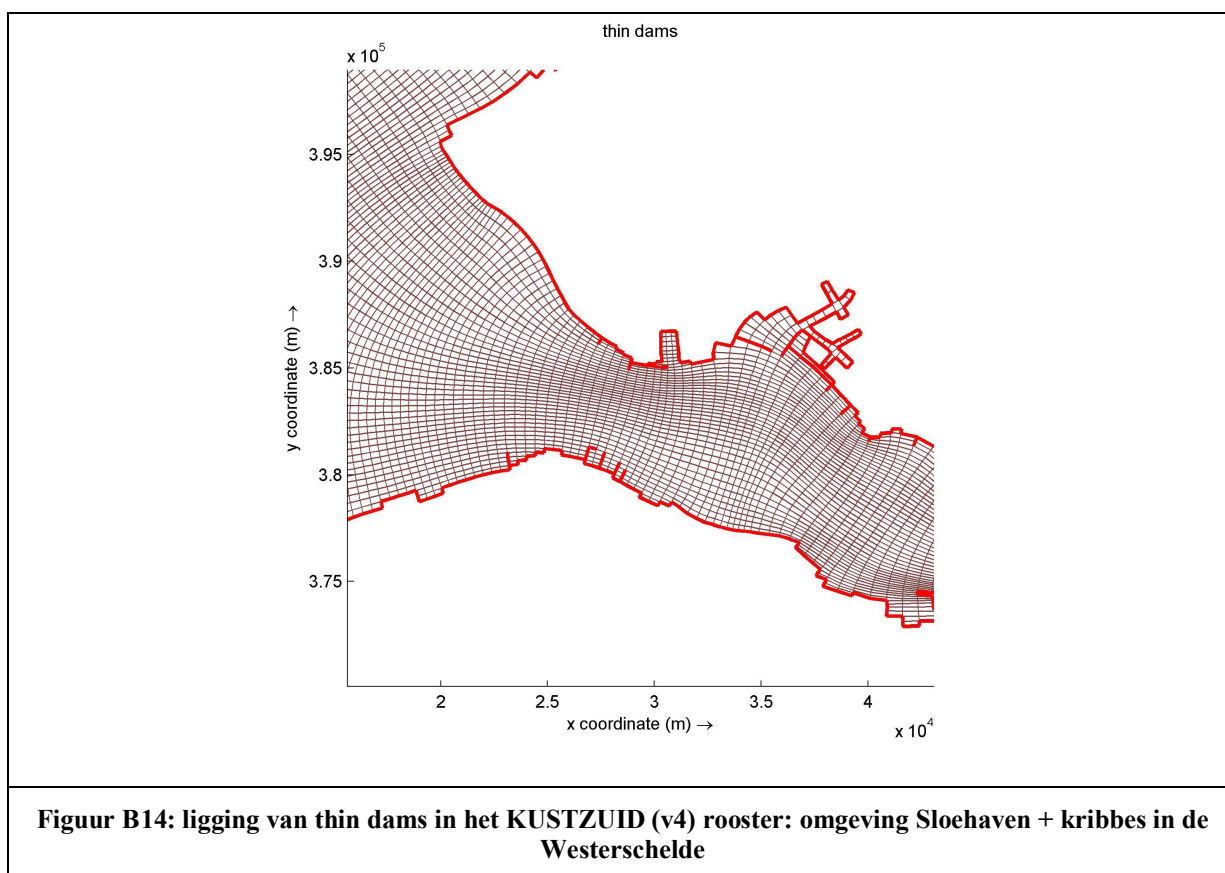
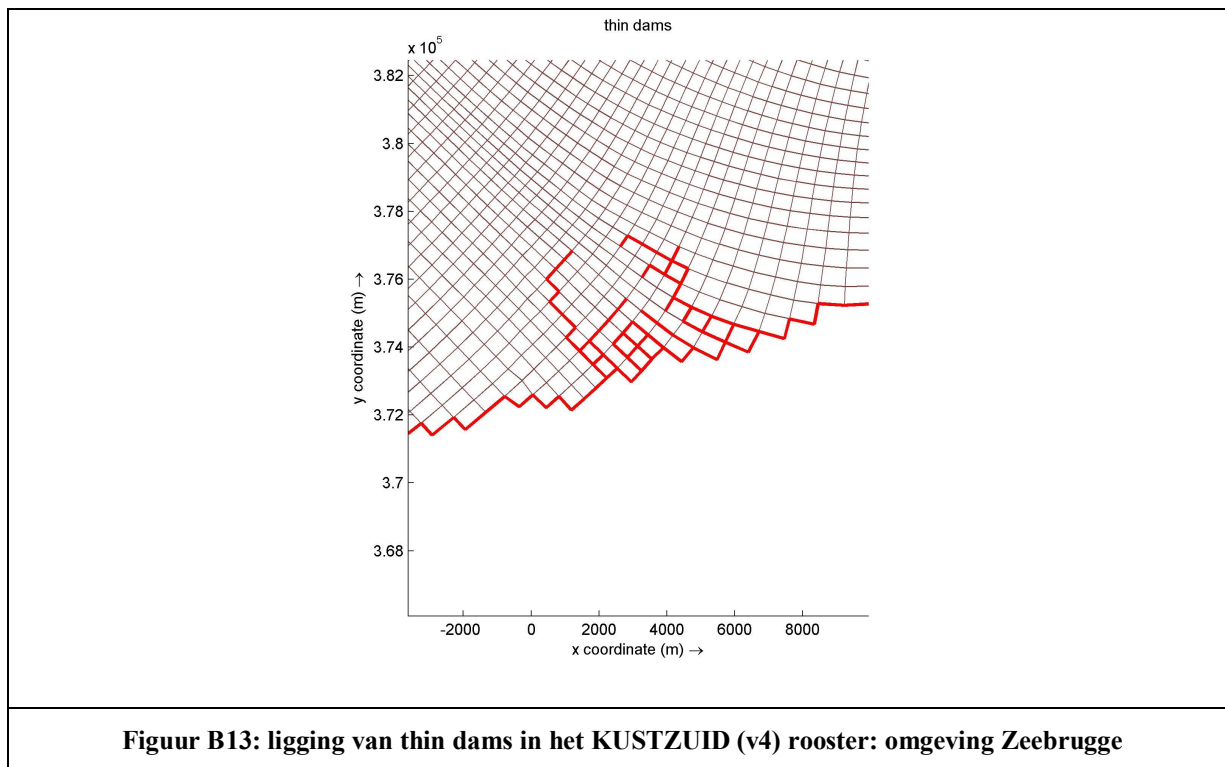
Figuur B9: Resolutie [m]

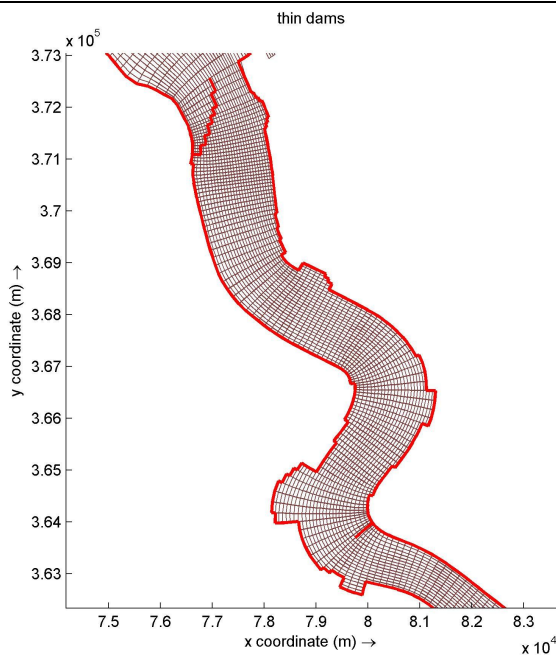


Figuur B10: resolutie in de omgeving van Zeebrugge [m]

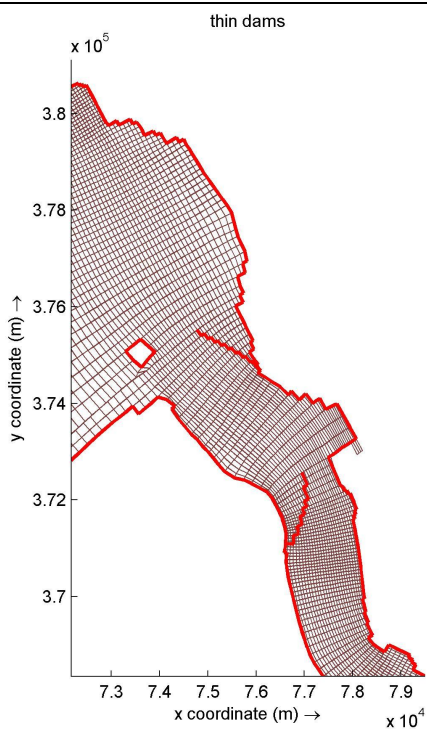


B.4. Thin dams





Figuur B15: ligging van thin dams in het KUSTZUID (v4) rooster: Plaat van de Parel + strekdam



Figuur B16: ligging van thin dams in het KUSTZUID (v4) rooster: Strekdam en leidam