

Opdrachtgever:



Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren

Invers Sedimenttransportmodel

Definitiestudie

Oktober 1993

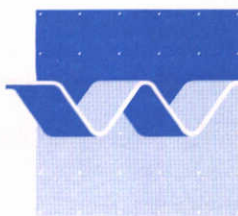
Z0632_1
7032

	bibliotheek postbus 177 - 2600 MH Delft waterloopkundig laboratorium/WL
BB	63551/63621
WL	VERVALLEN
EXPL	 F0002166

Invers Sedimenttransportmodel

Definitiestudie

A.W.J. Koster, H.F.P. van den Boogaard



Inhoud

1	Probleemdefinitie	1
1.1	Probleemstelling	1
1.2	Oplostechniek voor het inverse probleem	3
2	Plan van aanpak	8
2.1	Definitie-studie	8
2.2	Ontwerpfase	8
2.3	Implementatie-fase	9
2.4	Testen en performance-studie van het ISTM	9
2.5	Rapportage	10
2.6	Oplevering	10
3	Definitie van gebruikersomgeving	11
3.1	Modelgebied en geometrie	11
3.2	Toelevering van benodigde gegevens	11
3.3	Presentatie van uitvoerresultaten	11
4	Systeemeisen	13
4.1	Performance en geheugengebruik	13
4.2	Betrouwbaarheid	13
4.3	Modulaire opzet	14
4.4	Flexibiliteit	14
4.5	Portabiliteit	15
5	Hardware	16
6	Acceptatie-tests	17
6.1	Principe-toepassingen	17
6.2	Praktijk-toepassingen	17
6.3	Go/NoGo advies	18
7	Eindfase producten	19
8	Planning ontwerpfase	20
9	Referenties	21

1 Probleemdefinitie

Op 5 juli 1993 is door Rijkwaterstaat, Dienst Getijdewateren, aan het Waterloopkundig Laboratorium opdracht verleend tot de bouw van een prototype voor een invers sedimenttransportmodel (brief AOE/936363, overeenkomst DG-596, rws projekt DYNASTAR). Het te ontwikkelen produkt (een numeriek model dat min of meer vanaf 'scratch' wordt opgezet) zal via een aantal fasen worden gerealiseerd en het hierbij horende plan van aanpak, én de eerste fase, de definitiestudie, worden in dit rapport opgesteld en zijn te vinden vanaf hoofdstuk 2.

Ter wille van de herkenbaarheid van de in het vervolg opgevoerde begrippen t.a.v.

- (i) de gekozen fasering in het plan van aanpak,
 - (ii) de functionaliteit, gebruikersomgeving, etc. die in de definitiestudie aan de orde komen,
- wordt in dit hoofdstuk kort de probleemstelling geschetst die heeft geleid tot het voorgestelde inverse model, en wordt tevens de oplostechniek samengevat (d.w.z. de numerieke aspecten). Als zodanig is dit hoofdstuk een samenvatting van de "Offerte voor de bouw van een Invers Sedimenttransportmodel", Waterloopkundig Laboratorium (januari, 1993).

1.1 Probleemstelling

Voor het beheer van estuarine gebieden is een gedegen kennis van de sedimentbewegingen vaak noodzakelijk. Hierbij kan gedacht worden aan lokale en overall sedimentbalansen, het retourtransport van een stortlocatie van baggerspecie naar de baggerlocatie, e.d. Deze sedimentbewegingen kunnen in principe op een drietal manieren bepaald worden:

- 1 Het zwevend en/of bodemtransport kan gemeten worden. Hoewel lokaal een nauwkeurig beeld verkregen kan worden, is het moeilijk en tijdrovend om een goed synoptisch overzicht of een over langere tijd geïntegreerd beeld te verkrijgen.
- 2 Het sedimenttransport kan verkregen worden uit een directe simulatie van de sedimentbewegingen met een waterbewegingsmodel (bijv. WAQUA) en een sedimenttransportmodel (bijv. DELWAQ). Op deze manier kan een goed beeld verkregen worden van de variatie over de ruimte en in de tijd. Een nadeel is dat de fysische formuleringen voor het sedimenttransport niet erg nauwkeurig zijn, en dat daarmee de resultaten van dergelijke hsimulaties niet erg nauwkeurig zijn.
- 3 Op basis van geregistreeerde veranderingen in de bodemligging kan via een zogenaamde inverse modellering het sedimenttransportveld bepaald worden. Zo'n benadering geeft een goed over de tijd geïntegreerd overzicht. Een nadeel is dat de nauwkeurigheid van de onderliggende lodingen (op ondiepe gebieden) niet groot is en dat over relatief grote gebieden geïnterpoleerd moet worden.

Het blijkt dus dat alle drie methoden hun voor- en nadelen hebben. Rijkswaterstaat wil dan ook alle drie methoden operationeel hebben voor toepassing in Nederlandse wateren.

Hier en in het vervolg van dit rapport zal uitsluitend de bouw van het onder aandachtspunt 3 genoemde inverse model nog aan de orde komen. Het doel van dit model is om een tweedimensionaal (2Dh, d.w.z. in het horizontale vlak en over de diepte gemiddeld) sedimenttransportveld te genereren.

Uit lodingen in verschillende jaren kunnen "verschilkaarten" afgeleid worden, dit zijn kaarten waarop de verandering in bodemligging tussen twee opeenvolgende lodingen aangegeven wordt. Deze verschilkaarten kunnen grote onnauwkeurigheden bevatten door gebrek aan nauwkeurigheid van de lodingen zelf, door te weinig informatie enz. Bovendien zal deze nauwkeurigheid over het gebied variëren.

Op basis van de verschilkaarten kan slechts een 2Dh transportveld gegenereerd worden als additionele informatie beschikbaar is. Hierbij kan gedacht worden aan de richting van het sedimenttransport, dat bepaald kan worden aan de hand van waarnemingen (directe transportmetingen of via de zogenaamde methode "McLaren") of aan de hand van sedimenttransportsimulaties (zie aandachtspunt 2). In beide gevallen zal echter ook deze informatie slechts van beperkte nauwkeurigheid en volledigheid zijn.

De vraag is dus wat, gegeven (schattingen van) de nauwkeurigheid van de invoergegevens (verschilkaart en transportrichting), de nauwkeurigheid van het resulterende transportveld zal zijn. Bovendien moeten vaak de transporten ook worden bepaald op plaatsen waar niet gemeten is.

Deze schattingen van transporten met een maat voor hun nauwkeurigheid, worden met het inverse model gegenereerd.

Door deze nauwkeurighedsproblematiek zal een invers model slechts toepasbaar zijn over een tijdschaal waarbinnen geen al te grote veranderingen in bodemligging en transportpatronen plaats vinden. Een geulenstelsel bijvoorbeeld zal niet van plaats mogen veranderen en geulen zullen niet geheel dicht mogen slibben. Dit zou onoverkomelijke interpretatieproblemen geven. De moraal is dat de tijdsschaal dusdanig beperkt moet worden dat per lokatie geldt dat het gemiddelde transport nog steeds representatief is voor het gehele transport proces wat daar gedurende die tijdschaal is opgetreden.

Het inverse model zal toepasbaar zijn om de volgende praktijkvragen over de bovengenoemde tijdsperiode te bestuderen:

- De lokale sedimentbalans in een subgebied van het estuarium.
- De verschillen in bewegingen van gegradeerd sediment (m.n. slib en zand).
- Het retourtransport van sediment van een stortlocatie naar de baggerlocatie.
- De netto import of export van sediment vanuit zee, gegeven een bekende import van de

rivier.

- De "filterwerking" van een estuarium ten aanzien van bijvoorbeeld vervuild slib.
- De natuurlijke lokatie, respectievelijk de ruimtelijke verdeling, van de sedimentatie- en erosiegebieden.
- Het transport van sediment van en naar slikken, schorren en platen.

Het uiteindelijk te ontwikkelen inverse model moet werken op aan GIS ontleende gegevens van bergingen en transporten, en de met het inverse model berekende transporten moeten weer vanuit GIS toegankelijk zijn.

1.2 Oplostechiek voor het inverse probleem

Voor de oplossing van het inverse probleem wordt een 'optimal linear filtering techniek' (Maybeck, 1979; Gelb, 1982) gebruikt. De wiskundige achtergrond en de numerieke aspecten die hieruit voortvloeien voor het inverse model worden hier kort samengevat.

De essentie van het op te lossen probleem is het vinden van de sedimenttransportcomponenten T_x en T_y die voldoen aan de continuïteitsvergelijking,

$$\frac{\partial T_x}{\partial x} + \frac{\partial T_y}{\partial y} = -B(x,y) \quad (1.2.1)$$

en die zo goed mogelijk 'passen' bij gemeten transporten \hat{T}_x , \hat{T}_y en/of transportrichtingen $\hat{\phi}$ en bergingstermen $\hat{B}(x,y)$. De berging is hier gedefiniëerd in de zin van sedimentatie: een positieve $B(x,y)$ duidt op sedimentatie, een negatieve $B(x,y)$ duidt op erosie. Er moet rekening mee worden gehouden dat deze metingen meestal noch compleet (d.w.z. niet op elke plaats (x,y) is er gemeten, of nog erger, binnen de meeste WAQUA vakken zullen zelfs geen metingen beschikbaar zijn), noch nauwkeurig zullen zijn (de metingen zijn niet precies reproduceerbaar maar fluktuëren door stoorinvloeden, en/of de werkelijk in het prototype gemeten grootheid komt niet precies overeen met de modelgrootheid; hierbij kan als voorbeeld worden gedacht aan puntmetingen t.o.v. vakgemiddelde modeluitkomsten).

Om expliciet rekening te houden met onnauwkeurigheden in de gemeten bergingstermen wordt vergelijking (1.2.1) herschreven als:

$$\frac{\partial T_x}{\partial x} + \frac{\partial T_y}{\partial y} + V_1 = -\hat{B}(x,y) \quad (1.2.2)$$

Hierbij is V_1 een stochastische ruis die op elke plaats (x,y) een andere waarde aan kan nemen.

Naast het gebruik van de gemeten bergingstermen $\hat{B}(\cdot,\cdot)$ moeten de geschatte transporten zo goed mogelijk overeenkomen met de gemeten transporten. Idealiter zou gelden dat $T_x = \hat{T}_x$ en

$T_y = \hat{T}_y$, echter gegeven onzekerheden in de gemeten transporten moeten we schrijven:

$$T_x + V_2 = \hat{T}_x \quad (1.2.3a)$$

$$T_y + V_3 = \hat{T}_y \quad (1.2.3b)$$

V_1 en V_2 zijn weer stochastische ruizen die op elke plaats (x,y) waar een meting van T_x of T_y beschikbaar is andere waarden aan kunnen nemen. Voor het geval dat niet zozeer de transportvektor $(T_x, T_y)^T$ is gemeten danwel de transportrichting ϕ moeten (1.2.3a) en (1.2.3b) vervangen worden door:

$$T_x \cdot \sin \hat{\phi} - T_y \cdot \cos \hat{\phi} + V_4 = 0 \quad (1.2.3c)$$

Het is duidelijk dat vergelijkingen (1.2.2) en (1.2.3) in het algemeen ontoereikend zijn om (voor elk WAQUA-rekenvak) een goede schatting van de transport vektor $\vec{T}=(T_x, T_y)^T$ te produceren. Derhalve moeten aanvullende eisen/informatie worden toegevoegd. Deze extra eisen worden verkregen door het opleggen van gladheidskriteria aan de oplossing die wordt gevonden voor de transporten. Hierbij is het gebruikelijk om de grootte van de eerste en/of tweede afgeleiden te beperken. Deze beperkingen worden konform de onzekerheden in de voorafgaande vergelijkingen via een stochastische component gerelaxeerd. Voor de eerste en tweede afgeleiden leidt dat tot de volgende fiktieve "meet"vergelijkingen:

$$\frac{\partial T_x}{\partial x} + V_5 = 0$$

$$\frac{\partial T_y}{\partial x} + V_6 = 0$$

$$\frac{\partial T_x}{\partial y} + V_7 = 0$$

$$\frac{\partial T_y}{\partial y} + V_8 = 0$$

(1.2.4a)

en

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial^2 T_x}{\partial x^2} + V_{09} &= 0 \\
 \frac{\partial^2 T_y}{\partial x^2} + V_{10} &= 0 \\
 \frac{\partial^2 T_x}{\partial x \partial y} + V_{11} &= 0 \\
 \frac{\partial^2 T_y}{\partial x \partial y} + V_{12} &= 0 \\
 \frac{\partial^2 T_x}{\partial y^2} + V_{13} &= 0 \\
 \frac{\partial^2 T_y}{\partial y^2} + V_{14} &= 0
 \end{aligned}
 \tag{1.2.4b}$$

De vergelijkingen (1.2.4), die moeten verhinderen dat de geschatte transporten te veel gaan slingeren over het modelgebied, heten ook wel *regularisatietermen*. Een eventueel slingerend gedrag duidt op een slecht gesteld probleem, meestal veroorzaakt door een ongunstige verhouding van het aantal metingen en het aantal te schatten onbekenden. Met regularisatietermen kan men een slecht gedefiniëerd probleem beter oplosbaar maken (zie b.v. van den Boogaard, 1988).

De ruisvectoren V_j ($j=1, 2, \dots, 14$), in de voorafgaande vergelijkingen, alsmede de afzonderlijke componenten van de V_j , worden verondersteld onderling onafhankelijke stochastische variabelen te zijn met gemiddelde 0. Hun covarianties zijn derhalve diagonaal matrices. Met die autocovarianties worden de model- en meetonzekerheden geïntroduceerd. Aan model- meetvergelijkingen waaraan men veel waarde hecht (zoals bijvoorbeeld de continuïteitsvergelijking 1.2.2) zal men ruis V toevoegen met een kleine spreiding (tenzij de berging B erg onnauwkeurig bekend is) terwijl men aan de vergelijkingen waaraan men minder waarde hecht een ruis met grote spreiding toevoegt. Een spreiding van $\sigma=0$ en $\sigma=\infty$ zijn limietgevallen van volkomen betrouwbaar, respectievelijk volledig onbetrouwbaar.

De stochastische modelvergelijking (1.2.2) en de eveneens stochastische meetvergelijkingen (1.2.3) en (1.2.4) zijn gegeven in continue plaatscoördinaten (x,y) . In de praktijk moeten zij worden herschreven in gediskretiseerde vorm en zijn de gediskretiseerde vergelijkingen gedefiniëerd op een rooster, bijvoorbeeld dat van WAQUA of een ander model.

Merk op dat bijna alle in (1.2.2) en (1.2.4) gegeven meetvergelijkingen gedefiniëerd zijn in elk roosterpunt (x_m, y_n) van het gebied waarop het inverse probleem moet worden opgelost. Dit is niet het geval voor de vergelijkingen die de metingen \hat{T}_x en/of \hat{T}_y en/of hoek $\hat{\phi}$ bevatten; deze vergelijkingen zijn alleen gedefiniëerd op de plaats waar daadwerkelijk gemeten is.

Na diskretisatie (met M roosterpunten in de x -richting en N roosterpunten in de y -richting) zal na aggregatie van de vergelijkingen (1.2.2)-(1.2.4) een stelsel van $11 \cdot N \cdot M + K$ vergelijkingen in $2 \cdot N \cdot M$ variabelen worden gevonden (K is het aantal beschikbare metingen). Het is van de volgende lineaire vorm:

$$H \cdot \bar{\Theta} + \bar{V} = \bar{Z} \quad (1.2.5)$$

Hierbij is $\bar{\Theta}$ een vektor die wordt verkregen door alle $(T_x)_{m,n}$ en $(T_y)_{m,n}$ onder elkaar te zetten; $\bar{\Theta}$ heeft derhalve een omvang van $2 \cdot M \cdot N$ rijen en 1 kolom.

H is een matrix wiens elementen bepaald zijn door de diskretisatie van de continuïteitsvergelijking en de regularisatietermen. Zoals hierboven al is opgemerkt, is H een matrix met $11 \cdot N \cdot M + K$ rijen en $2 \cdot N \cdot M$ kolommen.

Het rechterlid \bar{Z} bevat alle waarnemingen (van T_x , T_y en/of ϕ en de bergingen B); \bar{Z} heeft dus $11 \cdot M \cdot N + K$ rijen (en 1 kolom).

Omdat het aantal rijen van H groter is dan het aantal kolommen is dit een overbepaald systeem.

Gegeven het met vergelijking (1.2.5) gedefiniëerde lineaire meetproces kan men m.b.v. maximum likelihood schattingen de optimale schatting voor de vektor $\bar{\Theta}$ afleiden. Met R de kovariantiematrix van de ruis \bar{V} (waarvan wij aannemen dat R diagonaal is) luidt deze (zie b.v. Gelb, 1982; Maybeck, 1979):

$$\hat{\Theta} = (P_0^{-1} + H^T \cdot R^{-1} \cdot H)^{-1} \cdot H^T \cdot R^{-1} \cdot \bar{Z} \quad (1.2.6)$$

De kovariantiematrix bij deze schatter is:

$$P = (P_0^{-1} + H^T \cdot R^{-1} \cdot H)^{-1} \quad (1.2.7)$$

Hierbij is P_0 de kovariantiematrix waarmee een **a priori** schatter van de onzekerheid in de transporten wordt aangegeven. Als de gebruiker hier helemaal geen idee van heeft, dan is die spreiding ∞ en dus $P_0^{-1} = 0$. In de praktijk zal een gebruiker die ervaring heeft met velddata meestal wel in staat zijn om minstens een (over het meetgebied gemiddelde) bovenwaarde voor de spreiding in de transporten kunnen aangegeven. Zo'n **a priori** specificatie voor die spreiding P_0 is

gewenst voor het inverse model omdat deze stabiliserend werkt op de inversieprocedure waarmee volgens (1.2.6) en (1.2.7) optimale schattingen worden afgeleid voor de transporten en hun a posteriori kovariantie.

Samenvattend kan dan worden gesteld dat de essentie van de oplosmethode bevat is in het herschrijven van de verzameling meet-, model- en regularisatie vergelijkingen tot een groot lineair stelsel van "meet-proces-vergelijkingen", ingebed in een stochastische omgeving. Via een maximum-likelihood aanpak worden de optimale schattingen van de transporten en hun onzekerheid gevonden.

Het rekenhart van het prototype inverse model zal dan bestaan uit procedures voor het invullen van de matrices P_0 , H en R , en het vervolgens naar $\bar{\Theta}$ oplossen van stelsel (1.2.6), en het daarna bepalen van diens kovariantie volgens (1.2.7).

2 Plan van aanpak

In het plan van aanpak t.a.v. het ontwikkelingstrajekt van het Inverse SedimentTransport Model (ISTM) worden de volgende fasen onderscheiden:

- Definitiestudie
- Ontwerpfase
- Implementatiefase
- Testen en performance-studie
- Rapportage
- Oplevering

Deze fasen zijn ontleend aan de SQA richtlijnen van het WL, zie Waterloopkundig Laboratorium (1989). De fasen worden in de nu volgende paragrafen nader toegelicht.

2.1 Definitie-studie

De functionaliteit, gebruikersomgeving, hardwarebeperkingen en acceptatiecriteria van het prototype worden vastgelegd met een definitiestudie. Het resultaat van deze definitiestudie is het hier voorliggende rapport (hoofdstuk 3-6).

2.2 Ontwerpfase

Uit de eerste functionele én inhoudelijke schets van het ISTM die in de offerte van dit project is gepresenteerd (Waterloopkundig Laboratorium, 1993) blijkt dat de belangrijkste componenten van het prototype ISTM bestaan uit:

- (i) het vullen van een aantal matrices aan de hand van de stochastische model- en meetvergelijkingen,
- (ii) het oplossen van het uit (i) afgeleide grote stelsel lineaire vergelijkingen waaraan (de componenten van) de transportvectoren voldoen.

Voor het oplossen van dat stelsel moet een geschikte numerieke methode worden gevonden. Dit stelsel lineaire vergelijkingen wordt gekenmerkt door een ijle ('sparse') matrix. Voor dit type vergelijkingen zijn speciale oplosmethoden beschikbaar maar het is nu nog niet helemaal duidelijk of deze ook in dit geval als zodanig kunnen worden toegepast. Eventueel wordt via eenvoudige

ingrepen een aangepaste versie van zo'n oplosmethode ontwikkeld.

In de ontwerpfase zal onderscheid worden gemaakt naar het *funktionele* ontwerp en het *technische* ontwerp van het ISTM.

In het *funktionele* ontwerp zullen via de techniek van 'stepwise refinement' de diverse hoofd- en deelfuncties van het inverse modelsysteem worden gedefiniëerd aan de hand waarvan de componenten (i) en (ii) zullen worden opgezet. Met behulp van dataflow-diagramen zullen de hoofd- en deelfuncties in kaart worden gebracht.

In het *technisch* ontwerp zal de functionaliteit van het systeem worden vertaald naar datastructuren en een subroutine-ontwerp met de daarbij horende hiërarchie. Belangrijke ontwerpcriteria zijn de modulariteit, herbruikbaarheid en de flexibiliteit van het prototype.

Tevens zullen de user interfaces van het prototype worden vastgelegd. De ontwerpfase zal worden afgesloten met een ontwerprapport.

2.3 Implementatie-fase

Op basis van het eerder gedefiniëerde ontwerp zal het proto-type ISTM worden geïmplementeerd. Dat prototype zal bestaan uit het rekenhart van het ISTM en voorlopige versies van user-interfaces t.a.v. de voor- en nabewerking van invoergegevens en de resultaten van ISTM-toepassingen. Bij de realisatie van de interfaces zal slechts minimale inspanning worden besteed aan interfaces van en naar het GIS-systeem. In situaties waarin het prototype zal werken met GIS-data, zullen deze gegevens via ad-hoc (maar wel goed in het ontwerp gedefiniëerde en beschreven) procedures binnen het prototype worden gehaald. Er zal dus in deze ontwikkelingsfase van het ISTM nog geen directe koppelingen vanaf of naar GIS worden gerealiseerd.

2.4 Testen en performance-studie van het ISTM

Met het ontwikkelde prototype zullen principe toepassingen worden uitgevoerd. Bij deze principe toepassingen wordt gebruik gemaakt van artificiële "metingen" van transporten en bergingstermen. Dat wil zeggen dat eerst een volledige en consistente verzameling transportvektoren wordt gemaakt (b.v. via een analytisch voorschrift) waarna deze verzameling wordt verdund en/of met pseudo ruis wordt verstoord. Voor diverse zo gegenereerde data sets en modelgebieden zullen de

door het inverse model gereproduceerde transportvelden worden vergeleken met het "ware" transportveld.

In deze testen worden twee fasen onderscheiden, de "1993-fase" en de "1994-fase". De tests uit te voeren in 1993 betreffen de meer eenvoudige testgevallen, waarbij met name de performance van het voorgestelde inverse model (t.a.v. de bruikbaarheid van het ISTM, en realiteitswaarde/nauwkeurigheden van de geschatte transporten), en de rekenprestaties zullen worden geïnventariseerd.

In 1994 zullen meer realistische testgevallen worden uitgevoerd, variërend van eenvoudige geometrieën tot modellen die t.a.v. geometrie en omvang vergelijkbaar zijn met praktijktoepassingen. Naast deze principe toepassingen (maximaal vier), zal er maximaal één praktijktoepassing worden uitgevoerd en gerapporteerd.

De noodzakelijke gegevens voor die praktijktoepassing dienen t.z.t. door de Rijkswaterstaat te worden aangeleverd. Op basis van ervaringen t.a.v. performance van het model, rekentijden, etc... kan een Go/NoGo advies worden gegeven voor een tweede fase waarin een verdere operationalisering plaats vindt t.a.v. interfaces, kommunikatie met GIS, visualisatie faciliteiten, etc. Deze tweede fase is overigens geen onderdeel van de nu opgedragen werkzaamheden.

2.5 Rapportage

De resultaten van de toepassingen uit de testfase zullen worden gerapporteerd in een testrapport. Maximaal 4 principe toepassingen zullen worden gerapporteerd, waarbij minstens één testgeval met een voor de praktijk representatieve modelgeometrie en roosteromvang. Bij beschikbaarheid van meetgegevens zal daarenboven maximaal één toepassing met deze praktijkmetingen worden uitgevoerd en gerapporteerd.

2.6 Oplevering

De oplevering bestaat uit de FORTRAN77 implementatie van het prototype. Daarnaast zijn maximaal drie dagen gereserveerd voor overdracht/installatie en training aan een RWS-medewerker t.a.v. gebruik van het prototype ISTM.

3 Definitie van gebruikersomgeving

3.1 Modelgebied en geometrie

De functionaliteit van het prototype zal zich beperken tot modelgebieden met rechthoekige roosters t.a.v. de spatiële diskretisatie (d.w.z. de diskretisatie in het x-y vlak).

3.2 Toelevering van benodigde gegevens

Ten behoeve van de toelevering van gegevens zullen er in het prototype één of meer invoerbestanden worden gedefiniëerd. De invoerbestanden zullen (vooralsnog) ASCII-files zijn met een in het technische ontwerp voorgeschreven organisatie. Deze invoerbestanden kunnen dus in principe met een editor worden aangemaakt of gewijzigd. Uiteraard is het mogelijk de nodige gegevens vanuit andere bestanden (b.v. GIS) te betrekken, en vervolgens m.b.v. ad-hoc programmatuur te converteren naar invoerbestanden voor het prototype inverse model.

Op dit moment wordt voorzien dat de gebruiker invoerbestanden zal moeten toeleveren met de volgende gegevens:

- Gegevens t.a.v de open en gesloten randen van het model
- Gegevens t.a.v. interne randen in het modelgebied (b.v. strekdammen of andere starre konstrukties)
- Gemeten bergingstermen (met hun spreiding) verkregen uit b.v. verschilkaarten
- gemeten transporten T_x en T_y en/of richting ϕ , met de positie in diskrete (m,n)-koördinaten
- Covariantie-matrix voor gecombineerde transporten T_x en T_y ; door het modelgebied in deelgebieden op te splitsen (via polygoon definities) is het voldoende om per deelgebied een globale covariantie op te geven. Met die covarianties worden de onzekerheden in de meet en modelvergelijkingen aangegeven (zie paragraaf 1.2). Deze onzekerheden kunnen relatief (b.v. in een %) of absoluut worden opgegeven.

3.3 Presentatie van uitvoerresultaten

De uitvoer van een toepassing van het ISTM zal bestaan uit een "log"-file met daarin administratieve gegevens zoals de namen van de invoerfiles (rooster, metingen, enz.) en de door de gebruiker

opgegeven model parameters. Daarnaast worden de berekende schattingen van de transporten T_x en T_y , weggeschreven naar een datafile met een dusdanige organisatie dat deze voor presentatie/visualisatie doeleinden kan worden gebruikt. Bij de visualisatie zal gebruik worden gemaakt van de grafische pakketten TEKAL (voor PC omgeving) en/of TEKUNI/PRESENT voor een werkstation/UNIX omgeving. In de ontwerpfasen zullen de inhoud en de structuur van deze files nader gedefiniëerd worden.

T.a.v. de visualisatie zal het zich steeds handelen om 2D-plots: een grootte (een transport T_x , T_y , $|T|$, de vektor $(T_x, T_y)^T$, of transport richting ϕ) wordt getekend als functie van een twee dimensionale plaatscoördinaat (x, y) . Dat kan in de vorm van isolijnen, kleur, of een vektor plot.

4 Systeemeisen

T.a.v. de *funkionele* eisen aan het inverse model garandeert de gekozen oplosmethode (zie paragraaf 2.1) dat naast de transporten ook een maat voor hun (on)nauwkeurigheid wordt bepaald. In dit hoofdstuk en hoofdstuk 5 (hardware) wordt in nader detail ingegaan op de *technische* aspecten bij de realisatie van het ISTM.

4.1 Performance en geheugengebruik

Op dit moment zijn geen vergelijkbare modellen, procedures of toepassingen bekend die vergelijkbaar zijn met het hier te ontwikkelen inverse model. Anders dan een eerste schatting die is verricht tijdens het ontwerp van het conceptuele model (zie Waterloopkundig Laboratorium, 1993), is er nog geen nauwkeurige indicatie van de rekestijden en geheugengebruik die het inverse model zal vergen. Als eerste schatting werd voorzien dat bij geometriëen van 15000 roostervakken een CPU-geheugengebruik nodig is hoogstens 6Mb (het merendeel hiervan is nodig voor het opslaan van de ongelijk-nul zijnde elementen van de systeem matrix H, zie paragraaf 1.2 voor diens definitie). Het lijkt dus zeker mogelijk om het systeem op een werkstation (van de orde van een HP-735) en/of PC-486 te operationaliseren. T.a.v. rekestijden geldt als voorlopige indicatie "minder dan 1 uur op een HP-735" zolang met modellen met minder dan de eerder genoemde 15000 punten wordt gerekend.

In het ontwerp zal hier via een meer gedetailleerde analyse (aan de hand van de gekozen oplosmethode) nader op teruggekomen worden, en worden getracht een meer precieze schatting van rekestijden en geheugengebruik te geven. In zekere mate kan het nader verifiëren van rekestijden en geheugengebruik gezien worden als één van de doelstellingen van de ontwikkeling van het *prototype* ISTM.

4.2 Betrouwbaarheid

Gezien de beschikbare ontwikkelings- en debug tools zal de ontwikkeling van het ISTM in een PC-omgeving plaatsvinden. Hierbij is het van belang de eventuele *programma-deficiënties* op het niveau van programma- en datastructuur (b.v. inconsistenties, onvolledigheden en/of contradicties), reeds in een zo vroeg mogelijk stadium vast te stellen en te corrigeren. Hiertoe zal gebruik worden gemaakt van de 'static code analyzer' FORCHECK.

Bij het testen zal gebruik worden gemaakt van de krachtige debug-faciliteiten van de SALFORD-

compiler (dynamic code analyzer).

De SALFORD-compiler is een zeer kritische compiler met goede faciliteiten om het interne rekenproces in de ontwikkelingsfase op een directe manier (vensters) transparant te maken. Dit kan zowel op compilatie nivo als op run-time nivo. Hierdoor kunnen reeds in een vroegtijdig stadium eventuele nog niet gedetekteerde tekortkomingen snel worden opgespoord en vervolgens gecorrigeerd.

Tenslotte zal de betrouwbaarheid van het prototype op het niveau van de functionaliteit worden bewerkstelligd door het uitvoeren van testtoepassingen, bestaande uit (maximaal vier) principe- en (maximaal één) praktijktoepassingen. Deze 'cases' zullen worden gerapporteerd. In de principe toepassingen zal gebruik worden gemaakt van 'artificiële data' (zie paragraaf 2.4). Hierdoor kan onder controleerbare condities de numerieke techniek op zijn betrouwbaarheid worden gevalideerd.

Tijdens het hele ontwikkelingstrajekt zal geregeld overleg plaatsvinden met een SQA-funktionaris van het WL.

4.3 Modulaire opzet

In de ontwerpfase zal een modulaire structuur worden nagestreefd. In een modulair ontwerp wordt de functionaliteit van het systeem verdeeld over een kollektie van subroutines (=modulen), die elk een goed gedefiniëerde deelfunctie vervullen.

In een eventuele fase II zijn dan de modulen uit het rekenhart reeds beschikbaar, en opnieuw te gebruiken in het dan te ontwikkelen integrale systeem (interfaces/GIS, rekenhart, visualisatie faciliteiten).

4.4 Flexibiliteit

Hoewel het prototype ISTM niet direkt opereert op GIS-bestanden zal in de ontwikkeling van het prototype rekening worden gehouden met een eventueel later te realiseren aansluiting op GIS-bestanden. Opdat een en ander niet tot onredelijke vertragingen in de ontwikkeling zal leiden, zijn er maximaal 2 mandagen gereserveerd voor het zich verdiepen in de GIS-aspekten. Hierbij zal worden nagegaan welke gegevens, en in welke vorm, vanuit GIS-bestanden onttrokken zullen worden, en via welke logische structuur aan het inverse model aangeboden. Hierdoor kunnen latere aansluitingsproblemen met GIS, op het niveau van afwijkende data-representatie, worden beperkt.

4.5 Portabiliteit

Het prototype zal zoveel mogelijk worden gekodeerd volgens de ANSI FORTRAN 1977 standaard. De SALFORD-compiler is in staat de afwijkingen t.o.v. deze standaard te detekteren. De keuze van de genoemde FORTRAN standaard biedt goede perspectieven t.a.v. de overdraagbaarheid van het prototype naar andere computersystemen. Dit laatste is van belang omdat de ontwikkelingen en operationalisering op verschillende computersystemen zal plaatsvinden (PC en HP/UNIX werkstation, zie onder Hardware).

5 Hardware

De ontwikkeling van het prototype zal plaatsvinden op een PC-386 of PC-486. Deze keuze wordt voornamelijk bepaald door de beschikbaarheid van de reeds genoemde SALFORD-compiler. Op de PC-386 of PC-486 zullen in eerste instantie een aantal testgevallen voor modelgebieden van beperkte afmetingen (tot 2000 rekenpunten), worden uitgevoerd.

Tenslotte zal het prototype worden overgezet naar een UNIX-platform (waarvoor op dit moment een HP werkstation wordt voorzien), voor de uitvoering van de grotere testgevallen (tot 15000 rekenpunten).

Voor toepassingen op modellen tot 15000 rekenpunten wordt voorzien dat het te gebruiken computerplatform over minstens 6Mb intern geheugen moet beschikken.

6 Acceptatie-tests

6.1 Principe-toepassingen

In 1993 zullen met het prototype testgevallen worden uitgevoerd aan de hand van artificiële data, zodat onder controleerbare condities de numerieke techniek op korrektheid, nauwkeurigheid en konvergentie(-snelheid) kan worden onderzocht (de "performance" van de methode wordt dus onderzocht). Hierbij wordt gebruik gemaakt van analytisch gegenereerde "metingen" van transporten en bergingstermen (artificiële metingen). Op basis van deze analytische testen kan men zich met het systeem vertrouwd maken, b.v. in de vorm van ervaring in de keuze van de regularisatietermen voor het verkrijgen van voldoende gladde oplossingen zonder dat detailstructuren te zeer verloren gaan.

Voor de 1993 én de 1994 principe toepassingen (zie 6.2) zullen in totaal voor maximaal vier data sets en modelgebieden de geschatte transportvelden worden vergeleken met wat idealiter gevonden had moeten worden. Van deze toepassingen zullen de resultaten worden gerapporteerd.

6.2 Praktijk-toepassingen

In vervolg op de testen uit 1993, zullen in 1994 meer realistische testen worden uitgevoerd, variërend van eenvoudige geometrieën tot modellen waarvan modelgeometrie en modelgrootte vergelijkbaar zijn met praktijktoepassingen (tot 15000 roosterpunten). Nog steeds wordt in eerste instantie met artificiëel gegenereerde data gewerkt.

Voor de principe toepassingen van 1993 (zie paragraaf 6.1) én van 1994 zullen in totaal voor maximaal vier data sets en modelgebieden de geschatte transportvelden worden vergeleken met wat idealiter gevonden had moeten worden en worden de resultaten gerapporteerd.

Bij deze principe toepassingen wordt gerekend aan twee "cases" met analytisch voorgeschreven transporten en bergingen, en twee "cases" met transporten en bergingen gegenereerd met een morfologisch model van WL. T.a.v. de principe toepassingen wordt aan een of meer keuzen uit de volgende situaties gedacht:

- gesloten bak (met b.v. wind)
- half open bak zonder geulen (getij)
- rivier zonder geulen
- getijrivier met rivier invoer
- schematisch estuarium

De definitieve keuzen zullen na de implementatie, en na de eerste ervaringen met het prototype ISTM, in nader overleg met Rijkswaterstaat worden bepaald.

Er zal maximaal één praktijk-toepassing met het prototype worden uitgevoerd en gerapporteerd. De hiervoor benodigde gegevens moeten door de opdrachtgever worden geleverd.

6.3 Go/NoGo advies

Op basis van de ervaringen t.a.v. performance (de prestaties van het model t.a.v. het genereren van realistische transportvelden), rektijden en geheugenbeslag van het prototype inverse model zal een Go/NoGo advies worden gegeven voor fase II.

7 Eindfase produkten

Tijdens de ontwikkeling van het prototype zullen onderstaande eindprodukten worden gerealiseerd. Na voltooiing zijn deze eindprodukten eigendom van de Rijkswaterstaat.

- | | | |
|---|-------------|--|
| 1 | Rapport | : Definitiestudie prototype |
| 2 | Rapport | : Ontwerp prototype |
| 3 | Rapport | : Beknopt testrapport prototype van testcases 1993 |
| 4 | Rapport | : Testrapport prototype testcases 1993-1994 |
| 5 | Software | : FORTRAN77 implementatie van het prototype |
| 6 | Installatie | : Overdracht en training |

De rapporten zullen in het Nederlands zijn. Van het rapport onder 3 zal alleen een concept versie worden gemaakt. Van de rapporten worden van de concept versie drie exemplaren geleverd, en van de definitieve versie worden 10 exemplaren geleverd.

8 Planning ontwerpfase

T.a.v de volgende fase van dit projekt wordt vermeld dat het ontwerp zal worden voltooid binnen 7 weken na de akseptatie van deze definitiestudie door Rijkswaterstaat.

9 Referenties

Waterloopkundig Laboratorium: Offerte voor de bouw van een Invers Sediment-transportmodel. Offerte. Waterloopkundig Laboratorium, Rapport Z632, Delft, Januari 1993.

Waterloopkundig Laboratorium: Handboek voor informatica projecten. deel II, versie 1.00. Waterloopkundig Laboratorium, Maart 1989.

Gelb, A.: Applied Optimal Estimation. The M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1982 (seventh printing).

Maybeck, P.S.: Stochastic Models, Estimation and Control. Vol 1. Academic Press, Orlando, Florida, 1979.

van den Boogaard, H.: Inregelen van wiskundige modellen op basis van besturingstheorie. Rapport Z62.10/z107. Waterloopkundig Laboratorium, Delft, 1988.



hoofdkantoor
Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon (015) 56 93 53
telefax (015) 61 96 74
telex 38176 hydel-nl

locatie 'De Voorst'
Voorsterweg 28, Marknesse
postbus 152
8300 AD Emmeloord
telefoon (05274) 29 22
telefax (05274) 35 73
telex 42290 hylvo-nl

