

**ADMINISTRATIE WATERINFRASTRUCTUUR
EN ZEEWEZEN
DIENST DER KUSTHAVENS**



236469

VLIZ (vzw)
VLAAMS INSTITUUT VOOR DE ZEE
FLANDERS MARINE INSTITUTE
Oostende - Belgium

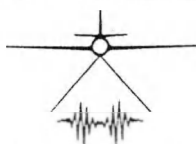
**NATUURRESERVAAT
''HET ZWIN''**

EVOLUTIE TOT AUGUSTUS 1991

Morfologie, hydrodynamica en sedimentologie

**VAKGROEP MORFOLOGIE,
SYSTEMATIEK & ECOLOGIE
LABORATORIUM PLANTKUNDE
K.L. Ledeganckstraat, 35
B - 9000 GENT - België**

BH. 93. 155



EUROSENSE

OOST 91.403



NATUURRESERVAAT "HET ZWIN"

Evolutie tot augustus 1991

Morfologie, hydrodynamica en sedimentologie

MANAGER'S SUMMARY

Dit rapport beschrijft

- de morfologische evolutie van het natuurreservaat "Het Zwin" aan de hand van de differentiële hoogtekarten tussen de meetvluchten van enerzijds 1989 en 1991 en anderzijds 1987 en 1991, en
- de hydrodynamische en sedimentologische metingen van de Zwingeuil die werden verricht in een meetcampagne gedurende 13 uur op 13 augustus 1991.

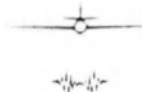
De zich de laatste jaren akuter stellende verzandingsproblematiek vormt de verantwoording voor dit rapport.

1. Morfologische evolutie

De hoogteverschillen van het natuurreservaat "Het Zwin" worden op objectieve wijze beschreven en opgevolgd aan de hand van de differentiële hoogtekarten tussen de meetvluchten van 1987, 1989 en 1991. De kaarten die de evolutie tot 1991 afbeelden zijn in bijlage aan dit rapport gevoegd.

De hoogteverschillen in het mondingsgebied van de Zwingeuil zijn bepaald door de beheerswerken, die hier in het najaar van 1989 en in 1990 werden uitgevoerd. Aan het oostelijke uiteinde van de Belgische duinenrij werd in de eerste helft van 1991 een erosieklif gevormd als gevolg van ondermijning door een meanderbocht van de Zwingeuil. Ook binnen de Zwinvlakte kende de Zwingeuil langs de volledige lengte van haar westelijke flank een verlaging van de topografie, die waarschijnlijk werd geïnduceerd door de verdiepingswerken van 1989. De kreken die uitmonden in het zuidelijk uiteinde van de Zwingeuil, kenden tussen 1989 en 1991 een uitschuring. Deze werd vermoedelijk eveneens op gang gebracht door de verdiepingswerken van de Zwingeuil.

Tussen 1987 en 1991 was de hoogtetoe name in het zuidoostelijk gedeelte van de Zwinvlakte algemeen. De aangroei van dit gebied is vrijwel overal groter dan 0,25 m, en zones met hoogtetoe names van 0,50 en 0,75 m zijn niet uitzonderlijk.



De stijging in hoogte is het meest uitgesproken in het Belgische gedeelte van het zuidoostelijk, niet-toegankelijk gebied. De aangegroeide zones zijn voornamelijk de zandplaten, slikplaten en de arealen van zeekraal en klein schorrekruid. Doch ook het Nederlandse gedeelte, waar eerder zoutmelde en strandkweek worden aangetroffen, kent een beduidende hoogtetoeename.

Er werd een verschil in de tijd opgemerkt in de mate en de plaats van de hoogtetoeename binnen het zuidoostelijk gedeelte van de Zwinvlakte. In de periode 1987-1989 was de stijging in hoogte algemeen in de zand- en slikplaten (de vroegere meertjes "M1" en "M2") en de weinig begroeide, laagste schorre. In de periode 1989-1991 kenden vooral de kreekoevergebieden, die begroeid zijn met zeekraal, klein schorrekruid, gewone zoutmelde en strandkweek, een toename in hoogte. Mogelijk is ook deze verschuiving een gevolg van de uitdiepingswerken van de Zwingeul, waarbij hogere stroomsnelheden in de krekken een aanzanding in de krekken zelf voorkomen.

Ondanks deze ruimtelijke verschuiving bleef de verlanding van het zuidoostelijk gedeelte van de Zwinvlakte, dat via de Zwingeul het meest direkt met de zee in verbinding staat, over de hele periode 1987-1991 doorgaan. Bovendien wordt gevreesd voor een voortzetting van de evolutie van vóór de uitdiepingswerken, aangezien eind 1991 de noordelijke zandvang weer volledig was dichtgezand.

2. Het getij en debiet in de Zwingeul en de komberging van de Zwinvlakte

Bij de meetcampagne van 13 augustus 1991 werden gelijktijdige stroomsnelheidsmetingen, metingen van de waterhoogte en metingen van de suspensiekoncentratie in de waterkolom uitgevoerd over een groot aantal tijdstippen, gespreid over een getijcyclus in een periode van springtij. Aangezien het de bedoeling was om metingen uit te voeren teneinde de inundatie van de Zwinvlakte, met het bijhorende sedimenttransport, op te volgen gedurende deze getijcyclus, werden de metingen toegespitst op twee dwarsraaien ("raai Zuid" en "raai West", zie fig. 3.1) in de toevoer- en drainagegeulen van de Zwinvlakte. Bijkomende hydrodynamische metingen, bij laagwater, in de raai Noord, en topografische opmetingen van het gebied tussen de drie raaien, lieten bovendien toe om, gebruik makend van de continuïteitsvergelijking, de variatie van het debiet en de komberging van de gehele Zwinvlakte te bepalen.

De instroming van zeewater in de Zwinvlakte (vloedfase) gebeurt zeer snel, in ca. anderhalf uur, en gaat, in vergelijking met de ebphase, gepaard met relatief grote stroomsnelheden en sedimentkoncentraties. De pieksnelheden bij vloed worden



ruim een half uur voor lokaal hoogwater bereikt en bedragen gemiddeld 0,43 m/s in de raai West en 0,70 m/s in de raai Zuid. De ebsnelheidspiek treedt op omstreeks anderhalf uur na hoogwater en bedraagt 0,14 m/s (raai West) en 0,27 m/s (raai Zuid).

De variatie van het debiet weerspiegelt dit hydraulisch regime. Een half uur voor hoogwater bedraagt het maximum instromend debiet aan de raai Zuid iets meer dan 100 m³/s, terwijl de uitstromende debieten de 40 m³/s niet overschrijden.

Het totale volume zeewater dat tijdens de ca. anderhalf uur durende instroomfase in de gehele Zwinvlakte werd geborgen bedraagt bijna een half miljoen m³.

■. Overzicht van het sedimenttransport

In vergelijking met de raaien Noord en West treden in de raai Zuid relatief lage suspensiekoncentraties op; vooral de zandkoncentraties liggen beduidend lager. Dit wijst op een netto zandsedimentatie in het gebied van de noordelijke zandvang. Deze konklusie is in overeenstemming met de hierboven beschreven morfologische evolutie van dit gebied.

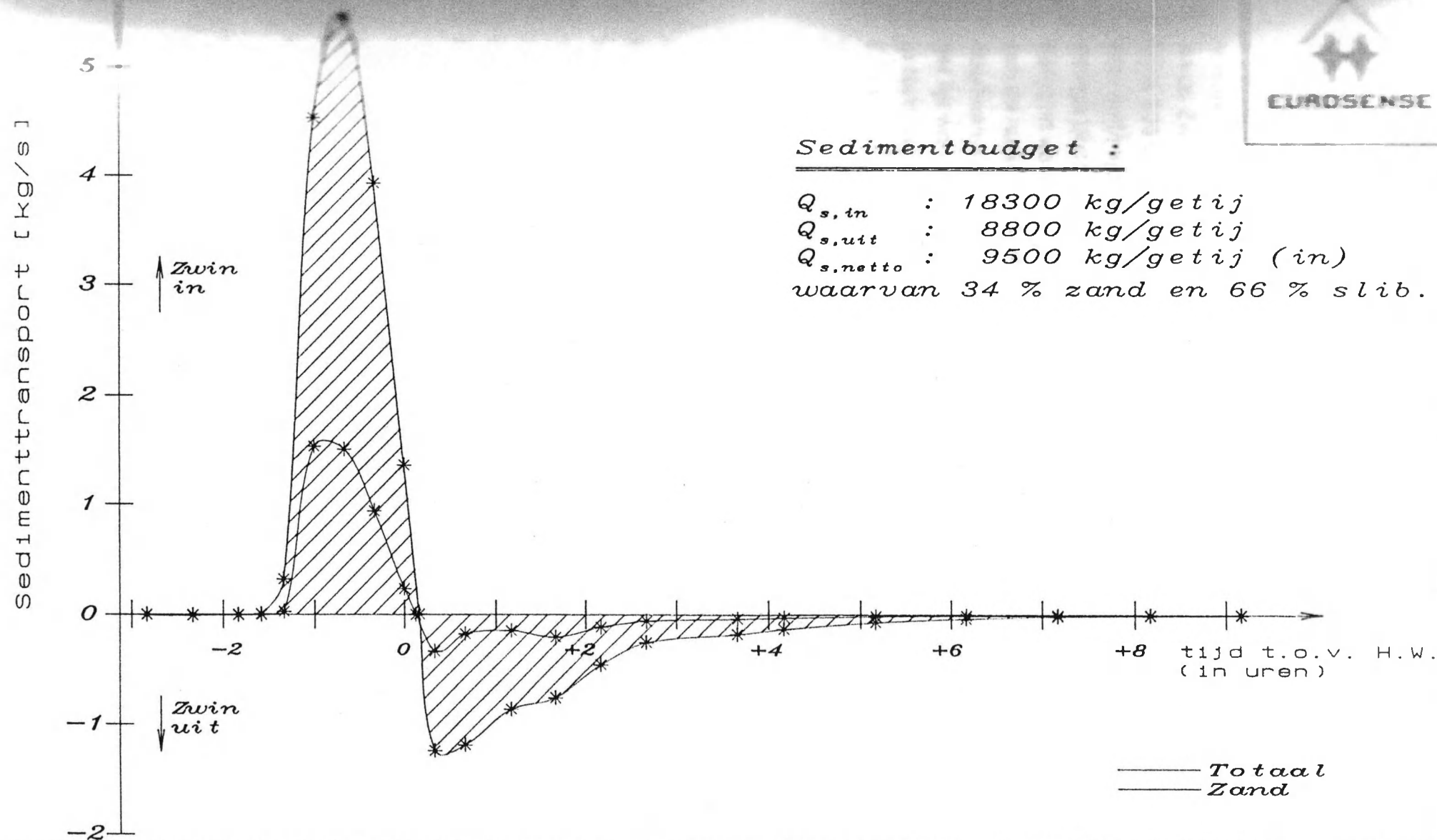
Zowel in de raai Zuid als de raai West is er een netto landwaarts sedimenttransport. In beide meetraaien bedraagt de hoeveelheid binnengekomen sediment meer dan het dubbele dan de hoeveelheid die weer buiten gaat. In de zandfractie is deze verhouding zelfs 3 tot 4. Deze vaststelling geldt ook voor de raai Zuid, ondanks de geringere aanvoer van zand in suspensie.

Deze konklusies betreffende het zwevend sedimenttransport worden aangevuld en bevestigd door de metingen van het getijgeïntegreerd bodemtransport d.m.v. bodemflessen.

De evolutie van het sedimenttransport doorheen de raai Zuid over de gemeten getijcyclus is voorgesteld in fig. 3.11 (deze figuur wordt hierna hernomen). Het landwaarts sedimenttransport gebeurt in de beperkte tijdsspanne van anderhalf uur maar bereikt relatief hoge waarden tot meer dan 5 kg/s. Het aandeel hierin van het zandtransport is ruim een vierde. Door tijdsintegratie van de transportkromme vindt men een totaal landwaarts sedimenttransport van 18.300 kg/getijcyclus in de raai Zuid. Het zeewaarts sedimenttransport is veel minder intens. Het sedimenttransport bij eb duurt wel verschillende uren, maar de intensiteit neemt snel af naar nul. Het totaal zeewaarts sedimenttransport in de raai Zuid bedraagt 8.800 kg/getijcyclus. Er is dus hier een netto overschot van 9.500 kg/getijcyclus.

Sedimentbudget :

$Q_{s,in}$: 18300 kg/getij
 $Q_{s,utt}$: 8800 kg/getij
 $Q_{s,netto}$: 9500 kg/getij (in)
 waarvan 34 % zand en 66 % slib.



Meetcampagne Zwingeul, 13 augustus 1991
 Lokatie Zuid



4. Implicaties van de meetresultaten

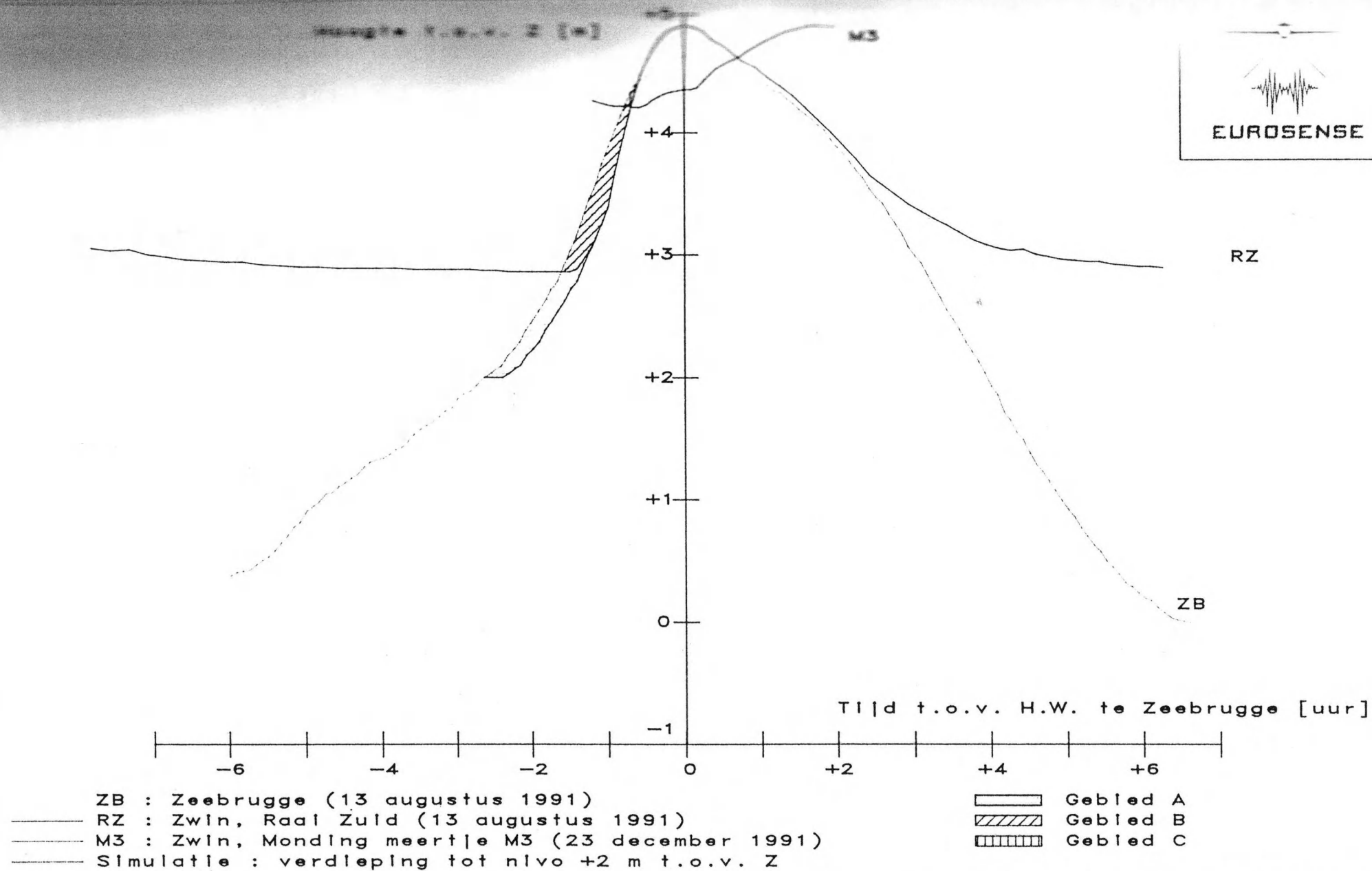
De uitgevoerde metingen onderstrepen duidelijk de problematiek van de verandering van de Zwinvlakte. De natuurlijke aanvoer van zand via het strand en de vooroever wordt, gezien het bestaande regime van de Zwingel, de zandvang en de Zwinvlakte binnengevoerd. De instroming van zeewater bij vloed, waarbij bijna 500.000 m³ water de Zwinvlakte dient te bereiken, gebeurt immers in een zeer korte tijdsspanne en gaat dan ook gepaard met hoge stroomsnelheden. Bij de lage uitstroomsnelheden van de eb fase kan het grofkorrelige zand vrijwel niet in transport worden gebracht. Zelfs ondanks de aanwezigheid van de zandvang tussen de raaien Noord en Zuid is er nog een netto landwaartse aanvoer van zand doorheen de raai Zuid, al mag verondersteld worden dat deze doorvoer veel hoger ligt wanneer de zandvang gevuld is. Dergelijke toestand is vandaag weer ingesteld, vermits de zandvang eind 1991 volledig dichtgesedimenteerd was.

Een structurele oplossing voor de verzandingsproblematiek van het Zwin zal zich dienen te concentreren op enerzijds het verlengen van de instromingsduur of het verminderen van het ingestroomd watervolume, om hierdoor lagere instroomsnelheden te bekomen, en anderzijds het verkorten van de uitstromingsfase of het verhogen van het uitstromend volume, waardoor hogere uitstroomsnelheden worden bereikt. Uit een vergelijking van de getijkrommen op verschillende plaatsen in en bij het Zwin (fig. 3.12, hierna hernomen) blijkt dat men gebruik zou kunnen maken van het verschil in waterstand buiten- en binnengaats ter hoogte van de duinenrij bij het meertje M3, om de Zwinvlakte reeds eerder te laten overstromen dan nu het geval is. Hierdoor zouden zowel lagere instroomsnelheden als hogere uitstroomsnelheden in de Zwingel kunnen worden bekomen.

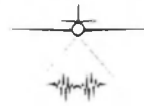
Het in overweging nemen van een dergelijke structurele oplossing veronderstelt een doorgedreven studie van het bestaande getijregime in en rond het Zwin. De in dit rapport weergegeven metingen laten toe om met voldoende nauwkeurigheid getijkrommen te berekenen op plaatsen waar de relatie tussen stroomsekte en waterhoogte is gekend. Een voorbeeld werd uitgewerkt voor het verloop van het getij ter hoogte van de raai Zuid, d.m.v. een expliciet rekenschema dat gebruik maakt van eindige differenties.

5. Besluit

Uit de vergelijking van de meetresultaten van de meetcampagnes van 19 maart en 13 augustus 1991 blijken er vrij grote verschillen in debiet en sedimenttransport te bestaan, die niet alleen aan verschillende seizoens- en weersomstandigheden



Getijkrommen, meetcampagnes Zwin 1991



zijn toe te schrijven, maar ook aan de veranderende morfologische situatie van het Zwingebied. Met het oog op het implementeren van een structurele oplossing is het noodzakelijk bijkomende metingen uit te voeren in het Zwingebied. Enerzijds dient de getijsituatie zeer grondig te worden opgenomen, teneinde de mogelijke alternatieve bergingsfuncties van de Zwinvlakte te kunnen evalueren. Anderzijds dienen ook hydrodynamische en sedimentologische metingen te worden uitgevoerd onder minder gunstige weersomstandigheden, en dit zeker om het hydrodynamisch gedrag in te schatten van een eventuele tweede toevoerweg voor zeewater naar de Zwinvlakte.



NATUURRESERVAAT "HET ZWIN"

Evolutie tot augustus 1991

Morfologie, hydrodynamica en sedimentologie

Inhoudstafel

Manager's summary

1. Inleiding en situering van het meetprogramma in het Zwin.....	1
2. Evolutie van de morfologie van het natuurreservaat "Het Zwin" tussen de opnames van 1987 en 1991	5
2.1. Inleiding	5
2.2. De differentiële hoogtekaart van het Zwin : methodologie	6
2.3. Samenvatting van de morfologische evolutie 1987 - 1989	7
2.4. Bespreking van de differentiële hoogtekaart 1989 - 1991	7
2.5. Meerjarige evolutie van de hoogte van de Zwinvlakte (differentiële hoogtekaart 1987-1991).....	13
2.6. Hoogte-evolutie van de Zwinvlakte sinds 1987 : Besluit	14
3. Meting van hydrodynamische en sedimentologische parameters van de Zwingeul : meetcampagne van 13 augustus 1991	16
3.1. Inleiding	16
3.2. Opzet van de metingen.....	19
Snelheids- en sedimentconcentratiemetingen vanaf een meetvlet.....	19
Snelheids- en concentratiemetingen vanaf een staketsel.....	21
Snelheidsmetingen d.m.v. een laboratoriummolen	23
Kwaliteitszorg bij de metingen en analyse van de stalen	24
3.3. Uitvoering van de meetcampagne	26
Datum en posities.....	26
Analyse van de stalen.....	29
Bodemflessen	30
3.4. Verwerkingswijze van de meetgegevens.....	31
Verwerking van de stroomsnelheidsmetingen	32
Verwerking van de sedimentconcentratiemetingen.....	32
Grafische voorstelling van de snelheids- en concentratiemetingen per dwarsraai.....	33



Berekening van debiet en sedimenttransport	34
Bepaling van de komberging en sedimentbalans van de Zwinvlakte over een volledige getijcyclus.....	35
Verwerking van de metingen met bodemtransport-be- monsteringsflessen.....	36
3.5. Meetresultaten van de meetcampagne van 13 augustus 1991 in de Zwingeu.....	36
3.5.1. Waargenomen getij in de Zwingeu.....	36
3.5.2. Resultaten van de stroomsnelheids- en suspensiekon- centratieingen.....	37
3.5.3. Grafische voorstelling van de meetresultaten per meet- raai	37
Evolutie van de stroming in de raai Noord (fig. 3.4a-i).....	38
Evolutie van stroming en suspensiesediment in de raai West (fig. 3.5a-l).....	39
Evolutie van stroming en suspensiesediment in de raai Zuid (fig. 3.6a-n).....	39
3.5.4. Het geïntegreerd bodemtransport	40
3.5.5. Komberging en sedimentbalans van de Zwinvlakte over een volledige getijcyclus.....	43
3.6. Bespreking van de meetresultaten tegen de achtergrond van de morfologische evolutie van de Zwinvlakte	45
3.7. Samenvatting en besluit	50

1. INLEIDING EN SITUERING VAN HET MEETPROGRAMMA IN HET ZWIN

Dit rapport beschrijft

- de morfologische evolutie van het natuurreservaat "Het Zwin" aan de hand van de differentiële hoogtekaarten tussen de meetvluchten van enerzijds 1989 en 1991 en anderzijds 1987 en 1991, en
- de hydrodynamische en sedimentologische metingen van de Zwingeuil die werden verricht in een meetcampagne gedurende 13 uur op 13 augustus 1991.

De zich de laatste jaren akuter stellende verzandingsproblematiek vormt de verantwoording voor dit rapport.

Sinds verschillende decennia verlegt de monding van de Zwingeuil zich o.i.v. natuurlijke zandtransportprocessen in oostelijke richting. Hierbij hebben zich vanuit het westen twee schoorwallen of strandwallen ontwikkeld op het droogstrand ten westen van de Zwinmond. Deze zandlichamen, die grotendeels gevormd worden onder invloed van het eolisch zandtransport, dat resulterend naar het oosten gericht is, hebben de neiging verder aan te groeien naar het oosten. Beide strandwallen worden aangesneden door de Zwingeuil. Hun snelle aangroei dringt de Zwingeuil van nature oostwaarts. Hierdoor worden de duinen aan de Nederlandse zijde telkenmale bedreigd door duinafslag. Herhaalde malen diende de loop van de geul kunstmatig te worden verlegd in de richting van het Belgisch grondgebied.

Toch is het van groot belang dat de instroming van zeewater bij hoogwater wordt gevrijwaard. De Zwingeuil fungeert immers als inlaat voor de bevoeiing door zeewater van de binnengaats gelegen Zwinvlakte. In deze vlakte, die aan de landwaartse zijde door de zgn. Internationale Dijk is omzoomd, is het internationaal vermaarde natuurreservaat "Het Zwin" gelegen. De Zwingeuil, die grotendeels op Nederlands grondgebied loopt, waarborgt de verbinding tussen het ca. 150 ha grote natuurreservaat en de zee. Deze geul heeft een kronkelig verloop doorheen het natuurgebied, met talrijke vertakkingen die uitmonden in permanente of tijdelijke plassen. De Zwinvlakte vertoont bijgevolg een gevarieerd patroon van slikken,

schorren en lage duintjes. Deze afwisseling, in samenhang met de getijdenwerking, uit zich in een gevarieerd begroeiingspatroon met voornamelijk zoutminnende planten, waaraan Het Zwin zijn internationale bekendheid als natuur- en vogelreservaat te danken heeft.

Sinds enige jaren komt het gebied evenwel steeds meer in de aktualiteit door het probleem van de verzanding. Deze verzanding heeft een verandering tot gevolg van de bodemgesteldheid in grote delen van het reservaat. Door verhoogde zandsedimentatie worden voedselrijke slikgronden overdekt door zandafzettingen met dreigende ingrijpende gevolgen op de vegetatie en de vogelstand.

Ten behoeve van het overleg in de Technische Werkgroep van de Internationale Zwinkommissie, werden in opdracht van de Dienst der Kusthavens topografische en vegetatiekarteringen van het gebied uitgevoerd. De in 1987 opgestelde Zwinvegetatiekaart vormt een belangrijke referentietoestand in het licht van de beheersmaatregelen, die op advies van de Technische Werkgroep werden uitgevoerd om het schorrekarakter en de regelmatige bevoeiing van de Zwinvlakte te behouden. De na 1987 uitgevoerde karteringen laten een objectieve opvolging en evaluatie toe van de evolutie van het Zwingebied.

De beheersmaatregelen, die op advies van de Technische Werkgroep werden uitgevoerd in 1989 en 1990, voorzagen in de volgende ingrepen : de monding van de Zwingeuil op Nederlands grondgebied werd volledig gedicht en de monding werd verlegd in de richting van het Belgisch grondgebied en uitgediept; het droogstrand en de duinen aan de Nederlandse zijde (strandsekties 74 en 75) werden heraangelegd en herbeplant; in de Zwingeuil, landinwaarts van de duinenrij, werd een proefzandvang gegraven. Deze werken hadden tot doel de bevoeiing van de Zwinvlakte te verbeteren en verdere erosie aan het droogstrand en de duinen langs de Nederlandse zijde te voorkomen. De werken werden aangevat in oktober 1989 en waren beëindigd op 2 februari 1990. Na afwerking werden rijshouthagen aangeplant op de herstelde duinen aan de Nederlandse zijde en ook op het droogstrand en aan de duinvoet in de sekties 72 en 73.

In verband met de verzandingsproblematiek van het Zwin, werd door de Dienst der Kusthavens tevens besloten een proef uit te voeren met onderwaterschermen in kunststof. Zulke schermen werden in het najaar van 1990 aangebracht op de vooroever van sektie 72. Weliswaar kennen strand en vooroever in de sekties ten westen van de monding van de Zwingeuil een tamelijk stabiele evolutie in de tijd, maar het wordt in hoge mate waarschijnlijk geacht dat dit gedeelte van de kust een belangrijk transitgebied is voor het zand, dat in de toenemende mate de



Zwingeuil binnendringt. De bedoeling van de proef was precies om de doorgang van zand in de richting van de Zwingeuil af te remmen, en eventueel een onderwaterdrempel te creëren, die de grootste stromingen van de Zwingeuil afbuigt. De morfologische en sedimentdynamische evolutie van het gebied, waarin de onderwaterschermen werden geplaatst, wordt nauwgezet opgevolgd en over de metingen die in dit kader door Eurosense Belfotop N.V. worden uitgevoerd wordt in afzonderlijke rapporten verslag uitgebracht.

Bovendien werden aan de Nederlandse zijde belangrijke infrastructuurwerken uitgevoerd in en nabij het Zwingebied. In de periode najaar 1990-voorjaar 1991 werd de Internationale Dijk op Nederlands grondgebied, die nog niet op Delta-hoogte was gebracht, verzwakt. In het gedeelte zeewaarts van de camping "Zwinhoeve", dat het meest direkt aan golfinslag blootstaat, werd een nieuwe dijk in basaltblokken aangebracht. Voor het overige gedeelte van de Internationale Dijk werd een verzwaring met zand uitgevoerd. Voor de winning van het benodigde zand werd gebruik gemaakt van het materiaal, dat diende weggegraven in de Zwingeuil voor de vernieuwde aanleg van een zandvang. Op het strand in de kustdelen "Zwingeuil" en "Cadzand-West" (Nederlands gedeelte Kievittepolder, tussen de Rijksgrens en de monding van het Uitwateringskanaal) werd bovendien in het najaar van 1990 een strandsuppletie uitgevoerd, waarbij het strandprofiel 1 à 2 m hoger werd aangelegd, en aan de duinvoet een reservevoorraad zand werd aangebracht.

De herstelde duinen werden voorzien van beplantingen met rijshout en helm.

Na de beëindiging van de werken in het mondingsgebied van de Zwingeuil werd afslag genoteerd aan de duinen aan de Belgische zijde. Een kronkel van de geul verplaatste zich steeds meer naar het westen, en enkele tientallen meters duin vielen ten prooi aan erosie. Een metershoge erosiewand was het resultaat. Deze kronkel van de Zwingeuil werd verlaten in de zomer van 1991. De morfologische evolutie in het mondingsgebied wordt verder opgevolgd en besproken in het kader van de aëroteledetektische opvolging van de morfologie van de Oostkust.

Inhoudelijk sluit het onderhavige rapport nauw aan bij het rapport "Natuurreservaat 'Het Zwin'. Evolutie tot maart 1991. Morfologie, hydrodynamica en sedimentologie" (ref. OOST 91.402), waarin verslag werd gegeven van de differentiële hoogtekartaal 1987-1989 op schaal 1/3.000 van het Zwingebied en de hydrodynamische en sedimentologische metingen van de Zwingeuil, verricht in een meetcampagne op 19 maart 1991. De manier waarop die metingen werden uitgevoerd en



verwerkt, werd thans zo getrouw mogelijk gevolgd. Hierdoor zijn de resultaten zeer goed onderling vergelijkbaar.

De beknopte beschrijving van de diverse meettechnieken en verwerkingswijzen werd in dit rapport nogmaals opgenomen, zodat het als een op zichzelf staand rapport kan worden geraadpleegd. Bovendien werden de belangrijkste meetresultaten van het rapport OOST 91.402 hernomen teneinde ze met de nieuwe meetresultaten te vergelijken.



2. EVOLUTIE VAN DE MORFOLOGIE VAN HET NATUURRESERVAAT "HET ZWIN" TUSSEN DE OPNAMES VAN 1987 EN 1991

2.1. INLEIDING

De verzandingsproblematiek van het natuurreservaat "Het Zwin" gaat samen met morfologische veranderingen in en nabij het natuurreservaat. Van nature kent een intergetijdengebied, zoals de vlakte van het Zwin, relatief belangrijke morfologische variaties in de loop van de tijd. Op de natuurlijke evolutie enten zich processen, die rechtstreeks of onrechtstreeks zijn toe te schrijven aan menselijk ingrijpen. Een voorbeeld van dergelijke ingrepen zijn de hierboven beschreven beheersmaatregelen, die in de loop van 1989 en 1990 werden uitgevoerd aan en nabij de Zwingeul.

Teneinde het effect van de natuurlijke en door de mens aangebrachte of geïnduceerde morfologische veranderingen te evalueren, dienen de bevoegde overheden over objectieve instrumenten te beschikken. In dit verband werden op basis van de eerder uitgevoerde topografische karteringen (zie tabel 2.1) differentiële hoogtekaarten en differentiële vegetatiekaarten geproduceerd, die de evolutie beschrijven tussen de verschillende karteringen.

Vlucht nr.	Datum fotovlucht
1	18 april 1987
2	11 juni 1989
3	29 juni 1991

Tabel 2.1. Fotovluchten voor de topografische karteringen op 1/3.000 van het Zwingebied.

De vegetatieverschilkaarten worden opgenomen in het rapport met referentie OOST 91.404. De drie hoogteverschilkaarten die de evolutie tot de meetvlucht van 29 juni 1991 voorstellen, zijn (zonder bespreking) opgenomen in het synthesrapport (referentie OOST 91.401). De hoogteverschilkaart 1987-1989 werd



besproken in het vorige rapport (referentie OOST 91.402), maar de belangrijkste konklusies betreffende de morfologische evolutie worden hieronder herhaald in paragraaf 2.3. In de erop volgende paragraaf worden de differentiële hoogtekaarten 1989-1991 en 1987-1991 besproken.

2.2. DE DIFFERENTIËLE HOOGTEKAART VAN HET ZWIN : METHODOLOGIE

De wijze waarop de differentiële hoogtekaarten van het natuurreserveaat "Het Zwin" tot stand komen, verschilt niet wezenlijk van de produktie van differentiële hoogtekaarten van het strand. Dergelijke kaarten worden geproduceerd ten behoeve van de opvolging van de morfologie van het droogvallend strand en de duinaanzet. Hieronder wordt beknopt de produktiewijze beschreven van de differentiële hoogtekaarten van het Zwin.

Van de forward-motion gekompenseerde, grootschalige registraties op kleurfilm, die bij de aëroteledetektische meetvlucht worden gemaakt, worden bij de fotogrammetrische verwerking hoogtelijnen en bijkomende hoogtepunten gedigitaliseerd. Op basis van deze hoogte-informatie wordt een digitaal terreinmodel (D.T.M.) opgesteld. Het D.T.M. is in wezen een digitale beschrijving van de hoogtegegevens van het bestudeerde gebied. Dit D.T.M. wordt geëvalueerd in een groot aantal punten, die de volledige studiezone met inbegrip van de Zwinvlakte omvatten.

Van de opnamen bij een tweede meetvlucht wordt een gelijkaardig D.T.M. opgesteld, dat in dezelfde punten wordt geëvalueerd. In alle punten wordt het hoogteverschil berekend (hoogte bij tweede meetvlucht - hoogte bij eerste meetvlucht). De hoogteverschillen worden in een kaart op schaal 1/3.000 voorgesteld door kleuren volgens een legende van hoogteverschilklassen. Hierbij stemmen de rode kleuren overeen met erosie (afname in hoogte van het terrein tussen de eerste meetvlucht en de tweede meetvlucht); aangroei (toename in hoogte) wordt voorgesteld in groen. Intensere groen- of roodtinten betekenen dat de mate van aangroei of erosie sterker is.

Voor de legendeklassen werd geopteerd voor een klassebreedte van 0,25 m. Hierdoor kunnen de voornamelijk geringe hoogteverschillen in de Zwinvlakte het voorwerp uitmaken van de differentiële hoogtekaart. De grote hoogteverschillen (b.v. zones op het strand en in de duinen met meer dan een meter afslag) vallen dan ook telkens in de felst groene of rode klasse (hoogteverschil > 0,75 m).



2.3. SAMENVATTING VAN DE MORFOLOGISCHE EVOLUTIE 1987 - 1989

De grootste hoogteverschillen tussen de topografische opnames van 18 april 1987 en 11 juni 1989 situeren zich op het strand, in de zeewerende duinen en vooral in het mondingsgebied van de Zwingel. De hoogteverschillen zijn zowel te wijten aan natuurlijke processen van erosie en sedimentatie, als aan invloeden van de mens (het verleggen van de monding van de geul in Belgische richting, overbetreding met als gevolg verstuing van het duin, ...).

Binnen de grotendeels met vegetatie begroeide Zwinvlakte zijn de hoogteverschillen uiteraard minder uitgesproken en meestal kleiner dan 0,50 m. Bij de interpretatie van de verschillen dient rekening te worden gehouden met de invloed van eventuele verschillen in de dikte van het vegetatiedek. In het zuidoostelijk gedeelte van de Zwinvlakte bevindt zich een belangrijke zone met aangroei, en deze is onafhankelijk van een vegetatiebezetting; het zijn gebieden met kreken, zandplaten en slikplaten. De hoogtetoeename wordt geïnterpreteerd als een morfologisch effect van de verzanding van het gebied. Deze bedraagt hier in de observatieperiode vaak meer dan 0,25 m en lokaal zelfs meer dan 0,50 m.

2.4. BESPREKING VAN DE DIFFERENTIËLE HOOGTEKAART 1989 - 1991

Bij deze bespreking wordt, naast de differentiële hoogtekkaart 1989-1991, die bij dit rapport gevoegd is, tevens gerefereerd aan de vegetatiekaarten 1989 en 1991 van het natuurreservaat "Het Zwin". De bespreking volgt immers de geografische indeling van het gebied (en deze komt het best tot uiting op de vegetatiekaart) in relatie met de vegetatieklassen. Bovendien uiten subtiele verschillen in bodemgesteldheid en hoogte (en dus overstromingsduur en -frequentie) zich in het ruimtelijk verschuiven en wijzigen van vegetatieklassen op het terrein. De theoretische relatie tussen terreinhoogte en vegetatietype wordt toegelicht in de rapporten bij de Zwinvegetatiekaart (zie b.v. rapport OOST 91.400). De kwalitatief vastgestelde hoogteveranderingen vinden echter hun objectieve bevestiging in de differentiële hoogtekkaart, die hieronder wordt besproken.

De hoogteverschillen op het strand zijn typisch verbonden met de verplaatsing van strandruggen en brekerbanken (zie langwerpige kleurzones, evenwijdig met de kustlijn). De dominerende processen van zandverplaatsing zijn het eolisch transport op het droogvallend strand en nabij de duinvoet, en het brandings- en



getijtransport op het bij hoogwater overspoelde gedeelte van het strand. De aangroei langsheen de wandeldijk in het westelijke gedeelte van de kaart is te situeren in gebieden waar helm werd aangeplant. De meerjarige opvolging van de morfologie in dit gedeelte van de Vlaamse kust wijst uit dat tenminste de hogere strandruggen (nabij de duinvoet) wel degelijk aangroeien in oostelijke richting. Dit is b.v. goed merkbaar ter hoogte van de Zwinmonding.

De gordel van zeewerende duinen is op de differentiële hoogtekaart 1989-1991 te herkennen als een ca. 100 m brede strook, parallel met de kustlijn, van talrijke, kleine vlekjes met aangroei en afslag. Deze versnippering houdt verband met het gevarieerde reliëf van de duinen. De hoogte-evolutie laat zich evenwel samenvatten in enkele hoofdtendensen.

De zones waar rijshouthagen werden aangeplant, kennen bijna zonder uitzondering een toename in hoogte; rond de hagen zelf soms tot meer dan 0,75 m.

Het grootste gedeelte van de zeewerende duinen op Belgisch grondgebied is vrij toegankelijk voor het publiek. Betreding leidt vaak tot degradatie en zelfs afsterven van de aanwezige vegetatie. Uit de kartering van de zeewerende duinengordel, die op regelmatige basis wordt uitgevoerd, blijkt meermaals dat plaatsen, waar de vegetatie door deze of andere oorzaken achteruit gaat of verdwijnt, aan erosie ten gevolge van verstuiving onderhevig zijn. Voor vele van de vlekjes met hoogte-afname (vaak van een meter of meer) op de differentiële hoogtekaart 1989-1991 ligt een dergelijke verstuiving aan de basis van de hoogte-afname. Vergelijkt men de differentiële hoogtekaart met de vegetatiekaart 1991, dan stelt men vast dat bijna alle erosie-gebiedjes overeenstemmen met kale zandplekken. Bij de grotere erosiegebiedjes stelt men vaak een aangroeigebiedje vast ten zuiden of ten zuidoosten van het verstoven gedeelte. Hier werd het verstoven zand afgezet.

Over het geheel genomen domineert in de Belgische duinen de erosie. Uiteindelijk ligt overbetreding waarschijnlijk aan de basis van de bodemverlaging.

Een uitzondering hierop vormt het gebied rond de duinvoet op het strand ten westen van de monding van de Zwingeu. Hier werden na de beëindiging van de werken aan de Zwingeu, dus na 2 februari 1990, strandhagen aangeplant om de eolische aanvoer van zand in de richting van de Zwingeu zoveel mogelijk te reduceren. Er werden 1250 m strandhagen aangebracht, en deze beplantingen werden bovendien nog aangevuld met 2.500 m strandhagen in het kader van het



onderhoud domeinduinen. Op de differentiële hoogtekaart 1989-1991 is een belangrijke hoogtetoename te merken in de zeewaartse strook van dit gebied.

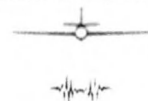
In de duinen op Nederlands grondgebied overheerst hoogtetoename. Dit gedeelte is grotendeels begroeid met een open tot gesloten helmvegetatie en struweel. Het gebied is voor het grootste gedeelte ontoegankelijk.

Het westelijke uiteinde van de duinen op Nederlands grondgebied is gevoelig in hoogte toegenomen. De hoogtetoename bedraagt tot meer dan 5 m. Deze aanwas werd gekreëerd bij de werken die in het mondingsgebied van de Zwingeuil werden uitgevoerd in 1989-1990. Hierbij werden de voorheen geerodeerde duinen van het strand te Sluis en Cadzand weer aangelegd met zand, afkomstig uit de vergraving van de Zwingeuil en de aanleg van de zandvang (zie hieronder). In het totaal werden aldus 148.610 m³ zand in ophoging tegen het eerste duin van Cadzand aangelegd, zodat de zeeduinreep met een nieuw aangelegde zandbuffer en duinhaak werd versterkt. Op de differentiële hoogtekaart 1989-1991 ziet men de precieze verbreiding van het heraangelegde duinmassief. De aanvullingen werden vastgelegd door het planten van strandhagen (1.800 m) en duinhelm (170 a).

Sinds verschillende jaren heeft de monding van de Zwingeuil de neiging zich oostwaarts te verleggen, o.i.v. het langstransport dat zand aanvoert vanuit het westen. Vanuit de strandsekties op Belgisch grondgebied groeiden één of twee strandwallen ("spits") naar het oosten. De monding van de geul werd hierdoor naar het oosten gedrongen. Aldus ondermijnde de geul op den duur de duinen aan de Nederlandse zijde. Reeds herhaalde malen diende de loop van de monding d.m.v. graafwerken herlegd te worden in Belgische richting. Tussen de opnames van 1989 en 1991 werd een dergelijke verlegging uitgevoerd in het najaar van 1989, in het kader van de ingrepen die op advies van de Technische Werkgroep van de Internationale Zwincommissie werden verricht.

Hierbij werd een geul gegraven tot op het peil TAW + 1,00 m met een breedte van minimum 30 m. Bij de graafwerken aan de geulmonding werden 37.387 m³ zand uitgegraven. Tegelijkertijd werd een gedeelte van aanwezige bunkerresten weggeruimd en verwerkt in het dichtstbijzijnd strandhoofd op Belgisch grondgebied.

Bovendien werd de Zwingeuil binnen de Zwinvlakte verdiept. Hierbij werd het noordelijke gedeelte van de geul uitgediept tot het peil TAW +2,00 m en het zuidelijke gedeelte tot het peil TAW +0,00 m. De bodembreedte van de geul werd



op 15 m gebracht. Deze breedte werd op bepaalde plaatsen in het zuidelijke gedeelte verminderd om de schorren niet aan te tasten. De uitgravingen beliepen 78.464 m³.

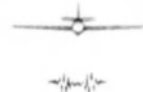
Tevens werd een proefzandvang uitgegraven in het noordelijke deel van de Zwinggeul, maar nog landwaarts van de duinenrij. Deze put werd uitgediept tot het peil TAW -2,00 m, en bij deze werken werden 32.759 m³ zand uitgegraven.

Deze proefzandvang heeft zich zeer snel bijna volledig opgevuld. Deze aanzanding is versneld gebeurd bij de stormen van 15 februari 1990 tot 2 maart 1990, die, meer dan de stormperiode van januari, gekenmerkt was door hoge waterstanden en aanlandige winden. Wegens de zeer snelle opvulling was het nodig de zandvang opnieuw te ledigen en haar hierbij een zo groot mogelijke capaciteit te geven. Een dergelijk onderhoud van de zandvang werd voor de eerste maal uitgevoerd in het kader van de verzwarende van de Internationale Dijk op Nederlands grondgebied. Bij deze werken werd het zand, nodig voor de Zwindijk, onttrokken aan de volgezande zandvang in de Zwinggeul. Overeenkomstig de besteksbepalingen werd het grootste gedeelte van de benodigde 88.000 m³ zand onttrokken uit de noordelijke zandvang, op de lokatie van de proefzandvang, en het overige zand werd gewonnen in een meer zuidelijk in de Zwinggeul gelegen put. Deze werken werden uitgevoerd in de periode 1 oktober 1990 - 15 maart 1991.

Men ziet het effect van de hierboven beschreven werken op de verschilkaart 1989-1991. Op deze kaart is de hydrografische toestand (de ligging van geulen en kreken) van juni 1991 ingetekend, en hierbij werd de grens van de zee en de Zwinggeul in haar mondingsgebied bepaald door de hoogtelijn van 3,0 m.

In het mondingsgebied van de Zwinggeul, ter hoogte van het strand, is de verlagging in hoogte aan de westzijde van de geul toe te schrijven aan de afgravingswerken van eind 1989, waarbij de geulmonding in de richting van België werd verlegd. Na de beëindiging van de werken groeide de zandrug op het droogstrand van het Belgische gedeelte weer oostwaarts aan, en hierdoor is de geul inmiddels alweer in Nederlandse richting verschoven.

De Zwinggeulmonding kent een meanderend verloop. Ter hoogte van de doorgang door de duinengordel heeft een bocht van de Zwinggeul zich in de eerste helft van 1991 in Belgische richting verplaatst. Hierbij werden de duinen aan de Belgische zijde aangetast. Op deze plaats werd het duin door de geul ondergraven en ging ca. 50 m duin verloren. In het duin werd een metershoge verticale erosiewand gevormd, waarbij er opnieuw bunkerresten aan de dag kwamen. Vanaf de



zomer van 1991 verlegde de as van de Zwingeuil zich evenwel naar het oosten, en aldus kwam er vanzelf een einde aan de duinerosie aan de Belgische zijde van de geul. De kronkel van de geul onder het geërodeerde duin werd in het najaar van 1991 enkel nog gevuld bij hoogwater.

Op de differentiële hoogtekaart 1989-1991 geven twee verbredingen van de Zwingeuil de positie weer van de vernieuwde zandvangputten. De grootste, noordelijke put ligt ten westen van de versterkte dijkvoet en ten zuiden van het nieuw aangelegde duinmassief op Nederlands grondgebied. Het grootste gedeelte van deze put was medio 1991 alweer opgevuld met zand. T.o.v. de toestand in 1989 is er echter nog een hoogte-afname. De zuidelijke zandvang ligt ten zuiden van de versterkte dijkvoet. Deze was bij de topografische kartering van juni 1991 nog geheel met water gevuld.

Voor het overige is de bedding van de Zwingeuil wat breder geworden t.o.v. de situatie van 1989, mogelijk als gevolg van de uitdiepingswerken. Vooral aan de westelijke oever is de bodemverlaging opvallend.

Ook opwaarts, binnen de eigenlijke Zwijnvlakte, kenden de voornaamste krekken die uitmonden in de Zwingeuil, een uitdieping tussen 1989 en 1991. In het zuidoostelijk gebied, waar deze krekken zich samenvoegen in de Zwingeuil, is de hoogteverlaging in het beddingsgebied van de krekken van de orde 0,25 - 0,50 m. Deze evolutie is tegengesteld aan de evolutie tussen 1987 en 1989, en kan worden geïnterpreteerd als een gunstig effect van de werken, uitgevoerd aan de Zwingeuil zelf in het najaar van 1989 en in 1990.

Toch overheerst vooral in het zuiden en oosten van de Zwijnvlakte nog steeds een toename in hoogte. In tegenstelling tot de evolutie tussen 1987 en 1989, waarbij de hoogtetoename voornamelijk in de kreekbeddingen, de zandplaten en slikplaten was te situeren, groeiden tussen 1989 en 1991 in hoofdzaak de oevergebieden, net buiten en naast de voormelde platen en kreekbeddingen. Een mogelijke verklaring voor deze aangroei is het proces, waardoor ook bij rivieren in het binnenland oeverwallen worden gevormd. De oevergebieden van de krekken komen enkel bij hoogwater blank te staan. Het sediment, aangevoerd via de krekken, zet zich dan buiten de krekken af omdat de stroomsnelheid in het onderlopend oevergebied beduidend lager is dan in de kreek. Hierbij zet het grofste sediment, het zand, zich het dichtst bij de krekken af. Een hoogtetoename van de oevergebieden is hiervan het gevolg.

De hoogtestijging van de oevergebieden in het zuidoostelijk gedeelte van de Zwinvlakte is van de grootteorde van 0,25 m, maar bedraagt lokaal meer dan 0,50 m.

Er werd nagegaan of deze hoogtetoeename niet toe te schrijven zou zijn aan verschillen in de hoogte van het vegetatiedek bij de twee vergeleken karteringen. De oevergebieden zijn immers dicht begroeid. Er worden vooral zoutmelde- en strandkweek-associaties aangetroffen. In dit verband dient nogmaals te worden gewezen op de invloed van het vegetatiedek. Hierbij zijn verschillen in fenologie (uitzicht en hoogte van de individuele plant in functie van het groeiseizoen) en toevallige omstandigheden (maaien, begrazen, legeren, ...) minstens even belangrijk als verschillen te wijten aan de plantesoort.

De meeste soorten zijn eenjarig, d.w.z. dat ze elke zomer opnieuw een maximale hoogte bereiken zonder netto aangroei. Obione of gewone zoutmelde is een doorlevende plant, die evenwel de hoogte van ca. 50 cm niet overtreft.

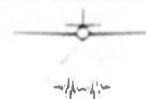
De invloed van soortenvariatie op de waargenomen hoogte van het terrein is niet al te groot, zoals blijkt uit de onderstaande tabel, waarin de gemiddelde hoogte is vermeld die typische Zwinplanten halen. Alleen de slechts lokaal voorkomende soorten zoals Engels slijkgras of strand- en spiesbladmelde steken boven het gemiddelde uit.

Soort	Hoogte in cm
Zeekraal	10 - 40
Klein schorrekruid	10 - 50
Engels slijkgras	20 - 100
Kweldergras	10 - 50*
Gewone zoutmelde	20 - 50
Lamsoor	15 - 40
Zeeaster	20 - 50
Strandkweek	30 - 100**
Strand- en spiesbladmelde	30 - 90

Tabel 2.2. Gemiddelde hoogte die enkele frekwente soorten van de Zwinvlakte bereiken.

*In het natuurreservaat wordt kweldergras sterk begraasd door ganzen en konijnen; de maximum hoogte wordt meestal niet bereikt.

**De hoogte van strandkweek is dikwijls lager als gevolg van plattreden, legeren of maaien.



De hypothese als zouden enkel verschillen in ontwikkelingshoogte van de plantengroei de hoogtetoename in de kreekoevergebieden van het zuidoostelijk gedeelte van de Zwinvlakte verklaren, dient echter verworpen te worden op grond van de volgende argumenten :

- de fotogrammetrische opnamen van 1989 hadden op 11 juni en deze van 1991 op 29 juni plaats. Een mogelijk voorsprong in de ontwikkeling van de vegetatie met 18 dagen in 1991 dient gerelativeerd, aangezien het late voorjaar van 1991 uitzonderlijk fris weer kende, waarbij de ontwikkeling van de plantengroei een beduidende achterstand opliep;
- gebieden in het zuidoostelijke gedeelte van de Zwinvlakte met dezelfde vegetatie-associaties, maar verder van de kreekoevers gelegen, kenden geen of bijna geen hoogtetoename tussen 1989 en 1991;
- hetzelfde geldt voor gebieden buiten het zuidoostelijke gedeelte van de Zwinvlakte, maar met dezelfde vegetatietypes; ook deze kenden geen hoogtetoename. De bevoeiing van de Zwinvlakte bij hoogwater vertrekt immers vanuit het zuidoostelijk gedeelte van de vlakte, vanwaar de Zwingel rechtstreeks met de zee verbonden is.

Men komt derhalve tot de konklusie dat de hoogtetoename van de kreekoevergebieden in het zuidoostelijke gedeelte van de Zwinvlakte toe te schrijven is aan een netto sedimentatie tussen 1989 en 1991.

In het centrale, noordelijke en oostelijke gedeelte van de Zwinvlakte is nagenoeg geen verandering in hoogte opgetreden tussen 1989 en 1991.

2.5. MEERJARIGE EVOLUTIE VAN DE HOOGTE VAN DE ZWINVLAKTE (DIFFERENTIËLE HOOGTEKAART 1987-1991)

Wat betreft de morfologische evolutie van strand en duinen toont de differentiële hoogtekaart 1987-1991 dezelfde trends als waargenomen tussen 1987 en 1989, en tussen 1989 en 1991. Bij de herstelde duinen aan de Nederlandse zijde van de Zwingel valt op dat aan de rand van het "oude" duinenmassief het volume van 1987 niet is hersteld, terwijl het droogstrand en de "nieuwe", lage duinen die in 1989 omheen het oude duinenuiteinde in ophoging werden aangelegd wél een belangrijke netto-hoogtetoename betekenen.



De westzijde van de Zwingeuil vertoont over haar volledige lengte erosie. De erosie was het meest intens ter hoogte van het uiteinde van de Belgische duinenrij.

De differentiële hoogtekaart 1987-1991 toont aan dat de hoogtetoeename in het zuidoostelijk gedeelte van de Zwinvlakte algemeen is. De aangroei van dit gebied is vrijwel overal groter dan 0,25 m, en zones met hoogtetoeenames van 0,50 en 0,75 m zijn niet uitzonderlijk.

De stijging in hoogte is het meest uitgesproken in het Belgische gedeelte van het zuidoostelijk, niet-toegankelijk gebied. De aangegroeide zones zijn voornamelijk de zandplaten, slikplaten en de arealen van zeekraal en klein schorrekruid. Doch ook het Nederlandse gedeelte, waar eerder zoutmelde en strandkweek worden aangetroffen, kent een beduidende hoogtetoeename.

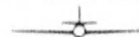
De intensiteit van de hoogtetoeename neemt af vanuit het zuidoostelijk gedeelte van de Zwinvlakte, dat via de Zwingeuil het meest direkt met de zee in verbinding staat. Het centrale gedeelte van de Zwinvlakte kent geen belangrijke hoogteverschillen tussen 1987 en 1991, en in het westelijke niet-toegankelijke gebied zijn zelfs enkele lokale zones met een geringe daling in hoogte op te merken.

2.6. HOOGTE-EVOLUTIE VAN DE ZWINVLAKTE SINDS 1987 : BESLUIT

De hoogteverschillen van het natuurreserveaat "Het Zwin" worden op objectieve wijze beschreven en opgevolgd aan de hand van de differentiële hoogtekaarten tussen de meetvluchten van 1987, 1989 en 1991.

In het mondingsgebied van de Zwingeuil worden de hoogteverschillen bepaald door de beheerswerken, die hier in het najaar van 1989 en in 1990 werden uitgevoerd. Aan het uiteinde van de Belgische duinenrij werd in de eerste helft van 1991 een erosieklif gevormd als gevolg van ondermijning door een meanderbocht van de Zwingeuil. Ook binnen de Zwinvlakte kende de Zwingeuil langs de volledige lengte van haar westelijke flank een verlaging van de topografie, die waarschijnlijk werd geïnduceerd door de verdiepingswerken van 1989. De krekten die uitmonden in het zuidelijk uiteinde van de Zwingeuil, kenden tussen 1989 en 1991 een uitschuring. Deze werd vermoedelijk eveneens op gang gebracht door de verdiepingswerken van de Zwingeuil.

Tussen 1987 en 1991 is de hoogtetoeename in het zuidoostelijk gedeelte van de Zwinvlakte algemeen. De aangroei van dit gebied is vrijwel overal groter dan 0,25 m, en zones met hoogtetoeenames van 0,50 en 0,75 m zijn niet uitzonderlijk.



De stijging in hoogte is het meest uitgesproken in het Belgische gedeelte van het zuidoostelijk, niet-toegankelijk gebied. De aangegroeide zones zijn voornamelijk de zandplaten, slikplaten en de arealen van zeekraal en klein schorrekruid. Doch ook het Nederlandse gedeelte, waar eerder zoutmelde en strandkweek worden aangetroffen, kent een beduidende hoogtetoename.

Er werd een verschil in de tijd opgemerkt in de mate en de plaats van de hoogtetoename binnen het zuidoostelijk gedeelte van de Zwinvlakte. In de periode 1987-1989 was de stijging in hoogte algemeen in de zand- en slikplaten (de vroegere meertjes "M1" en "M2") en de weinig begroeide, laagste schorre. In de periode 1989-1991 kenden vooral de kreekoevergebieden, die begroeid zijn met zeekraal, klein schorrekruid, gewone zoutmelde en strandkweek, een toename in hoogte. Mogelijk is ook deze verschuiving een gevolg van de uitdiepingswerken van de Zwingeu, waarbij hogere stroomsnelheden in de krekken een aanzanding in de krekken zelf voorkomen.

Ondanks deze ruimtelijke verschuiving bleef de verlanding van het zuidoostelijk gedeelte van de Zwinvlakte, dat via de Zwingeu het meest direkt met de zee in verbinding staat, over de hele periode 1987-1991 doorgaan.



3. METING VAN HYDRODYNAMISCHE EN SEDIMENTOLOGISCHE PARAMETERS VAN DE ZWINGEUL : MEETCAMPAGNE VAN 13 AUGUSTUS 1991

3.1. INLEIDING

Op 19 maart 1991 werden volgens twee raaien loodrecht op de Zwingeul sediment- en watersnelheidsmetingen uitgevoerd. De "raai Noord" bevond zich ter hoogte van de doorsteek van de Zwingeul door het droogstrand; de "raai Zuid" was gelegen in het geulgedeelte tussen de noordelijke en zuidelijke zandvang, ter hoogte van de camping "Zwinhoeve". Er werden op diverse meetpunten van de raaien gelijktijdig stroomsnelheidsmetingen, metingen van de waterhoogte en metingen van de suspensiekoncentratie in de waterkolom uitgevoerd. Bovendien werden metingen uitgevoerd voor het bepalen van het integraal land- en zee- waarts bodemtransport over een periode van twee getijcycli. Uit deze metingen bleken de volgende konklusies.

Zowel op de meetraai Noord als Zuid werden de maximaal waargenomen stroomsnelheden geregistreerd onmiddellijk bij het opkomen van het water in de geul. Ruim een uur na de vloed-snelheidspiek viel de stroming vrijwel op nul; dat was het ogenblik van de kentering. De snelheden van de ebstroom bleven merkbaar lager dan deze waargenomen bij vloed. De snelheidsmetingen in de raai Noord toonden een momentane ruimtelijke variatie, die in verband werd gebracht met de complexe morfologie van de Zwingeul. In dat opzicht leende de lokatie Zuid zich beter voor het uitvoeren van snelheidsmetingen.

De suspensiekoncentraties varieerden in de tijd (hogere concentraties werden waargenomen bij hogere watersnelheden), maar de analyse van de waterstalen toonde een merkwaardige homogeniteit van de suspensiekoncentraties op een gegeven tijdstip. Hierbij aansluitend werd opgemerkt dat de zandfractie, die bij de metingen 5 tot 15 % uitmaakte van het in de waterstalen aanwezige sediment, eveneens vrijwel homogeen aanwezig was over de waterkolom.

Op vergelijkbare tijdstippen, zijn zowel debiet, stroomsekte, gemiddelde stroomsnelheid als totaal sedimenttransport groter in de meetraai Noord dan in de meet-



raai Zuid. De waarden voor het gemiddeld sedimenttransport (sedimenttransport per m² dwarssectie) en de gemiddelde sedimentconcentratie zijn echter vergelijkbaar.

Het bodemtransport was groter in het midden van de Zwingeul, dan in de sekundaire geulen langs de rand van de bedding. Hierbij wees de granulometrische analyse van het in de bezinkingsflessen opgevangen sediment uit dat het materiaal grofkorreliger is wanneer het bodemtransport groter is. Op de punten waar het bodemtransport werd gemeten, kwam er via bodemtransport meer sediment het Zwin binnen dan dat er uitging, en het landwaarts verplaatste sediment was zandiger dan dat van het zeewaartse transport.

Bovendien werd gesteld dat latere meetcampagnes in de Zwingeul rekening dienen te houden met deze aanbevelingen :

- stroomsnelheids- en suspensiekoncentratiemetingen ten behoeve van het bepalen van debiet en totaal sedimenttransport worden het best uitgevoerd ter hoogte van de meetraai Zuid, waar de Zwingeul een rechtlijnig verloop heeft met een relatief gelijkmatige beddingsmorfologie;
- een groter aantal volledige raaimetingen, in de tijd gespreid over een getijcyclus, laten toe om een sedimentbudget op te stellen voor de Zwingeul.

Bij het opzetten van de meetcampagne van 13 augustus 1991 werd hiermee rekening gehouden. Er werden gelijktijdige stroomsnelheidsmetingen, metingen van de waterhoogte en metingen van de suspensiekoncentratie in de waterkolom uitgevoerd over een groot aantal tijdstippen, gespreid over een getijcyclus. De metingen werden toegespitst op een dwarsraai in het rechtlijnige Zwingeulgedeelte tussen de zuidelijke en de noordelijke zandvang, ter hoogte van de camping "Zwinhoeve". Deze meetraai, in de bespreking hieronder aangeduid als "raai Zuid" of "lokatie Zuid", is vrijwel op dezelfde plaats gelegen als de "raai Zuid" van 19 maart 1991 (zie ligging van de meetraaien in fig. 3.1). Aangezien hier bij laagwater vrijwel geen water- en sedimentbewegingen optreden, werden de metingen gekoncentreerd rond hoogwater.

De metingen werden gelijktijdig uitgevoerd op verschillende meetvertikalen, met behulp van "staketsels" en lichte meetvletten, grotendeels op de wijze zoals beschreven in het rapport "Evaluatiestudie 'Stabilisatie van het onderwaterstrand d.m.v. verticale kunststofdoeken'. Knokke-Zoute en Zwin. Beginsituatie Voorjaar 1990" (ref. SCHERMEN 91.001)).

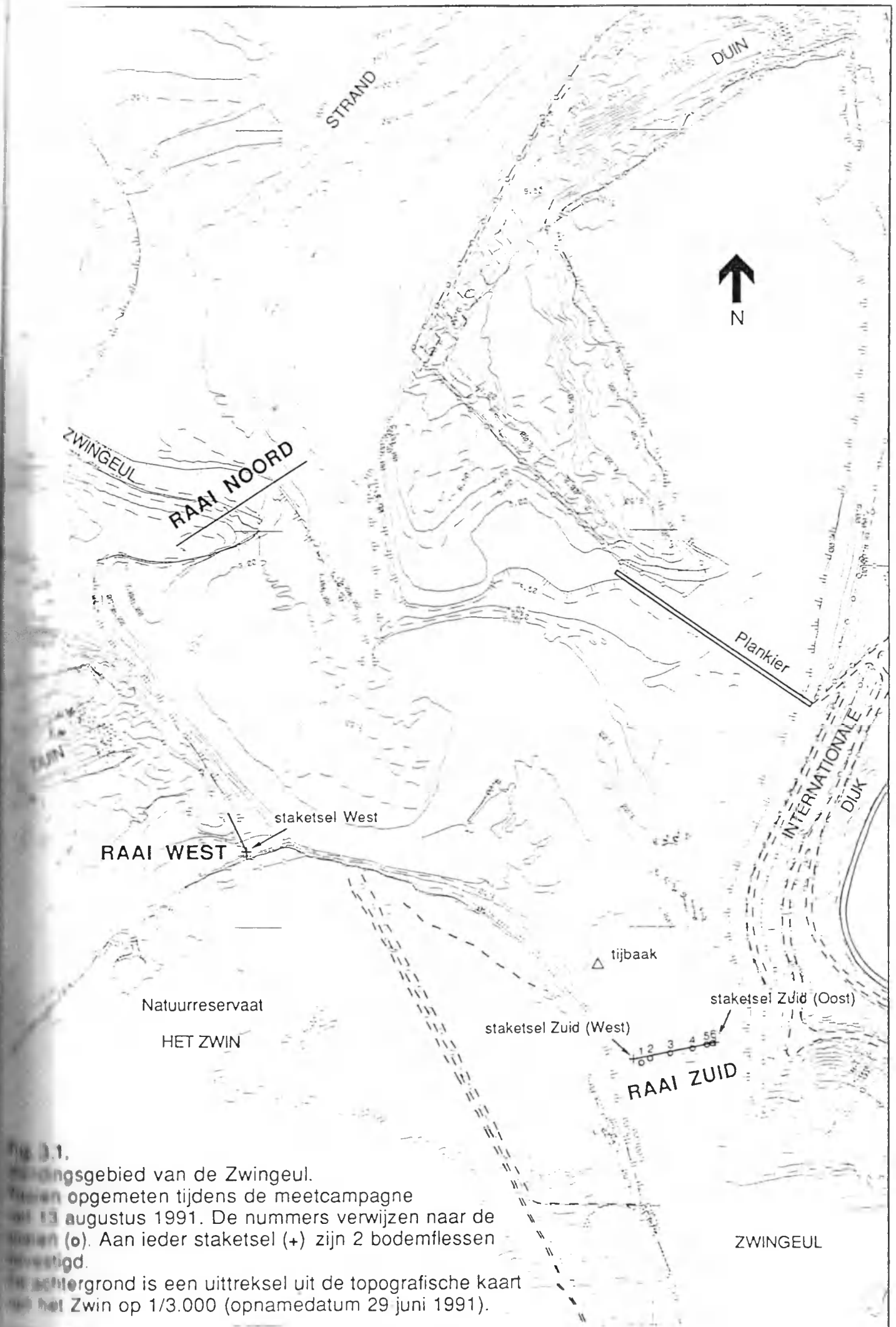


fig 3.1.
 gebied van de Zwingeel.
 opgemeten tijdens de meetcampagne
 op 13 augustus 1991. De nummers verwijzen naar de
 punten (o). Aan ieder staketsel (+) zijn 2 bodemflessen
 geplaatst.
 De achtergrond is een uittreksel uit de topografische kaart
 van het Zwin op 1/3.000 (opnamedatum 29 juni 1991).



Niet al het zeewater dat via de monding van de Zwingeul de Zwinvlakte binnenstroomt passeert ook door de raai Zuid. Daarom werden gelijkaardige metingen verricht in de "raai West", waardoor het mogelijk werd de evolutie van de bevoeiing met zeewater, met het bijhorend sedimenttransport, voor de Zwinvlakte over een volledige getijcyclus in een periode van springtij op te volgen.

Bovencien werden bijkomende metingen uitgevoerd in de "raai Noord", aan de monding van de Zwingeul, waar enkel bij laagwater werd gemeten. Op de meetdag, 13 augustus 1991, was de geulbedding zeer smal, waardoor vooral bij binnenkomende vloed hoge stroomsnelheden optreden. Bovendien is het wateroppervlak er t.g.v. de binnenkomende deining juist op dat ogenblik het woeligst. Verder is gebleken dat de morfologie van de bedding op deze plaats zelfs veranderingen ondergaat binnen het tijdsbestek van de metingen zelf. Mede om deze redenen werden er ter hoogte van de "raai Noord" enkel metingen uitgevoerd bij laagwater. Toch werd er bij de meetcampagne van 13 augustus 1991 in voorzien dat het debiet in functie van de tijd ook ter hoogte van de geulmonding kon worden bepaald. Hierbij werd gebruik gemaakt van de continuïteitswet

$$\sum Q + \frac{dV}{dt} = 0$$

die op ieder ogenblik geldt voor een bepaald reservoir met volume V . Beschouwt men als het reservoir het noordoostelijk gedeelte van de Zwinvlakte, nl. het gebied gelegen tussen de raaien Noord, West en Zuid en verder omsloten aan de Nederlandse zijde door de duinen en de Internationale Dijk (zie fig. 3.1). Er zijn drie mogelijke in- en uitstroomgeulen, nl. ter hoogte van raai Noord, raai West en raai Zuid. Uit de continuïteitsvoorwaarde volgt nu dat men het debiet Q in een van deze raaien kan berekenen als men het debiet in de twee andere raaien meet en als men de verandering van het bergingsvolume in het reservoir, dV/dt , kent.

Daarom behelsden de terreinmetingen ook het nemen van bijkomende meetpunten m.b.v. een topografische meetploeg. Deze werden genomen op de dag van de meetcampagne, en dienden voornamelijk om de komberging te bepalen van het noordoostelijke gedeelte van de Zwinvlakte, waarin o.a. de noordelijke zandvang is gelegen. Het zeewater dat via de monding de Zwingeul binnenstroomt, vult immers eerst dit laagstgelegen gedeelte van de Zwinvlakte, voor het zeewater in grote volumes door de raai Zuid begint te stromen. Dankzij de metingen van het waterpeil, gedurende de gehele meetcampagne uitgevoerd, kan dan ook de evolutie van de komberging van dit "reservoir" in de tijd worden berekend.



In dit hoofdstuk wordt eerst de opzet beschreven van de metingen, uitgevoerd in de campagne van 13 augustus 1991, dan de wijze waarop de metingen werden verwerkt, en tenslotte volgt de bespreking van de meetresultaten.

3.2. OPZET VAN DE METINGEN

De metingen uitgevoerd in de Zwingel op 13 augustus hadden betrekking op de volgende parameters :

- de topografie ter hoogte van de meetraaien ("raai Noord", "raai West" en "raai Zuid", zie fig. 3.1) en van het noordoostelijke, laagstgelegen deel van de Zwinvlakte;
- de waterhoogte in functie van de tijd, ter hoogte van raai Zuid;
- de verdeling van de stroomsnelheid op welbepaalde tijdstippen van het getij in de meetraaien (in de raaien West en Zuid bij opkomend water en hoogwater, in de raai Noord bij laagwater);
- de verdeling van de suspensiekoncentratie op dezelfde tijdstippen in de meetraaien (in de raaien West en Zuid bij opkomend water en hoogwater);
- het geïntegreerd land- en zeewaarts bodemtransport op enkele welbepaalde punten in de meetraaien West en Zuid.

De topografie werd ingemeten tijdens het laagwater dat de andere metingen voorafging (foto 3.A). De waterhoogte werd bepaald d.m.v. een tijbaak. Alle topografische informatie werd opgemeten en verwerkt in het nationale Lambert '72 ruilenet en de hoogten zijn weergegeven t.o.v. Z van Bruggen en Wegen¹.

Voor het meten van de snelheids- en sedimentkoncentratieverdeling over de verticale, werd gebruik gemaakt van twee verschillende werkwijzen, namelijk vanaf een meetvlet en vanaf een staketsel. Bovendien werden er in ondiep water bijkomende snelheidsmetingen uitgevoerd vanaf een draagbaar statief met een laboratoriummolen (foto 3.B).

Snelheids- en sedimentkoncentratiemetingen vanaf een meetvlet

Voor de meetpunten van de intensief opgemeten raai Zuid werden de snelheids- en sedimentkoncentratiemetingen verricht vanaf twee meetvletten. Omwille van de geringe diepgang dienden Zodiacs ingezet te worden. Op de Zodiacs werd een balkconstructie gemonteerd met een lier en een kleine pomp. Op de lokatie

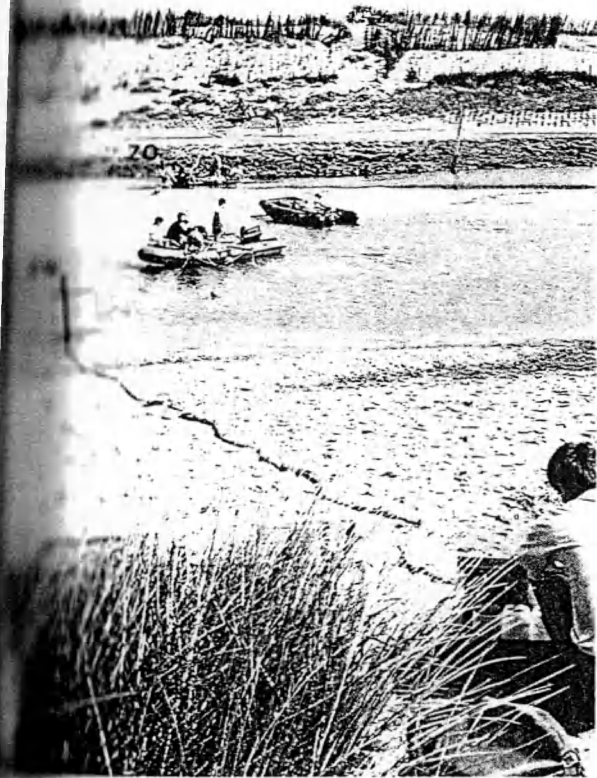
¹ (hoogte t.o.v. Z) = (hoogte t.o.v. TAW) + 106 mm; (hoogte t.o.v. Z) = (hoogte t.o.v. NAP) + 2,46 m.



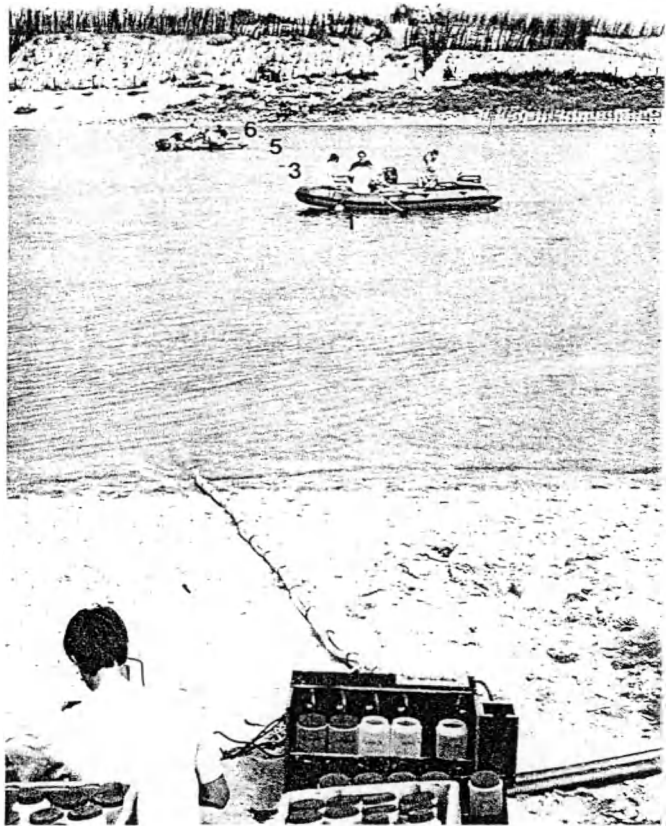
3.A. De campagne Zwingeul 13 augustus 1991. De meetraai wordt uitgerust met boeien en staketsels. Het wordt topografisch opgemeten. De foto is genomen vanop de Internationale Dijk.



3.B. De raai Noord (mondingsgebied van de Zwingeul ter hoogte van het droogstrand) bij laagwater. Een dunne kabel duidt de meetraai aan. De stroomsnelheid wordt gemeten met een laboratoriummolen aan een draagbaar statief. Foto genomen om 9.00 u.



3.C. Zuid bij laagwater. De stroomsnelheid is praktisch nul. In het midden van de Zwingeul ligt een zandplaat. De staketsel Zuid (west), ZO = staketsel Zuid (oost). Foto genomen om 15.00 u, vanop de westelijke oever.



3.D. De raai Zuid bij hoogwater. De cijfers verwijzen naar de boeien, die de meetvertikalen markeren. Foto genomen om 16.30 u, vanop de westelijke oever.



van de meetvertikale en op het meettijdstip wordt d.m.v. de lier een gestroomlijnde ballast neergelaten, waaraan een Ott-stroomsnelheidsmeter en een afzuigmond (voor de waterbemonstering door de pompmethode) zijn bevestigd.

De diameter van de aanzuigmond, de diameter van de leidingen en het vermogen van het bemonsteringspompje zijn zodanig gekozen dat een representatief watermonster wordt verkregen. De snelheid aan de zuigmond bedraagt ca. 40 cm/s, hetwelk een gemiddelde snelheid is voor de verwachte watersnelheden. In de leidingen daarentegen heerst een gemiddelde watersnelheid van ca. 160 cm/s, en dit teneinde sedimentatie te voorkomen. Gezien de lengte van de leiding en de gemiddelde snelheid in de leidingen dient ca. 25 sekonden te worden gewacht na het aanzetten van de pomp vooraleer een representatief monster kan worden verkregen. De gebruikte pompmethode betreft een variante van de pompmethode die door Eurosense Belfotop N.V. werd ontworpen ten behoeve van de BEASAC hovercraft, en die in een onafhankelijk laboratorium in opdracht van Eurosense Belfotop N.V. werd vergeleken met andere bemonsteringstechnieken².

De snelheidsmeting en de waterbemonstering worden, indien er voldoende waterhoogte is, uitgevoerd op een viertal punten verdeeld over de verticale. Bij lagere waterstanden wordt een kleiner aantal punten gemeten. Vóór de meting over de verticale begint, wordt de hoogte van de waterkolom bepaald. De meetpunten worden zó verdeeld over de verticale, dat het onderste en het bovenste meetpunt niet minder dan 0,25 m boven de bodem en onder het wateroppervlak gelegen zijn. De verticale wordt opgemeten van onder naar boven. Het meetvlet legt zich vast aan een boei op de meetlokatie voor de duur van de snelheidsmeting en de waterbemonstering. Onmiddellijk na het beëindigen van een meetvertikale wordt een verticale opgemeten aan een volgende boei in de meetraai. Een meetvlet bedient maximaal 3 boeien. D.m.v. de zes aanwezige boeien, waarvan de positie bij laagwater werd opgemeten, werd aldus per meetsekwentie de snelheid en de concentratie gemeten over zes meetvertikalen in de raai Zuid.

Een formulier werd ingevuld tijdens het meten van iedere verticale. Op elk formulier wordt het tijdstip van begin en einde van de meting genoteerd, evenals de waterdiepte. Het nummer van de Ott-molen en -schroef wordt telkens hernomen,

² "A comparative study of three methods for sediment transport measurements : the bottle sampler, the pump sampler, the XRB Van Dorn sampler" - R. Verhoeven, P. Verdonck, D. Fransaer, J. Van Rensbergen - Proceedings Workshop on Instrumentation for Hydraulics Laboratories, 16-18 August, 1989, p. 259

op elk formulier. Op elk meetpunt op de verticale worden de volgende grootheden gemeten :

- de waterdiepte of hoogte boven de bodem.
- de watersnelheid zoals gemeten door de Ott-molen (d.w.z. het toerental en de tijd). De stroomsnelheidsmeting wordt meestal verricht met een ingestelde tijd van 30 s. Er worden steeds minimaal twee watersnelheidsmetingen verricht. Indien de tweede meting te sterk afwijkt van de eerste, wordt een derde en zo nodig een vierde meting verricht.
- het zwevend sedimenttransport. De waterbemonstering gebeurt met het pompje dat konstant blijft lopen gedurende de meting op de verticale. Voordat bij de eerste meting (dicht bij de bodem) een watermonster wordt genomen, wordt voldoende lang gepompt alvorens het eerste flesje wordt gevuld. Per meetpunt worden 2 watermonsters genomen van elk 1 liter. Op elk flesje wordt een identifikatienummer aangebracht. De flesjes worden per verticale bewaard.

Bemonsterings- en concentratiemetingen vanaf een staketsel

Voor diepere meetlokalities die dicht bij een oever gelegen zijn, werd gebruik gemaakt van de ook reeds bij de meetcampagne van 19 maart 1991 en bij de derdenuurs-meetcampagnes op de vooroever ingezette bemonsteringsframes, die verder worden aangeduid met de benaming "(bemonsterings)staketsel". Een principeschets van het bemonsteringsstaketsel vindt men in fig. 3.2. De bemonsteringsstaketsels worden nabij de meetlokatie gemonteerd en bij laagwater opgesteld. Er werden twee staketsels aangebracht in de raai Zuid en een in de raai West (zie fig. 3.1).

Het bemonsteringsstaketsel is een metalen konstruktie met een aantal instrumenten en meetpunten ingebouwd voor het meten van de stroomsnelheid, de sedimentkoncentratie en van het bodemzandtransport. De bemonstering richt zich uiteraard op de onderste waterlagen, nabij de bodem, d.i. de onderste 1,5 meter.

De stroomsnelheid wordt gemeten op 37 en 125 cm boven de bodem. De stroommeters zijn van het type Ott, met schroef, en zijn draaibaar opgesteld. Er wordt gestreefd zoveel mogelijk Ott-molens en schroeven te gebruiken die een maximale watersnelheid van 1 m/s registreren bij 10 toeren per seconde. Hierdoor ligt de verwachte watersnelheid in het optimale bereik van de meetapparatuur (3 tot 8 toeren per seconde). De signaalkabel van de Ott-molentjes is dermate bevestigd, via een interne buis in het staketsel, dat de snelheidsmeters verscheidene malen rond de centrale as kunnen draaien zonder gevaar voor vast-

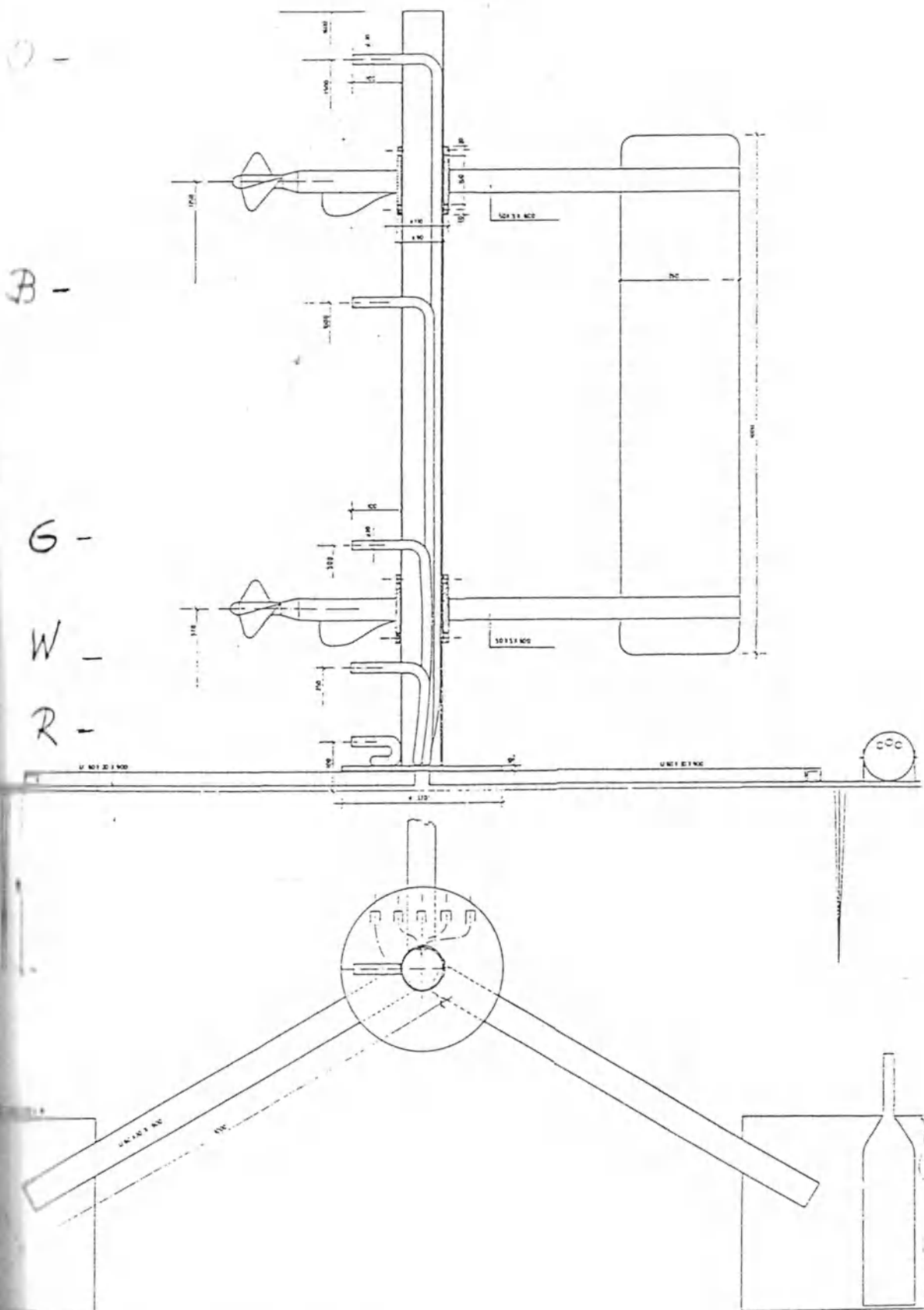


Fig. 3.2. Bemonsteringsstaketsel; vooraanzicht en plan. Totale hoogte : 160 cm. O, B, G, W en R duiden de aanzuigmonden voor de waterbemonstering aan.



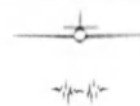
klemmen van de snelheidsmeters. Vervolgens lopen de signaalkabels samen met aan de bodem verankerde gewapende-plastic afzuigleidingen, nodig voor de registratie van het zwevend sedimenttransport, naar een registratiepost op de oever, die zich ca. 15 meter van het staketsel verwijderd bevindt (zie foto's 3.C en 3.D). De verschillende lengtes (aan de registratiepost) en kleurmarkeringen van de beide signaalkabels laten eenvoudig toe een onderscheid te maken tussen de beide meethoogtes voor wat de snelheidsmeting betreft. De registratiepost op de oever is voorzien van een pompgroep en uitlezingsdoosjes voor de Ott-molens. De staketsels worden evenwijdig aan de langsrichting van de geul geplaatst, zodat zij een minimale stromingsweerstand ondervinden.

De waterbemonstering geschiedt op 10, 25, 50, 100 en 150 cm boven de bodem door middel van de pompmethode. De afzuigmonden zijn loodrecht op de vloed- en eb-stromingsrichting (d.w.z. evenwijdig met de lokale as van de geul) opgesteld. Aan de wal zijn de verschillende zuigmonden gedifferentieerd door de verschillende kleur van de bevestigingstape aan de leidingen. Hiervoor geldt :

O =	geen kleur =	150 cm boven de bodem
B =	blauwe kleur =	100 cm boven de bodem
G =	groene kleur =	50 cm boven de bodem
W =	witte kleur =	25 cm boven de bodem
R =	rode kleur =	10 cm boven de bodem

De bemonstering gebeurt eveneens vanop de registratiepost op de oever. Een pompgroepje (bestaande uit een aggregaat van 5 identieke pompen aangesloten op 2 in parallel geschakelde 12 V-batterijen) is aangesloten op de afzuigleidingen. De oriëntatie en diameter van de aanzuigmonden op het staketsel, de diameter van de leidingen en het vermogen van het bemonsteringspompje zijn zodanig gekozen dat een representatief monster wordt verkregen. De snelheid aan de zuigmond bedraagt ca. 40 cm/s, hetwelk een gemiddelde snelheid is voor de verwachte watersnelheden op de respektievelijke hoogtes. In de leidingen daarentegen heerst een gemiddelde watersnelheid van ca. 160 cm/s, en dit teneinde sedimentatie te voorkomen. Gezien de lengte van de leiding en de gemiddelde snelheid in de leidingen dient ca. 40 sekonden te worden gewacht na aanschakelen van de pompen vooraleer een representatief monster kan worden verkregen.

Op de poten van de staketsels zijn horizontaal bodemtransport-bemonsteringsflessen ("bodemflessen") gemonteerd. De flessen zijn opgesteld evenwijdig met



de as van de geul ter hoogte van de meetraai. Eén fles heeft de instroomopening oeraarts, de andere landwaarts. De flessen zijn dermate ontworpen dat met het water het bodemzandtransport ongehinderd kan binnenstromen alwaar het zand bezinkt, terwijl het water terug uitstroomt. De flesopening heeft een stop, die bij het begin van de meetperiode verwijderd wordt, en teruggeplaatst bij het beëindigen van de meetperiode. Deze bodemflessen werden eveneens eerder gebruikt bij de dertienuurs-meetcampagnes en kontrolemetingen van het geïntegreerd bodemtransport in het kader van het proefproject met onderwaterschermen op de vooroever te Knokke-Zoute en nabij het Zwin, en bij de meetcampagne in de Zwingel op 19 maart 1991.

De meetfrequentie, waarbij aan de staketsels een meetprofiel over de vertikale wordt opgenomen, bedraagt, afhankelijk van de meetomstandigheden, twintig minuten of een half uur (de hogere meetfrequentie werd aangehouden bij opkomend getij).

Voor elke meetvertikale wordt een meetformulier ingevuld. Hierop wordt het tijdstip van begin en einde van de meting genoteerd. De volgende grootheden worden opgemeten :

- de watersnelheid zoals gemeten door de twee Ott-molens (d.w.z. het toerental en de tijd). De stroomsnelheidsmeting wordt in principe verricht met een ingestelde tijd van 30 seconden. Er worden steeds minimaal twee watersnelheidsmetingen verricht. Indien de tweede meting te sterk afwijkt van de eerste, wordt een derde en zo nodig een vierde meting verricht.
- het zwevend sedimenttransport. De waterbemonstering gebeurt met 5 pompjes die gelijktijdig op vijf verschillende hoogten op het staketsel afpompen. Er moet voldoende lang gepompt worden (minimum 40 seconden) alvorens de flesjes te vullen. Per staketsel worden 10 watermonsters (per pomp twee watermonsters) genomen van elk 1 liter. De tien flesjes bevinden zich in twee flessenbakken. Op elk flesje wordt een identifikatienummer aangebracht. De flesjes worden per vertikale bewaard.

Snelheidsmetingen d.m.v. een laboratoriummolen

Er werden aanvullende metingen verricht van de stroomsnelheid en de waterdiepte in de raai West bij opkomende water en hoogwater en in de raai Noord bij laagwater. Hiertoe werd voor het begin van de metingen een dunne kabel over de meetraai gespannen. Begin- en eindpunt van deze kabel werden topografisch opgemeten. De kabel diende voor het positioneren van de meetvertikalen. Bo-



verdien werd de positie van de oevers t.o.v. de kabel telkens afgelezen, zodat voor iedere meetsekwentie de natte sectie kon worden uitgerekend.

De snelheidsmeting werd uitgevoerd m.b.v. een laboratoriummolen bevestigd aan een draagbaar statief. Gezien de geringe waterdiepten kon iedere meetsekwentie (d.i. de eenmalige bemeting van één raai) te voet worden verricht, door eenvoudig te waden van meetvertikale naar meetvertikale. Op de diverse meetvertikalen, gespreid over de raai, werd de stroomsnelheid zo mogelijk op vier waterdiepten gemeten (bij geringe waterdiepten was het aantal meetpunten kleiner). Per meetsekwentie werd een formulier ingevuld, waarop tijdstip, duur, plaats van verticale en meetpunt, waterdiepte, en aantal omwentelingen van de snelheidsmeterschroef werden genoteerd. De ingestelde tijd voor de snelheidsmeting bedroeg meestal 20 s. Het afwerken van een volledige meetraai duurde bijna een half uur. Na een afgewerkte raai werd onmiddellijk, en in dezelfde volgorde, een volgende meetsekwentie uitgevoerd.

Kwaliteitszorg bij de metingen en analyse van de stalen

Bij de diverse metingen, hoe dan ook bekomen, wordt uiterste zorg besteed aan de kwaliteit van het uitgevoerde werk. Voor de snelheid worden per meetpunt twee uitlezingen verricht. Indien het aantal geregistreerde toeren zeer klein was, werd de tijdsduur van de meetcyclus, die gewoonlijk 30 seconden bedraagt, aangepast. Indien een groot verschil werd vastgesteld tussen de twee opeenvolgende uitlezingen, werd nog een derde of zelfs een vierde uitlezing verricht. Alle Ott-snelheidsmeters die werden gebruikt bij de meetcampagnes, werden vooraf geijkt in het Laboratorium voor Hydraulica van de R.U.G. Deze snelheidsmeters werden achteraf nog aan een nakontrolé onderworpen.

Ook voor de waterbemonstering t.b.v. de sedimentconcentratie werd zorgvuldig tewerk gegaan. Per meetpunt werden twee stalen van ongeveer 1 l genomen. Het opvangen van de stalen aan het uiteinde van de pompleiding gebeurde pas nadat voldoende tijd was gepompt. Aldus is men zeker dat de genomen stalen afkomstig waren van de gewenste diepte. Het eerste staal werd in een sedimentologisch laboratorium geanalyseerd op het totale gehalte sediment, verder genoemd de "(totale) sedimentconcentratie", het gehalte sedimentpartikels grover dan 63 μm , verder genoemd de "zandconcentratie", het gehalte aan sedimentpartikels fijner dan 63 μm , verder genoemd de "slibconcentratie", en het gehalte aan stof die totaal verbrandt op 550 °C, hierna genoemd de "concentratie organisch materiaal". De analyses gebeuren op dezelfde wijze als bij de stalen, die vroeger

genomen werden voor de ijking van multispektrale digitale vliegtuigscannerbeelden van de kustwateren. Wanneer de analyseresultaten van een staal sterk afwijken van de overige stalen van eenzelfde verticale, dan werd ook het tweede controlestaal geanalyseerd. Week de analyse van het tweede staal sterk af van het eerste, maar sloot ze aan bij die van de omgevende stalen van dezelfde verticale, dan werden de analyseresultaten van het tweede staal als de korrekte beschouwd. Leverde de analyse van het tweede staal ongeveer dezelfde resultaten op als van het eerste staal, dan werd het gemiddelde van de concentraties berekend en dan werden deze gemiddelde waarden als het korrekte analyseresultaat beschouwd.

De bodemtransport-bemonsteringsflessen (hieronder ook "bodempflessen" genoemd), gemonteerd op de poten van de bemonsteringsstaketsels, hebben een instroomopening op ongeveer 6 cm boven de bodem. Deze opening blijft toegankelijk tijdens de gehele duur van de meetperiode, en aldus wordt in de bodempflessen een hoeveelheid materiaal opgevangen die representatief is voor de kumulatieve hoeveelheid bodemtransport in de richting naar de instroomopening toe, tijdens de duur van de meetperiode. Deze flessen worden op het einde van de meetcampagne opgehaald en naderhand wordt de inhoud aan opgevangen sediment bepaald. Deze inhoud wordt bekomen op basis van het gewicht, waarbij er wordt verondersteld dat het volumegewicht van het bodemsediment konstant is. Het opgevangen gewicht van het bodemtransport wordt berekend als het verschil tussen het gewicht van een met zuiver water gevuld recipiënt (dat ca. 3 l bevat) en het gewicht van datzelfde recipiënt gevuld met een gelijk volume van een mengeling van het opgevangen zand en water. Bovendien wordt het materiaal, opgevangen in de bodempflessen, granulometrisch geanalyseerd, op dezelfde wijze als voor b.v. bodemstalen. Het gemiddeld sedimenttransport wordt bekomen door de massa van het opgevangen sediment te delen door de duur van de meetperiode en de instroomsectie van de bodempfles ($3,80 \text{ cm}^2$). Het bodemtransport-sediment werd geanalyseerd door het Laboratorium voor Analytische en Agrochemie van de R.U.Gent (Prof. dr. ir. M. Verloo).



3.3. UITVOERING VAN DE MEETCAMPAGNE

Datum en posities

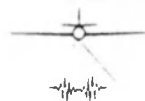
Deze meetcampagne ter bepaling van het hydrodynamische en sedimentologische gedrag van de Zwingeul had op 13 augustus 1991 plaats³. De ligging van het gebied waar de meetcampagne plaatshad, is aangeduid in fig. 3.1.

De metingen werden uitgevoerd op drie dwarsraaien. Omdat de bevoeiingsevolutie van de eigenlijke Zwinvlakte, met het bijhorend sedimenttransport, bij deze meetcampagne centraal stond, werden de metingen gekoncentreerd op de raaien West en Zuid, bij opkomend water en hoogwater. De raai Zuid is gelegen in het rechtlijnige gedeelte van de Zwingeul, tussen de noordelijke en de zuidelijke zandvang, ter hoogte van de versterkte dijkvoet bij de camping "Zwinhoeve". Bij hoogwater is de geul hier bijna 90 m breed. Bij hoogwater wordt de Zwinvlakte ook gevoed met zeewater via de zijkreek, die langs de duinrand van de Belgische duinenrij loopt. Hier werd een meetraai gelegd aan de monding van deze geul ("raai West", zie fig. 3.1). Wegens haar relatief hoge ligging funktioneert deze zijkreek niet gedurende het grootste gedeelte van de getijcyclus, maar enkel bij hoogwater. De derde meetraai, de raai Noord, werd bijkomend gemeten bij laagwater. Deze meetraai situeert zich in het mondingsgebied van de Zwingeul, ter hoogte van de doorsteek van het droogstrand. Bij hoogwater is het wateroppervlak hier bijna 200 m breed, maar de eigenlijke geul is smal en daarom treden hier hoge stroomsnelheden op.

De keuze van de drie raaien werd mede bepaald door het feit dat men de evolutie van het debiet gedurende een volledige getijcyclus wilde achterhalen. Door dat tevens de evolutie van de komberging van het gebieden tussen de raaien Noord, West en Zuid werd nagegaan, is het immers mogelijk het totale debiet ter hoogte van de raai Noord te berekenen op basis van de continuïteitsvoorwaarde, toegepast op het gebied tussen raai Noord, West en Zuid (zie par. 3.1).

De raaien werden topografisch opgemeten bij laagwater aan het begin van de meetcampagne. Bij de raai Noord werd aldus gemeten langs de dunne kabel, die de meetraai markeerde. Ook de raai West was voorzien met een dergelijke markeringskabel, en op het diepste punt van deze kreek werd een staketsel opgesteld, hieronder aangeduid als het "staketsel West". Bij de raai Zuid werd aan beide oevers een bemonsteringsstaketsel aangebracht; aan de oostelijke oever het

³De tijdsaanduidingen met betrekking tot de meetcampagne zijn in lokale tijd. De meetcampagne gebeurde in de periode met zomertijd.



staketsel Zuid (oost)" en aan de overkant het "staketsel Zuid (west)". Het centrale gedeelte van de geul werd d.m.v. zes lichte boeien gelijkmatig onderverdeeld. Ter hoogte van de boeien werd gemeten vanuit meetvletten (zie foto's 3.C en 3.D). De boeien werden genummerd van west naar oost. Boeien 1, 2 en 3 markeerden de lokaties van de 3 westelijke meetvertikalen, die achtereenvolgens door een meetploeg in een Zodiac werden opgenomen. Boeien 4, 5 en 6 werden vanuit een tweede Zodiac opgenomen. Nabij de raai Zuid werd tevens een tijbaak opgesteld, die zo nodig om de vijf minuten werd afgelezen.

De positie van de boeien, staketsels en tijbaken, voorgesteld in fig. 3.1, is tevens weergegeven in coördinaten in tabel 3.1, waarin ook de hoogte van de bodem is opgenomen.

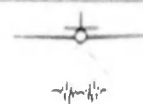
raai	lokatie	X [m]	Y [m]	Z [m]	afstand langs de raai [m]
Noord	begin kabel	80195,608	229238,254	4,829	0,0
	eind kabel	80283,091	229295,771	4,485	104,7
West	staketsel	80242,852	229048,013	3,351	
Zuid	staketsel west	80488,687	228917,542	2,577	14,4
	boei 1	80493,594	228914,939	2,260	20,0
	boei 2	80499,198	228917,711	2,050	26,3
	boei 3	80512,046	228920,896	2,516	39,5
	boei 4	80526,011	228924,120	2,978	53,8
	boei 5	80535,100	228926,020	2,629	63,1
	boei 6	80538,746	228926,916	2,221	66,9
	staketsel oost	80540,977	228927,490	2,334	69,0
	getijmeter	80466,280	228975,649	2,801	

Tabel 3.1. Meetcampagne Zwingel, 13 augustus 1991. Positie van meetvletten, bebakeningsboeien, meetinstrumenten en bemonsteringsstaketsels in Lambert (zie ook fig. 3.1).

Tabel 3.2 biedt een overzicht van het aantal uitgevoerde metingen per meetsekwentie⁴.

Omstreeks 13 augustus 1991 waren de verwachte waterstanden zoals weergegeven in tabel 3.3. Het was springtij op 12 augustus. De waargenomen water-

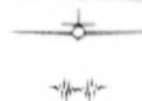
⁴Met "meetsekwentie" wordt bedoeld de uitmeting van een volledige raai op een bepaald tijdstip. Een meetsekwentie omvat aldus b.v. 24 meetpunten, indien op 6 meetvertikalen telkens op 4 verschillende hoogten boven de bodem metingen werden uitgevoerd.



standen verschillen vanzelfsprekend lichtjes van de voorspellingen. De getijwaarnemingen van Zeebrugge (Brittanniadok) van 13 augustus werden door de Dienst der Kusthavens ter beschikking gesteld en deze van de meetpaal te Cadzand door de Dienst Getijdewateren te Middelburg. Die waterstanden, en deze opgetekend tijdens de meetcampagne in de Zwingel, worden vermeld in het volgende hoofdstuk.

Begin meet- sekwentie	raai N	raai W	staketsel West		staketsel Zuid (west)		meetvletten raai Zuid		staketsel Zuid (oost)	
	v	v	v	C	v	C	v	C	v	C
8.00	24									
8.30	20									
9.00	24									
9.30	24									
10.00	24									
10.30	24									
11.00	21									
11.30	21									
12.00	21									
12.30	21									
13.00	21									
13.30	21									
14.00	21					2	4	4		3
14.30	21					2	5	5		3
15.00	21	2				2	6	6		3
15.30	23	2			1	2	6	6	1	3
15.50		13	1	2	1	3	12	12	1	3
16.10		19	1	3	2	4	23	23	2	5
16.30		19	2	5	2	5	24	24	2	5
16.50		20	2	5	2	5	24	24	2	5
17.10		20	2	5	2	5	24	24	2	5
17.30		17	2	4	2	5	24	24	2	5
18.00		18	1	4	2	5	22	22	2	5
18.30		19	1	3	2	5	20	20	2	5
19.00		17	1	3	2	4	20	20	2	5
19.30		7		1	1	4	15	15	1	4
19.50	23									
20.20	23									

Tabel 3.2. Overzicht van het aantal meetpunten per meetsekwentie, uitgevoerd tijdens de meetcampagne van 13 augustus 1991. v = stroomsnelheidsmeting; C = meting van de sedimentconcentratie.



De luchttemperatuur⁵ varieerde op 13 augustus 1991 van 13 tot 21°C. Er viel geen neerslag. De gemiddelde windsnelheid nam toe in de morgen tot ca. 18 km/h maar in de latere namiddag ging de wind liggen. De wind ruimde van het zuidoosten naar het noordwesten. Er stond op zee vrijwel geen deining (de significante golfhoogte aan de Knokke Boei bleef dagenlang kleiner dan 25 cm) en gezien de relatief beschutte ligging van de Zwin-inham, was het wateroppervlak vrijwel vlak.

Dag	Hoogwater		Laagwater	
	Tijdstip	Hoogte (m TAW)	Tijdstip	Hoogte (m TAW)
12 augustus	03.36	4,95	09.57	0,34
	15.56	4,82	22.27	-0,10
13 augustus	04.21	4,90	10.40	0,35
	16.39	4,80	23.10	-0,03
14 augustus	05.05	4,79	11.22	0,39
	17.22	4,71	23.52	0,10

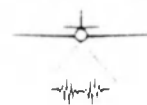
Tabel 3.3. Tijdstip van hoog- en laagwater en verwachte waterstanden te Zeebrugge omstreeks 13 augustus 1991. Tijdstip lokale zomertijd.

Analyse van de stalen

De waterstalen werden geanalyseerd door het Laboratorium voor Analytische en Agrochemie van de R.U.Gent (Prof. dr. ir. M. Verloo). De analyse gebeurt op een representatief substaal van gekend volume, dat wordt onttrokken aan het gehomogeniseerd totaal. Membraanfilters met een poriënopening van 0,45 µm worden 24 uur gedroogd op 105 °C en getarreerd. Uit de gehomogeniseerde suspensie van het waterstaal wordt een gekend volume opgezogen en gefiltreerd over het membraan. De randen van het recipiënt worden nagespoeld, waarbij ook het spoelwater over de filter wordt gebracht. De filters met het residu worden op analoge manier als bij het tarreren gedroogd en gewogen. Uit deze behandeling volgt de totale concentratie gesuspendeerd materiaal (uitgedrukt in g/l = kg/m³).

De bepaling van het gehalte gesuspendeerd materiaal kleiner dan 63 µm gebeurt op een erg vergelijkbare wijze. Een gekend volume wordt onttrokken aan het waterstaal en wordt dubbel gefiltreerd : eerst over een nylonfiltergaas met opening 63 µm en vervolgens over de membraanfilter met porie-opening 0,45 µm. Deze

⁵Waarnemingen geldig voor het Meteostation te Zeebrugge.



behandeling levert de concentratie slib (suspensiemateriaal fijner dan $63 \mu\text{m}$) op. Het zandgehalte volgt uit het verschil tussen de twee bepaalde parameters.

Het gehalte aan organisch materiaal wordt bepaald d.m.v. verbranding van het totaal gesuspenseerd materiaal op 550°C . De filter met het totaal gesuspenseerd materiaal wordt in een verassingskroesje gebracht en na drogen gewogen. De zeer brandbare, asvrije membraanfilters worden met behulp van een vlam aangestoken en het residu wordt verast gedurende 15 minuten bij 550°C . Na afkoelen in een dessikator wordt het kroesje met zijn inhoud opnieuw gewogen. Het gewichtsverlies na in mindering brengen van het gewicht van de membraanfilter wordt gerapporteerd als vluchtig, gesuspenseerd materiaal.

De methodiek voor de bepalingen is gebaseerd op gegevens uit "Standard methods for the examination of water and wastewater", 13th Edition, 1971, American Public Health Association, New York.

Bodemflessen

Aan de voet van de bemonsteringsstaketsels waren telkens twee bodemflessen gemonteerd. Bij de ene was de instromingsopening telkens landwaarts of opwaarts gericht, bij de andere was de instromingsopening aan het zeewaartse of afwaartse uiteinde van de fles. Tabel 3.4 vat de plaatsing van de bodemtransport-bemonsteringsflessen samen.

De afsluitdoppen werden ruim voor het binnenlopen van de vloed (bij stilstaand water) geopend en weer afgesloten na het beëindigen van de meetcampagne (bij voldoende laagwater). Aldus werd over de in tabel 3.4 aangegeven periode, die bijna een volledige getijcyclus omvat, een geïntegreerd maatgetal bekomen voor het netto landwaarts (flessen W1, Z2/2 en Z1/2) en netto zeewaarts (flessen W2, Z2/1 en Z1/1) bodemnabij sedimenttransport. Het sediment, opgevangen in de bezinkingsflessen, werd tevens granulometrisch geanalyseerd door het Laboratorium voor Analytische en Agrochemie van de R.U.Gent (Prof. M. Verloo), op de hieronder beschreven wijze.

Een representatief substaal van ongeveer 100 g werd geanalyseerd volgens de klassieke methode, maar het organisch materiaal en de karbonaten werden niet vernietigd voor de analyse. Het substaal werd gepeptiseerd en nat gezeefd op $50 \mu\text{m}$. De zandfractie wordt verder geanalyseerd door droge zeping op een zeefreeks van $100 \mu\text{m}$, $200 \mu\text{m}$ en $500 \mu\text{m}$. De gewichten van de analysefrakties worden bepaald en uitgedrukt als het percentage van het totaal gewicht geanalyseerd staal. Vervolgens worden, met behulp van een logprobabilistische interpo-

latie, de mediane korrelgrootte D_{50} bepaald en de spreiding σ van de korrelgrootten, $(D_{84} - D_{16})/2$. Het gehalte aan droge bestanddelen in de monsters werd bepaald door neerslaan van de vaste bestanddelen, afhevelen van het meeste water en droogdampen van de overblijvende vaste bestanddelen. Het resultaat is berekend op het totale gewicht van de suspensie (d.i. de vaste bestanddelen plus het water in de volle bezinkingsfles).

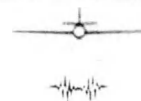
Lokatie	Oriëntatie flesopening	Kode	Openen [u]	Sluiten [u]	Interval [h]
staketsel West	Landwaarts	W 1	8.30	19.30	11.00
	Zeewaarts	W 2	8.30	19.30	11.00
staketsel Zuid (west)	Landwaarts	Z2/2	11.00	20.05	9.05
	Zeewaarts	Z2/1	11.00	20.05	9.05
staketsel Zuid (oost)	Landwaarts	Z1/2	10.30	20.45	10.15
	Zeewaarts	Z1/1	10.30	20.45	10.15

Tabel 3.4. Plaatsing en werkingsinterval van de bodemtransport-bemonsteringsflessen tijdens de meetcampagne in de Zwingel, 13 augustus 1991. Oriëntatie flesopening landwaarts betekent dat de stroming gericht van de Zwinvlakte naar de open zee vrij de fles kan binnenstromen.

3.4. VERWERKINGSWIJZE VAN DE MEETGEGEVENS

Bij de verwerking en de voorstelling van de meetresultaten is het van groot belang dat deze onderling en met de resultaten van de voorheen uitgevoerde meetcampagne kunnen worden vergeleken. Hieronder volgt een toelichting bij de wijze waarop de meetresultaten tabelmatig en grafisch werden voorgesteld. Verder wordt uitgelegd hoe de algemene grootheden met betrekking tot de gemeten getijcyclus werden berekend: de debieten, gestockeerde watermassa's, sedimentbudget, enz. Indien nodig werden ook deze grootheden in figuren grafisch voorgesteld. De tabellen en figuren waarvan in deze paragraaf sprake is, volgen alle in hoofdstuk 3.5. De tijdsaanduiding bij de verwerking van de dertien-uurs-meetcampagnes is systematisch geschied in lokale tijd (zomertijd); de hoogte-aanduiding is t.o.v. Z van Bruggen en Wegen, tenzij uitdrukkelijk anders vermeld⁶, en in de meetraaien wordt de dwarsafstand weergegeven in m t.o.v. een vast punt op de westelijke of zuidelijke oever.

⁶(hoogte t.o.v. Z) = (hoogte t.o.v. TAW) + 106 mm; (hoogte t.o.v. Z) = (hoogte t.o.v. NAP) + 2,45 m.



Verwerking van de stroomsnelheidsmetingen

Voor wat betreft de metingen, verricht op de meetvletten, werd er naar gestreefd om per vertikaal profiel 4 meetpunten te nemen. Bij zeer geringe waterdieptes werd een kleiner aantal metingen uitgevoerd. Per meetpunt werden minstens twee aflezingen verricht. Aan de staketsels kan de snelheid slechts op twee meetpunten worden bepaald. Voor de snelheidsmetingen verricht met een laboratoriummolen kon ook in zeer ondiep water worden gemeten, en de dichtheid van de meetpunten werd hier genomen in functie van het veranderend waterpeil.

Via een ijkingsformule, eigen aan elke stroommeter met gepaste schroef, werd uit de gemiddelde aflezingswaarde per meetpunt de waarde van de stroomsnelheid berekend en uitgedrukt in m/s. De waarde van de stroomsnelheid per meetpunt is opgenomen in de tabellen 3.6 t/m 3.11, waarin eveneens de hoogte van de waterkolom is vermeld van iedere verticale, en de hoogte boven de bodem waarop de snelheidsmeting werd uitgevoerd.

Verwerking van de sedimentkoncentratiemetingen

De bemonsteringen, uitgevoerd m.b.v. meetvletten, werden verricht op dezelfde meetpunten als voor de stroomsnelheid. Vanaf de staketsels konden per verticale op vijf punten stalen worden genomen. De waterstalen werden geanalyseerd volgens de in par. 3.3 beschreven methodes. Uit de analyseverslagen werden de volgende vier parameters bepaald :

- de totale concentratie vaste stof in het staal (uitgedrukt in g/l = kg/m³);
- de concentratie zand (partikels grover dan 63 µm) (g/l);
- de concentratie slib (partikels fijner dan 63 µm) (g/l);
- de concentratie organische stof (g/l).

De waarden van deze parameters, bepaald op één meetpunt, werden vergeleken met de andere meetpunten van dezelfde verticale. Indien er te grote afwijkingen werden vastgesteld, dan werd ook het reservestaal geanalyseerd. Week de analyse van het tweede staal sterk af van het eerste, maar sloot ze aan bij die van de omgevende stalen van dezelfde verticale, dan werden de analyseresultaten van het tweede staal als de korrekte beschouwd. Leverde de analyse van het tweede staal ongeveer dezelfde resultaten op als van het eerste staal, dan werd het gemiddelde van de concentraties berekend en dan werden deze gemiddelde waarden als het korrekte analyseresultaat beschouwd.

De analyseresultaten zijn opgenomen in de tabellen die volgen in hoofdstuk 3.5 (tabellen 3.8 t/m 3.11).



Grafische voorstelling van de snelheids- en concentratiemetingen per dwarsraai

De ruimtelijke variatie van de snelheids- en concentratieprofielen over het getij kan gemakkelijk worden afgelezen uit de figuren die de snelheid, de totale concentratie en de zandconcentratie per verticale afbeelden in functie van de hoogte boven de bodem en de ligging in de meetraai. Deze figuren volgen in hoofdstuk 3.5 (zie fig. 3.4a-i, 3.5a-l en 3.6a-n).

De vergelijking van verticale naar verticale en van meetraai naar meetraai wordt mogelijk, doordat binnen een meetreeks dezelfde schaal werd gebruikt.

Iedere figuur is een grafische voorstelling van een momentopname (een zgn. "meetsekwentie"). Zoveel mogelijk gegevens, die betrekking hebben op dezelfde meetraai en hetzelfde tijdstip, werden in elke figuur verwerkt : snelheidsmetingen vanaf staketsels, meetvletten of draagbaar statief; concentratiewaarden van stalen genomen aan de staketsels en vanaf meetvletten.

De meetvertikalen werden ingetekend in het opgemeten topografisch profiel, en de waterstand van het ogenblik bepaalt de waterhoogte.

Bij de snelheidsprofielen werd aangenomen dat de snelheid vanaf het onderste meetpunt afneemt naar 0 m/s aan de bodem. De snelheidswaarde van het bovenste meetpunt werd ingetekend voor de bovenste decimeters, tot aan de oppervlakte. Op basis van deze aannamen is het dan ook mogelijk om het debiet uit te rekenen, vermits de sectie gekend is. De waarde van het debiet werd opgenomen in de overzichtstabel 3.14 en werd eveneens in de figuren vermeld.

Bij de suspensiekoncentratieprofielen werd zowel de totale sedimentconcentratie als de zandconcentratie ingetekend. De waarde van beide grootheden werd uitgezet vanaf de meetvertikale. Er werd geen aanname gemaakt voor de waarde van de sedimentconcentratie in de onderste centimeters van de vertikalen. Men mag weliswaar aannemen dat de concentratie nabij de bodem het hoogst is, en dit zeker op het ogenblik van snelle stroming, maar men weet niet hoe hoog deze waarde precies is. De concentratiewaarde van het bovenste meetpunt werd ingetekend voor de bovenste decimeters, tot aan de oppervlakte. De gemiddelde totale concentratie en de gemiddelde zandconcentratie werden berekend in de veronderstelling dat de sedimentconcentratie van het onderste meetpunt dezelfde blijft naar de bodem toe; mogelijk zijn deze waarden hierdoor (in zeer lichte mate) onderschat. Deze waarden zijn vermeld in de overzichtstabel 3.14. Door de gemiddelde concentratie te vermenigvuldigen met de sectie bekomt men het zgn.



"vast debiet" of het sedimenttransport, uitgedrukt in kg/s. Deze waarden zijn eveneens vermeld in tabel 3.14, en werden tevens opgenomen in de figuren onder de vermelding "Ctot" (totaal sedimenttransport) en "Czand" (zandtransport).

Berekening van debiet en sedimenttransport

Voor de simultane opnamen van de drie meetraaien werd het totale debiet bepaald en voor de opnamen van raai West en raai Zuid werd tevens het sedimenttransport berekend, en weergegeven in tabel 3.14. Het debiet werd bekomen door sommatie van deeldebieten, berekend over deelsekties. Voor de definitie van de deelsekties werd geheel gesteund op de topografische opname zoals voorgesteld in de figuren 3.4 t/m 3.6. Omheen de punten, waarin snelheidswaarden werden gemeten, werden fiktieve deelsekties gedefinieerd op basis van de opgemeten topografische punten van de bodem, het wateroppervlak en middelloodlijnen tussen de meetpunten. De snelheidswaarden worden representatief geacht voor de aldus vastgelegde deelsekties. Het deeldebiet wordt bekomen door vermenigvuldiging van de snelheidswaarde met de oppervlakte van de deelsectie.

Het totaal sedimenttransport resulteert uit de sommatie van deeltransporten, berekend over dezelfde deelsekties. De deeltransporten worden bekomen door de deeldebieten te vermenigvuldigen met de gemeten totale sedimentconcentratie in de deelsectie. De fout in het totaal sedimenttransport die ontstaat doordat de (vermoedelijk) hoge concentraties dicht bij de bodem niet zijn gemeten, wordt klein geacht omdat de stroomsnelheid hier juist het laagst is. De onderschatting van de sedimentconcentratie in de grenslaag wordt gedeeltelijk gecompenseerd door de overschatting van de snelheidswaarde.

In dezelfde tabel staan ook enkele grootheden, die uit de vorige berekeningen worden afgeleid : de totale stroomsektie (natte sekte), de gemiddelde stroomsnelheid, het totaal sedimenttransport, de gemiddelde totale concentratie (dit wordt bekomen door de waarde van de totale concentratie uit te middelen over de meetsekte), het zandtransport, de gemiddelde zandconcentratie, en de verhouding van het zandtransport t.o.v. het totaal sedimenttransport. Tevens is aangegeven of voor de betrokken meetraaien de stroming land- dan wel zeewaarts is.

Bepaling van de komberging en sedimentbalans van de Zwinvlakte over een volledige getijcyclus

Voor de bepaling van het volume water dat in de Zwinvlakte geborgen werd bij het hoogwater van de namiddag van 13 augustus 1991, werd als volgt tewerk gegaan. De meetraai Noord werd beschouwd als referentieliijn; enkel het watervolume dat deze lijn passeert bij vloed en er weer uitstroomt bij eb werd in de berekening betrokken. De topografische en stroomsnelheidsmetingen uitgevoerd in de raai Noord dekken een groot gedeelte van het getij. Enkel rond hoogwater waren hier geen metingen, maar er werd dan wel gemeten in de raaien West en Zuid. De volumes water die per tijdseenheid door deze meetsekties stroomden werden gevoegd bij het volume dat in het overeenkomstige tijdsinterval geborgen werd in het gebied tussen de raaien Noord, West en Zuid; steunend op de continuïteitsvoorwaarde (zie par. 3.1) werden deze sommen beschouwd als de volumes die doorheen de raai Noord zijn gestroomd. De per stroomrichting (eb en vloed) gekumuleerde watervolumes ter hoogte van de raai Noord leveren twee waarden op voor de berging van de Zwinvlakte (het ingestroomd volume en het uitgestroomd volume). Vanzelfsprekend zullen deze twee waarden niet precies gelijk zijn. Het verschil tussen de twee waarden moet echter klein zijn in verhouding tot het ingestroomd volume (b.v. niet groter dan 10 %). Dit verschil hangt af van het werkelijk verschil in komberging tussen twee opeenvolgende getijcycli (de maximale waterstand tussen twee opeenvolgende hoogwaters kan tot 20 cm verschillen), het verschil in ondergronds geborgen water, watervolumes toegevoegd als gevolg van neerslag of afgevoerd door evaporatie en evapotranspiratie, en tenslotte de fout op de meting.

Ter hoogte van de raai Zuid werd een volledig sediment-transportbudget opge maakt. Het sedimentbudget op deze plaats wordt van groot belang geacht voor de evolutie van de Zwinvlakte, aangezien de akuitste verzandingsproblemen zich stellen in het zuidoostelijk gedeelte van de vlakte, dat bevoeid wordt doorheen de uitgemeten raai.

Deze sedimentbalans kwam als volgt tot stand. De waarden voor het totaal sedimenttransport en het zandtransport, berekend zoals in de vorige paragraaf uitgelegd, werden uitgezet in functie van de tijd (fig. 3.11). Voor het gedeelte van de getijcyclus (laagwater), dat niet door metingen werd bestreken, diende een interpolatie te worden verricht teneinde een doorlopende sedimenttransportkromme te bekomen. Deze interpolatie leverde geen problemen op, daar de transportwaarden in de betrokken tijdsspanne vrijwel nul waren. Aan het landwaarts gericht

Sedimenttransport werd een positief teken toegekend. Door integratie van de transportkrommen werden de waarden voor het tijdsgeïntegreerd vast landwaarts ($Q_{s,in}$) en zeewaarts ($Q_{s,uit}$) debiet bekomen. Het verschil ($Q_{s,netto}$) tussen deze twee waarden werd beschouwd als de netto sedimentaanvoer over de getijcyclus.

Verwerking van de metingen met bodemtransport-bemonsteringsflessen

Tijdens de meetcampagne werden op enkele lokaties metingen verricht van het geïntegreerd bodemnabij sedimenttransport. Deze metingen, uitgevoerd zoals beschreven in hoofdstuk 3.3, resulteren in hoeveelheden sediment, opgevangen op de diverse lokaties. Deze hoeveelheden zijn vermeld in tabel 3.12 in hoofdstuk 3.5. Het (tijds)gemiddeld sedimenttransport wordt bekomen door de massa van het opgevangen sediment te delen door de duur van de meetperiode en de instroomsectie van de bodemfles ($3,80 \text{ cm}^2$). In tabel 3.13 worden ook enkele beschrijvende parameters van de granulometrische analyse opgenomen.

3.5. MEETRESULTATEN VAN DE MEETCAMPAGNE VAN 13 AUGUSTUS 1991 IN DE ZWINGEUL

3.5.1. Waargenomen getij in de Zwingeul

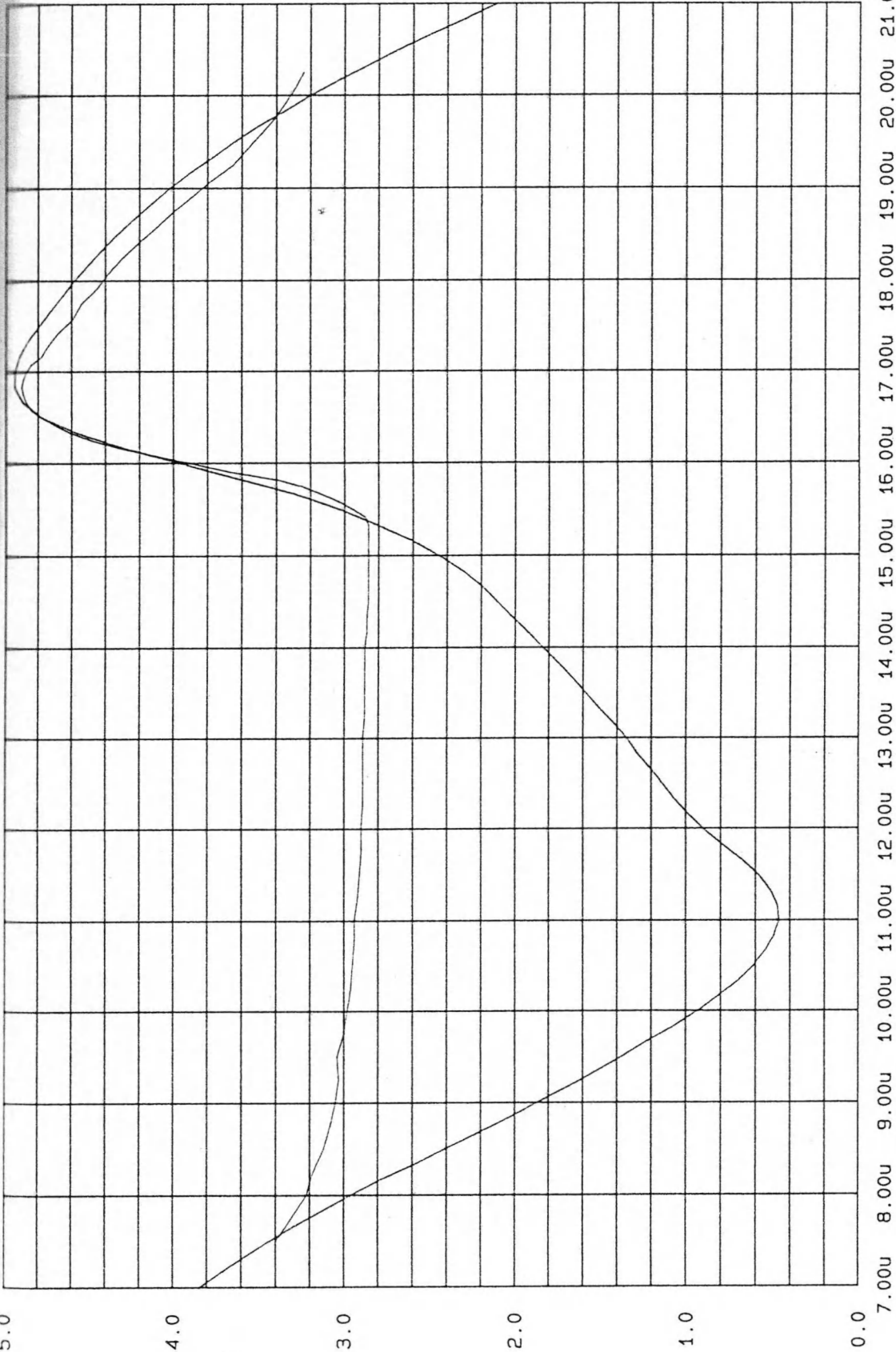
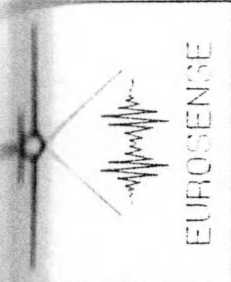
De waterstanden die optraden in de Zwingeul op de lokatie Zuid (zie fig. 3.1), werden alle vijftien minuten afgelezen van een tijbaak. Bij het opkomend getij en bij hoogwater werd de meetfrequentie opgedreven tot 10 en zelfs 5 minuten. Men vindt de waargenomen waterstanden in tabel 3.5, en deze zijn grafisch voorgesteld in fig. 3.3. Op deze figuur werden ook de getijwaarnemingen van Zeebrugge en Cadzand weergegeven.

Het waterniveau in de omgeving van de noordelijke zandvang en de raai Zuid daalde tot op het peil 2,86 m. De vloed komt binnenstromen omstreeks 15.20 u. Men merkt dat het waterpeil vanaf dan zeer snel stijgt : meer dan 2 m op minder dan anderhalf uur tijd. De hoogste waterstand nabij raai Zuid (4,90 m) werd bereikt om 16.50 u, vrijwel gelijktijdig met het gemeten hoogwater (4,94 m) te Cadzand. Hierop neemt de waterstand onmiddellijk weer af. De daling van het waterpeil gebeurt evenwel veel langzamer dan het stijgen.

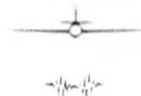
Aflezingen getijmeter					
Tijdstip [hh:mm]	Aflezing [m]	Peil t.ov. Z [m]	tijdstip [hh:mm]	Aflezing [m]	Peil t.ov. Z [m]
7:30	0,60	3,40	15:45	0,45	3,25
7:45	0,51	3,31	15:50	0,59	3,39
8:00	0,42	3,22	15:55	0,87	3,67
8:15	0,38	3,18	16:00	1,09	3,89
8:30	0,32	3,12	16:05	1,30	4,10
8:45	0,28	3,08	16:10	1,50	4,30
9:00	0,25	3,05	16:15	1,68	4,48
9:15	0,23	3,03	16:20	1,80	4,60
9:30	0,24	3,04	16:25	1,90	4,70
9:45	0,20	3,00	16:30	1,98	4,78
10:00	0,18	2,98	16:35	2,04	4,84
10:15	0,16	2,96	16:40	2,07	4,87
10:30	0,15	2,95	16:45	2,09	4,89
10:45	0,14	2,94	16:50	2,10	4,90
11:00	0,14	2,94	16:55	2,09	4,89
11:15	0,12	2,92	17:00	2,07	4,87
11:30	0,11	2,91	17:05	2,04	4,84
11:45	0,10	2,90	17:10	1,98	4,78
12:00	0,10	2,90	17:15	1,95	4,75
12:15	0,09	2,89	17:20	1,92	4,72
12:30	0,09	2,89	17:25	1,88	4,68
12:45	0,09	2,89	17:30	1,79	4,59
13:00	0,09	2,89	17:35	1,79	4,59
13:15	0,08	2,88	17:45	1,74	4,54
13:30	0,08	2,88	17:55	1,65	4,45
13:45	0,08	2,88	18:05	1,58	4,38
14:00	0,08	2,88	18:15	1,50	4,30
14:10	0,07	2,87	18:25	1,40	4,20
14:20	0,07	2,87	18:35	1,30	4,10
14:30	0,06	2,86	18:45	1,20	4,00
14:40	0,06	2,86	18:55	1,09	3,89
14:50	0,06	2,86	19:05	0,98	3,78
15:00	0,06	2,86	19:15	0,85	3,65
15:10	0,06	2,86	19:25	0,77	3,57
15:20	0,06	2,86	19:35	0,69	3,49
15:25	0,08	2,88	19:45	0,61	3,41
15:30	0,15	2,95	19:55	0,55	3,35
15:35	0,23	3,03	20:05	0,49	3,29
15:40	0,33	3,13	20:15	0,44	3,24

Tabel 3.5

Hoogte t.o.v. z. [m]



MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
GEMETEN WATERSTANDEN



Uit de getijmetingen van 19 maart 1991 bleek dat het hoogste peil (4,76 m) nabij de raai Zuid ca. 10 minuten later werd bereikt dan in raai Noord; het lag ook enkele centimeters hoger dan in de raai Noord.

Men merkt dat de fase van stijgend waterpeil, en hiermee gepaard gaande de vloedstroming van zee richting Zwinvlakte, slechts anderhalf uur duurt; de fase met ebstroming en dalend waterpeil duurt de rest van de getijcyclus, dus bijna 11 uur. Het grootste gedeelte van de waterdaling doet zich nochtans voor in de eerste vier uren na hoogwater.

De gevolgen van dit regime worden duidelijk geïllustreerd door de foto's 3.E. Het blankzetten van het gebied waarin de noordelijke zandvang gesitueerd was is in minder dan een half uur voltooid. Hierna wordt de Zwinschorre zelf overspoeld.

3.5.2. Resultaten van de stroomsnelheids- en suspensiekoncentratie-metingen

In de tabellen 3.6 t/m 3.11 vindt men de resultaten van de stroomsnelheids- en suspensiekoncentratiemetingen, die op de meetraaien Noord, West en Zuid werden uitgevoerd tijdens de meetcampagne van 13 augustus 1991. In deze tabellen staat ook het tijdstip van de meting, de lokatie en de hoogte van de waterkolom vermeld. De suspensiekoncentratie werd bovendien, zoals gebruikelijk, verder opgesplitst in de concentratie zand, slib en organisch materiaal.

De tabelmatig weergegeven resultaten worden hieronder grafisch uitgewerkt per meetraai en meettijdstip. In deze grafische voorstelling werden zoveel mogelijk meetresultaten betrokken. Voor de volledige meetresultaten wordt nochtans verwezen naar tabellen 3.6 t/m 3.11.

3.5.3. Grafische voorstelling van de meetresultaten per meetraai

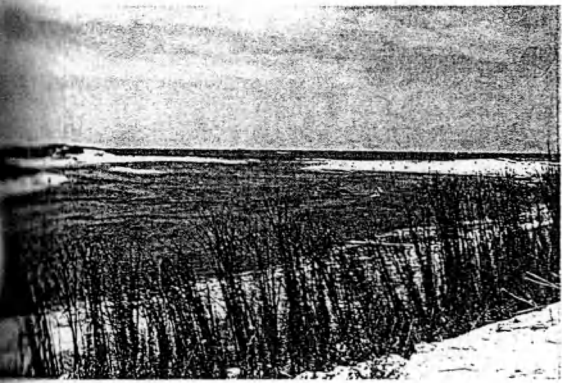
Op de wijze, beschreven in par. 3.4, werden de metingen van stroomsnelheid en suspensiekoncentratie per meetraai uitgezet in funktie van de positie in de dwarssektie van de meetraai (fig. 3.4a-l, 3.5a-l en 3.6a-n). Doordat de meetwaarden volgens een derde as werden uitgezet, bekomt men een driedimensionele voorstelling die de interpretatie van deze figuren vergemakkelijkt. De stromingsrichting werd uitdrukkelijk vermeld. De eerst uitgevoerde metingen hebben bij alle meetraaien betrekking op de ebstroom (zeewaarts gericht). De vloed begint de Zwin-geul binnen te dringen omstreeks 15.00 u (raai Noord). Op dat tijdstip wordt aan



12.45 u



13.00 u



13.10 u



14.10 u



16.00 u



17.00 u

evoluitie van het overstroomde oppervlak in het mondingsgebied van de Zwingel. Merk hoe snel het opkomende water de Zwingel binnendringt. Foto's genomen op 9 augustus 1991 (HW Zeebrugge : 13.41 u) vanop de Internationale Dijk.

Meetresultaten Stroomsnelheid Raai Noord
--

Meetsequentie 2

Waterhoogte t.o.v. Z = 3,12

Grenzen natte sectie van 26 tot 61 m langsheen de raai

Vertikale 1

Afstand langsheen raai [m] 31

Waterdiepte [m] : 0,33

Tijd [u] : 8:30

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,26	0,37
2	0,19	0,36
3	0,12	0,36
4	0,05	0,38

Vertikale 2

Afstand langsheen raai [m] 36

Waterdiepte [m] : 0,37

Tijd [u] : 8:35

1	0,30	0,41
2	0,23	0,41
3	0,16	0,43
4	0,09	0,41

Vertikale 3

Afstand langsheen raai [m] 41

Waterdiepte [m] : 0,63

Tijd [u] : 8:40

1	0,51	0,23
2	0,39	0,28
3	0,27	0,34
4	0,15	0,38

Vertikale 4

Afstand langsheen raai [m] 46

Waterdiepte [m] : 0,23

Tijd [u] : 8:45

1	0,19	0,33
2	0,15	0,41
3	0,10	0,38
4	0,05	0,39

Vertikale 5

Afstand langsheen raai [m] 51

Waterdiepte [m] : 0,24

Tijd [u] : 8:50

1	0,19	0,12
2	0,14	0,11
3	0,09	0,11
4	0,04	0,10

Vertikale 6

Afstand langsheen raai [m] :

Waterdiepte [m] :

Tijd [u] :

1		
2		
3		
4		

Meetresultaten
Stroomsnelheid Raai Noord

Meetsequentie 3

Waterhoogte t.o.v. Z = 3,05

Grenzen natte sectie van 28 tot 54 m langsheen de raai

Vertikale 1

Afstand langsheen raai [m] 31

Waterdiepte [m] : 0,31

Tijd [u] : 9:00

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,25	0,25
2	0,19	0,28
3	0,13	0,27
4	0,07	0,27

Vertikale 2

Afstand langsheen raai [m] 34

Waterdiepte [m] : 0,84

Tijd [u] : 9:05

1	0,67	0,11
2	0,50	0,17
3	0,33	0,29
4	0,16	0,33

Vertikale 3

Afstand langsheen raai [m] 38

Waterdiepte [m] : 0,37

Tijd [u] : 9:10

1	0,30	0,30
2	0,23	0,33
3	0,16	0,34
4	0,09	0,33

Vertikale 4

Afstand langsheen raai [m] 42

Waterdiepte [m] : 0,61

Tijd [u] : 9:15

1	0,49	0,06
2	0,37	0,13
3	0,25	0,26
4	0,13	0,40

Vertikale 5

Afstand langsheen raai [m] 46

Waterdiepte [m] : 0,23

Tijd [u] : 9:20

1	0,18	0,34
2	0,13	0,37
3	0,08	0,33
4	0,03	0,36

Vertikale 6

Afstand langsheen raai [m] 50

Waterdiepte [m] : 0,23

Tijd [u] : 9:25

1	0,18	0,21
2	0,13	0,21
3	0,08	0,22
4	0,03	0,23

Meetresultaten
Stroomsnelheid Raai Noord

Meetsequentie 4

Waterhoogte t.o.v. Z = 3,04

Grenzen natte sectie van 28 tot 54 m langsheen de raai

Vertikale 1

Afstand langsheen raai [m] 31

Waterdiepte [m] : 0,31

Tijd [u] : 9:30

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,26	0,18
2	0,21	0,19
3	0,15	0,19
4	0,10	0,19

Vertikale 2

Afstand langsheen raai [m] 34

Waterdiepte [m] : 0,81

Tijd [u] : 9:35

1	0,65	0,09
2	0,49	0,13
3	0,33	0,19
4	0,17	0,25

Vertikale 3

Afstand langsheen raai [m] 38

Waterdiepte [m] : 0,34

Tijd [u] : 9:40

1	0,27	0,26
2	0,20	0,29
3	0,13	0,29
4	0,06	0,30

Vertikale 4

Afstand langsheen raai [m] 42

Waterdiepte [m] : 0,57

Tijd [u] : 9:45

1	0,46	0,07
2	0,35	0,09
3	0,24	0,25
4	0,13	0,36

Vertikale 5

Afstand langsheen raai [m] 46

Waterdiepte [m] : 0,20

Tijd [u] : 9:50

1	0,15	0,31
2	0,12	0,34
3	0,08	0,35
4	0,04	0,36

Vertikale 6

Afstand langsheen raai [m] 50

Waterdiepte [m] : 0,18

Tijd [u] : 9:55

1	0,13	0,17
2	0,10	0,16
3	0,06	0,16
4	0,03	0,18

Meetresultaten
Stroomsnelheid Raai Noord

Meetsequentie 5

Waterhoogte t.o.v. Z = 2,98

Grenzen natte sectie van 29 tot 52 m langsheen de raai

Vertikale 1

Afstand langsheen raai [m] 32

Waterdiepte [m] : 0,34

Tijd [u] : 10:00

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,27	0,20
2	0,20	0,22
3	0,13	0,25
4	0,06	0,16

Vertikale 2

Afstand langsheen raai [m] 34

Waterdiepte [m] : 0,76

Tijd [u] : 10:05

1	0,61	0,08
2	0,46	0,10
3	0,31	0,12
4	0,16	0,23

Vertikale 3

Afstand langsheen raai [m] 37

Waterdiepte [m] : 0,30

Tijd [u] : 10:10

1	0,24	0,18
2	0,18	0,22
3	0,12	0,21
4	0,06	0,21

Vertikale 4

Afstand langsheen raai [m] 40

Waterdiepte [m] : 0,39

Tijd [u] : 10:15

1	0,31	0,18
2	0,23	0,17
3	0,15	0,22
4	0,07	0,26

Vertikale 5

Afstand langsheen raai [m] 44

Waterdiepte [m] : 0,25

Tijd [u] : 10:20

1	0,20	0,28
2	0,15	0,34
3	0,10	0,37
4	0,05	0,06

Vertikale 6

Afstand langsheen raai [m] 48

Waterdiepte [m] : 0,14

Tijd [u] : 10:25

1	0,09	0,23
2	0,07	0,24
3	0,05	0,26
4	0,03	0,26

Meetresultaten
Stroomsnelheid Raai Noord

Meetsequentie 6

Waterhoogte t.o.v. Z = 2,95

Grenzen natte sectie van 29 tot 51 m langsheen de raai

Vertikale 1

Afstand langsheen raai [m] 31

Waterdiepte [m] : 0,21

Tijd [u] : 10:30

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,16	0,13
2	0,13	0,16
3	0,09	0,15
4	0,04	0,15

Vertikale 2

Afstand langsheen raai [m] 34

Waterdiepte [m] : 0,74

Tijd [u] : 10:35

1	0,59	0,07
2	0,44	0,09
3	0,29	0,13
4	0,14	0,22

Vertikale 3

Afstand langsheen raai [m] 38

Waterdiepte [m] : 0,27

Tijd [u] : 10:40

1	0,22	0,21
2	0,16	0,22
3	0,11	0,22
4	0,06	0,23

Vertikale 4

Afstand langsheen raai [m] 41

Waterdiepte [m] : 0,50

Tijd [u] : 10:45

1	0,40	0,07
2	0,30	0,10
3	0,20	0,15
4	0,10	0,20

Vertikale 5

Afstand langsheen raai [m] 45

Waterdiepte [m] : 0,18

Tijd [u] : 10:50

1	0,13	0,29
2	0,10	0,30
3	0,07	0,31
4	0,04	0,34

Vertikale 6

Afstand langsheen raai [m] 48

Waterdiepte [m] : 0,12

Tijd [u] : 10:55

1	0,07	0,22
2	0,04	0,23
3		
4		

Meetresultaten
Stroomsnelheid Raai Noord

Meetsequentie 7

Waterhoogte t.o.v. Z = 2,94

Grenzen natte sectie van 29 tot 52 m langsheen de raai

	Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
Vertikale 1	1	0,14	0,12
Afstand langsheen raai [m] 31	2	0,11	0,11
Waterdiepte [m] : 0,19	3	0,07	0,13
Tijd [u] : 11:00	4	0,04	0,13
Vertikale 2	1	0,58	0,05
Afstand langsheen raai [m] 34	2	0,43	0,10
Waterdiepte [m] : 0,73	3	0,28	0,17
Tijd [u] : 11:05	4	0,13	0,22
Vertikale 3	1	0,21	0,19
Afstand langsheen raai [m] 38	2	0,16	0,20
Waterdiepte [m] : 0,26	3	0,11	0,22
Tijd [u] : 11:10	4	0,05	0,21
Vertikale 4	1	0,39	0,06
Afstand langsheen raai [m] 41	2	0,29	0,08
Waterdiepte [m] : 0,48	3	0,19	0,13
Tijd [u] : 11:15	4	0,09	0,21
Vertikale 5	1	0,22	0,26
Afstand langsheen raai [m] 44	2	0,16	0,31
Waterdiepte [m] : 0,27	3	0,11	0,32
Tijd [u] : 11:20	4	0,05	0,35
Vertikale 6	1	0,04	0,19
Afstand langsheen raai [m] 48	2		
Waterdiepte [m] : 0,09	3		
Tijd [u] : 11:25	4		

Meetresultaten
Stroomsnelheid Raai Noord

Meetsequentie 8

Waterhoogte t.o.v. Z = 2,91

Grenzen natte sectie van 30 tot 50 m langsheen de raai

Vertikale 1

Afstand langsheen raai [m] 32

Waterdiepte [m] : 0,29

Tijd [u] : 11:30

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,23	0,13
2	0,17	0,15
3	0,11	0,16
4	0,05	0,14

Vertikale 2

Afstand langsheen raai [m] 34

Waterdiepte [m] : 0,71

Tijd [u] : 11:35

1	0,57	0,08
2	0,43	0,07
3	0,29	0,11
4	0,14	0,14

Vertikale 3

Afstand langsheen raai [m] 37

Waterdiepte [m] : 0,25

Tijd [u] : 11:40

1	0,20	0,17
2	0,15	0,19
3	0,10	0,19
4	0,05	0,19

Vertikale 4

Afstand langsheen raai [m] 41

Waterdiepte [m] : 0,40

Tijd [u] : 11:45

1	0,32	0,05
2	0,24	0,07
3	0,16	0,09
4	0,08	0,13

Vertikale 5

Afstand langsheen raai [m] 44

Waterdiepte [m] : 0,20

Tijd [u] : 11:50

1	0,15	0,17
2	0,12	0,24
3	0,08	0,27
4	0,04	0,28

Vertikale 6

Afstand langsheen raai [m] 47

Waterdiepte [m] : 0,08

Tijd [u] : 11:55

1	0,03	0,23
2		
3		
4		

Meetresultaten
Stroomsnelheid Raai Noord

Meetsequentie 9

Waterhoogte t.o.v. Z = 2,90

Grenzen natte sectie van 30 tot 50 m langsheen de raai

Vertikale 1

Afstand langsheen raai [m] 33

Waterdiepte [m] : 0,64

Tijd [u] : 12:00

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,51	0,09
2	0,36	0,11
3	0,25	0,14
4	0,11	0,15

Vertikale 2

Afstand langsheen raai [m] 36

Waterdiepte [m] : 0,20

Tijd [u] : 12:05

1	0,15	0,19
2	0,12	0,19
3	0,08	0,20
4	0,04	0,19

Vertikale 3

Afstand langsheen raai [m] 39

Waterdiepte [m] : 0,25

Tijd [u] : 12:10

1	0,20	0,12
2	0,15	0,14
3	0,10	0,14
4	0,05	0,17

Vertikale 4

Afstand langsheen raai [m] 41

Waterdiepte [m] : 0,46

Tijd [u] : 12:15

1	0,37	0,05
2	0,28	0,06
3	0,19	0,12
4	0,09	0,14

Vertikale 5

Afstand langsheen raai [m] 44

Waterdiepte [m] : 0,20

Tijd [u] : 12:20

1	0,15	0,15
2	0,12	0,19
3	0,08	0,24
4	0,04	0,25

Vertikale 6

Afstand langsheen raai [m] 47

Waterdiepte [m] : 0,08

Tijd [u] : 12:25

1	0,03	0,20
2		
3		
4		

Meetresultaten
Stroomsnelheid Raai Noord

Meetsequentie 10

Waterhoogte t.o.v. Z = 2,89

Grenzen natte sectie van 30 tot 49 m langsheen de raai

Vertikale 1

Afstand langsheen raai [m] 32

Waterdiepte [m] : 0,29

Tijd [u] : 12:30

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,23	0,10
2	0,17	0,08
3	0,11	0,08
4	0,05	0,09

Vertikale 2

Afstand langsheen raai [m] 34

Waterdiepte [m] : 0,69

Tijd [u] : 12:35

1	0,55	0,00
2	0,41	0,07
3	0,27	0,10
4	0,13	0,15

Vertikale 3

Afstand langsheen raai [m] 37

Waterdiepte [m] : 0,24

Tijd [u] : 12:40

1	0,19	0,16
2	0,12	0,17
3	0,05	0,18
4		

Vertikale 4

Afstand langsheen raai [m] 40

Waterdiepte [m] : 0,33

Tijd [u] : 12:45

1	0,26	0,10
2	0,20	0,10
3	0,13	0,12
4	0,06	0,13

Vertikale 5

Afstand langsheen raai [m] 43

Waterdiepte [m] : 0,45

Tijd [u] : 12:50

1	0,36	0,00
2	0,27	0,06
3	0,18	0,18
4	0,09	0,22

Vertikale 6

Afstand langsheen raai [m] 46

Waterdiepte [m] : 0,09

Tijd [u] : 12:55

1	0,04	0,21
2		
3		
4		

Meetresultaten

Stroomsnelheid Raai Noord

Meetsequentie 11

Waterhoogte t.o.v. Z = 2,89

Grenzen natte sectie van 29 tot 48 m langsheen de raai

Vertikale 1

Afstand langsheen raai [m] 32

Waterdiepte [m] : 0,29

Tijd [u] : 13:00

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,23	0,06
2	0,17	0,08
3	0,11	0,09
4	0,05	0,11

Vertikale 2

Afstand langsheen raai [m] 34

Waterdiepte [m] : 0,69

Tijd [u] : 13:05

1	0,55	0,04
2	0,41	0,04
3	0,27	0,04
4	0,13	0,04

Vertikale 3

Afstand langsheen raai [m] 37

Waterdiepte [m] : 0,22

Tijd [u] : 13:10

1	0,16	0,16
2	0,10	0,15
3	0,04	0,15
4		

Vertikale 4

Afstand langsheen raai [m] 40

Waterdiepte [m] : 0,33

Tijd [u] : 13:15

1	0,26	0,08
2	0,20	0,11
3	0,14	0,12
4	0,07	0,16

Vertikale 5

Afstand langsheen raai [m] 43

Waterdiepte [m] : 0,41

Tijd [u] : 13:20

1	0,33	0,00
2	0,25	0,00
3	0,17	0,11
4	0,09	0,21

Vertikale 6

Afstand langsheen raai [m] 46

Waterdiepte [m] : 0,10

Tijd [u] : 13:20

1	0,05	0,21
2		
3		
4		

Meetresultaten
Stroomsnelheid Raai Noord

Meetsequentie 12

Waterhoogte t.o.v. Z = 2,88

Grenzen natte sectie van 30 tot 48 m langsheen de raai

Vertikale 1

Afstand langsheen raai [m] 32

Waterdiepte [m] : 0,26

Tijd [u] : 13:30

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,21	0,05
2	0,16	0,06
3	0,11	0,05
4	0,05	0,00

Vertikale 2

Afstand langsheen raai [m] 34

Waterdiepte [m] : 0,66

Tijd [u] : 13:35

1	0,53	0,00
2	0,40	0,07
3	0,27	0,06
4	0,14	0,08

Vertikale 3

Afstand langsheen raai [m] 37

Waterdiepte [m] : 0,23

Tijd [u] : 13:40

1	0,18	0,12
2	0,13	0,13
3	0,09	0,12
4	0,05	0,13

Vertikale 4

Afstand langsheen raai [m] 40

Waterdiepte [m] : 0,33

Tijd [u] : 13:45

1	0,26	0,09
2	0,19	0,06
3	0,12	0,12
4	0,06	0,11

Vertikale 5

Afstand langsheen raai [m] 43

Waterdiepte [m] : 0,38

Tijd [u] : 13:50

1	0,23	0,08
2	0,18	0,18
3	0,12	0,20
4	0,06	0,19

Vertikale 6

Afstand langsheen raai [m] 46

Waterdiepte [m] : 0,10

Tijd [u] : 13:55

1	0,05	0,20
2		
3		
4		

Meetresultaten Stroomsnelheid Raai Noord
--

Meetsequentie 13

Waterhoogte t.o.v. Z = 2,88

Grenzen natte sectie van 29 tot 52 m langsheen de raai

Vertikale 1

Afstand langsheen raai [m] 32

Waterdiepte [m] : 0,27

Tijd [u] : 14:00

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,22	0,06
2	0,17	0,07
3	0,11	0,07
4	0,05	0,07

Vertikale 2

Afstand langsheen raai [m] 34

Waterdiepte [m] : 0,68

Tijd [u] : 14:05

1	0,55	0,00
2	0,42	0,07
3	0,28	0,06
4	0,14	0,08

Vertikale 3

Afstand langsheen raai [m] 37

Waterdiepte [m] : 0,23

Tijd [u] : 14:10

1	0,18	0,13
2	0,14	0,13
3	0,10	0,15
4	0,05	0,15

Vertikale 4

Afstand langsheen raai [m] 40

Waterdiepte [m] : 0,30

Tijd [u] : 14:15

1	0,24	0,11
2	0,18	0,08
3	0,12	0,12
4	0,06	0,16

Vertikale 5

Afstand langsheen raai [m] 43

Waterdiepte [m] : 0,43

Tijd [u] : 14:20

1	0,35	0,00
2	0,27	0,06
3	0,18	0,10
4	0,09	0,18

Vertikale 6

Afstand langsheen raai [m] 46

Waterdiepte [m] : 0,09

Tijd [u] : 14:25

1	0,04	0,19
2		
3		
4		

Meetresultaten
Stroomsnelheid Raai Noord

Meetsequentie 14

Waterhoogte t.o.v. Z = 2,86

Grenzen natte sectie van 29 tot 48 m langsheen de raai

Vertikale 1

Afstand langsheen raai [m] 32

Waterdiepte [m] : 0,27

Tijd [u] : 14:30

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,22	0,00
2	0,17	0,07
3	0,11	0,06
4	0,06	0,05

Vertikale 2

Afstand langsheen raai [m] 34

Waterdiepte [m] : 0,68

Tijd [u] : 14:35

1	0,55	0,04
2	0,42	0,04
3	0,28	0,07
4	0,14	0,09

Vertikale 3

Afstand langsheen raai [m] 37

Waterdiepte [m] : 0,20

Tijd [u] : 14:40

1	0,17	0,14
2	0,10	0,14
3	0,04	0,15
4		

Vertikale 4

Afstand langsheen raai [m] 40

Waterdiepte [m] : 0,31

Tijd [u] : 14:45

1	0,25	0,09
2	0,19	0,11
3	0,13	0,13
4	0,07	0,16

Vertikale 5

Afstand langsheen raai [m] 43

Waterdiepte [m] : 0,43

Tijd [u] : 14:50

1	0,35	0,00
2	0,27	0,00
3	0,15	0,12
4	0,07	0,20

Vertikale 6

Afstand langsheen raai [m] 46

Waterdiepte [m] : 0,09

Tijd [u] : 14:55

1	0,04	0,19
2		
3		
4		

Meetresultaten
Stroomsnelheid Raai Noord

Meetsequentie 15

Waterhoogte t.o.v. Z = 2,86

Grenzen natte sectie van 29 tot 49 m langsheen de raai

Vertikale 1

Afstand langsheen raai [m] 32

Waterdiepte [m] : 0,67

Tijd [u] : 15:00

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,54	0,21
2	0,41	0,33
3	0,27	0,36
4	0,14	0,34

Vertikale 2

Afstand langsheen raai [m] 34

Waterdiepte [m] : 0,86

Tijd [u] : 15:05

1	0,69	0,13
2	0,52	0,20
3	0,35	0,25
4	0,21	0,31

Vertikale 3

Afstand langsheen raai [m] 37

Waterdiepte [m] : 0,43

Tijd [u] : 15:10

1	0,34	0,20
2	0,25	0,22
3	0,17	0,21
4	0,08	0,28

Vertikale 4

Afstand langsheen raai [m] 40

Waterdiepte [m] : 0,45

Tijd [u] : 15:15

1	0,36	0,10
2	0,27	0,11
3	0,18	0,14
4	0,09	0,18

Vertikale 5

Afstand langsheen raai [m] 43

Waterdiepte [m] : 0,47

Tijd [u] : 15:20

1	0,38	0,00
2	0,29	0,04
3	0,20	0,04
4	0,10	0,10

Vertikale 6

Afstand langsheen raai [m] 46

Waterdiepte [m] : 0,13

Tijd [u] : 15:25

1	0,08	0,10
2		
3		
4		

Meetresultaten Stroomsnelheid Raai Noord

Meetsequentie 16

Waterhoogte t.o.v. Z = 3,38

Grenzen natte sectie van 26 tot 60 m langsheen de raai

Vertikale 1

Afstand langsheen raai [m] 30

Waterdiepte [m] : 0,47

Tijd [u] : 19:50

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,35	0,89
2	0,22	0,98
3	0,10	0,95
4	0,00	0,00

Vertikale 2

Afstand langsheen raai [m] 34

Waterdiepte [m] : 1,00

Tijd [u] : 19:55

1	0,70	0,34
2	0,50	0,46
3	0,33	0,60
4	0,17	0,70

Vertikale 3

Afstand langsheen raai [m] 38

Waterdiepte [m] : 0,70

Tijd [u] : 20:00

1	0,56	0,67
2	0,42	0,74
3	0,28	0,79
4	0,14	0,84

Vertikale 4

Afstand langsheen raai [m] 43

Waterdiepte [m] : 0,95

Tijd [u] : 20:05

1	0,75	0,15
2	0,55	0,50
3	0,35	0,69
4	0,15	0,59

Vertikale 5

Afstand langsheen raai [m] 49

Waterdiepte [m] : 0,52

Tijd [u] : 20:10

1	0,42	0,56
2	0,32	0,68
3	0,22	0,66
4	0,10	0,63

Vertikale 6

Afstand langsheen raai [m] 55

Waterdiepte [m] : 0,46

Tijd [u] : 20:15

1	0,36	0,11
2	0,23	0,27
3	0,10	0,61
4		

Meetresultaten

Stroomsnelheid Raai Noord

Meetsequentie 17

Waterhoogte t.o.v. Z = 3,24
Grenzen natte sectie van 27 tot 57 m langsheen de raai

Vertikale 1

Afstand langsheen raai [m] 30
Waterdiepte [m] : 0,33
Tijd [u] : 20:20

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,23	0,48
2	0,15	0,51
3	0,07	0,47
4		

Vertikale 2

Afstand langsheen raai [m] 34
Waterdiepte [m] : 0,95
Tijd [u] : 20:25

1	0,75	0,17
2	0,55	0,21
3	0,35	0,42
4	0,15	0,56

Vertikale 3

Afstand langsheen raai [m] 39
Waterdiepte [m] : 0,57
Tijd [u] : 20:30

1	0,45	0,45
2	0,33	0,46
3	0,21	0,45
4	0,10	0,47

Vertikale 4

Afstand langsheen raai [m] 43
Waterdiepte [m] : 0,85
Tijd [u] : 20:35

1	0,65	0,18
2	0,47	0,53
3	0,38	0,50
4	0,19	0,52

Vertikale 5

Afstand langsheen raai [m] 48
Waterdiepte [m] : 0,47
Tijd [u] : 20:40

1	0,35	0,53
2	0,23	0,53
3	0,11	0,45
4		

Vertikale 6

Afstand langsheen raai [m] 53
Waterdiepte [m] : 0,44
Tijd [u] : 20:45

1	0,34	0,09
2	0,22	0,38
3	0,10	0,50
4		

Meetresultaten
Stroomsnelheid Raai West

Meetsequentie 1

Waterhoogte t.o.v. Z = 3,22
Grenzen natte sectie van 3,7 tot 7,1 m langsheen de raai

Vertikale 1
Afstand langsheen raai [m] 3,9
Waterdiepte [m] : 0,05
Tijd [u] : 15:00

Vertikale 2
Afstand langsheen raai [m] 5,8
Waterdiepte [m] : 0,00
Tijd [u] : 15:05

Vertikale 3
Afstand langsheen raai [m] 6,9
Waterdiepte [m] : 0,05
Tijd [u] : 15:10

Vertikale 4
Afstand langsheen raai [m] :
Waterdiepte [m] :
Tijd [u] :

Vertikale 5
Afstand langsheen raai [m] :
Waterdiepte [m] :
Tijd [u] :

Vertikale 6
Afstand langsheen raai [m] :
Waterdiepte [m] :
Tijd [u] :

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,03	0,17
2		
3		
4		
1		
2		
3		
4		
1	0,02	0,24
2		
3		
4		
1		
2		
3		
4		
1		
2		
3		
4		

Meetresultaten

Stroomsnelheid Raai West

Meetsequentie 2

Waterhoogte t.o.v. Z = 3,12
Grenzen natte sectie van 3,6 tot 7,1 m langsheen de raai

Vertikale 1
Afstand langsheen raai [m] 3,9
Waterdiepte [m] : 0,05
Tijd [u] : 15:30

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,00	0,28
2		
3		
4		

Vertikale 2
Afstand langsheen raai [m] 5,8
Waterdiepte [m] : 0,00
Tijd [u] : 15:35

1		
2		
3		
4		

Vertikale 3
Afstand langsheen raai [m] 6,8
Waterdiepte [m] : 0,05
Tijd [u] : 15:40

1	0,01	0,23
2		
3		
4		

Vertikale 4
Afstand langsheen raai [m] :
Waterdiepte [m] :
Tijd [u] :

1		
2		
3		
4		

Vertikale 5
Afstand langsheen raai [m] :
Waterdiepte [m] :
Tijd [u] :

1		
2		
3		
4		

Vertikale 6
Afstand langsheen raai [m] :
Waterdiepte [m] :
Tijd [u] :

1		
2		
3		
4		

Meetresultaten
Stroomsnelheid Raai West

Meetsequentie 3

Waterhoogte t.o.v. Z = 3,05
Grenzen natte sectie van 3,6 tot 7,1 m langsheen de raai

Vertikale 1

Afstand langsheen raai [m] 4,3
Waterdiepte [m] : 0,60
Tijd [u] : 15:50

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,15	0,17
2		
3		
4		

Vertikale 2

Afstand langsheen raai [m] 5,3
Waterdiepte [m] : 0,43
Tijd [u] : 15:55

1	0,35	0,19
2	0,27	0,27
3	0,19	0,30
4	0,07	0,35

Vertikale 3

Afstand langsheen raai [m] 8,0
Waterdiepte [m] : 0,43
Tijd [u] : 16:00

1	0,35	0,19
2	0,27	0,22
3	0,19	0,28
4	0,10	0,29

Vertikale 4

Afstand langsheen raai [m] 10,5
Waterdiepte [m] : 0,38
Tijd [u] : 16:05

1	0,31	0,16
2	0,23	0,23
3	0,16	0,25
4	0,08	0,28

Vertikale 5

Afstand langsheen raai [m] :
Waterdiepte [m] :
Tijd [u] :

1		
2		
3		
4		

Vertikale 6

Afstand langsheen raai [m] :
Waterdiepte [m] :
Tijd [u] :

1		
2		
3		
4		

Meetresultaten

Stroomsnelheid Raai West

Meetsequentie 4

Waterhoogte t.o.v. Z = 3,04
Grenzen natte sectie van 1,2 tot 18,2 m langsheen de raai

Vertikale 1
Afstand langsheen raai [m] = 8,0
Waterdiepte [m] : 0,76
Tijd [u] : 16:10

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,61	0,40
2	0,46	0,49
3	0,31	0,49
4	0,15	0,53

Vertikale 2
Afstand langsheen raai [m] 10,0
Waterdiepte [m] : 0,71
Tijd [u] : 16:15

1	0,57	0,47
2	0,43	0,55
3	0,28	0,60
4	0,13	0,52

Vertikale 3
Afstand langsheen raai [m] 12,0
Waterdiepte [m] : 0,70
Tijd [u] : 16:20

1	0,56	0,32
2	0,42	0,40
3	0,28	0,46
4	0,14	0,38

Vertikale 4
Afstand langsheen raai [m] 14,0
Waterdiepte [m] : 0,43
Tijd [u] : 16:25

1	0,34	0,31
2	0,26	0,42
3	0,17	0,42
4	0,08	0,41

Vertikale 5
Afstand langsheen raai [m] 15,5
Waterdiepte [m] : 0,28
Tijd [u] : 16:30

1	0,22	0,16
2	0,13	0,24
3	0,05	0,27
4		

Vertikale 6
Afstand langsheen raai [m] :
Waterdiepte [m] :
Tijd [u] :

1		
2		
3		
4		

Meetresultaten Stroomsnelheid Raai West

Meetsequentie 5

Waterhoogte t.o.v. Z = 2,98

Grenzen natte sectie van -0,4 tot 25,0 m langsheen de raai

Vertikale 1

Afstand langsheen raai [m] 9,0

Waterdiepte [m] : 1,00

Tijd [u] : 16:30

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,75	0,35
2	0,60	0,34
3	0,40	0,30
4	0,20	0,32

Vertikale 2

Afstand langsheen raai [m] 11,0

Waterdiepte [m] : 0,90

Tijd [u] : 16:35

1	0,80	0,23
2	0,60	0,28
3	0,40	0,29
4	0,20	0,27

Vertikale 3

Afstand langsheen raai [m] 13,5

Waterdiepte [m] : 0,80

Tijd [u] : 16:40

1	0,70	0,19
2	0,50	0,23
3	0,30	0,25
4	0,10	0,23

Vertikale 4

Afstand langsheen raai [m] 16,0

Waterdiepte [m] : 0,48

Tijd [u] : 16:45

1	0,38	0,13
2	0,28	0,21
3	0,18	0,16
4	0,08	0,24

Vertikale 5

Afstand langsheen raai [m] 19,0

Waterdiepte [m] : 0,29

Tijd [u] : 16:50

1	0,19	0,29
2	0,09	0,17
3		
4		

Vertikale 6

Afstand langsheen raai [m] 21,0

Waterdiepte [m] : 0,12

Tijd [u] : 16:55

1	0,06	0,26
2		
3		
4		

Meetresultaten

Stroomsnelheid Raai West

Meetsequentie 6

Waterhoogte t.o.v. Z = 4,89

Grenzen natte sectie van -0,4 tot 27,0 m langsheen de raai

Vertikale 1

Afstand langsheen raai [m] 11,0

Waterdiepte [m] : 1,10

Tijd [u] : 16:45

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,92	0,20
2	0,70	0,22
3	0,45	0,20
4	0,25	0,21

Vertikale 2

Afstand langsheen raai [m] 13,0

Waterdiepte [m] : 1,00

Tijd [u] : 16:50

1	0,90	0,11
2	0,65	0,15
3	0,40	0,16
4	0,20	0,16

Vertikale 3

Afstand langsheen raai [m] 15,0

Waterdiepte [m] : 0,68

Tijd [u] : 16:55

1	0,53	0,08
2	0,38	0,10
3	0,28	0,07
4	0,13	0,10

Vertikale 4

Afstand langsheen raai [m] 17,5

Waterdiepte [m] : 0,45

Tijd [u] : 17:00

1	0,35	0,08
2	0,25	0,10
3	0,15	0,08
4	0,05	0,11

Vertikale 5

Afstand langsheen raai [m] 20,0

Waterdiepte [m] : 0,38

Tijd [u] : 17:05

1	0,28	0,13
2	0,18	0,16
3	0,08	0,13
4		

Vertikale 6

Afstand langsheen raai [m] 22,0

Waterdiepte [m] : 0,21

Tijd [u] : 17:10

1	0,11	0,21
2		
3		
4		

Meetresultaten
Stroomsnelheid Raai West

Meetsequentie 7

Waterhoogte t.o.v. Z = 2,94

Grenzen natte sectie van 0,0 tot 20,0 m langsheen de raai

Vertikale 1

Afstand langsheen raai [m] 10,0

Waterdiepte [m] : 1,00

Tijd [u] : 17:10

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,80	0,20
2	0,60	0,22
3	0,40	0,21
4	0,20	0,21

Vertikale 2

Afstand langsheen raai [m] 11,5

Waterdiepte [m] : 0,90

Tijd [u] : 17:15

1	0,70	0,19
2	0,50	0,22
3	0,30	0,20
4	0,12	0,19

Vertikale 3

Afstand langsheen raai [m] 13,0

Waterdiepte [m] : 0,75

Tijd [u] : 17:20

1	0,60	0,18
2	0,45	0,20
3	0,30	0,22
4	0,15	0,22

Vertikale 4

Afstand langsheen raai [m] 15,0

Waterdiepte [m] : 0,53

Tijd [u] : 17:25

1	0,41	0,09
2	0,28	0,11
3	0,13	0,09
4		

Vertikale 5

Afstand langsheen raai [m] 17,0

Waterdiepte [m] : 0,36

Tijd [u] : 17:30

1	0,24	0,00
2	0,12	0,00
3		
4		

Vertikale 6

Afstand langsheen raai [m] 19,0

Waterdiepte [m] : 0,30

Tijd [u] : 17:35

1	0,20	0,00
2	0,10	0,00
3		
4		

Meetresultaten
Stroomsnelheid Raai West

Meetsequentie 8

Waterhoogte t.o.v. Z = 2,91

Grenzen natte sectie van 0,0 tot 20,0 m langsheen de raai

Vertikale 1

Afstand langsheen raai [m] 8,0

Waterdiepte [m] : 0,95

Tijd [u] : 17:30

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,75	0,15
2	0,55	0,20
3	0,35	0,14
4	0,15	0,15

Vertikale 2

Afstand langsheen raai [m] 10,0

Waterdiepte [m] : 0,85

Tijd [u] : 17:35

1	0,70	0,15
2	0,53	0,16
3	0,35	0,15
4	0,15	0,15

Vertikale 3

Afstand langsheen raai [m] 12,0

Waterdiepte [m] : 0,74

Tijd [u] : 17:40

1	0,59	0,18
2	0,44	0,19
3	0,29	0,18
4	0,14	0,20

Vertikale 4

Afstand langsheen raai [m] 14,0

Waterdiepte [m] : 0,49

Tijd [u] : 17:45

1	0,39	0,11
2	0,29	0,13
3	0,19	0,17
4	0,09	0,15

Vertikale 5

Afstand langsheen raai [m] 16,0

Waterdiepte [m] : 0,22

Tijd [u] : 17:50

1	0,12	0,05
2		
3		
4		

Vertikale 6

Afstand langsheen raai [m] :

Waterdiepte [m] :

Tijd [u] :

1		
2		
3		
4		

Meetresultaten Stroomsnelheid Raai West

Meetsequentie 9

Waterhoogte t.o.v. Z = 2,90

Grenzen natte sectie van 0,4 tot 16,0 m langsheen de raai

Vertikale 1

Afstand langsheen raai [m] 7,5

Waterdiepte [m] : 0,87

Tijd [u] : 18:00

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,67	0,20
2	0,52	0,20
3	0,37	0,19
4	0,17	0,17

Vertikale 2

Afstand langsheen raai [m] 9,0

Waterdiepte [m] : 0,72

Tijd [u] : 18:05

1	0,60	0,13
2	0,45	0,17
3	0,29	0,18
4	0,12	0,17

Vertikale 3

Afstand langsheen raai [m] 10,5

Waterdiepte [m] : 0,63

Tijd [u] : 18:10

1	0,51	0,12
2	0,38	0,17
3	0,26	0,18
4	0,13	0,19

Vertikale 4

Afstand langsheen raai [m] 12,0

Waterdiepte [m] : 0,50

Tijd [u] : 18:15

1	0,40	0,16
2	0,30	0,15
3	0,20	0,17
4	0,10	0,16

Vertikale 5

Afstand langsheen raai [m] 13,5

Waterdiepte [m] : 0,32

Tijd [u] : 18:20

1	0,22	0,00
2	0,12	0,00
3		
4		

Vertikale 6

Afstand langsheen raai [m] :

Waterdiepte [m] :

Tijd [u] :

1		
2		
3		
4		

Meetresultaten
Stroomsnelheid Raai West

Meetsequentie 10

Waterhoogte t.o.v. Z = 2,89

Grenzen natte sectie van 1,5 tot 14,0 m langsheen de raai

Vertikale 1

Afstand langsheen raai [m] 4,0

Waterdiepte [m] : 0,90

Tijd [u] : 18:30

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,70	0,09
2	0,50	0,13
3	0,30	0,11
4	0,10	0,10

Vertikale 2

Afstand langsheen raai [m] 5,0

Waterdiepte [m] : 0,85

Tijd [u] : 18:35

1	0,65	0,09
2	0,50	0,07
3	0,35	0,08
4	0,20	0,11

Vertikale 3

Afstand langsheen raai [m] 6,0

Waterdiepte [m] : 0,82

Tijd [u] : 18:40

1	0,62	0,13
2	0,47	0,13
3	0,32	0,15
4	0,17	0,19

Vertikale 4

Afstand langsheen raai [m] 7,5

Waterdiepte [m] : 0,59

Tijd [u] : 18:45

1	0,47	0,15
2	0,35	0,21
3	0,23	0,18
4	0,11	0,19

Vertikale 5

Afstand langsheen raai [m] 9,0

Waterdiepte [m] : 0,36

Tijd [u] : 18:50

1	0,24	0,13
2	0,11	0,18
3		
4		

Vertikale 6

Afstand langsheen raai [m] 11,0

Waterdiepte [m] : 0,20

Tijd [u] : 18:55

1	0,10	0,04
2		
3		
4		

Meetresultaten
Stroomsnelheid Raai West

Meetsequentie 11

Waterhoogte t.o.v. Z = 2,89

Grenzen natte sectie van 2,7 tot 11,7 m langsheen de raai

Vertikale 1

Afstand langsheen raai [m] 4,0

Waterdiepte [m] : 0,59

Tijd [u] : 19:00

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,47	0,07
2	0,35	0,06
3	0,23	0,10
4	0,11	0,07

Vertikale 2

Afstand langsheen raai [m] 5,0

Waterdiepte [m] : 0,51

Tijd [u] : 19:05

1	0,41	0,08
2	0,31	0,08
3	0,21	0,08
4	0,11	0,08

Vertikale 3

Afstand langsheen raai [m] 6,0

Waterdiepte [m] : 0,49

Tijd [u] : 19:10

1	0,39	0,08
2	0,29	0,11
3	0,19	0,14
4	0,09	0,13

Vertikale 4

Afstand langsheen raai [m] 7,0

Waterdiepte [m] : 0,43

Tijd [u] : 19:15

1	0,33	0,14
2	0,24	0,18
3	0,15	0,16
4	0,07	0,14

Vertikale 5

Afstand langsheen raai [m] 8,0

Waterdiepte [m] : 0,17

Tijd [u] : 19:20

1	0,08	0,00
2		
3		
4		

Vertikale 6

Afstand langsheen raai [m] :

Waterdiepte [m] :

Tijd [u] :

1		
2		
3		
4		

Meetresultaten
Stroomsnelheid Raai West

Meetsequentie 12

Waterhoogte t.o.v. Z = 2,88

Grenzen natte sectie van 3,2 tot 7,7 m langsheen de raai

Vertikale 1

Afstand langsheen raai [m] 4,0

Waterdiepte [m] : 0,28

Tijd [u] : 19:30

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]
1	0,18	0,07
2	0,08	0,10
3		
4		

Vertikale 2

Afstand langsheen raai [m] 4,8

Waterdiepte [m] : 0,24

Tijd [u] : 19:35

1	0,12	0,11
2		
3		
4		

Vertikale 3

Afstand langsheen raai [m] 5,6

Waterdiepte [m] : 0,15

Tijd [u] : 19:40

1	0,07	0,16
2		
3		
4		

Vertikale 4

Afstand langsheen raai [m] 6,0

Waterdiepte [m] : 0,23

Tijd [u] : 19:45

1	0,11	0,20
2		
3		
4		

Vertikale 5

Afstand langsheen raai [m] 6,5

Waterdiepte [m] : 0,21

Tijd [u] : 19:50

1	0,10	0,25
2		
3		
4		

Vertikale 6

Afstand langsheen raai [m] 6,9

Waterdiepte [m] : 0,16

Tijd [u] : 19:55

1	0,08	0,15
2		
3		
4		

Meetresultaten
STAKETSEL WEST

	Meting nr.	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]	Hoogte boven bodem [m]	Sedimentconcentratie [g/l]			
					Totaal	Zand	Slib	Org.M.
Vertikale 1 Tijdstip [u] : 15:50	1	1,25	0,16	1,50				
	2	0,37		1,00				
	3			0,50				
	4			0,25	0,304	0,272	0,032	0,010
	5			0,10	0,034	0,010	0,024	0,008
Vertikale 2 Tijdstip [u] : 16:10	1	1,25	0,47	1,50				
	2	0,37		1,00				
	3			0,50	0,065	0,023	0,042	0,008
	4			0,25	0,145	0,104	0,041	0,013
	5			0,10	0,129	0,072	0,057	0,013
Vertikale 3 Tijdstip [u] : 16:30	1	1,25	0,30	1,50	0,055	0,016	0,039	0,010
	2	0,37		1,00	0,035	0,011	0,024	0,005
	3			0,50	0,031	0,003	0,028	0,004
	4			0,25	0,035	0,012	0,023	0,004
	5			0,10	0,038	0,000	0,038	0,003
Vertikale 4 Tijdstip [u] : 16:50	1	1,25	0,15 0,10	1,50	0,028	0,007	0,021	0,007
	2	0,37		1,00	0,034	0,000	0,034	0,003
	3			0,50	0,036	0,009	0,027	0,003
	4			0,25	0,034	0,005	0,029	0,006
	5			0,10	0,037	0,001	0,036	0,007
Vertikale 5 Tijdstip [u] : 17:10	1	1,25	0,07 0,08	1,50	0,069	0,029	0,040	0,014
	2	0,37		1,00	0,025	0,006	0,019	0,012
	3			0,50	0,033	0,012	0,021	0,012
	4			0,25	0,027	0,007	0,020	0,007
	5			0,10	0,027	0,002	0,025	0,006

Meetresultaten
STAKETSEL WEST

	Meting nr.	Hoogte boven bodem	Snelheid	Hoogte boven bodem	Sedimentconcentratie [g/l]			
					Totaal	Zand	Slib	Org.M.
	[-]	[m]	[m/s]	[m]				
vertikale 6 dstip [u] : 17:30	1	1,25	0,07	1,50				
	2	0,37	0,00	1,00	0,027	0,013	0,014	0,011
	3			0,50	0,025	0,007	0,018	0,013
	4			0,25	0,030	0,015	0,015	0,012
	5			0,10	0,025	0,009	0,016	0,010
vertikale 7 dstip [u] : 18:00	1	1,25		1,50				
	2	0,37	0,13	1,00	0,026	0,011	0,015	0,011
	3			0,50	0,023	0,011	0,012	0,007
	4			0,25	0,019	0,005	0,014	0,011
	5			0,10	0,019	0,004	0,015	0,009
vertikale 8 dstip [u] : 18:30	1	1,25		1,50				
	2	0,37	0,13	1,00				
	3			0,50	0,032	0,005	0,027	0,008
	4			0,25	0,020	0,010	0,010	0,012
	5			0,10	0,031	0,021	0,010	0,005
vertikale 9 dstip [u] : 19:00	1	1,25		1,50				
	2	0,37	0,10	1,00				
	3			0,50	0,128	0,113	0,015	0,007
	4			0,25	0,024	0,004	0,020	0,017
	5			0,10	0,061	0,044	0,017	0,009
vertikale 10 dstip [u] : 19:30	1	1,25		1,50				
	2	0,37		1,00				
	3			0,50				
	4			0,25				
	5			0,10	0,133	0,056	0,077	0,017

Meetresultaten
STAKETSEL ZUID (WEST)

	Meting nr.	Hoogte boven bodem	Snelheid	Hoogte boven bodem	Sedimentconcentratie [g/l]			
					Totaal	Zand	Slib	Org.M.
	[-]	[m]	[m/s]	[m]				
Vertikale 1	1	1,25		1,50				
	2	0,37		1,00				
Tijdstip [u] : 14:00	3			0,50				
	4			0,25	0,024	0,006	0,018	0,012
	5			0,10	0,024	0,009	0,015	0,010
Vertikale 2	1	1,25		1,50				
	2	0,37		1,00				
Tijdstip [u] : 14:30	3			0,50				
	4			0,25	0,062	0,050	0,012	0,012
	5			0,10	0,048	0,039	0,009	0,009
Vertikale 3	1	1,25		1,50				
	2	0,37		1,00				
Tijdstip [u] : 15:00	3			0,50				
	4			0,25	0,025	0,017	0,019	0,012
	5			0,10	0,026	0,014	0,021	0,008
Vertikale 4	1	1,25		1,50				
	2	0,37	0,40	1,00				
Tijdstip [u] : 15:30	3			0,50				
	4			0,25	0,031	0,008	0,023	0,012
	5			0,10	0,063	0,037	0,026	0,015
Vertikale 5	1	1,25		1,50				
	2	0,37	0,59	1,00				
Tijdstip [u] : 15:50	3			0,50	0,100	0,012	0,088	0,019
	4			0,25	0,107	0,019	0,088	0,019
	5			0,10	0,112	0,016	0,096	0,013

Meetresultaten
STAKETSEL ZUID (WEST)

	Meting nr.	Hoogte boven bodem	Snelheid	Hoogte boven bodem	Sedimentconcentratie [g/l]			
					Totaal	Zand	Slib	Org.M.
	[-]	[m]	[m/s]	[m]				
Vertikale 6	1	1,25	0,78	1,50				
Tijdstip [u] : 16:10	2	0,37	0,62	1,00	0,055	0,010	0,045	0,009
	3			0,50	0,062	0,023	0,039	0,010
	4			0,25	0,126	0,072	0,054	0,014
	5			0,10	0,181	0,122	0,059	0,014
Vertikale 7	1	1,25	0,68	1,50	0,039	0,012	0,027	0,012
Tijdstip [u] : 16:30	2	0,37	0,47	1,00	0,047	0,021	0,026	0,006
	3			0,50	0,061	0,041	0,021	0,003
	4			0,25	0,077	0,060	0,017	0,008
	5			0,10	0,086	0,061	0,025	0,011
Vertikale 8	1	1,25	0,31	1,50	0,020	0,003	0,017	0,005
Tijdstip [u] : 16:50	2	0,37	0,24	1,00	0,024	0,004	0,020	0,006
	3			0,50	0,025	0,004	0,021	0,006
	4			0,25	0,036	0,012	0,024	0,007
	5			0,10	0,115	0,088	0,027	0,006
Vertikale 9	1	1,25	0,14	1,50	0,034	0,021	0,013	0,007
Tijdstip [u] : 17:10	2	0,37	0,13	1,00	0,027	0,006	0,021	0,006
	3			0,50	0,025	0,008	0,017	0,005
	4			0,25	0,029	0,008	0,021	0,010
	5			0,10	0,029	0,006	0,023	0,006
Vertikale 10	1	1,25	0,38	1,50	0,024	0,004	0,020	0,015
Tijdstip [u] : 17:30	2	0,37	0,30	1,00	0,027	0,002	0,025	0,016
	3			0,50	0,017	0,001	0,016	0,007
	4			0,25	0,024	0,003	0,021	0,008
	5			0,10	0,091	0,073	0,019	0,005

Meetresultaten STAKETSEL ZUID (WEST)

	Meting nr.	Hoogte boven bodem	Snelheid	Hoogte boven bodem	Sedimentconcentratie [g/l]			
					Totaal	Zand	Slib	Org.M.
	[-]	[m]	[m/s]	[m]				
Vertikale 11 Tijdstip [u] : 18:00	1	1,25	0,34	1,50	0,028	0,003	0,025	0,018
	2	0,37	0,29	1,00	0,038	0,000	0,038	0,015
	3			0,50	0,031	0,005	0,026	0,014
	4			0,25	0,040	0,005	0,035	0,016
	5			0,10	0,037	0,011	0,026	0,004
Vertikale 12 Tijdstip [u] : 18:30	1	1,25	0,37	1,50	0,026	0,006	0,020	0,017
	2	0,37	0,29	1,00	0,024	0,006	0,018	0,009
	3			0,50	0,053	0,034	0,019	0,012
	4			0,25	0,029	0,007	0,022	0,012
	5			0,10	0,035	0,014	0,021	0,015
Vertikale 13 Tijdstip [u] : 19:00	1	1,25	0,33	1,50				
	2	0,37	0,26	1,00	0,021	0,001	0,020	0,011
	3			0,50	0,021	0,003	0,018	0,013
	4			0,25	0,024	0,007	0,017	0,014
	5			0,10	0,028	0,009	0,019	0,014
Vertikale 14 Tijdstip [u] : 19:30	1	1,25		1,50				
	2	0,37	0,23	1,00	0,026	0,002	0,024	0,016
	3			0,50	0,026	0,011	0,015	0,012
	4			0,25	0,025	0,009	0,016	0,010
	5			0,10	0,058	0,032	0,026	0,013

Meetresultaten

MEETVLETTEN ZUID

Meetsequentie 1
Waterhoogte t.o.v. Z = 2,88

oef 1
Waterdiepte [m] : 0,58
Tijdstip [u] : 14:00

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]	Sedimentconcentratie [g/l]			
			Totaal	Zand	Slib	Org.M.
1	0,23	0,02	0,019	0,004	0,015	0,007
2	0,33	0,02	0,023	0,003	0,020	0,007
3						
4						
1	0,25	0,03	0,017	0,003	0,014	0,008
2	0,31	0,03	0,018	0,001	0,017	0,009
3						
4						
1						
2						
3						
4						
1						
2						
3						
4						
1						
2						
3						
4						
1						
2						
3						
4						

oef 2
Waterdiepte [m] : 0,56
Tijdstip [u] : 14:05

oef 3
Waterdiepte [m] :
Tijdstip [u] :

oef 4
Waterdiepte [m] :
Tijdstip [u] :

oef 5
Waterdiepte [m] :
Tijdstip [u] :

oef 6
Waterdiepte [m] :
Tijdstip [u] :

Meetresultaten
MEETVLETTEN ZUID

Meetfrequentie 2
Meetfrequentie t.o.v. Z = 2,86

Boei 1
Waterdiepte [m] : 0,65
Tijdstip [u] : 14:30

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]	Sedimentconcentratie [g/l]			
			Totaal	Zand	Slib	Org.M.
1	0,25	0,02	0,019	0,000	0,019	0,011
2	0,40	0,02	0,021	0,000	0,021	0,010
3						
4						

Boei 2
Waterdiepte [m] : 0,58
Tijdstip [u] : 14:35

1	0,25	0,04	0,026	0,007	0,019	0,009
2	0,33	0,06	0,034	0,006	0,028	0,012
3						
4						

Boei 3
Waterdiepte [m] :
Tijdstip [u] :

1						
2						
3						
4						

Boei 4
Waterdiepte [m] :
Tijdstip [u] :

1						
2						
3						
4						

Boei 5
Waterdiepte [m] : 0,35
Tijdstip [u] : 14:30

1	0,17	0,00	0,042	0,004	0,038	0,013
2						
3						
4						

Boei 6
Waterdiepte [m] :
Tijdstip [u] :

1						
2						
3						
4						

Meetresultaten MEETVLETTEN ZUID

Meetsequentie 4
 Meetwaterhoogte t.o.v. Z = 2,95

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]	Sedimentconcentratie [g/l]			
			Totaal	Zand	Slib	Org.M.
Boei 1 Waterdiepte [m] : 0,69 Tijdstip [u] : 15:30	1 2 3 4	0,24 0,44 	0,34 0,52 	0,030 0,031 	0,002 0,000 	0,028 0,031
Boei 2 Waterdiepte [m] : 0,65 Tijdstip [u] : 15:35	1 2 3 4	0,25 0,40 	0,24 0,28 	0,076 0,095 	0,000 0,009 	0,076 0,086
Boei 3 Waterdiepte [m] : Tijdstip [u] :	1 2 3 4	 	 	 	 	
Boei 4 Waterdiepte [m] : Tijdstip [u] :	1 2 3 4	 	 	 	 	
Boei 5 Waterdiepte [m] : 0,35 Tijdstip [u] : 15:30	1 2 3 4	0,18 	0,00 	0,036 	0,006 	0,030
Boei 6 Waterdiepte [m] : 0,57 Tijdstip [u] : 15:35	1 2 3 4	0,25 	0,10 	0,012 	0,000 	0,012

Meetresultaten
MEETVLETTEN ZUID

Meetsequentie 3
Waterhoogte t.o.v. Z = 2,86

oei 1
Waterdiepte [m] : 0,67
Ijdstip [u] : 15:00

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]	Sedimentconcentratie [g/l]			
			Totaal	Zand	Slib	Org.M.
1	0,25	0,05	0,021	0,006	0,015	0,008
2	0,42	0,04	0,016	0,002	0,014	0,006
3						
4						

oei 2
Waterdiepte [m] : 0,6
Ijdstip [u] : 15:05

1	0,25	0,03	0,022	0,002	0,020	0,008
2	0,35	0,03	0,017	0,000	0,017	0,007
3						
4						

oei 3
Waterdiepte [m] :
Ijdstip [u] :

1						
2						
3						
4						

oei 4
Waterdiepte [m] :
Ijdstip [u] :

1						
2						
3						
4						

oei 5
Waterdiepte [m] : 0,36
Ijdstip [u] : 15:00

1	0,18	0,00	0,025	0,003	0,022	0,014
2						
3						
4						

oei 6
Waterdiepte [m] : 0,54
Ijdstip [u] : 15:05

1	0,25	0,00	0,095	0,064	0,031	0,092
2						
3						
4						

Meetresultaten

MEETVLETTEN ZUID

Meetsequentie 4
Waterhoogte t.o.v. Z = 2,95

Dei 1
Waterdiepte [m] : 0,69
Tijdstip [u] : 15:30

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]	Sedimentconcentratie [g/l]			
			Totaal	Zand	Slib	Org.M.
1	0,24	0,34	0,030	0,002	0,028	0,015
2	0,44	0,52	0,031	0,000	0,031	0,016
3						
4						

Dei 2
Waterdiepte [m] : 0,65
Tijdstip [u] : 15:35

1	0,25	0,24	0,076	0,000	0,076	0,021
2	0,40	0,28	0,095	0,009	0,086	0,024
3						
4						

Dei 3
Waterdiepte [m] :
Tijdstip [u] :

1						
2						
3						
4						

Dei 4
Waterdiepte [m] :
Tijdstip [u] :

1						
2						
3						
4						

Dei 5
Waterdiepte [m] : 0,35
Tijdstip [u] : 15:30

1	0,18	0,00	0,036	0,006	0,030	0,012
2						
3						
4						

Dei 6
Waterdiepte [m] : 0,57
Tijdstip [u] : 15:35

1	0,25	0,10	0,012	0,000	0,012	0,008
2						
3						
4						

Meetresultaten
MEETVLETTEN ZUID

etsequentie 5
erhoogte t.o.v. Z = 3,39

ei 1
terdiepte [m] : 1,1
stip [u] : 15:50

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]	Sedimentconcentratie [g/l]			
			Totaal	Zand	Slib	Org.M.
1	0,25	0,55	0,124	0,026	0,098	0,026
2	0,55	0,66	0,113	0,022	0,092	0,030
3	0,85	0,72	0,110	0,099	0,011	0,028
4						

ei 2
terdiepte [m] : 1,35
stip [u] : 15:57

1	0,25	0,52	0,108	0,062	0,046	0,022
2	0,50	0,65	0,083	0,018	0,065	0,022
3	0,80	0,74	0,048	0,001	0,047	0,019
4	1,10	0,83	0,042	0,000	0,042	0,017

ei 3
terdiepte [m] : 16:04
stip [u] :

1						
2						
3						
4						

ei 4
terdiepte [m] :
stip [u] :

1						
2						
3						
4						

ei 5
terdiepte [m] : 0,88
stip [u] : 15:50

1	0,28	0,33	0,228	0,118	0,110	0,024
2	0,58	0,68	0,180	0,108	0,072	0,014
3						
4						

ei 6
terdiepte [m] : 1,16
stip [u] : 15:55

1	0,26	0,56	0,448	0,377	0,071	0,024
2	0,56	0,79	0,108	0,037	0,071	0,015
3	0,86	0,83	0,075	0,015	0,060	0,017
4						

Meetresultaten
MEETVLETTEN ZUID

Meetsequentie 6
Waterhoogte t.o.v. Z = 4,30

Mei 1
Waterdiepte [m] : 2
Windstip [u] : 16:10

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]	Sedimentconcentratie [g/l]			
			Totaal	Zand	Slib	Org.M.
1	0,25	0,65	0,098	0,060	0,038	0,011
2	0,80	0,71	0,052	0,016	0,036	0,011
3	1,20	0,81	0,040	0,004	0,036	0,009
4	1,75	0,82	0,044	0,007	0,037	0,012

Mei 2
Waterdiepte [m] : 2,25
Windstip [u] : 16:16

1	0,25	0,52	0,097	0,062	0,035	0,015
2	1,05	0,67	0,039	0,006	0,033	0,011
3	1,45	0,76	0,037	0,003	0,034	0,013
4	2,00	0,77	0,040	0,011	0,029	0,013

Mei 3
Waterdiepte [m] : 2,40
Windstip [u] : 16:22

1	0,25	0,34	0,076	0,036	0,040	0,010
2	0,90	0,63	0,054	0,011	0,043	0,013
3	1,50	0,72	0,034	0,002	0,032	0,003
4	2,15	0,73	0,031	0,002	0,029	0,004

Mei 4
Waterdiepte [m] : 2:09
Windstip [u] : 16:10

1	0,26	0,76	0,114	0,060	0,054	0,013
2	0,51	0,82	0,066	0,017	0,049	0,015
3	0,84	0,88	0,050	0,007	0,043	0,010
4						

Mei 5
Waterdiepte [m] : 1,58
Windstip [u] : 16:16

1	0,30	0,69	0,135	0,086	0,049	0,013
2	0,56	0,77	0,084	0,038	0,046	0,013
3	0,81	0,80	0,075	0,036	0,039	0,024
4	1,08	0,83	0,050	0,000	0,050	0,016

Mei 6
Waterdiepte [m] : 1,75
Windstip [u] : 16:22

1	0,25	0,56	0,066	0,010	0,056	0,015
2	0,65	0,74	0,058	0,008	0,050	0,015
3	1,05	0,75	0,048	0,000	0,048	0,017
4	1,50	0,80	0,049	0,011	0,038	0,015

Meetresultaten MEETVLETTEN ZUID

Meetsequentie 7
 Waterhoogte t.o.v. Z = 4,78

Bei 1
 Waterdiepte [m] : 2,6
 Meetstip [u] : 16:30

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]	Sedimentconcentratie [g/l]			
			Totaal	Zand	Slib	Org.M.
1	0,25	0,53	0,066	0,033	0,033	0,033
2	0,90	0,61	0,044	0,010	0,034	0,006
3	1,60	0,62	0,040	0,018	0,022	0,007
4	2,35	0,63	0,029	0,004	0,025	0,007

Bei 2
 Waterdiepte [m] : 2,75
 Meetstip [u] : 16:36

1	0,25	0,26	0,049	0,016	0,033	0,009
2	0,95	0,52	0,031	0,003	0,028	0,008
3	1,75	0,56	0,043	0,004	0,039	0,009
4	2,50	0,55	0,030	0,002	0,028	0,008

Bei 3
 Waterdiepte [m] : 2,50
 Meetstip [u] : 16:42

1	0,25	0,10	0,045	0,000	0,045	0,012
2	0,80	0,31	0,028	0,005	0,023	0,110
3	1,50	0,38	0,030	0,009	0,021	0,100
4	2,25	0,39	0,032	0,010	0,022	0,007

Bei 4
 Waterdiepte [m] : 1,53
 Meetstip [u] : 16:30

1	0,25	0,52	0,058	0,020	0,038	0,012
2	0,53	0,66	0,034	0,004	0,030	0,015
3	0,93	0,68	0,036	0,005	0,031	0,021
4	1,28	0,70	0,026	0,001	0,025	0,012

Bei 5
 Waterdiepte [m] : 1,92
 Meetstip [u] : 16:30

1	0,25	0,51	0,048	0,016	0,032	0,014
2	0,67	0,55	0,045	0,011	0,034	0,015
3	1,17	0,59	0,056	0,019	0,037	0,018
4	1,67	0,59	0,039	0,009	0,030	0,015

Bei 6
 Waterdiepte [m] : 2,09
 Meetstip [u] : 16:42

1	0,25	0,43	0,059	0,005	0,054	0,022
2	0,79	0,52	0,046	0,003	0,043	0,016
3	1,34	0,46	0,051	0,003	0,048	0,013
4	1,84	0,46	0,043	0,009	0,034	0,012

Meetresultaten
MEETVLETTEN ZUID

Meetsequentie 8
Waterhoogte t.o.v. Z = 4,90

Dei 1
Waterdiepte [m] : 2,6
Meetstip [u] : 16:50

Meting nr.	Hoogte boven bodem	Snelheid	Sedimentconcentratie [g/l]			
			Totaal	Zand	Slib	Org.M.
1	0,25	0,20	0,037	0,017	0,020	0,010
2	0,80	0,25	0,031	0,002	0,029	0,008
3	1,60	0,23	0,022	0,001	0,021	0,001
4	2,35	0,21	0,024	0,004	0,020	0,005

Dei 2
Waterdiepte [m] : 2,6
Meetstip [u] : 16:56

1	0,25	0,11	0,029	0,005	0,024	0,004
2	0,80	0,09	0,028	0,009	0,019	0,006
3	1,60	0,05	0,028	0,012	0,016	0,005
4	2,35	0,06	0,023	0,008	0,015	0,004

Dei 3
Waterdiepte [m] : 2,40
Meetstip [u] : 17:02

1	0,25	0,15	0,027	0,007	0,020	0,002
2	0,70	0,10	0,049	0,027	0,022	0,003
3	1,40	0,17	0,026	0,005	0,021	0,008
4	2,15	0,16	0,032	0,010	0,022	0,012

Dei 4
Waterdiepte [m] : 1,86
Meetstip [u] : 16:50

1	0,26	0,13	0,060	0,025	0,035	0,014
2	0,76	0,23	0,039	0,005	0,034	0,012
3	1,16	0,26	0,034	0,007	0,027	0,011
4	1,61	0,21	0,033	0,009	0,024	0,010

Dei 5
Waterdiepte [m] : 2,36
Meetstip [u] : 16:56

1	0,25	0,09	0,045	0,001	0,044	0,013
2	0,86	0,05	0,036	0,004	0,032	0,012
3	1,56	0,03	0,035	0,005	0,030	0,011
4	2,11	0,05	0,043	0,012	0,031	0,015

Dei 6
Waterdiepte [m] : 2,37
Meetstip [u] : 17:02

1	0,25	0,04	0,036	0,007	0,029	0,009
2	0,87	0,16	0,034	0,002	0,032	0,011
3	1,47	0,17	0,052	0,021	0,031	0,012
4	2,12	0,20	0,042	0,000	0,042	0,015

Meetresultaten MEETVLETEN ZUID

Meetsequentie 9
Waterhoogte t.o.v. Z = 4,78

Boei 1
Waterdiepte [m] : 2,55
Tijdstip [u] : 17:10

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]	Sedimentconcentratie [g/l]			
			Totaal	Zand	Slib	Org.M.
1	0,25	0,21	0,037	0,007	0,030	0,013
2	0,75	0,28	0,036	0,011	0,025	0,013
3	1,55	0,31	0,025	0,002	0,023	0,008
4	2,30	0,34	0,021	0,000	0,021	0,009

Boei 2
Waterdiepte [m] : 2,4
Tijdstip [u] : 17:16

1	0,25	0,27	0,027	0,005	0,022	0,014
2	0,80	0,36	0,034	0,014	0,020	0,011
3	1,40	0,37	0,036	0,010	0,026	0,008
4	2,15	0,38	0,027	0,006	0,021	0,010

Boei 3
Waterdiepte [m] : 1,75
Tijdstip [u] : 17:22

1	0,25	0,25	0,028	0,000	0,028	0,005
2	0,65	0,39	0,026	0,008	0,018	0,005
3	1,10	0,41	0,027	0,012	0,015	0,014
4	1,50	0,41	0,043	0,031	0,012	0,009

Boei 4
Waterdiepte [m] : 1,61
Tijdstip [u] : 17:10

1	0,25	0,29	0,061	0,013	0,048	0,012
2	0,61	0,39	0,034	0,005	0,029	0,007
3	0,96	0,43	0,027	0,000	0,027	0,007
4	1,36	0,42	0,025	0,004	0,021	0,007

Boei 5
Waterdiepte [m] : 2,4
Tijdstip [u] : 17:16

1	0,25	0,13	0,026	0,006	0,020	0,007
2	0,90	0,21	0,020	0,002	0,018	0,009
3	1,50	0,24	0,020	0,001	0,019	0,011
4	2,15	0,25	0,037	0,018	0,019	0,010

Boei 6
Waterdiepte [m] : 2,5
Tijdstip [u] : 17:22

1	0,95	0,10	0,029	0,000	0,029	0,008
2	1,40	0,20	0,024	0,004	0,020	0,008
3	1,85	0,20	0,025	0,005	0,020	0,019
4	2,25	0,07	0,034	0,011	0,023	0,018

Meetresultaten
MEETVLETTEN ZUID

sequentie 10
hoogte t.o.v. Z = 4,59

1
diepte [m] : 2,55
p [u] : 17:30

Meting nr. [-]	Hoogte boven bodem [m]	Snelheid [m/s]	Sedimentconcentratie [g/l]			
			Totaal	Zand	Slib	Org.M.
1	0,35	0,23	0,042	0,013	0,029	0,009
2	0,85	0,30	0,032	0,009	0,023	0,011
3	1,55	0,34	0,039	0,004	0,035	0,013
4	2,30	0,37	0,037	0,016	0,021	0,011

2
diepte [m] : 2,25
ip [u] : 17:36

1	0,25	0,27	0,040	0,005	0,035	0,013
2	0,85	0,36	0,030	0,000	0,030	0,011
3	1,40	0,37	0,033	0,000	0,033	0,010
4	2,00	0,40	0,025	0,004	0,021	0,009

3
diepte [m] : 1,60
ip [u] : 17:42

1	0,25	0,34	0,025	0,002	0,023	0,010
2	0,60	0,36	0,026	0,004	0,022	0,010
3	0,95	0,38	0,031	0,006	0,025	0,015
4	1,35	0,38	0,029	0,008	0,021	0,011

4
diepte [m] : 1,51
ip [u] : 17:30

1	0,26	0,06	0,034	0,000	0,034	0,015
2	0,61	0,36	0,043	0,005	0,038	0,020
3	0,91	0,39	0,036	0,003	0,033	0,025
4	1,26	0,39	0,027	0,000	0,027	0,017

5
diepte [m] : 2,17
ip [u] : 17:36

1	0,24	0,13	0,042	0,004	0,038	0,022
2	0,87	0,31	0,039	0,008	0,031	0,022
3	1,47	0,32	0,044	0,011	0,033	0,021
4	1,92	0,33	0,041	0,009	0,032	0,019

6
diepte [m] : 2,25
ip [u] : 17:42

1	0,75	0,05	0,040	0,008	0,032	0,022
2	1,20	0,08	0,041	0,009	0,032	0,023
3	1,60	0,21	0,035	0,003	0,032	0,021
4	2,00	0,20	0,031	0,000	0,031	0,021

Meetresultaten MEETVLETTEN ZUID

Meetsequentie 11
 Waterhoogte t.o.v. Z = 4,42

Meting nr.	Hoogte boven bodem	Snelheid	Sedimentconcentratie [g/l]			
			Totaal	Zand	Slib	Org.M.
[-]	[m]	[m/s]				
Boei 1						
Waterdiepte [m] : 2,2	1	0,25	0,30	0,024	0,004	0,020
Tijdstip [u] : 18:00	2	0,80	0,33	0,023	0,005	0,018
	3	1,35	0,38	0,024	0,014	0,010
	4	1,95	0,38	0,030	0,007	0,023
Boei 2						
Waterdiepte [m] : 2,1	1	0,25	0,23	0,031	0,006	0,025
Tijdstip [u] : 18:10	2	0,75	0,31	0,017	0,001	0,016
	3	1,25	0,34	0,022	0,000	0,022
	4	1,85	0,36	0,017	0,000	0,017
Boei 3						
Waterdiepte [m] : 1,40	1	0,25	0,30	0,026	0,000	0,026
Tijdstip [u] : 18:20	2	0,60	0,34	0,023	0,000	0,023
	3	0,85	0,36	0,031	0,005	0,026
	4	1,15	0,39	0,029	0,010	0,019
Boei 4						
Waterdiepte [m] : 1,43	1	0,25	0,09	0,053	0,034	0,019
Tijdstip [u] : 18:00	2	0,58	0,29	0,027	0,008	0,019
	3	0,88	0,32	0,024	0,003	0,021
	4	1,18	0,35	0,019	0,003	0,013
Boei 5						
Waterdiepte [m] : 2,01	1	0,26	0,13	0,017	0,002	0,015
Tijdstip [u] : 18:10	2	0,76	0,09	0,015	0,002	0,013
	3	1,26	0,26	0,027	0,013	0,014
	4	1,76	0,27	0,019	0,000	0,019
Boei 6						
Waterdiepte [m] : 2,03	1	0,68	0,20	0,036	0,017	0,019
Tijdstip [u] : 18:20	2	0,93	0,26	0,027	0,007	0,020
	3					
	4					

Meetresultaten MEETVLETTEN ZUID

Meetsequentie 12
 Waterhoogte t.o.v. Z = 4,15

oef 1
 Waterdiepte [m] : 2,15
 Meetstip [u] : 18:30

Meting nr.	Hoogte boven bodem	Snelheid	Sedimentconcentratie [g/l]			
			Totaal	Zand	Slib	Org.M.
1	0,25	0,20	0,034	0,008	0,026	0,008
2	0,75	0,34	0,013	0,002	0,011	0,005
3	1,30	0,38	0,015	0,002	0,013	0,007
4	1,90	0,37	0,015	0,000	0,015	0,005

oef 2
 Waterdiepte [m] : 1,8
 Meetstip [u] : 18:40

1	0,25	0,25				
2	0,60	0,30	0,019	0,003	0,016	0,007
3	1,00	0,33	0,020	0,007	0,013	0,013
4	1,55	0,35	0,032	0,016	0,016	0,012

oef 3
 Waterdiepte [m] : 1,10
 Meetstip [u] : 18:50

1	0,25	0,28	0,056	0,033	0,023	0,023
2	0,60	0,33	0,017	0,002	0,015	0,007
3	0,85	0,35	0,015	0,004	0,011	0,012
4						

oef 4
 Waterdiepte [m] : 0,9
 Meetstip [u] : 18:30

1	0,25	0,31	0,025	0,003	0,022	0,011
2	0,65	0,33	0,023	0,002	0,021	0,012
3						
4						

oef 5
 Waterdiepte [m] : 1,56
 Meetstip [u] : 18:40

1	0,26	0,22	0,012	0,000	0,012	0,012
2	0,61	0,27	0,022	0,005	0,017	0,009
3	0,91	0,26	0,017	0,000	0,017	0,010
4	1,31	0,25	0,028	0,013	0,015	0,011

oef 6
 Waterdiepte [m] : 1,6
 Meetstip [u] : 18:50

1	0,25	0,24	0,020	0,005	0,015	0,013
2	0,55	0,23	0,021	0,008	0,013	0,013
3	1,00	0,24	0,021	0,009	0,012	0,012
4	1,35	0,24	0,017	0,000	0,017	0,010

Meetresultaten MEETVLETTEN ZUID

Meetsequentie 13
 Waterhoogte t.o.v. Z = 3,84

Meting nr.	Hoogte boven bodem	Snelheid	Sedimentconcentratie [g/l]			
			Totaal	Zand	Slib	Org.M.
Boei 1 Waterdiepte [m] : 1,95 Tijdstip [u] : 19:00	1	0,25	0,17	0,020	0,007	0,007
	2	0,70	0,28	0,022	0,006	0,008
	3	1,15	0,33	0,020	0,000	0,010
	4	1,70	0,34	0,021	0,005	0,005
Boei 2 Waterdiepte [m] : 1,5 Tijdstip [u] : 19:10	1	0,25	0,22	0,022	0,007	0,010
	2	0,55	0,26	0,022	0,001	0,021
	3	0,85	0,29	0,021	0,006	0,015
	4	1,25	0,31	0,024	0,011	0,013
Boei 3 Waterdiepte [m] : 1,10 Tijdstip [u] : 19:20	1	0,55	0,29	0,012	0,001	0,011
	2	0,85	0,30	0,017	0,000	0,017
	3					
	4					
Boei 4 Waterdiepte [m] : 0,68 Tijdstip [u] : 19:00	1	0,25	0,26	0,026	0,008	0,018
	2	0,43	0,26	0,017	0,002	0,015
	3					
	4					
Boei 5 Waterdiepte [m] : 1,26 Tijdstip [u] : 19:05	1	0,26	0,21	0,022	0,006	0,016
	2	0,51	0,26	0,026	0,014	0,012
	3	0,76	0,25	0,046	0,031	0,015
	4	1,01	0,25	0,031	0,015	0,016
Boei 6 Waterdiepte [m] : 1,42 Tijdstip [u] : 19:15	1	0,42	0,23	0,018	0,004	0,014
	2	0,67	0,25	0,025	0,011	0,014
	3	0,92	0,24	0,019	0,003	0,016
	4	1,17	0,23	0,018	0,002	0,016

Meetresultaten MEETVLETTEN ZUID

Meetsequentie 14
Waterhoogte t.o.v. Z = 3,53

Meting nr.	Hoogte boven bodem	Snelheid	Sedimentconcentratie [g/l]				
			Totaal	Zand	Slib	Org.M.	
[-]	[m]	[m/s]					
Boei 1							
Waterdiepte [m] : 1,55	1	0,25	0,14	0,015	0,002	0,013	0,011
Tijdstip [u] : 19:30	2	0,55	0,21	0,021	0,010	0,011	0,013
	3	0,90	0,24	0,015	0,009	0,006	0,010
	4	1,30	0,25	0,015	0,008	0,007	0,011
Boei 2							
Waterdiepte [m] : 1,25	1	0,25	0,15	0,013	0,006	0,007	0,010
Tijdstip [u] : 19:40	2	0,50	0,20	0,015	0,008	0,007	0,008
	3	0,75	0,23	0,018	0,008	0,010	0,009
	4	1,00	0,23	0,010	0,000	0,010	0,010
Boei 3							
Waterdiepte [m] : 0,80	1	0,45	0,17	0,013	0,000	0,013	0,013
Tijdstip [u] : 19:50	2	0,55	0,21	0,010	0,002	0,008	0,007
	3						
	4						
Boei 4							
Waterdiepte [m] : 0,56	1	0,25	0,16	0,022	0,000	0,022	0,020
Tijdstip [u] : 19:30	2						
	3						
	4						
Boei 5							
Waterdiepte [m] : 1,12	1	0,25	0,13	0,022	0,002	0,020	0,015
Tijdstip [u] : 19:35	2	0,62	0,21	0,018	0,000	0,018	0,010
	3	0,87	0,22	0,016	0,000	0,016	0,010
	4						
Boei 6							
Waterdiepte [m] : 1,00	1	0,70	0,20	0,015	0,004	0,011	0,009
Tijdstip [u] : 19:45	2						
	3						
	4						

Meetresultaten STAKETSEL ZUID (OOST)

	Meting nr.	Hoogte boven bodem	Snelheid	Hoogte boven bodem	Sedimentconcentratie [g/l]			
					Totaal	Zand	Slib	Org.M.
	[-]	[m]	[m/s]	[m]				
Vertikale 1 Tijdstip [u] : 14:00	1	1,25		1,50				
	2	0,37		1,00				
	3			0,50	0,029	0,009	0,020	0,018
	4			0,25	0,035	0,006	0,029	0,021
	5			0,10	0,056	0,012	0,044	0,027
Vertikale 2 Tijdstip [u] : 14:30	1	1,25		1,50				
	2	0,37		1,00				
	3			0,50	0,027	0,004	0,023	0,013
	4			0,25	0,044	0,010	0,034	0,019
	5			0,10	0,091	0,014	0,077	0,030
Vertikale 3 Tijdstip [u] : 15:00	1	1,25		1,50				
	2	0,37		1,00				
	3			0,50	0,011	0,000	0,011	0,000
	4			0,25	0,023	0,000	0,023	0,019
	5			0,10	0,030	0,008	0,022	0,018
Vertikale 4 Tijdstip [u] : 15:30	1	1,25		1,50				
	2	0,37	0,00	1,00				
	3			0,50	0,021	0,006	0,015	0,021
	4			0,25	0,022	0,000	0,022	0,013
	5			0,10	0,029	0,003	0,026	0,017
Vertikale 5 Tijdstip [u] : 15:50	1	1,25		1,50				
	2	0,37	0,58	1,00	0,124	0,031	0,093	0,029
	3			0,50	0,130	0,038	0,092	0,026
	4			0,25	0,131	0,024	0,107	0,027
	5			0,10	0,487	0,322	0,165	0,036

Meetresultaten
STAKETSEL ZUID (OOST)

	Meting nr.	Hoogte boven bodem	Snelheid	Hoogte boven bodem	Sedimentconcentratie [g/l]			
					Totaal	Zand	Slib	Org.M.
Vertikale 6 Tijdstip [u] : 16:10	1	1,25	0,81	1,50	0,047	0,000	0,047	0,017
	2	0,37	0,68	1,00	0,063	0,013	0,050	0,015
	3			0,50	0,061	0,011	0,050	0,017
	4			0,25	0,078	0,018	0,060	0,017
	5			0,10	0,385	0,254	0,131	0,029
Vertikale 7 Tijdstip [u] : 16:30	1	1,25	0,63	1,50	0,047	0,007	0,040	0,013
	2	0,37	0,51	1,00	0,049	0,005	0,044	0,016
	3			0,50	0,052	0,014	0,038	0,018
	4			0,25	0,056	0,007	0,049	0,014
	5			0,10	0,106	0,026	0,080	0,017
Vertikale 8 Tijdstip [u] : 16:50	1	1,25	0,31	1,50	0,054	0,006	0,048	0,015
	2	0,37	0,16	1,00	0,053	0,004	0,049	0,016
	3			0,50	0,057	0,000	0,057	0,015
	4			0,25	0,065	0,005	0,060	0,020
	5			0,10	0,078	0,009	0,069	0,015
Vertikale 9 Tijdstip [u] : 17:10	1	1,25	0,12	1,50	0,040	0,000	0,040	0,011
	2	0,37	0,00	1,00	0,033	0,006	0,027	0,016
	3			0,50	0,035	0,004	0,031	0,018
	4			0,25	0,037	0,004	0,033	0,015
	5			0,10	0,044	0,004	0,034	0,019
Vertikale 10 Tijdstip [u] : 17:30	1	1,25	0,00	1,50	0,021	0,002	0,019	0,017
	2	0,37	0,00	1,00	0,026	0,004	0,022	0,017
	3			0,50	0,029	0,005	0,024	0,017
	4			0,25	0,027	0,003	0,024	0,014
	5			0,10	0,029	0,006	0,023	0,009

Meetresultaten
STAKETSEL ZUID (OOST)

	Meting nr.	Hoogte boven bodem	Snelheid	Hoogte boven bodem	Sedimentconcentratie [g/l]			
					Totaal	Zand	Slib	Org.M.
	{-}	[m]	[m/s]	[m]				
Vertikale 11 Tijdstip [u] : 18:00	1	1,25	0,00	1,50	0,016	0,001	0,015	0,005
	2	0,37	0,00	1,00	0,017	0,002	0,015	0,004
	3			0,50	0,021	0,001	0,020	0,005
	4			0,25	0,022	0,004	0,018	0,006
	5			0,10	0,024	0,006	0,018	0,004
Vertikale 12 Tijdstip [u] : 18:30	1	1,25	0,22	1,50	0,021	0,004	0,017	0,005
	2	0,37	0,00	1,00	0,020	0,005	0,015	0,004
	3			0,50	0,025	0,011	0,014	0,008
	4			0,25	0,028	0,010	0,018	0,006
	5			0,10	0,044	0,020	0,024	0,014
Vertikale 13 Tijdstip [u] : 19:00	1	1,25	0,19	1,50	0,018	0,007	0,011	0,006
	2	0,37	0,00	1,00	0,020	0,006	0,014	0,006
	3			0,50	0,018	0,004	0,014	0,006
	4			0,25	0,019	0,004	0,015	0,003
	5			0,10	0,021	0,005	0,016	0,019
Vertikale 14 Tijdstip [u] : 19:30	1	1,25		1,50				
	2	0,37	0,16	1,00	0,018	0,005	0,013	0,005
	3			0,50	0,016	0,004	0,012	0,005
	4			0,25	0,021	0,009	0,012	0,007
	5			0,10	0,018	0,004	0,014	0,005

de raaien West en Zuid nog een zeewaartse stroming genoteerd. Pas om 15.25 u wordt de vloedstroom opgemerkt aan de lokatie Zuid. De tussenliggende tijd is nodig om de vlakte te overstromen tussen raai Noord en Zuid. Na hoogwater (16.50 u aan de raai Zuid) zet geleidelijk de ebstroom in (de eerste zeewaartse stroming wordt aan de raai Zuid opgemerkt om 17.00 u).

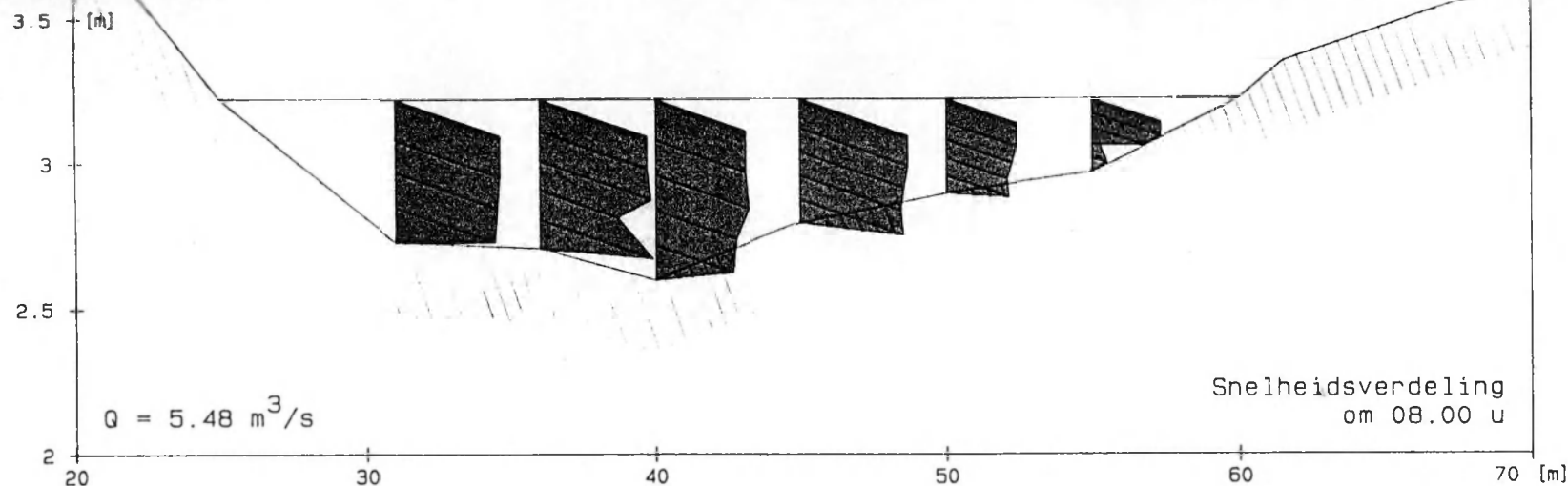
Evolutie van de stroming in de raai Noord (fig. 3.4a-i)

De gemiddelde stroomsnelheid (zie ook tabel 3.14) neemt in de raai Noord (monding van de Zwingeu) af naarmate het waterpeil daalt. Een maximale gemiddelde snelheid van de ebstroom van meer dan 0,5 m/s werd genoteerd om 19.50 u, dit is de eerste meetraai die hier kon worden gemeten na hoogwater (lokaal hoogwater was ca. 16.40 u). Hoogstwaarschijnlijk was de ebstroom nog sterker voor 19.50 u. De metingen na 20.20 u dient men aangevuld te denken door de metingen vanaf 8.00 u, die eveneens bij afnemend waterpeil plaats hadden. Men merkt dat de gemiddelde snelheid geleidelijk afneemt met het dalende waterpeil. Het minimum is net voor de opkomende vloed bereikt en bedraagt 0,09 m/s. De evolutie van het waterdebiet weerspiegelt de snelheidsevolutie volkomen (tabel 3.14), aangezien de snelheidswaarde zelf mee-evolueert met het waterpeil.

Op de raai Noord werden in de meetcampagne van 13 augustus 1991 geen metingen verricht rond hoogwater. Er werden wel metingen uitgevoerd bij hoogwater op 19 maart 1991; hierbij werden snelheidswaarden van meer dan 1 m/s opgetekend tijdens de opkomende vloed. De maximale debieten waren toen van de orde van 70 m³/s en de maximale natte sectie overtrof de 200 m².

Bij de opeenvolgende meetraaien merkt men op dat het bodemprofiel nogal verschilt van meetsekwentie tot meetsekwentie, en de ruimtelijke verdeling van de snelheid wordt door de bodemvormen beïnvloed. De grote variabiliteit in snelheidswaarden werd ook opgemerkt bij de metingen van 19 maart 1991, en het grote aantal punten in de sectie waar de snelheid werd gemeten is dus ten volle verantwoord.

De verschuiving van de diepste punten in het dwarsprofiel is nauw verbonden met de migratie van grote ribbels, zgn. "megaribbels". Deze beddingsvormen kunnen in de Zwingeu tot 0,5 m hoog zijn en migreren in dezelfde richting als de stroming, dus bij ebstroom is hun verplaatsing zeewaarts. In de putten aan de stroomafwaartse zijde van deze megaribbels, de zgn. "troggen", ontwikkelt zich vaak een stroomneer, waarin het aandeel van de retourstroming niet te verwaarlo-



SCHAAL :

- snelheid :

0 [m/s]

0.5

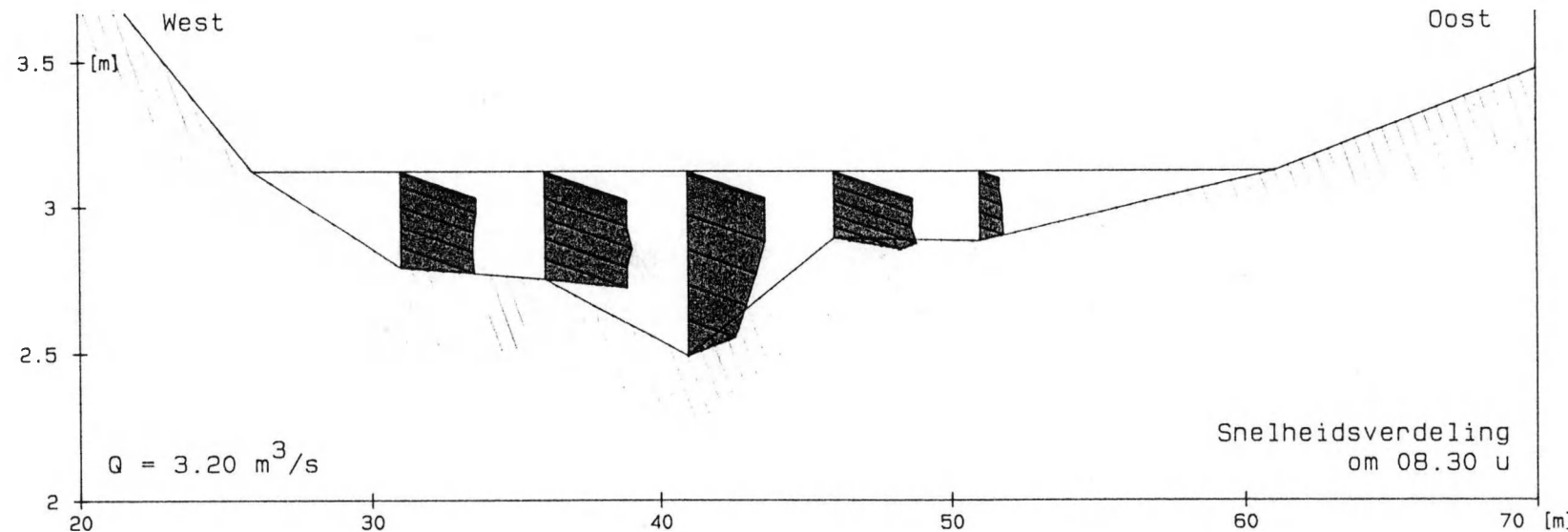
1

- vertikaal : 1/25

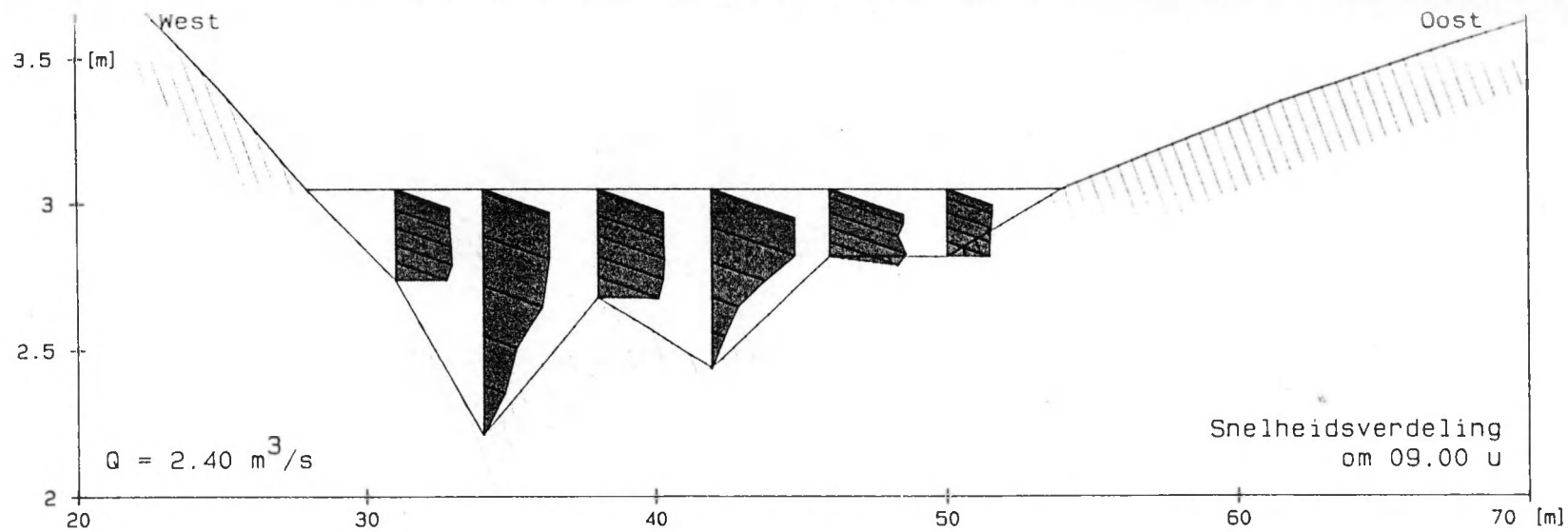
- horizontaal : 1/250

OPMERKINGEN :

- stroming zeewaarts

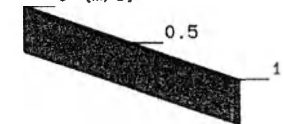


MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
LOKATIE NOORD



SCHAAL :

- snelheid :
0 [m/s]

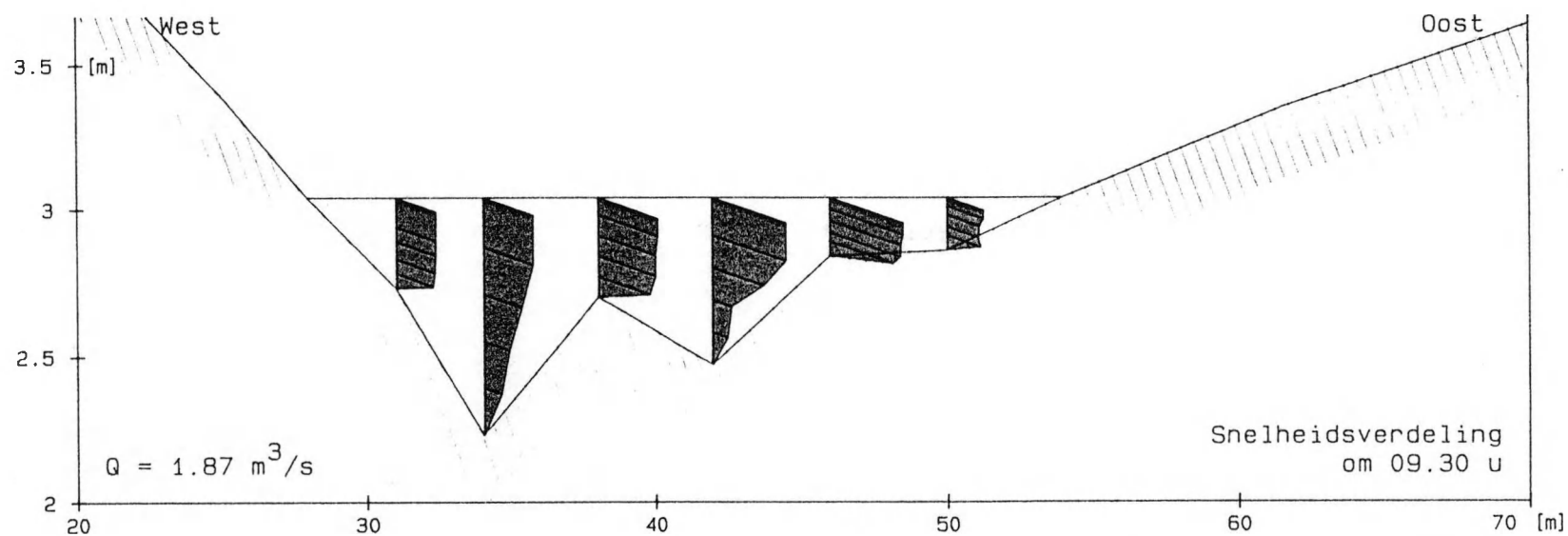


- vertikaal : 1/25

- horizontaal : 1/250

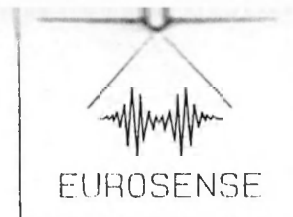
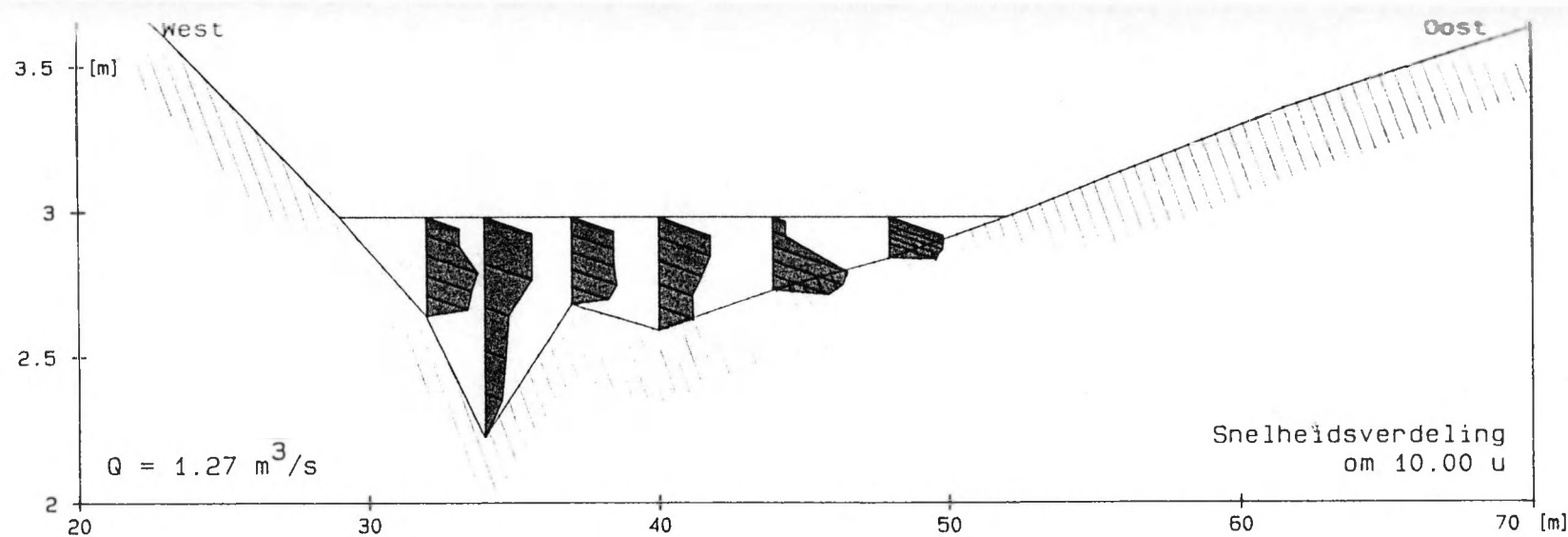
OPMERKINGEN :

- stroming zeewaarts



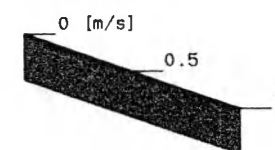
MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
LOKATIE NOORD

Fig. 3.4b



SCHAAL :

- snelheid :

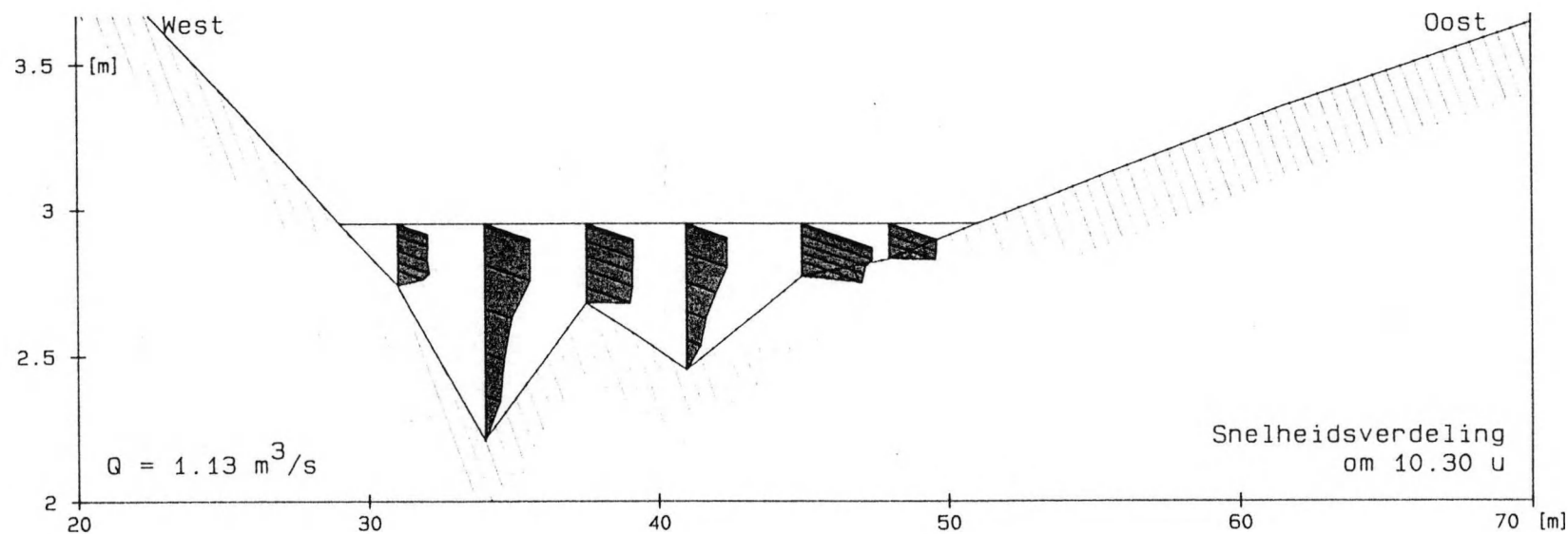


- vertikaal : 1/25

- horizontaal : 1/250

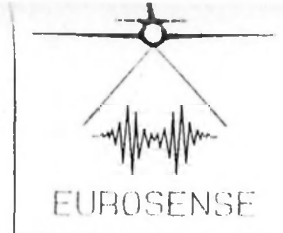
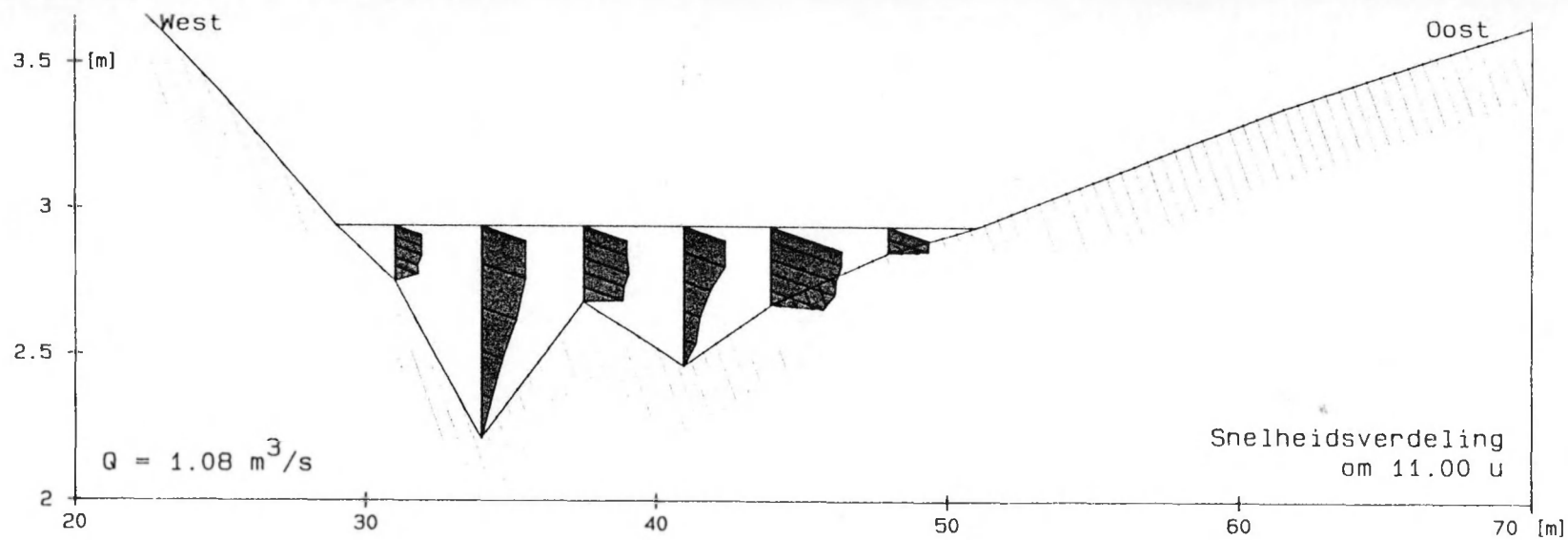
OPMERKINGEN :

- stroming zeewaarts



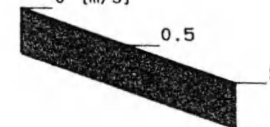
MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
LOKATIE NOORD

Fig. 3.4c



SCHAAL :

- snelheid :
0 [m/s]

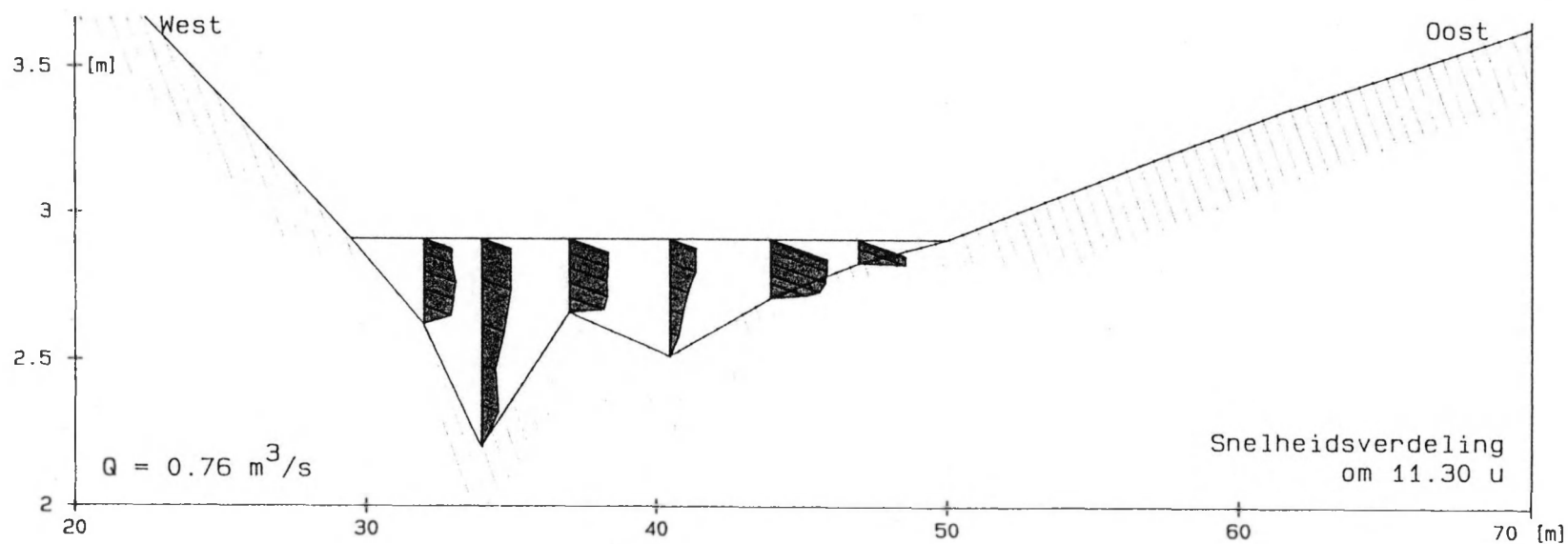


- vertikaal : 1/25

- horizontaal : 1/250

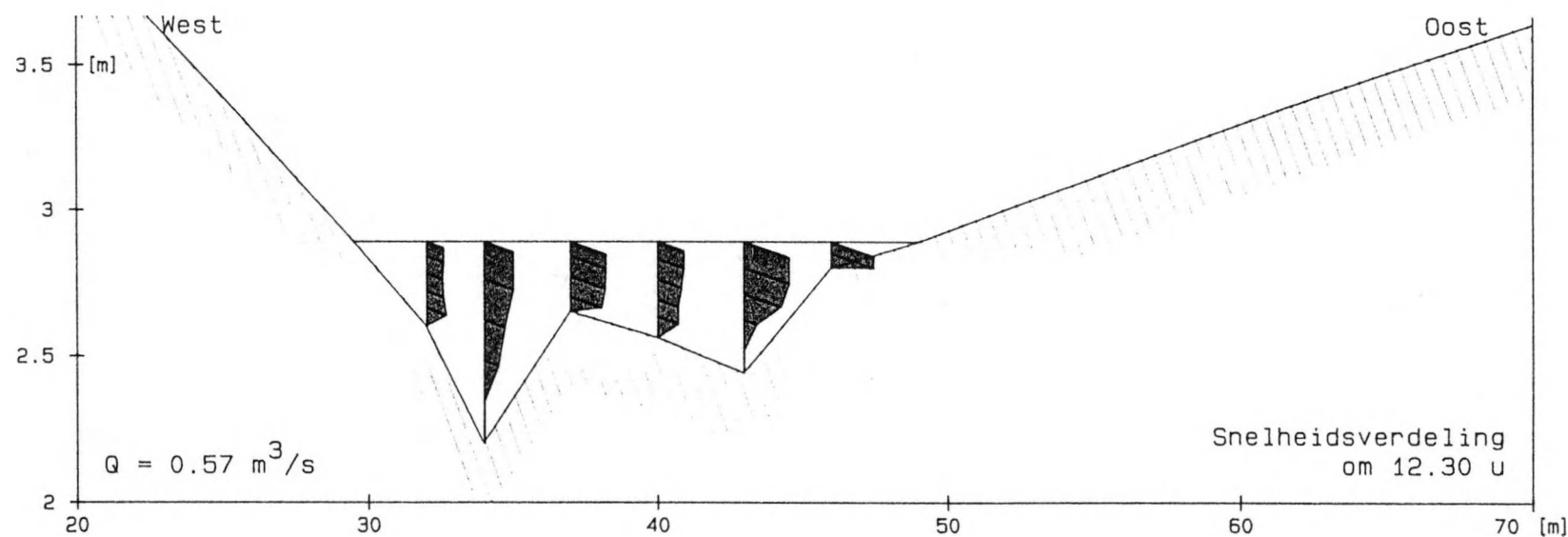
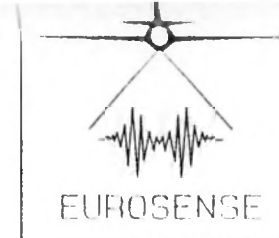
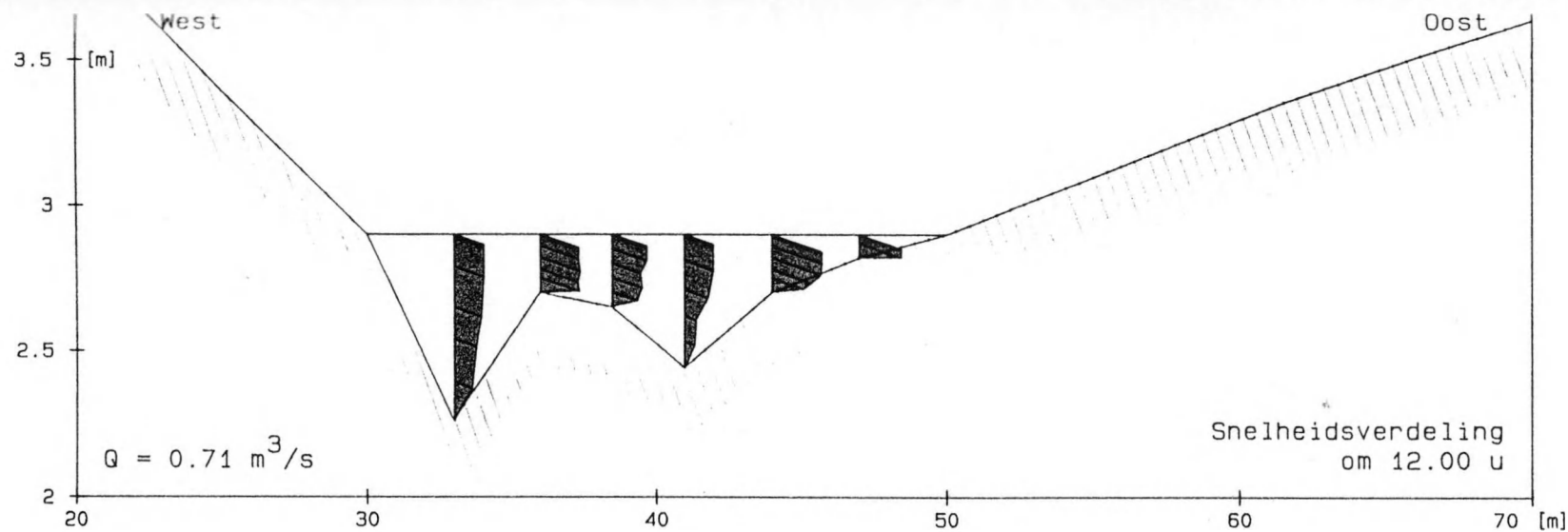
OPMERKINGEN :

- stroming zeewaarts



MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
LOKATIE NOORD

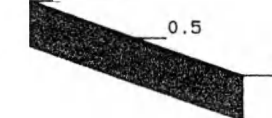
Fig. 3.4d



SCHAAL :

- snelheid :

0 [m/s]



- vertikaal : 1/25

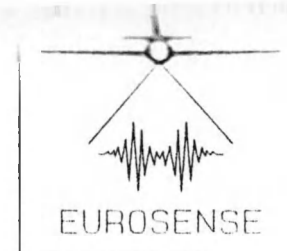
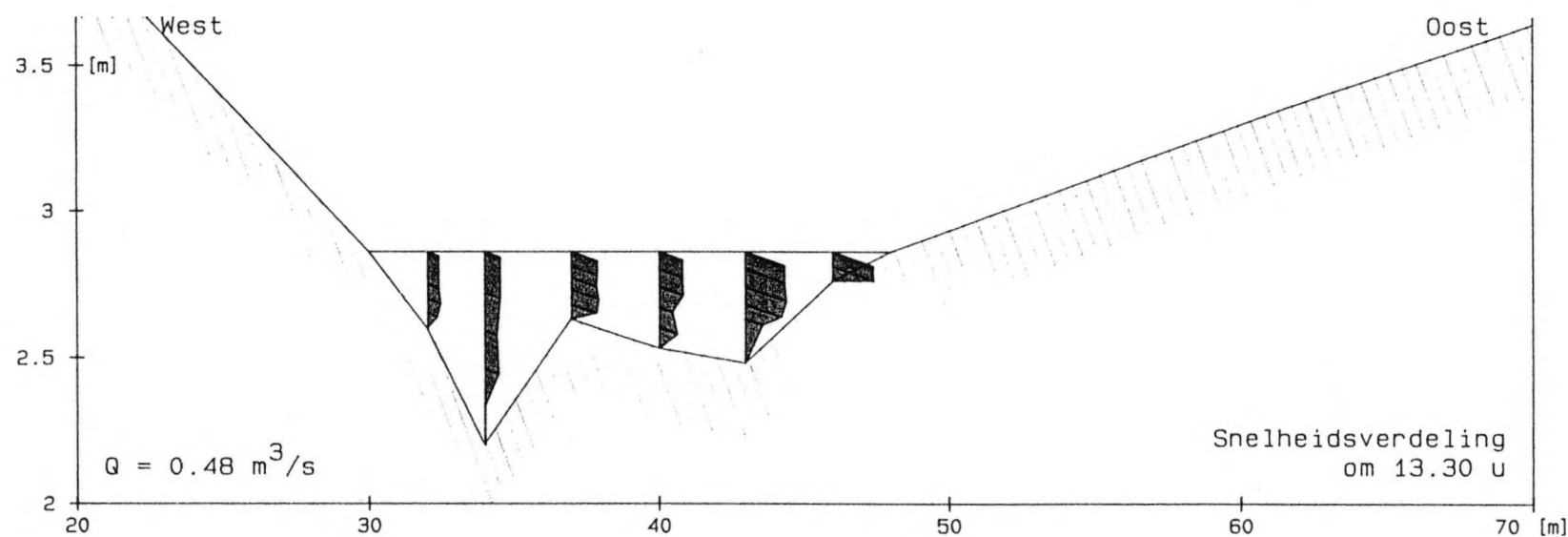
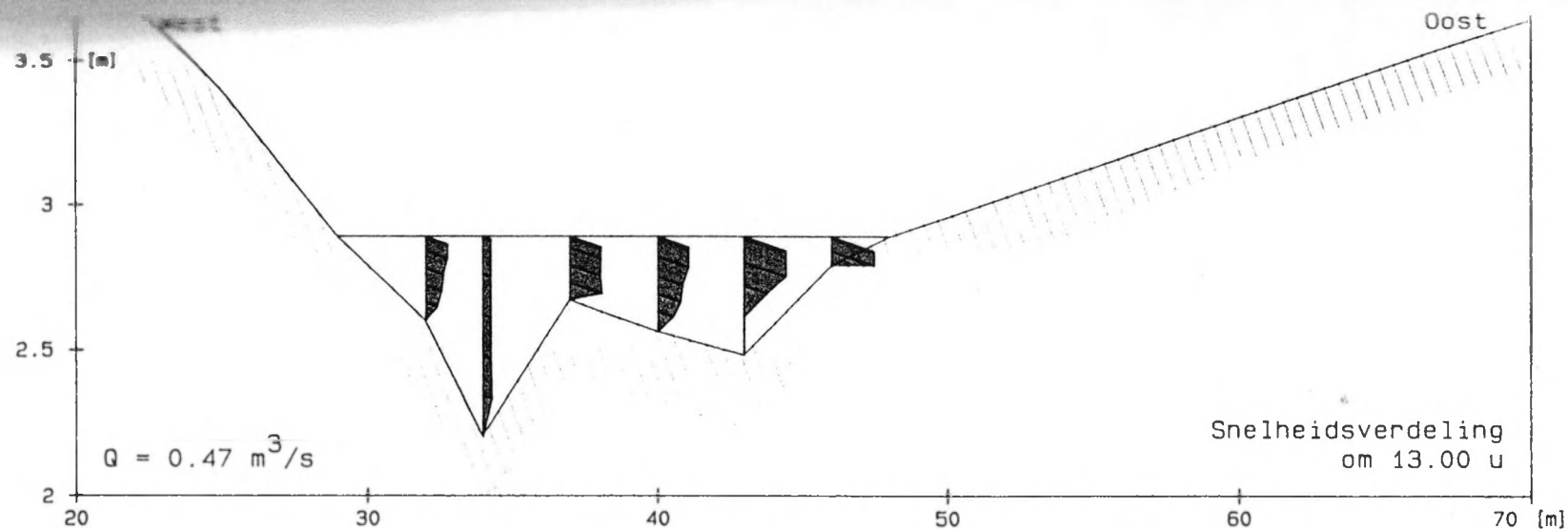
- horizontaal : 1/250

OPMERKINGEN :

- stroming zeewaarts

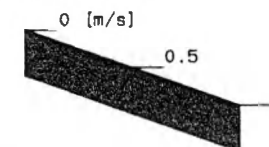
MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
LOKATIE NOORD

Fig. 3.4e



SCHAAL :

- snelheid :



- vertikaal : 1/25

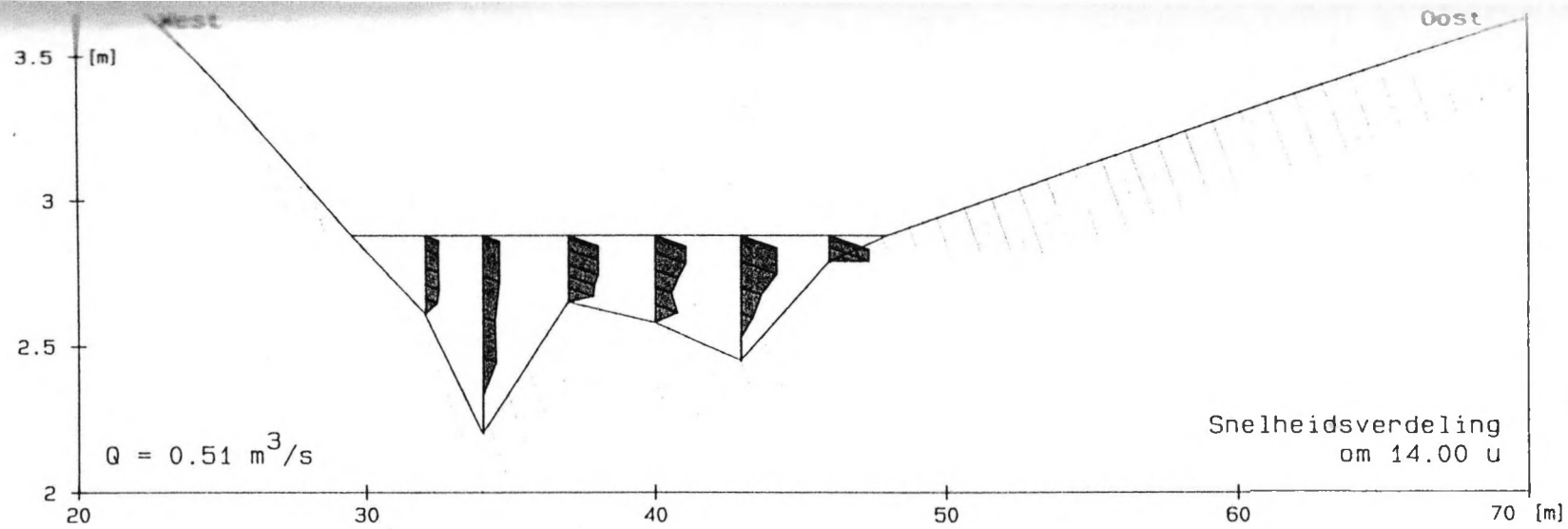
- horizontaal : 1/250

OPMERKINGEN :

- stroming zeewaarts

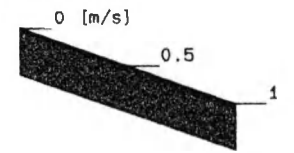
MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
LOKATIE NOORD

Fig. 3.4f



SCHAAL :

- snelheid :

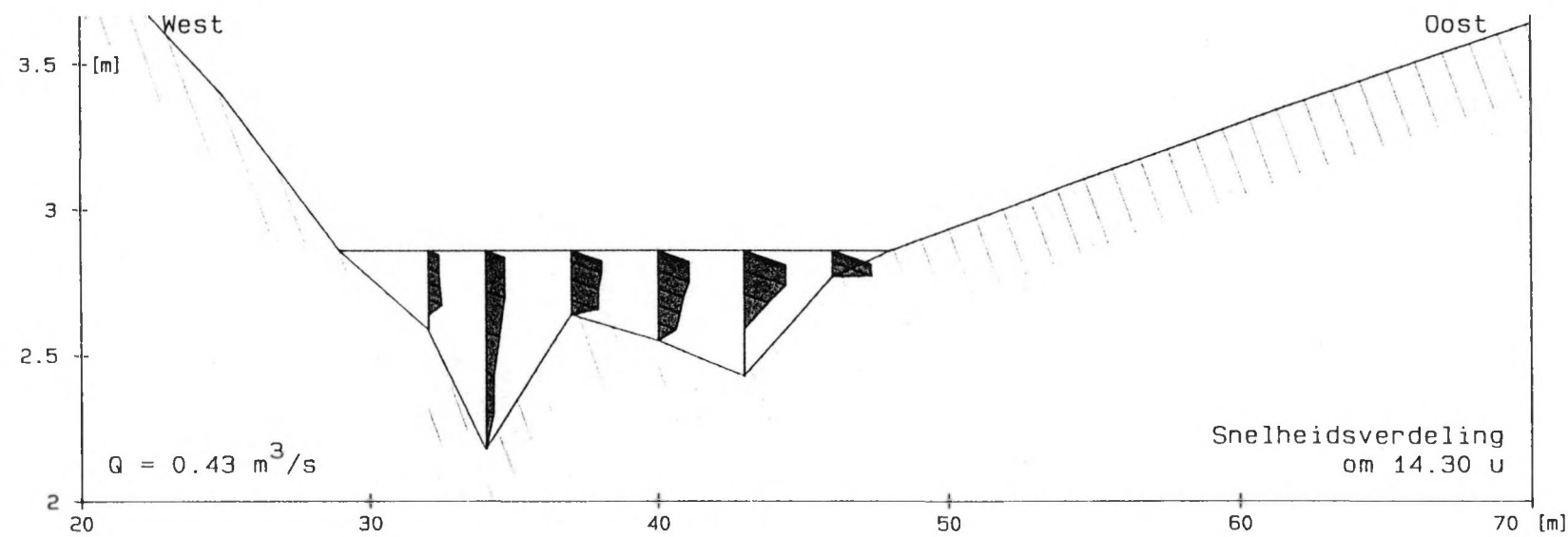


- vertikaal : 1/25

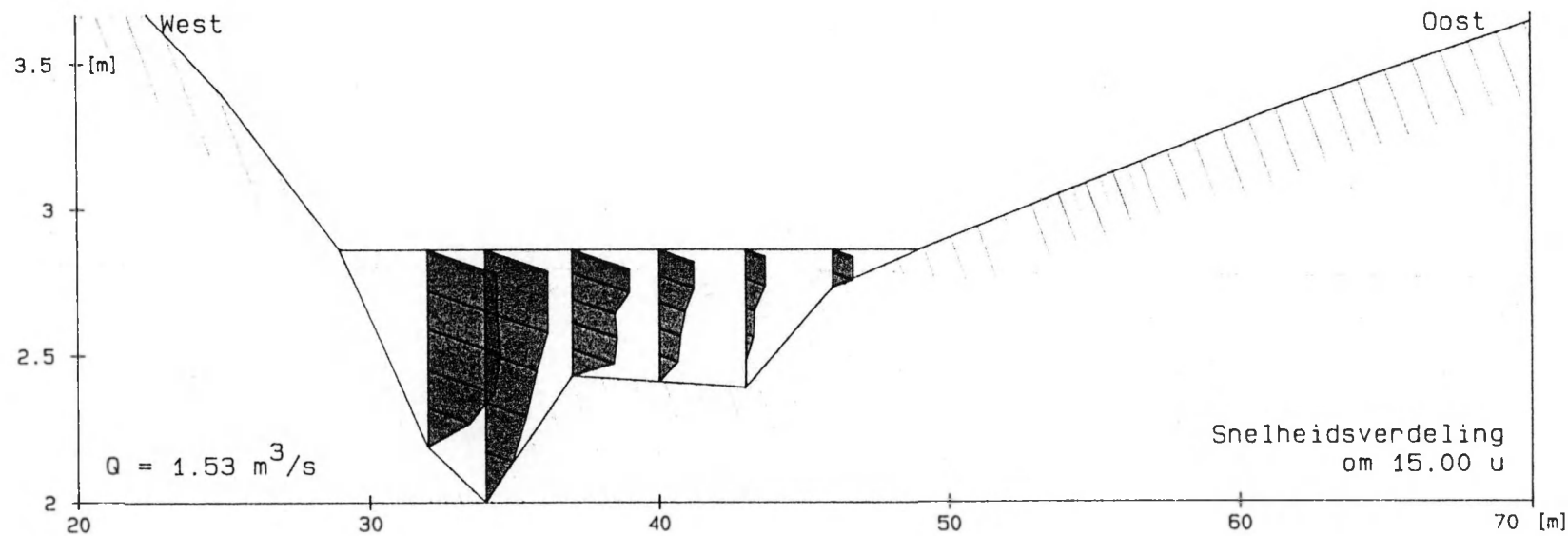
- horizontaal : 1/250

OPMERKINGEN :

- stroming zeewaarts

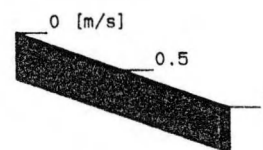


MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
LOKATIE NOORD



SCHAAL :

- snelheid :



- vertikaal : 1/25

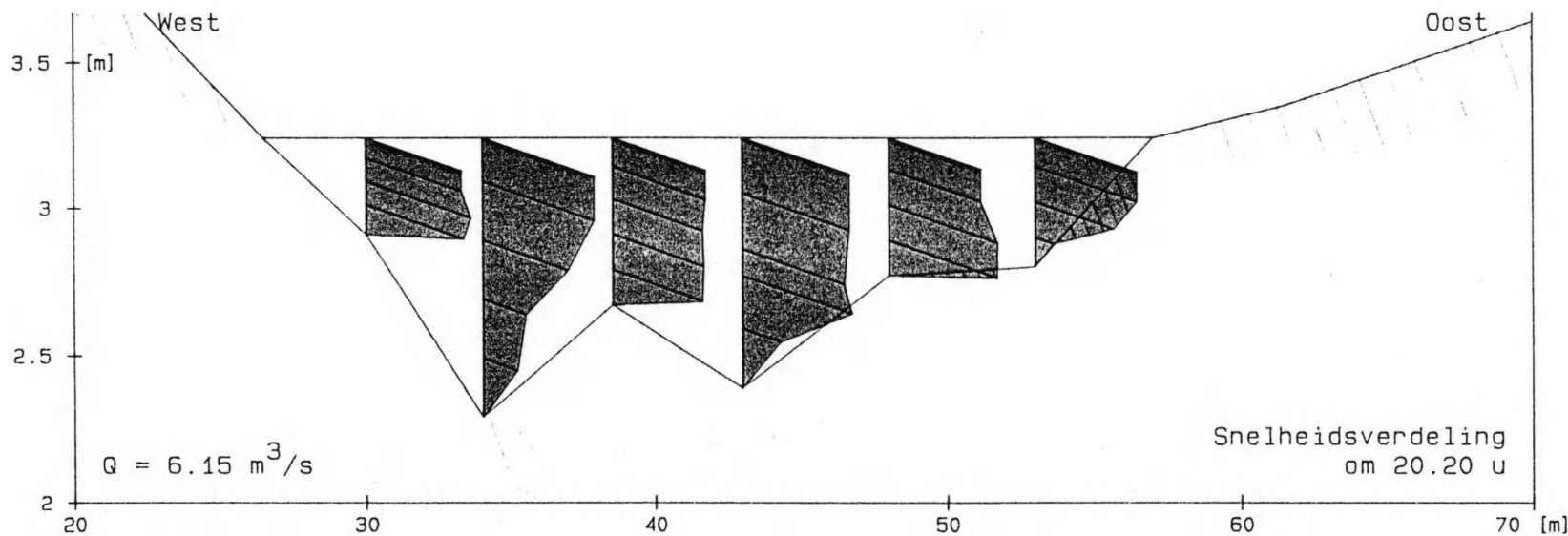
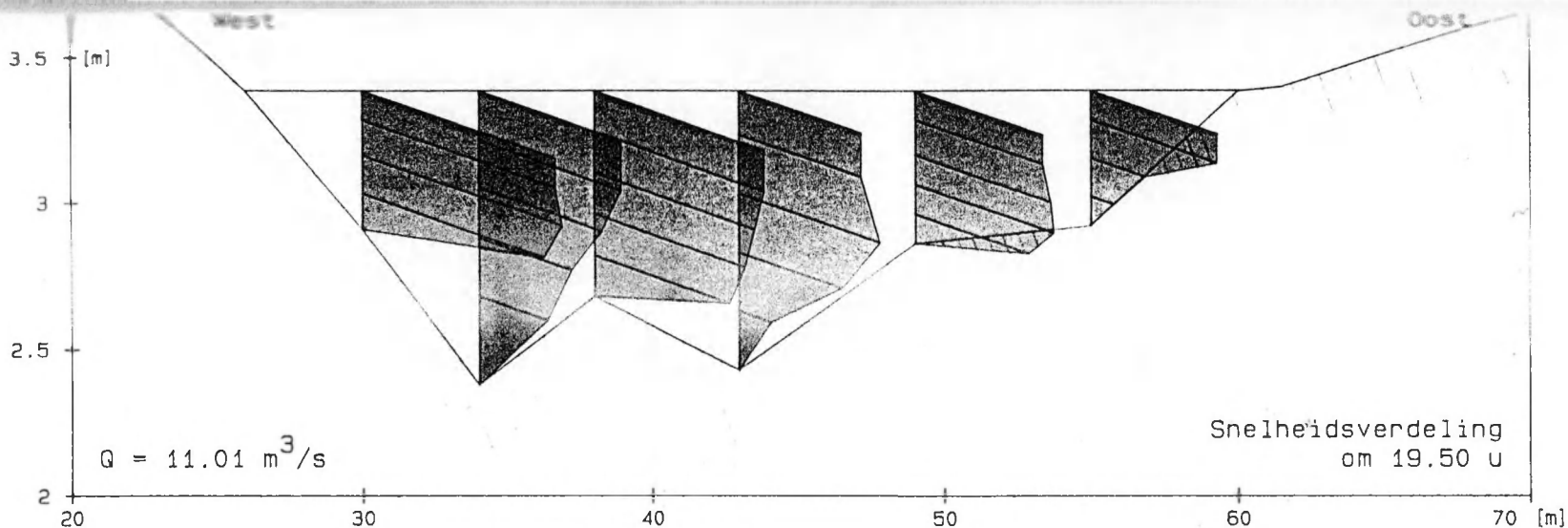
- horizontaal : 1/250

OPMERKINGEN :

- stroming landwaarts

MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
LOKATIE NOORD

Fig. 3.4h



SCHAAL :

- snelheid :
0 [m/s] 0.5 1
- vertikaal : 1/25
- horizontaal : 1/250

OPMERKINGEN :

- stroming zeewaarts

MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
LOKATIE NOORD

Fig. 3.4i

zen is. Daarom hebben snelheden, gemeten met de laboratoriummolen, lage waarden in deze diepere punten. Men merkt dit fenomeen duidelijk in b.v. fig. 3.4d. Mede hierdoor worden de hoogste snelheden in de Zwingeuil niet altijd vastgesteld in de diepste gedeelten van de natte sectie.

Evolutie van stroming en suspensiesediment in de raai West (fig. 3.5a-l)

Ter hoogte van de meetraai West is de stroming beperkt in een enkele centimeters diep geultje tot de vloed opkomt. Dan stijgt het waterpeil zeer snel tot het meer dan 2 m bedraagt. De gemiddelde stroming is het hoogst om 16.10 u bij volle vloedstroom (lokaal hoogwater is om ca. 16.45 u) en bedraagt dan 0,43 m/s. Bij vloed worden ook de hoogste gemiddelde concentraties gemeten (waarden van ca. 0,05 tot 0,20 g/l). Het grootste gedeelte van het sediment in suspensie is dan zand (50 tot 90 %).

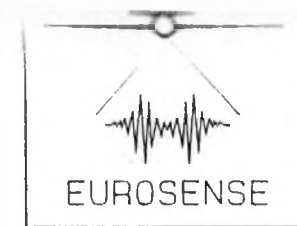
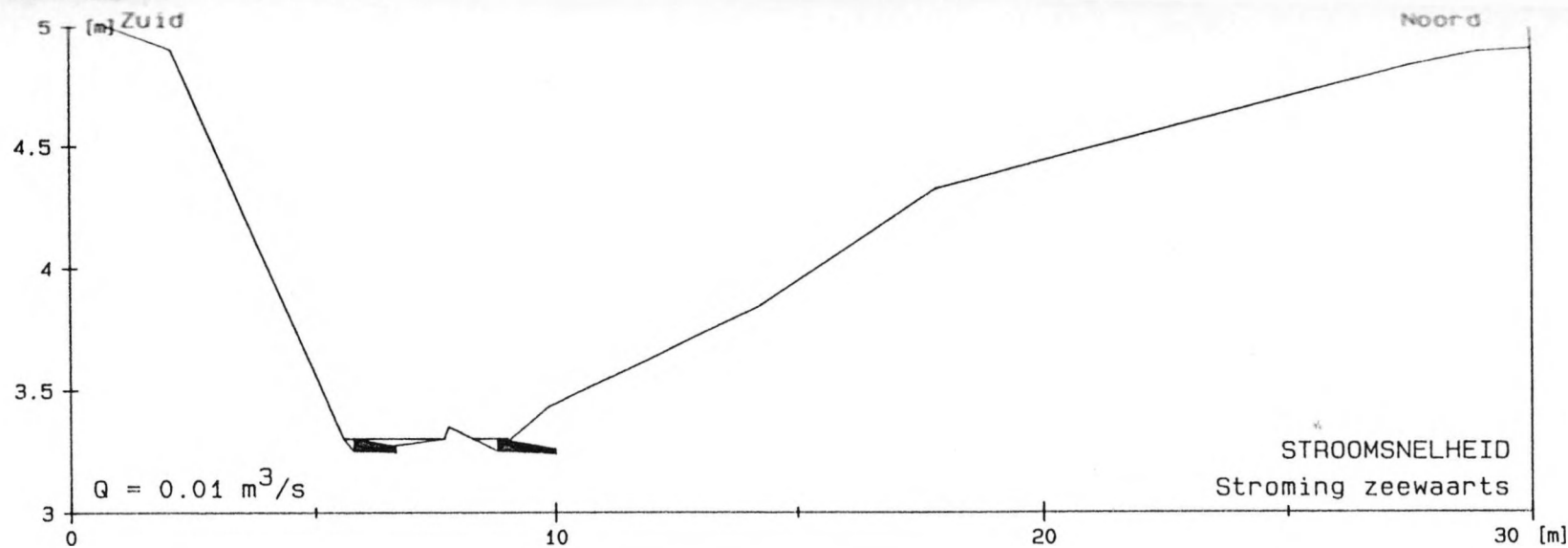
De stroomsnelheden vallen naar nul op de kentering bij hoogwater (ca. 17.00 u) en bereiken een nieuwe piek van 0,14 m/s om 18.00 u. De gehalten aan sediment in suspensie blijven echter vrijwel konstant (gemiddelde totale concentratie minder dan 0,01 g/l) en het bestaat voor 75 à 85 % uit slib. De kreek ter hoogte van raai West is opnieuw tot een klein geultje herleid om 19.30 u.

Evolutie van stroming en suspensiesediment in de raai Zuid (fig. 3.6a-n)

Het water in de meetraai Zuid staat vrijwel stil zolang de vloed niet intreedt. Dit geldt in het bijzonder voor de oostelijke tak van de Zwingeuil, die op deze plaats bij laagwater in twee armen is gesplitst door een zandbank (zie bodemprofielen). In de oostelijke tak bezinkt op dit ogenblik het materiaal vanuit suspensie, dat hoofdzakelijk uit slib bestaat (zie fig. 3.6a-c). De gemiddelde totale concentratie is lager dan 0,01 g/l.

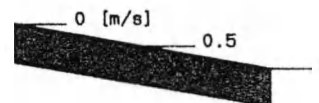
De snelheidswaarden lopen scherp op vanaf het binnenkomen van de vloed, even voor 15.30 u. De piekwaarde van de gemiddelde snelheid wordt genoteerd om 16.10 u en bedraagt 0,70 m/s. De piekwaarde van de gemiddelde totale concentratie werd om 15.50 u bereikt en bedroeg amper 0,06 g/l, waarvan ca. 30 % zand. Merk op dat de sedimentconcentraties bij alle meetsekwenties in de raai Zuid een orde kleiner zijn dan in de raai West, en meer bepaald zijn de zandgehalten veel lager (van 10 tot 30 %).

Bij hoogwater is de stroming gelijk verdeeld over de twee armen van de Zwingeuil ter hoogte van de raai Zuid (zie fig. 3.6f-h). De kentering treedt iets eerder op in de westelijke arm (vergelijk fig. 3.6h met 3.6i) en er wordt dan ook het vroegst



SCHAAL :

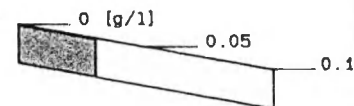
- snelheid :



- vertikaal : 1/30

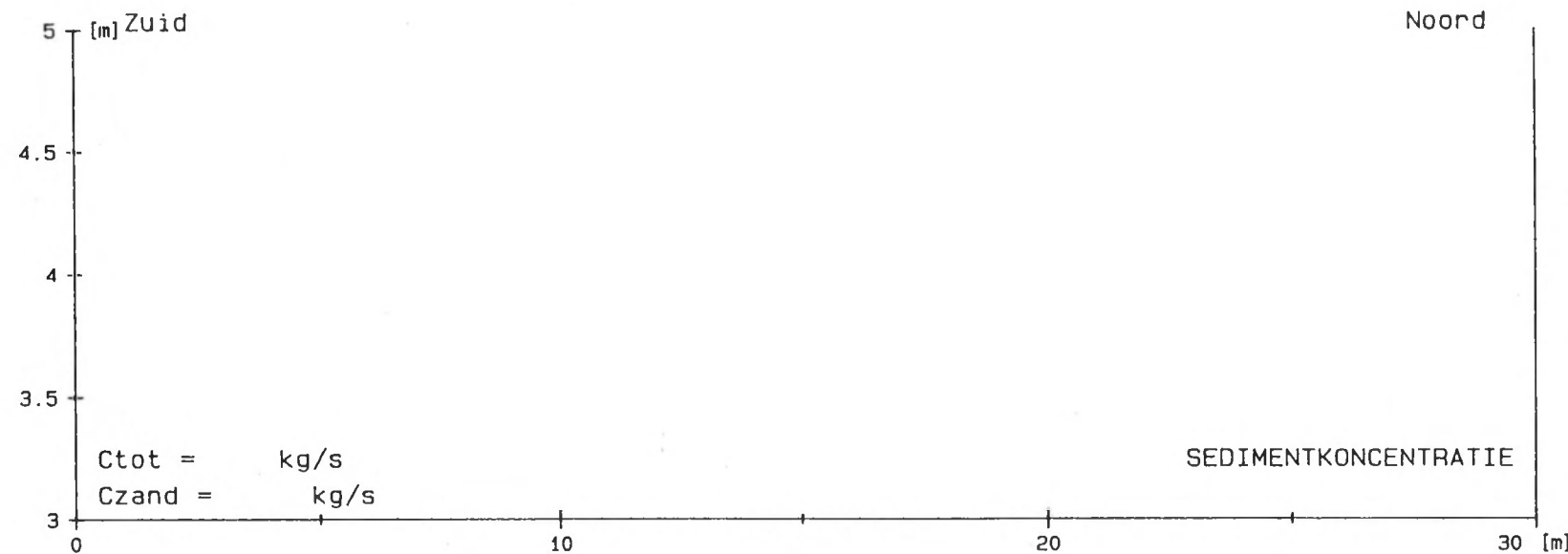
- horizontaal : 1/150

- concentratie :



zandconcentratie

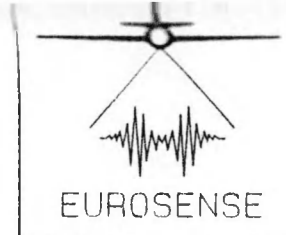
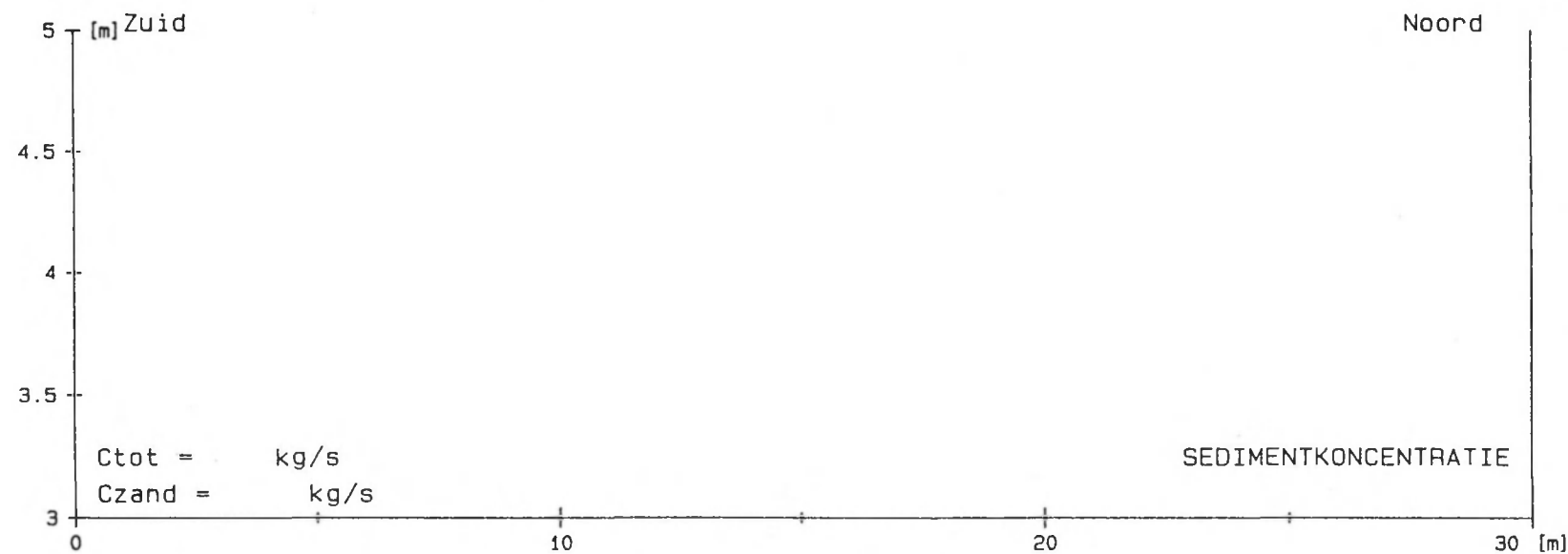
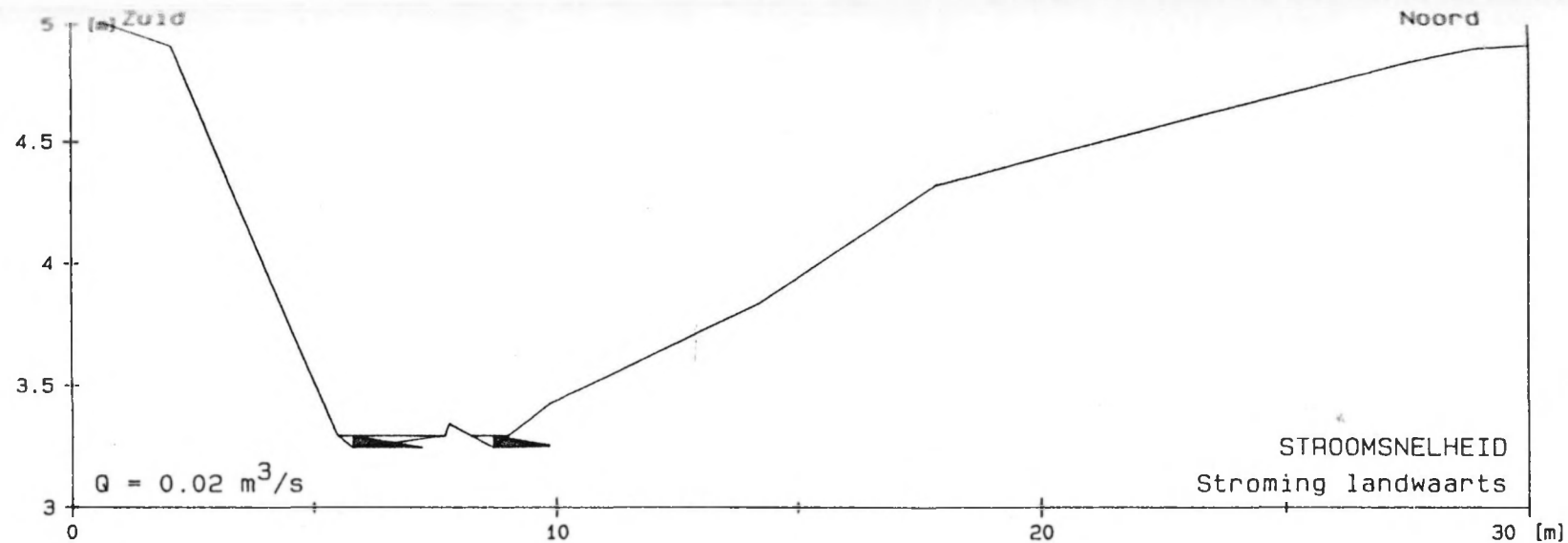
totale concentratie



MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991

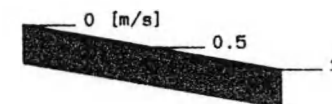
LOKATIE WEST, 15.00u

Fig. 3.5a



SCHAAL :

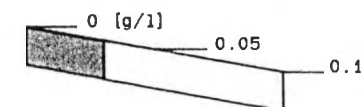
- snelheid :



- vertikaal : 1/30

- horizontaal : 1/150

- concentratie :



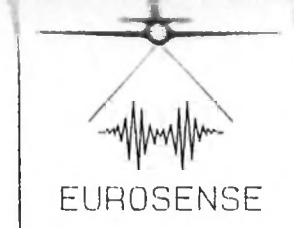
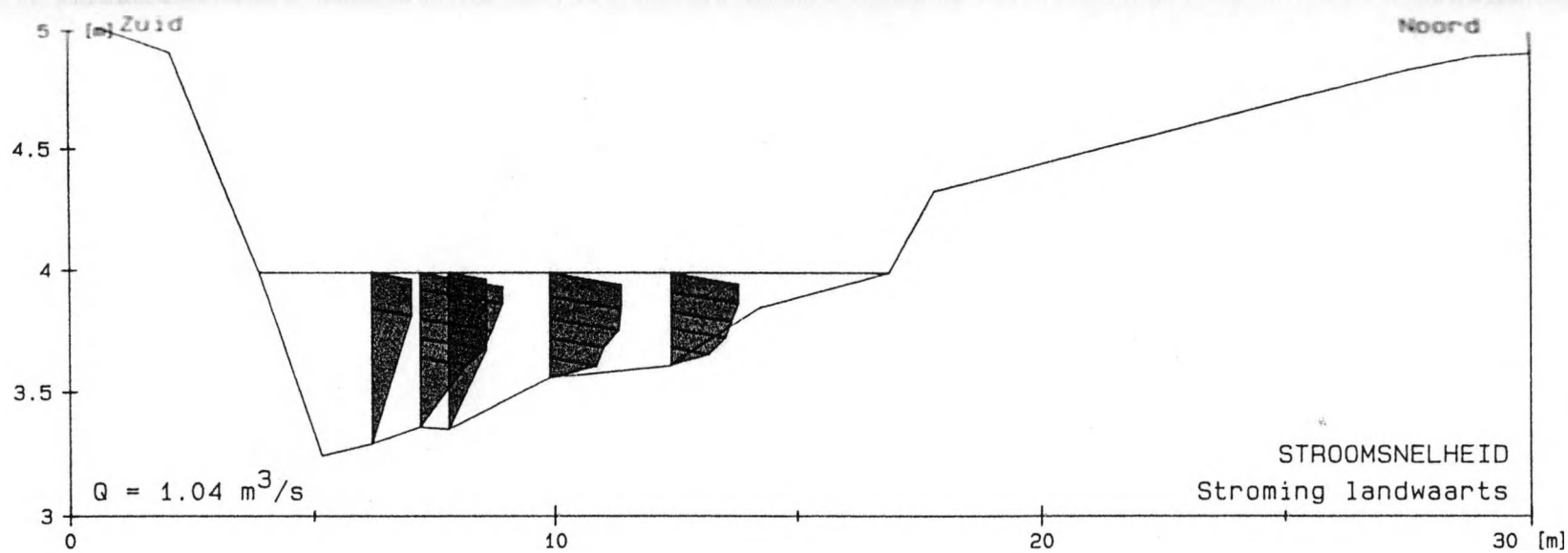
zandconcentratie

totale concentratie

MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991

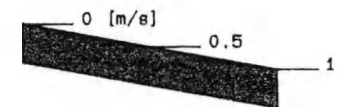
LOKATIE WEST, 15.30u

Fig. 3.5b



SCHAAL :

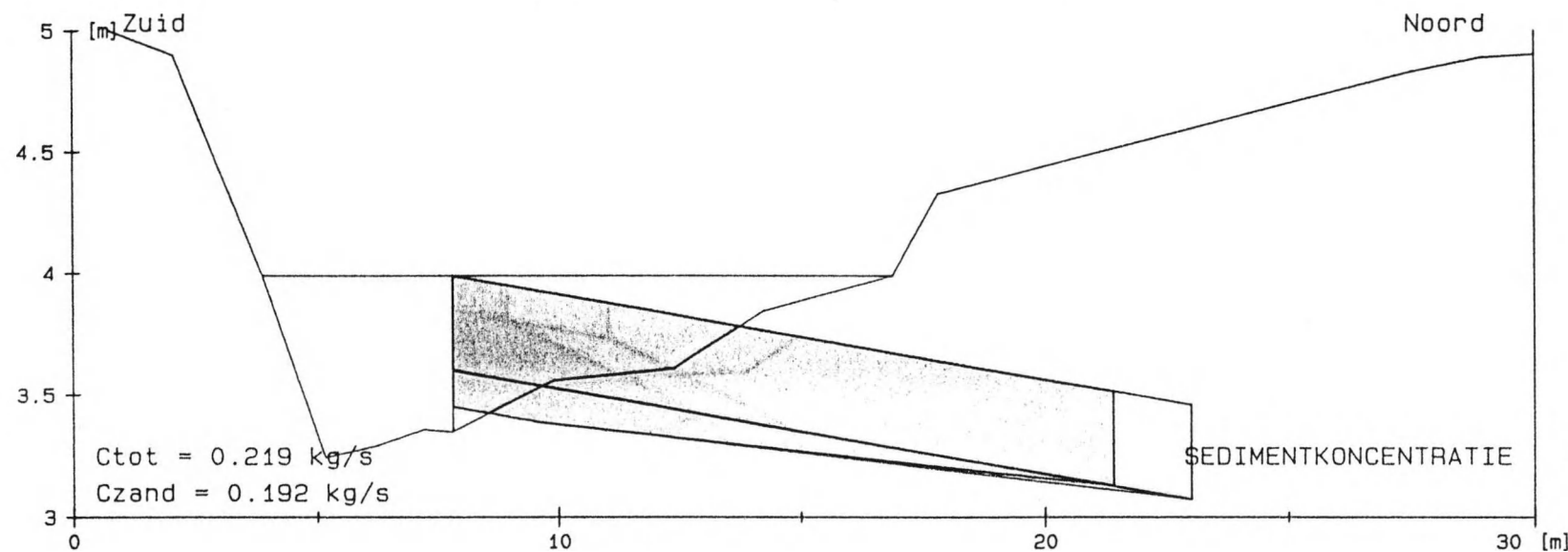
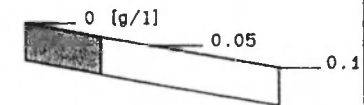
- snelheid :



- vertikaal : 1/30

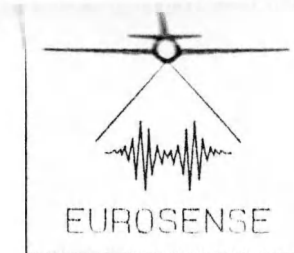
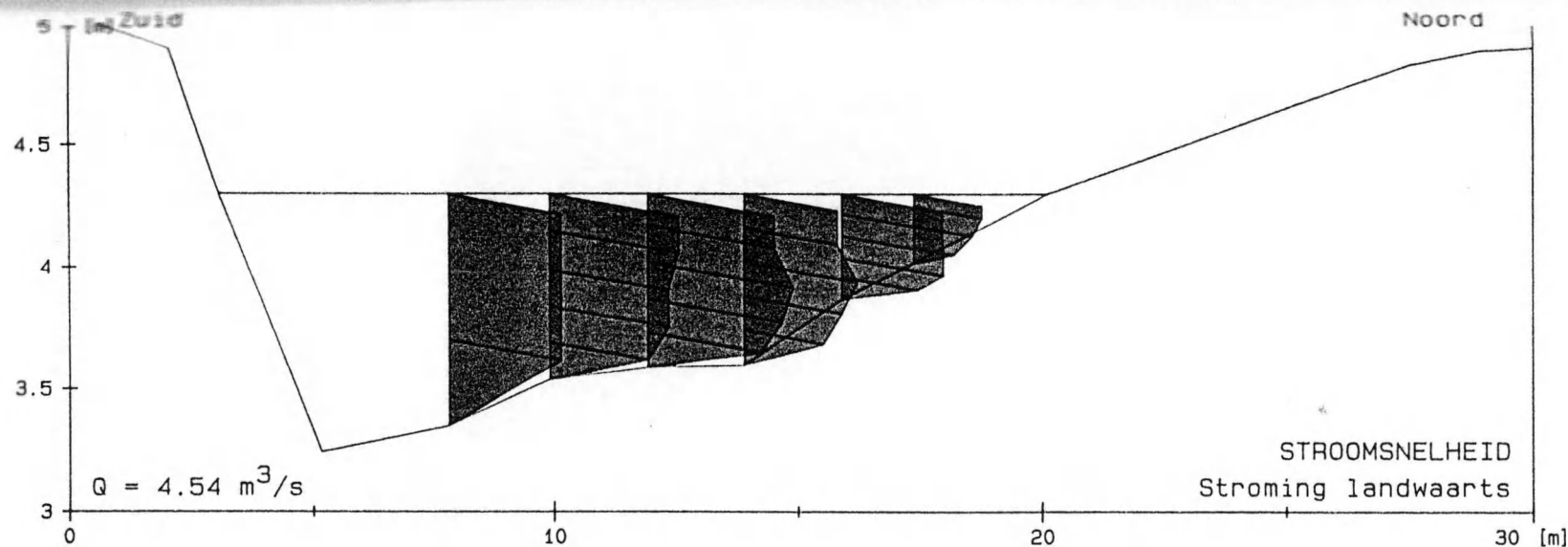
- horizontaal : 1/150

- concentratie :



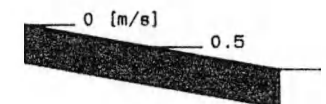
MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
LOKATIE WEST, 15.50u

Fig. 3.5c



SCHAAL :

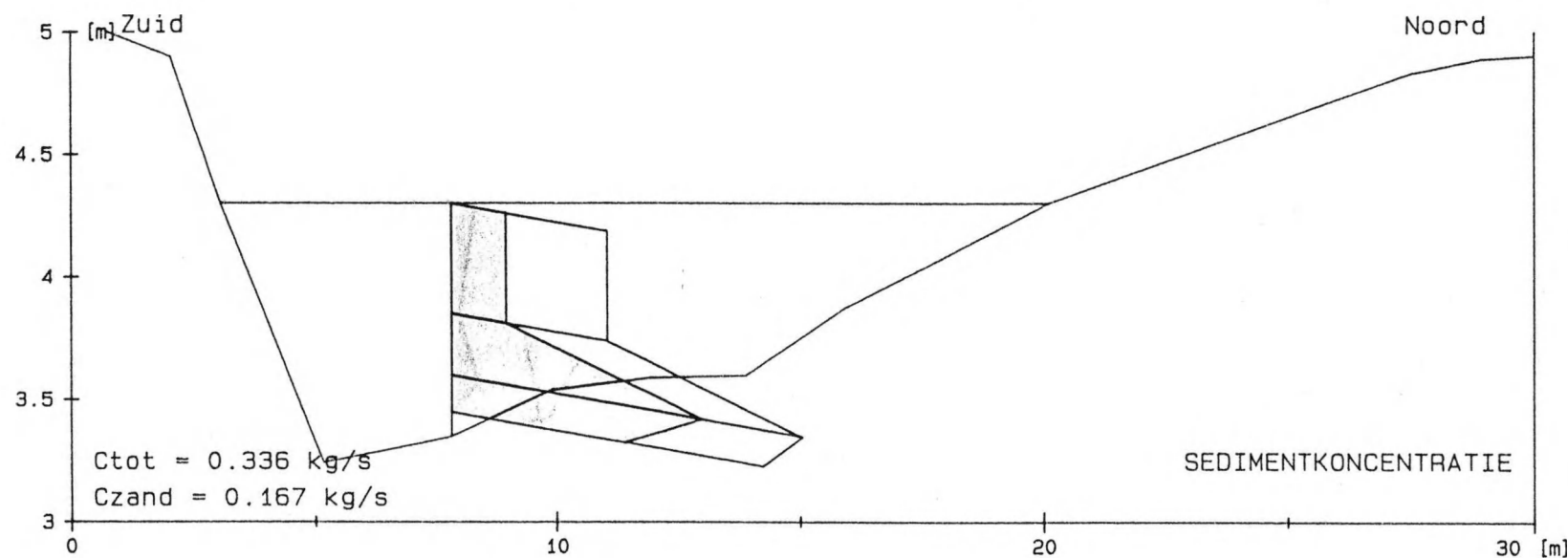
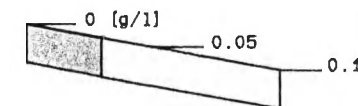
- snelheid :



- vertikaal : 1/30

- horizontaal : 1/150

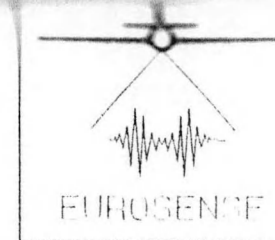
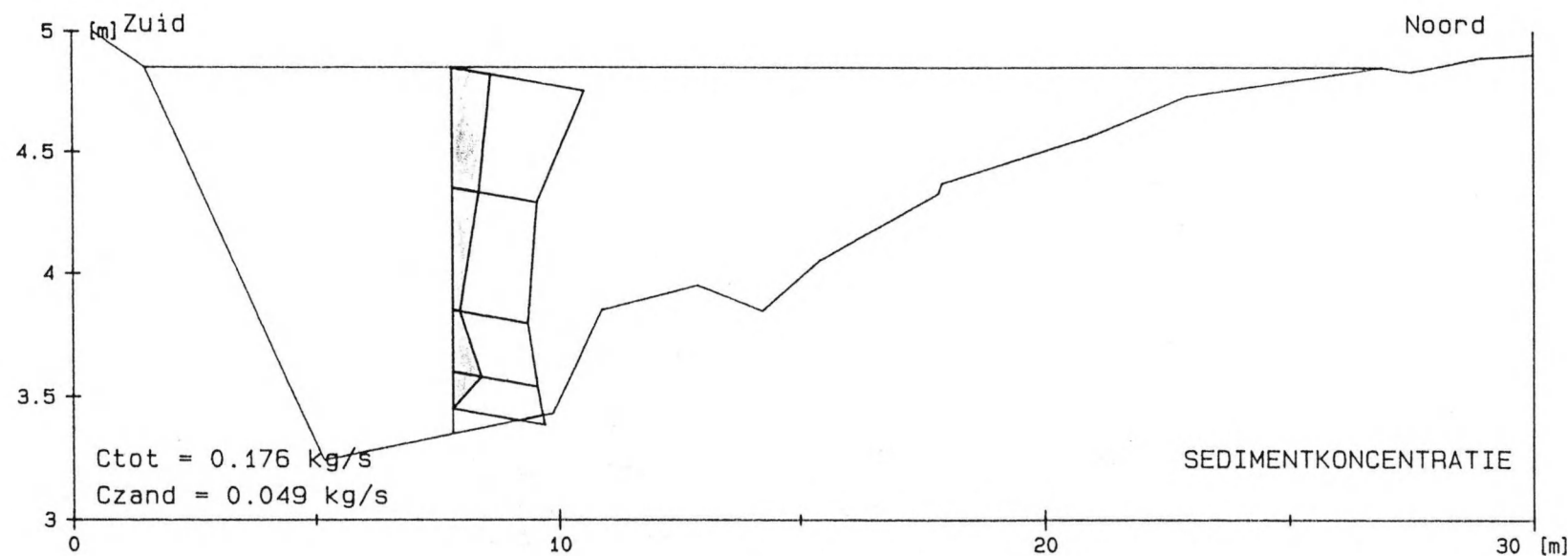
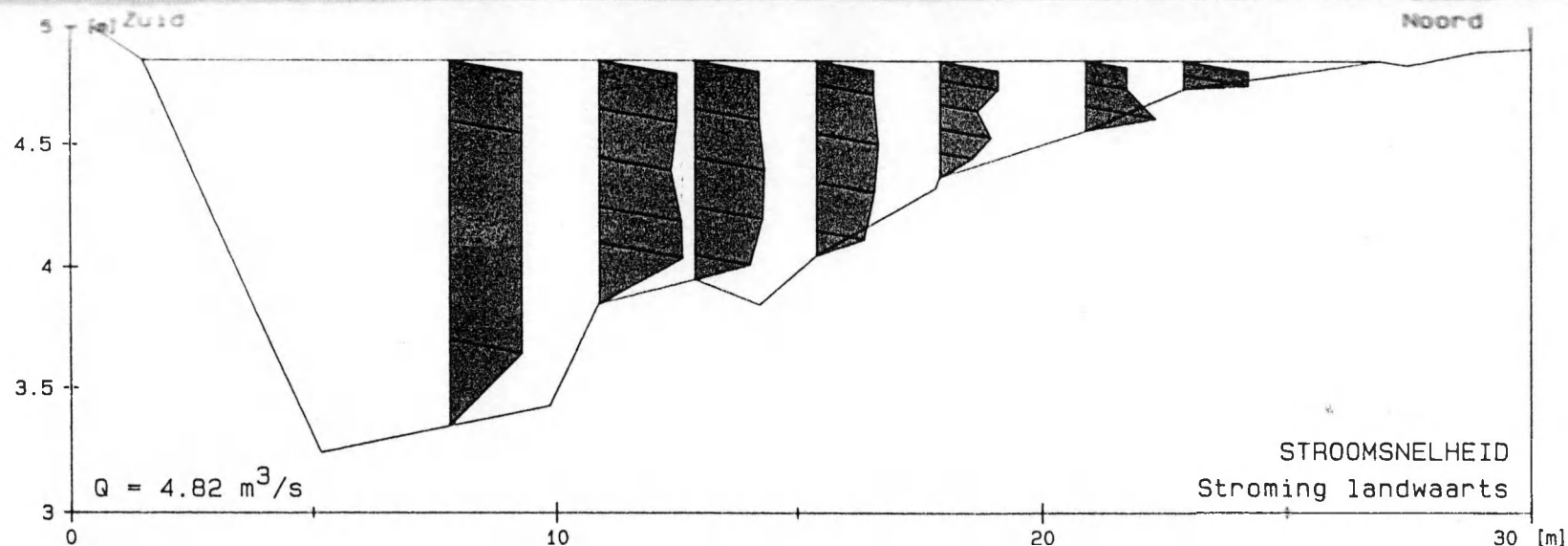
- concentratie :



MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991

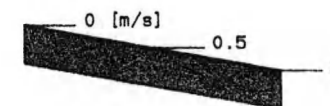
LOKATIE WEST, 16.10u

Fig. 3.5d



SCHAAL :

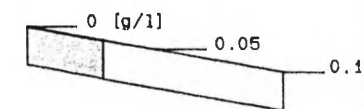
- snelheid :



- vertikaal : 1/30

- horizontaal : 1/150

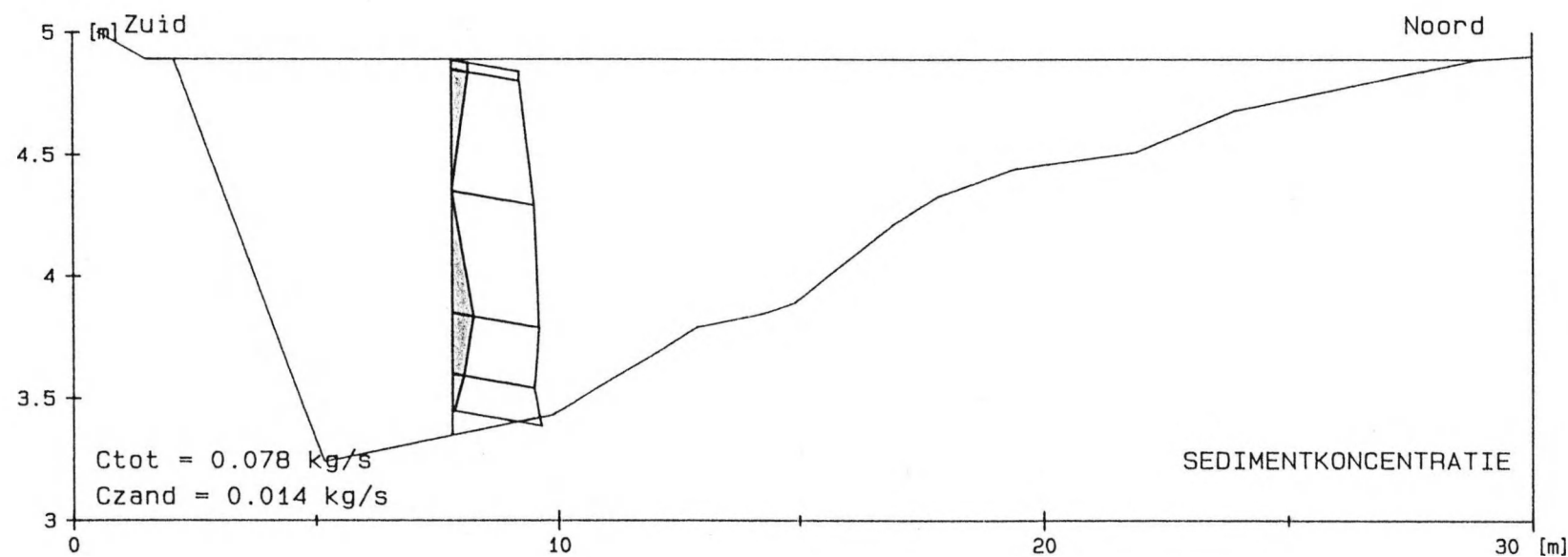
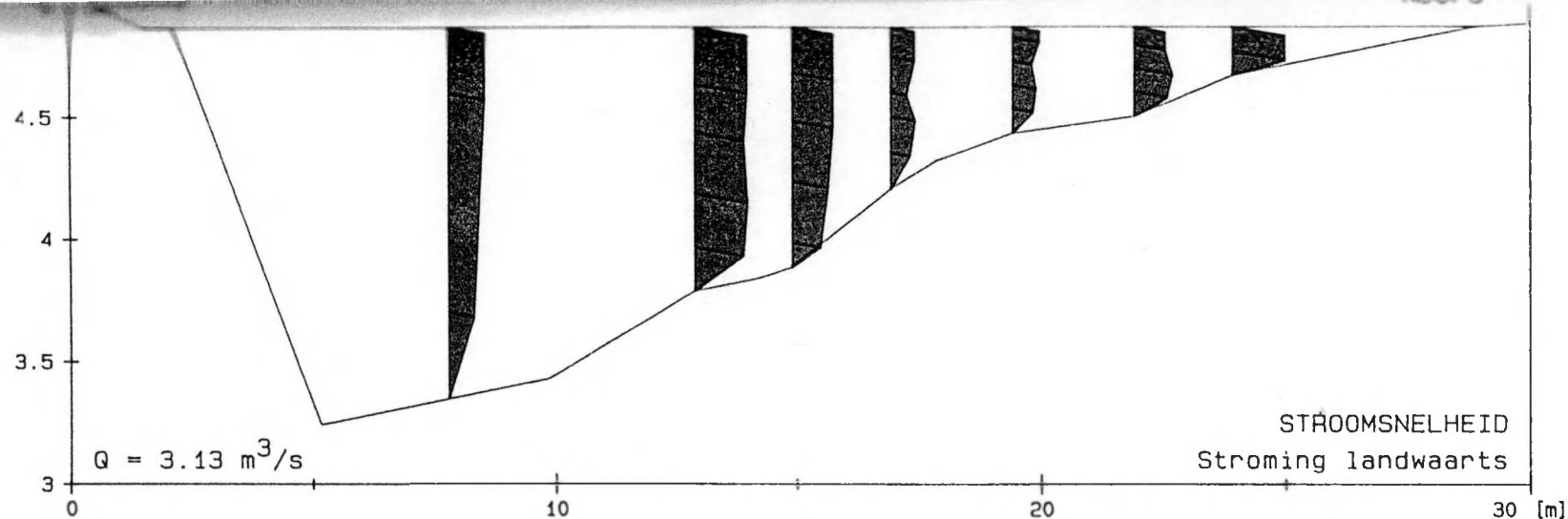
- concentratie :



MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991

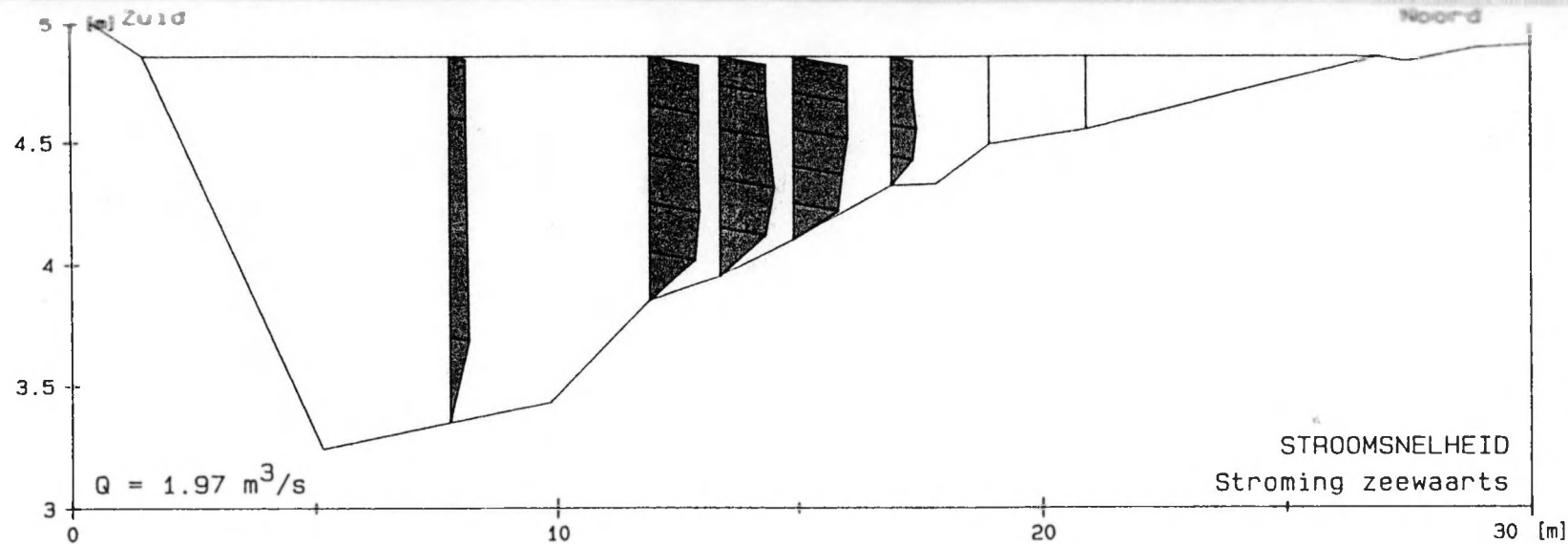
LOKATIE WEST, 16.30u

Fig. 3.5e



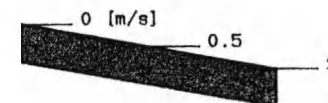
MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
LOKATIE WEST, 16.50u

Fig. 3.5f



SCHAAL :

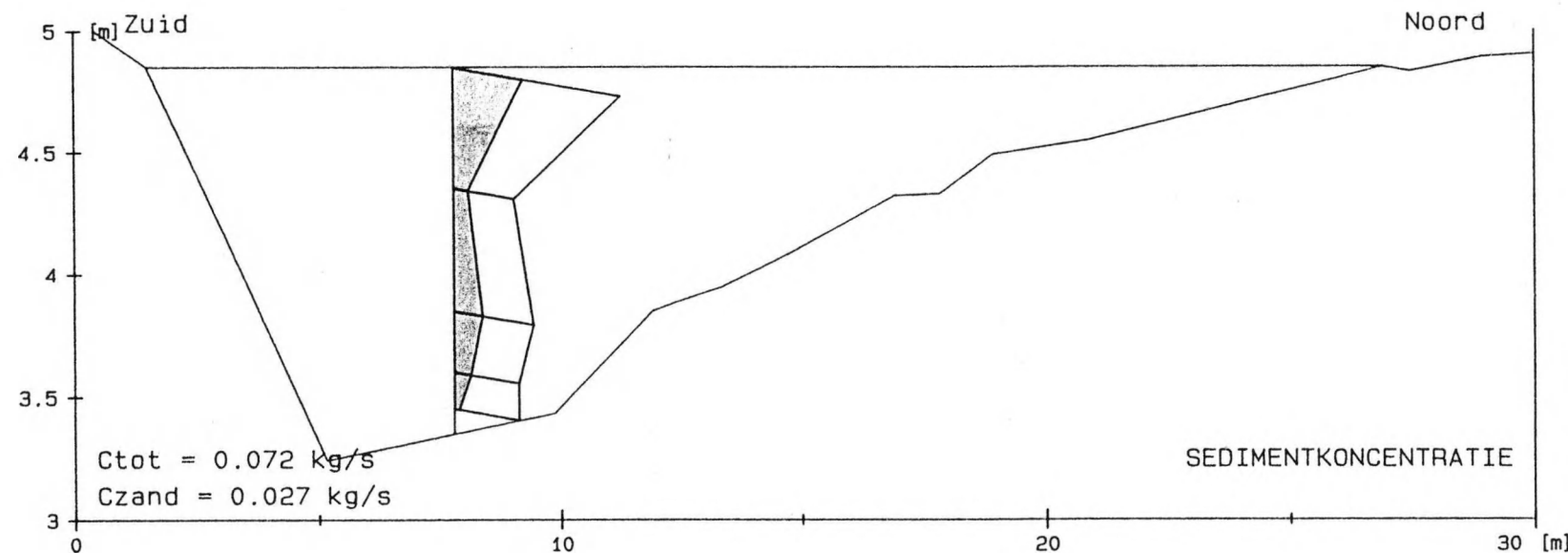
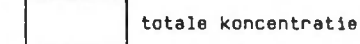
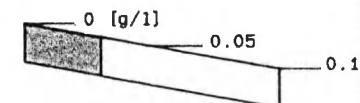
- snelheid :



- vertikaal : 1/30

- horizontaal : 1/150

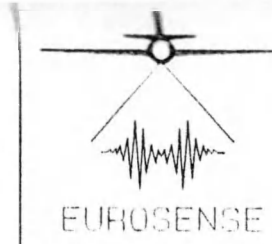
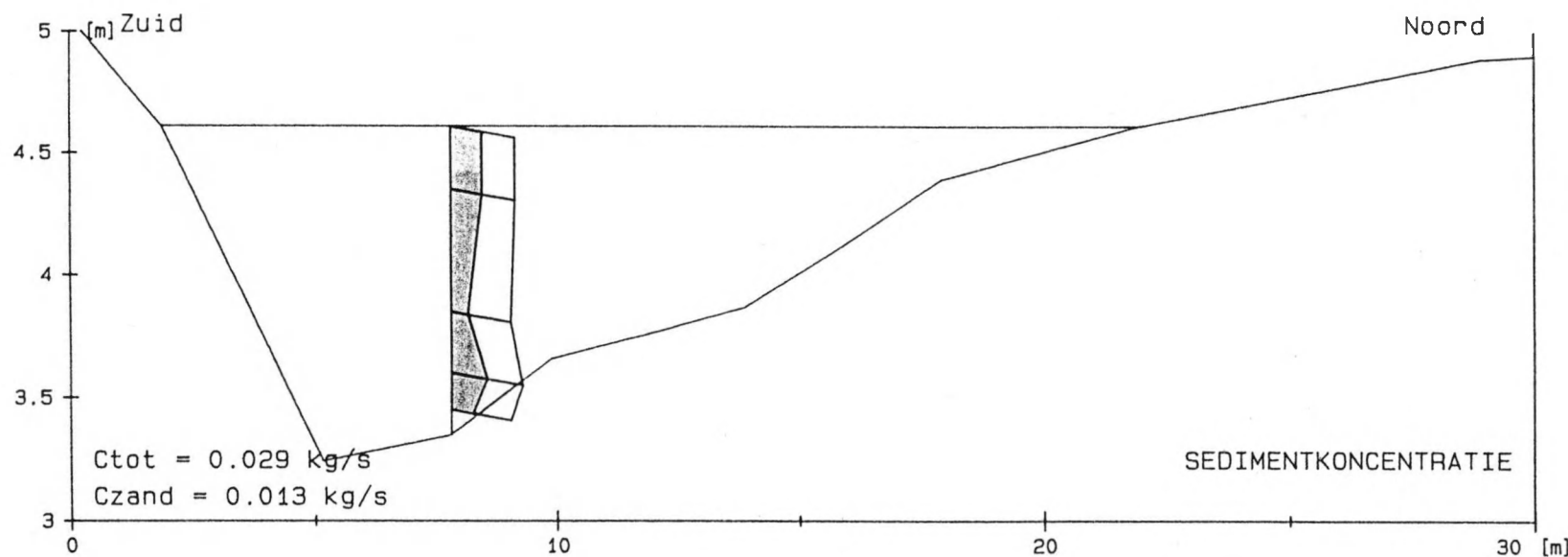
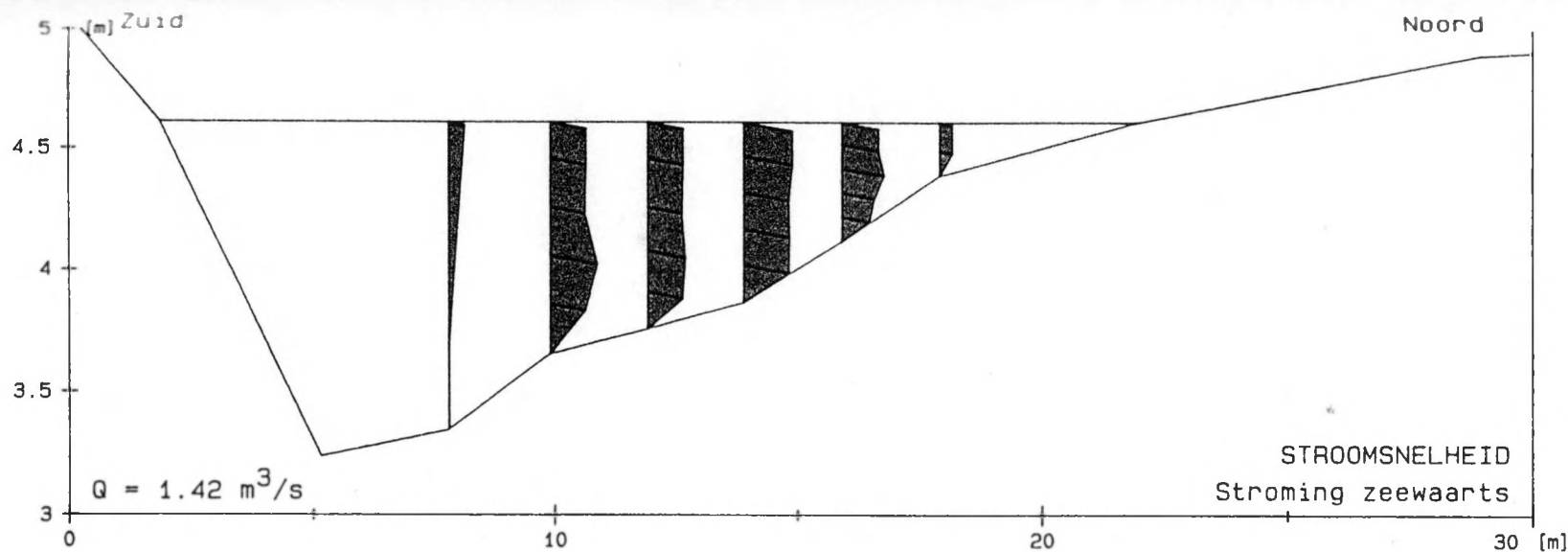
- concentratie :



MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991

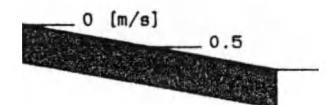
LOKATIE WEST, 17.10u

Fig. 3.5g



SCHAAL :

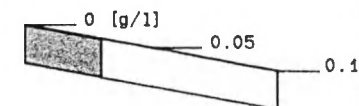
- snelheid :



- vertikaal : 1/30

- horizontaal : 1/150

- concentratie :

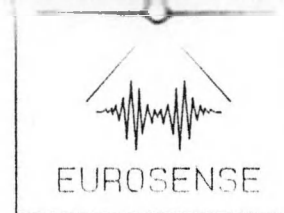
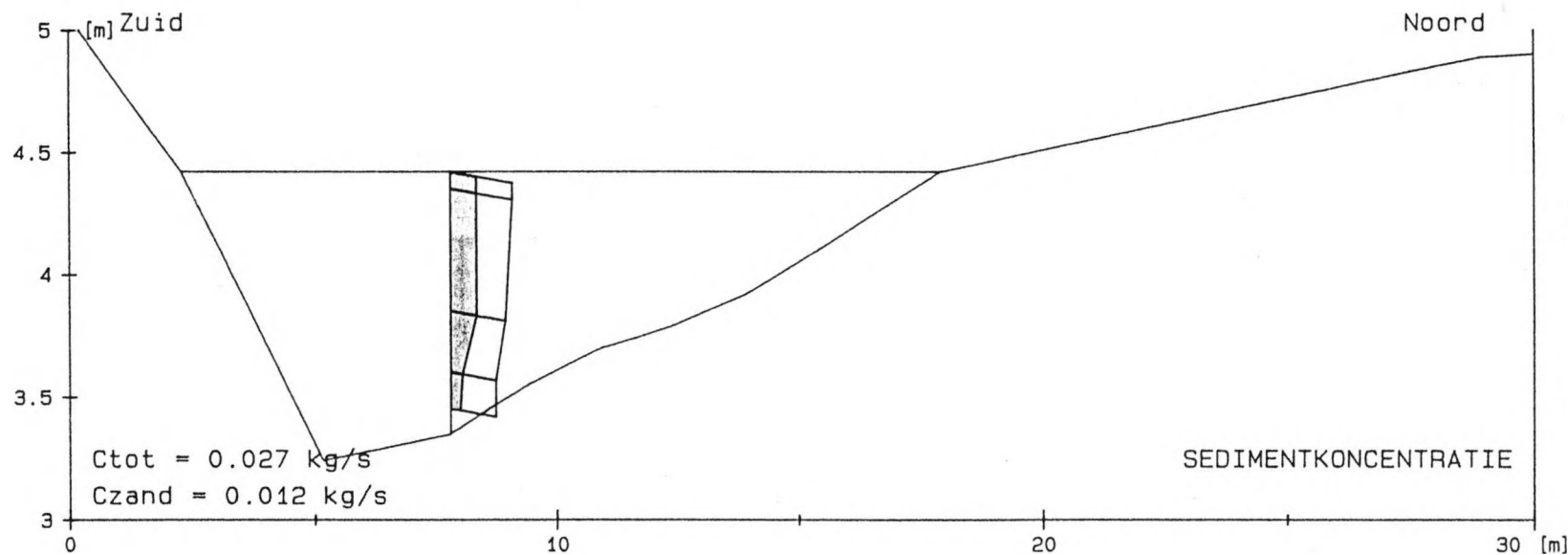
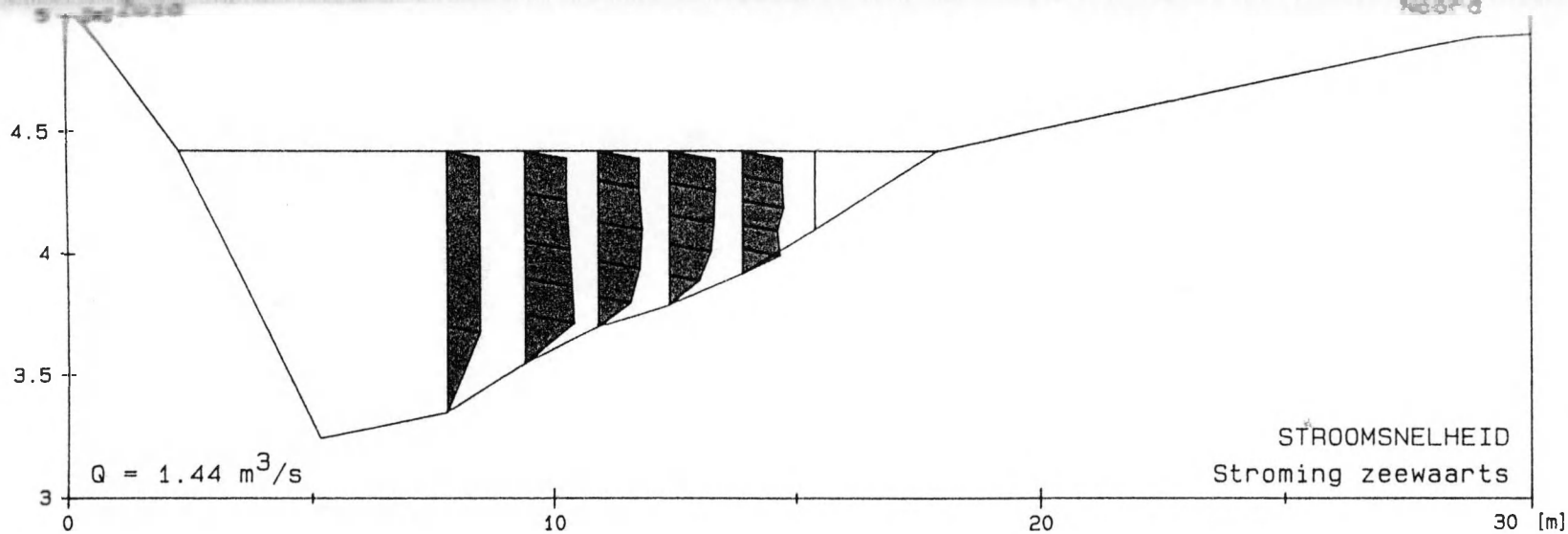


zandconcentratie

totale concentratie

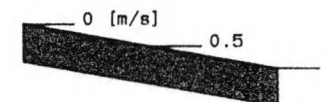
MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
LOKATIE WEST, 17.30u

Fig. 3.5h



SCHAAL :

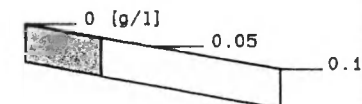
- snelheid :



- vertikaal : 1/30

- horizontaal : 1/150

- concentratie :



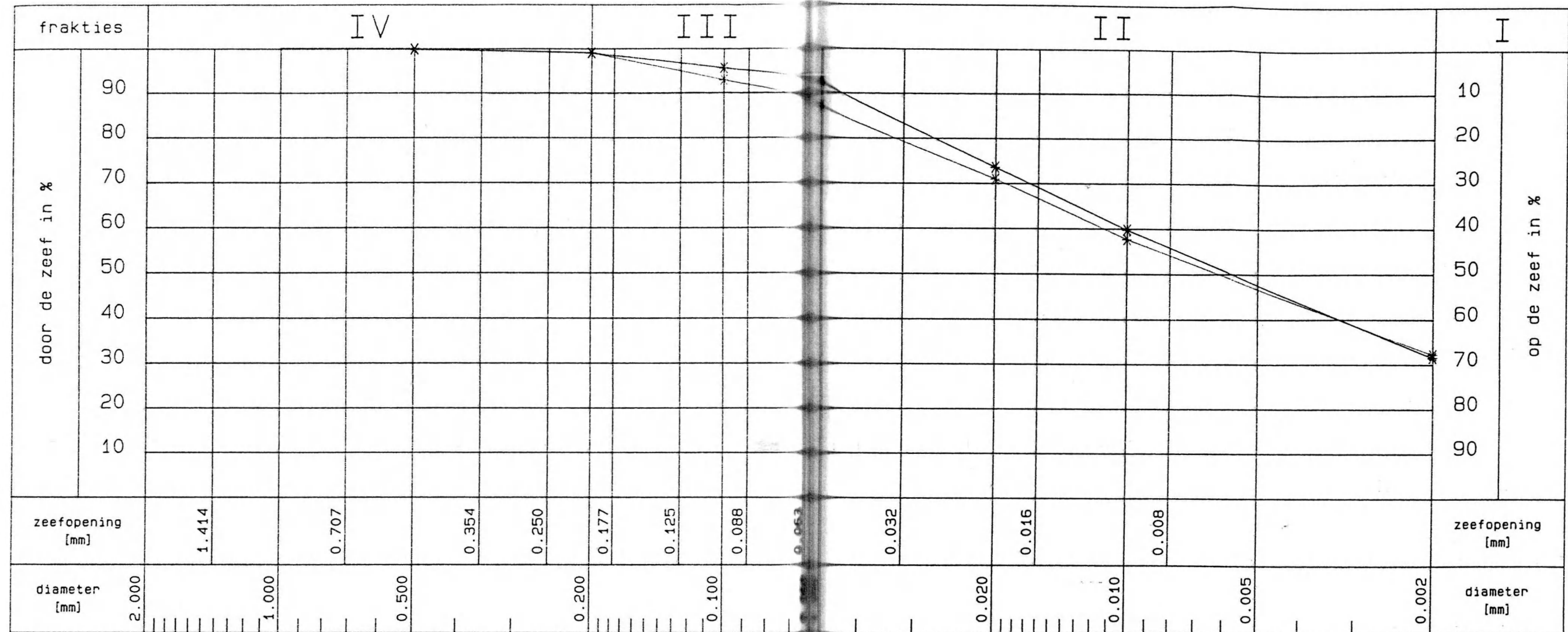
zandconcentratie

totale concentratie

MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
LOKATIE WEST, 18.00u

Fig. 3.51

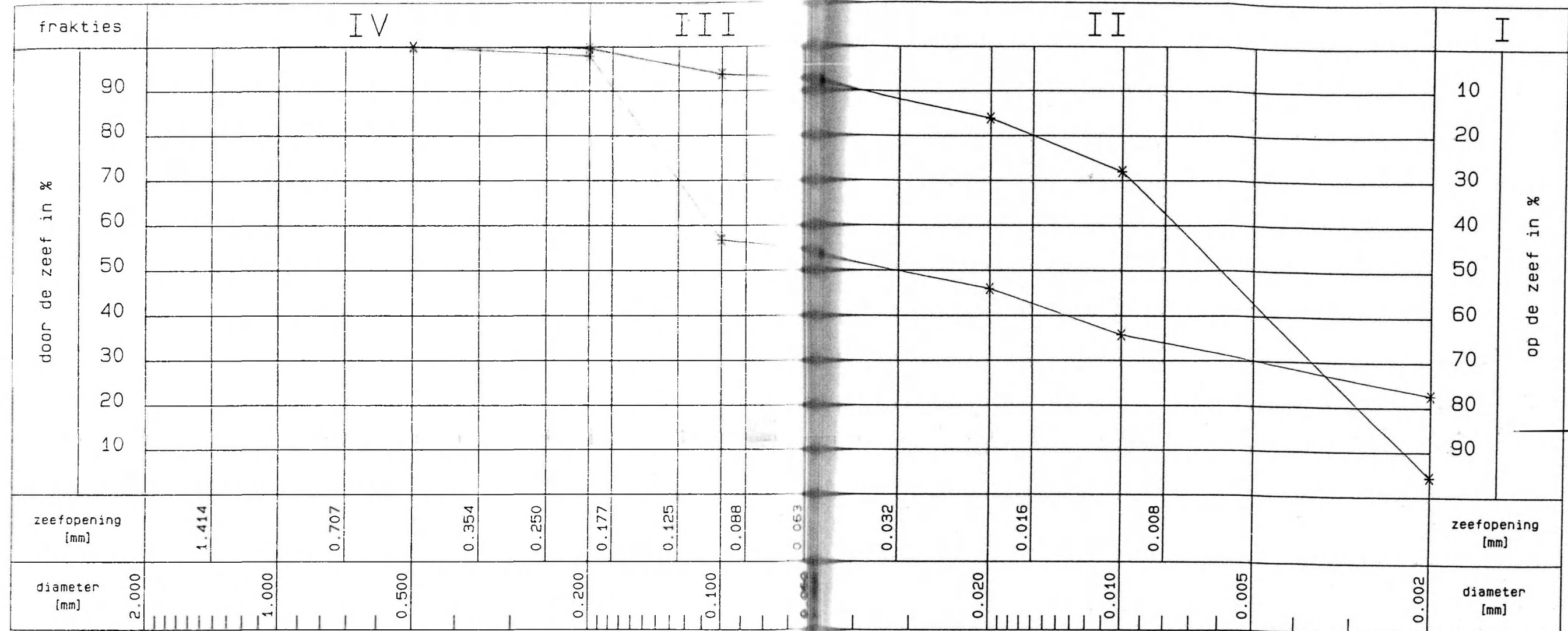
KORREL VERDELINGSDIAGRAM



herkomst & kenmerk	monsternr.	grondsoort	samenstelling fraktie				slibgehalte < 0.063 mm	vloeigrens	uitrolgrens	plastischeits- index	humusgehalte	kalkgehalte	klassifikatie Casagrande	aktiviteitsindex	opmerkingen
			>IV	III	II	I									
			%	%	%	%									
Meetcampagne Zwingeu1 13-08-1991 Staketsel Zuid (oost)	fls Z1-1														Inlaat zeewaarts
	fls Z1-2														Inlaat landwaarts

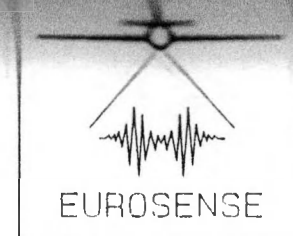
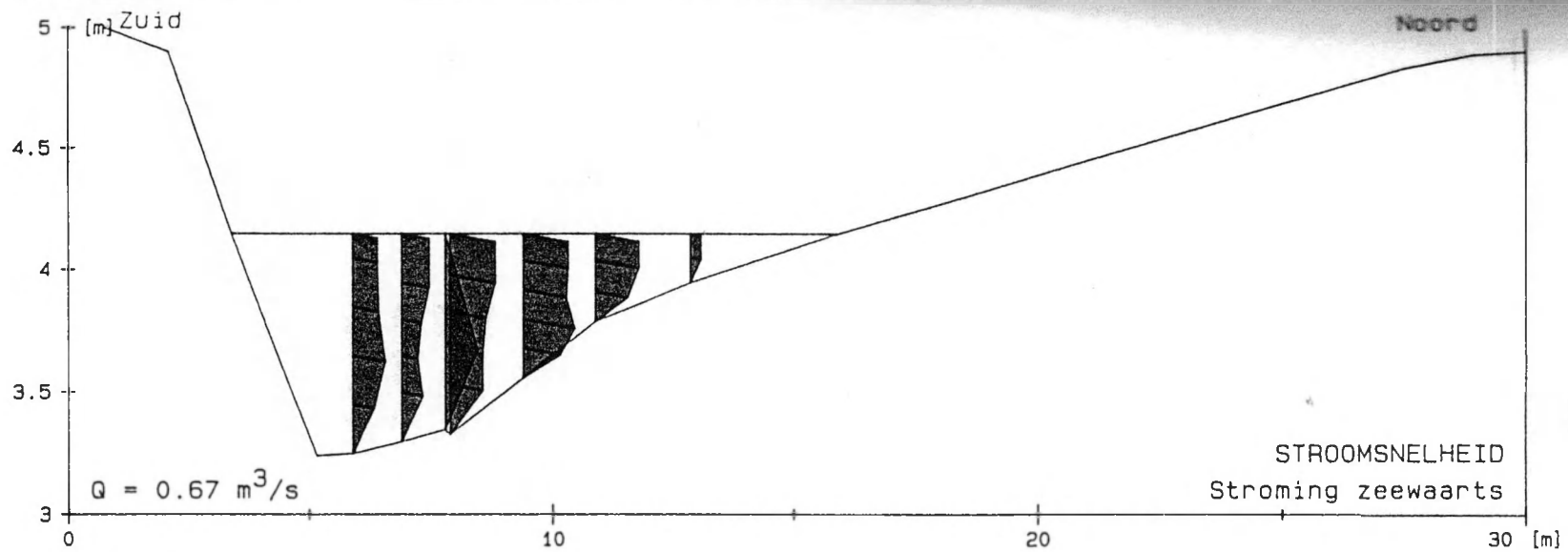
fig. 3.7a

KORRELVERDELINGSDIAGRAM

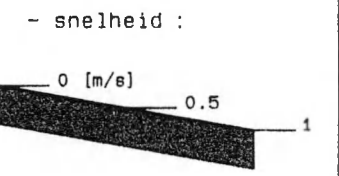


herkomst & kenmerk	monsternr.	grondsoort	korrelverdeling				slibgehalte < 0.063 mm	vloeigrens	uitrolgrens	plastischeits- index	humusgehalte	kalkgehalte	klassifikatie Casagrande	aktiviteitsindex	opmerkingen
			> IV	III	II	I									
Meetcampagne Zwingeu1 13-08-1991 Staketsel Zuid (west)	file Z2-1		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%			Inlaat zeewaarts
	file Z2-2														Inlaat landwaarts

fig. 3.7b

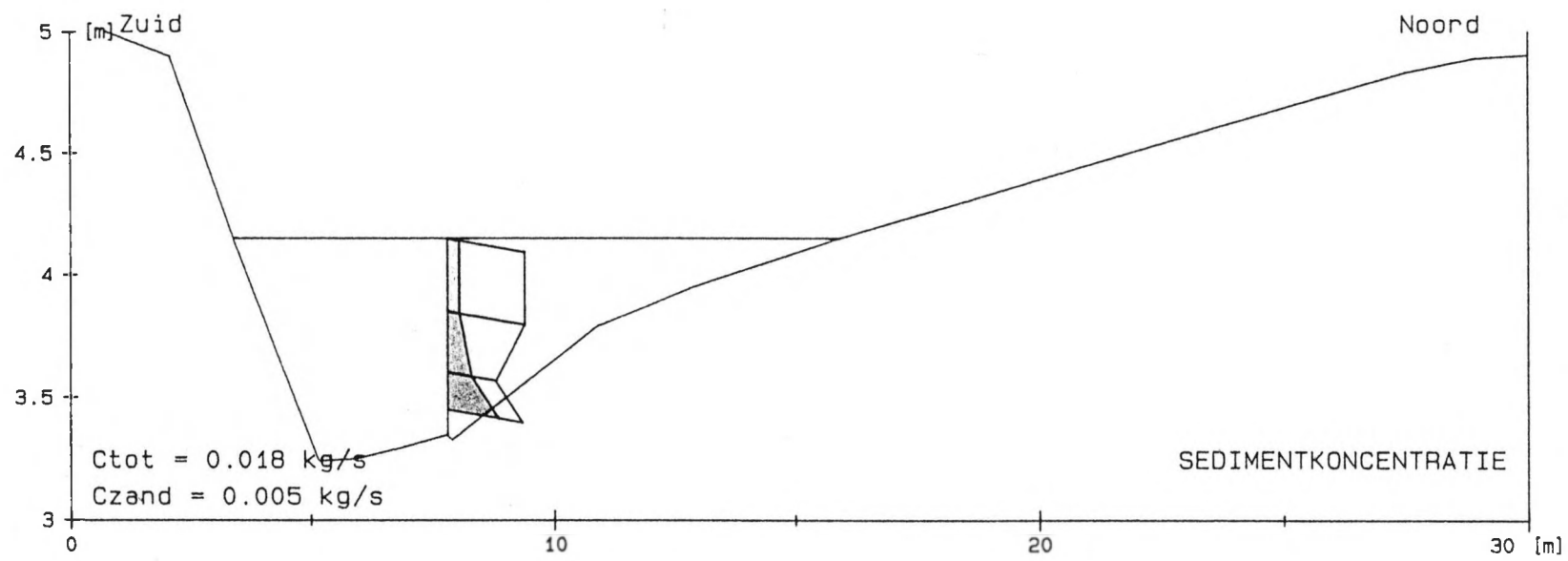
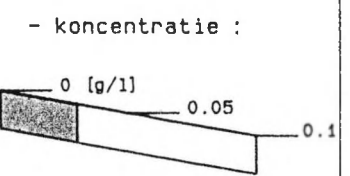


SCHAAL :

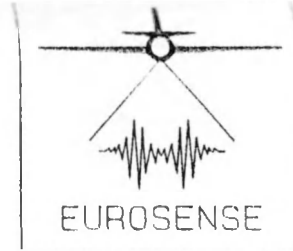
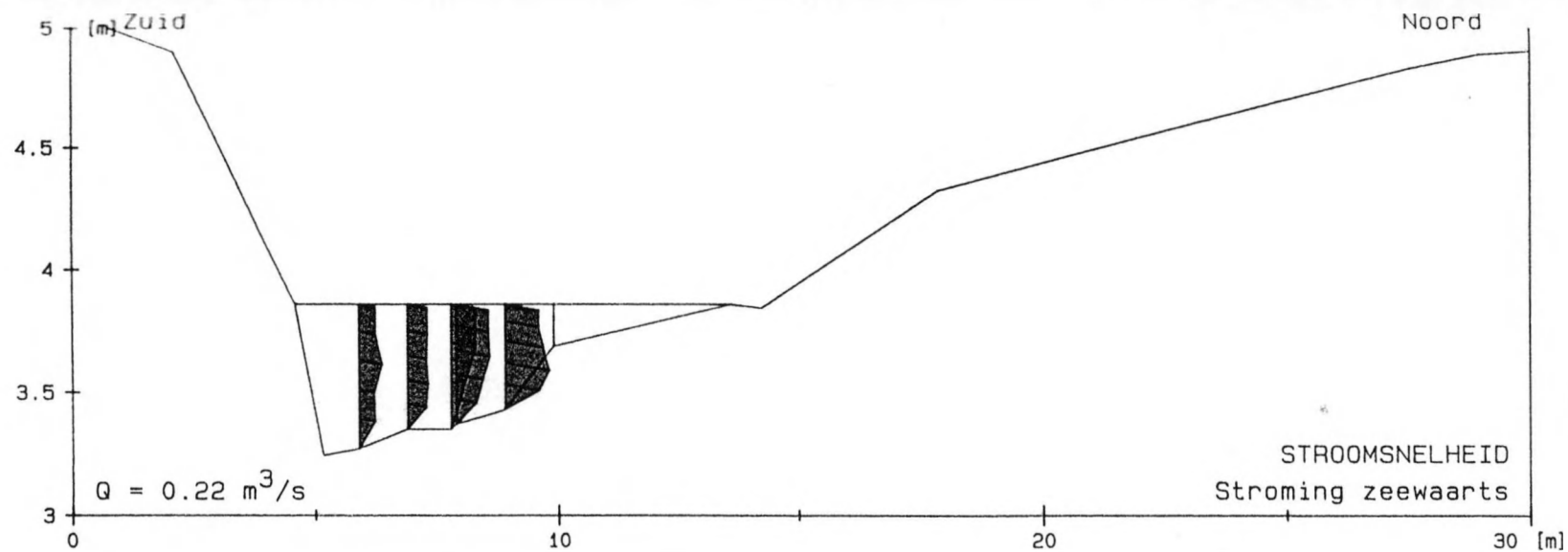


- vertikaal : 1/30

- horizontaal : 1/150

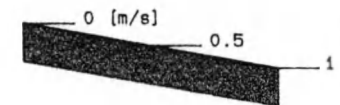


MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
LOKATIE WEST, 18.30u



SCHAAL :

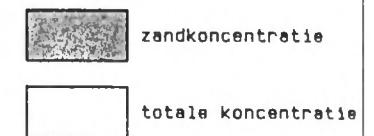
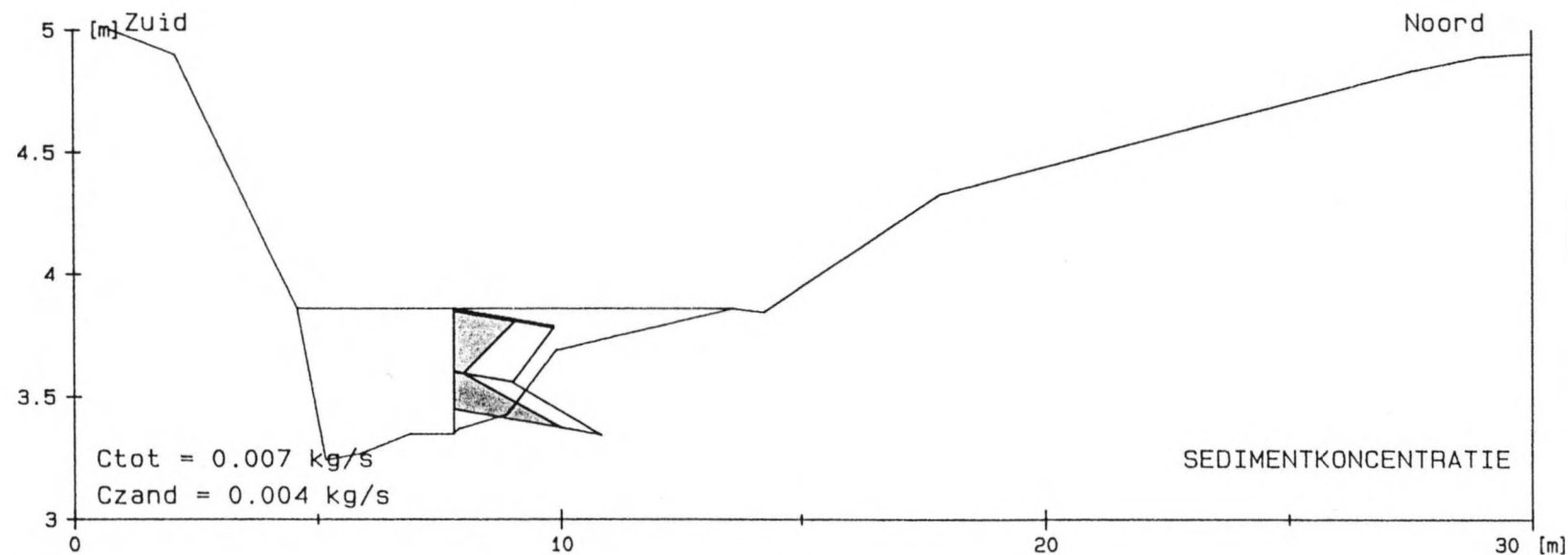
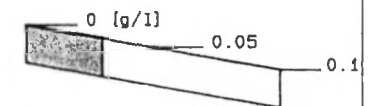
- snelheid :



- vertikaal : 1/30

- horizontaal : 1/150

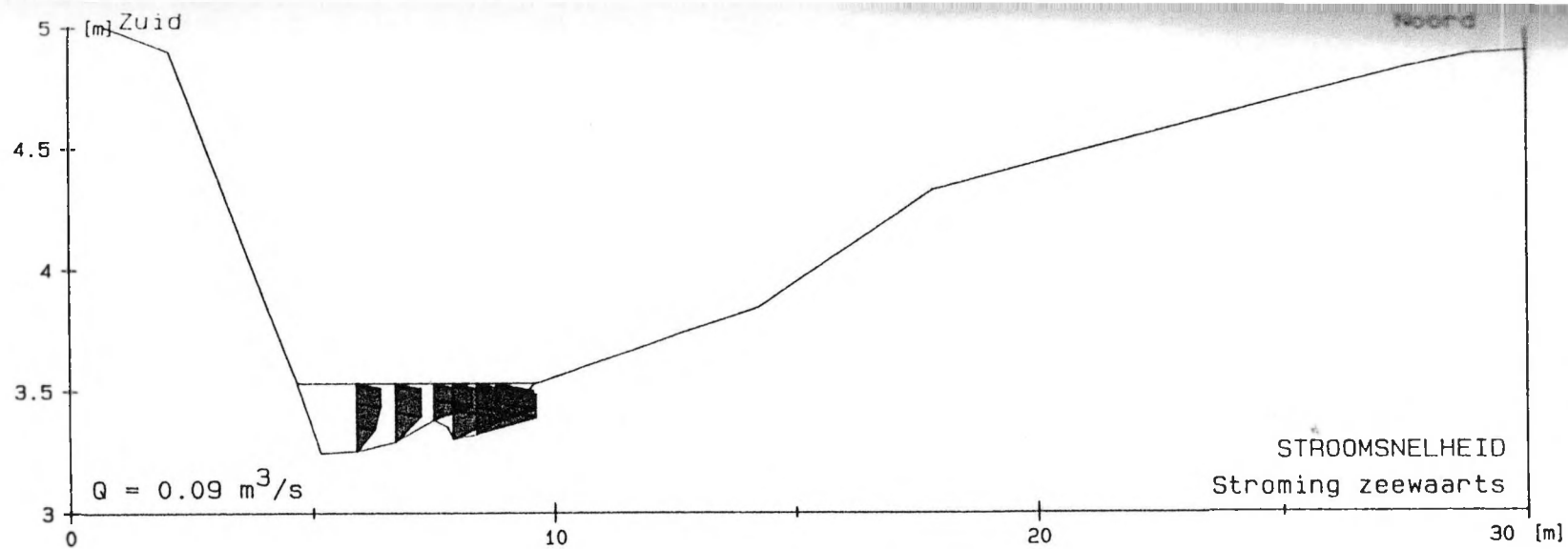
- concentratie :



MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991

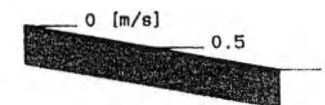
LOKATIE WEST, 19.00u

Fig. 3.5k



SCHAAL :

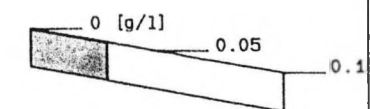
- snelheid :



- vertikaal : 1/30

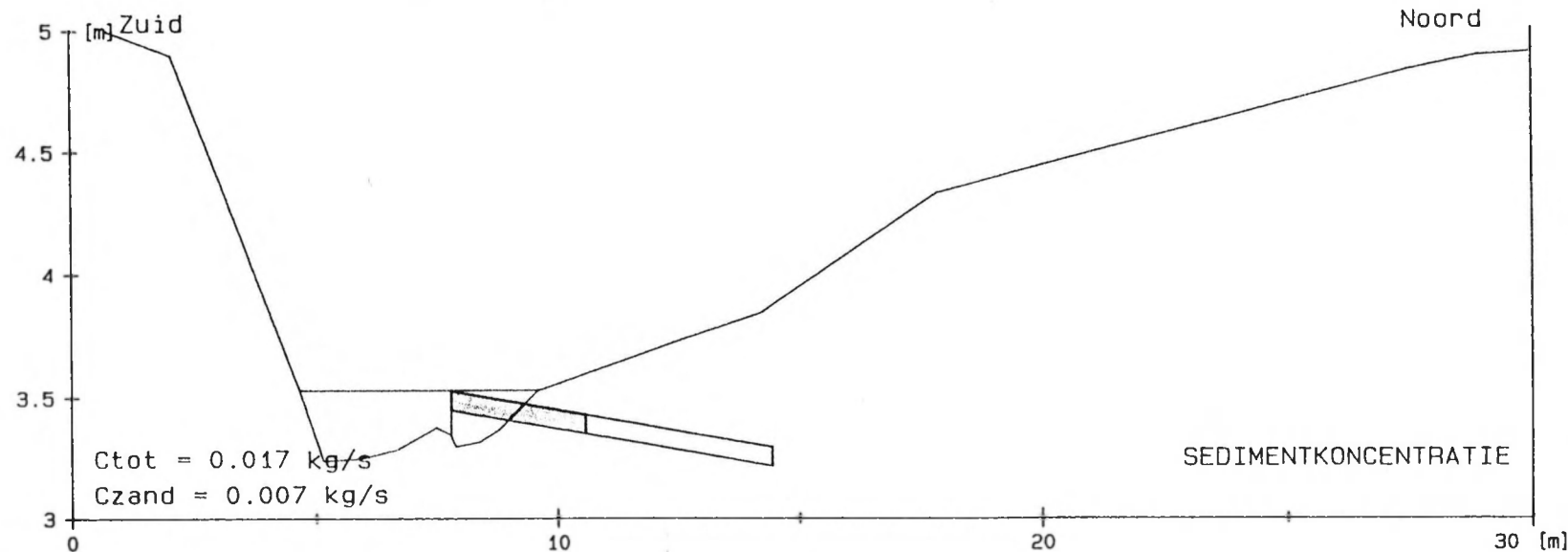
- horizontaal : 1/150

- concentratie :



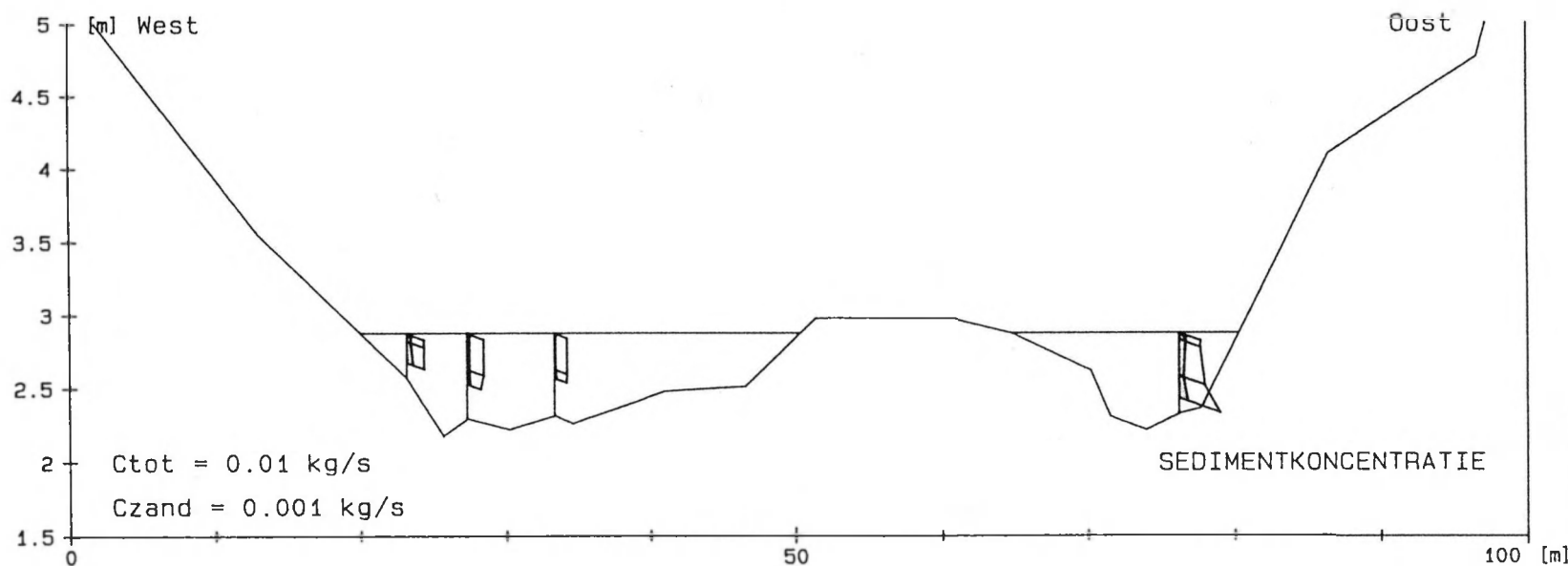
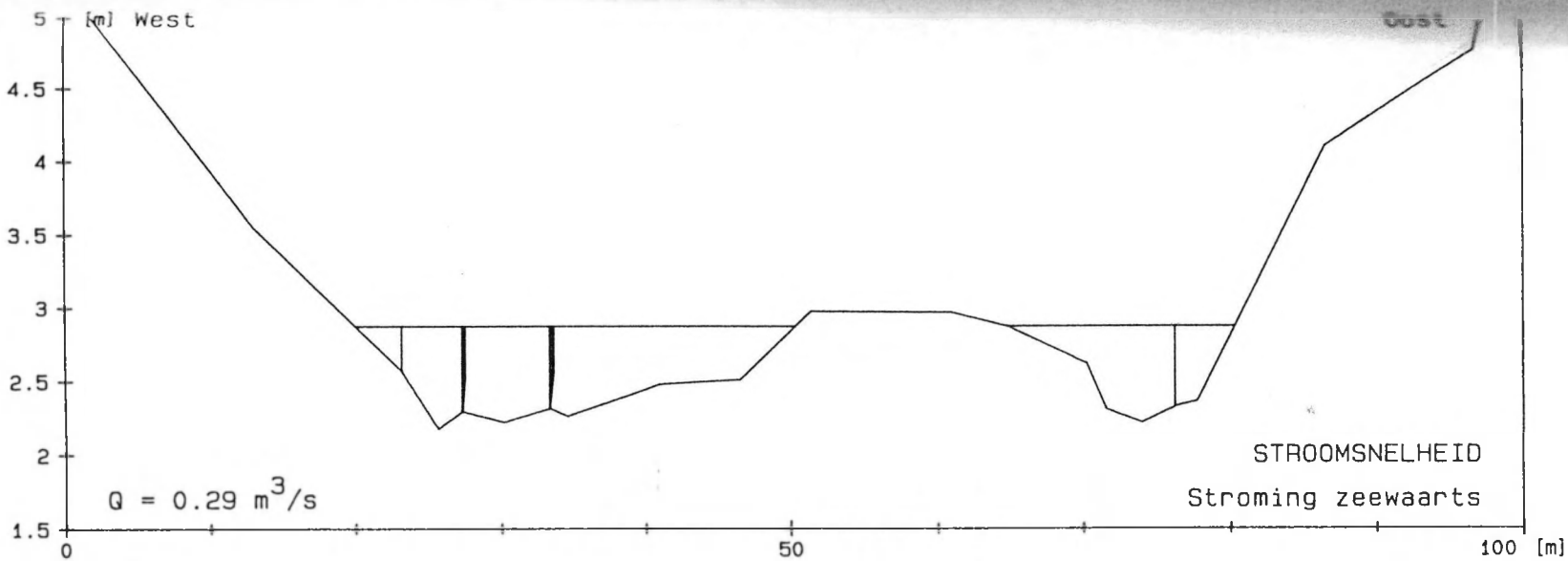
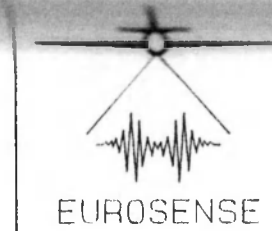
zandconcentratie

totale concentratie



MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
LOKATIE WEST, 19.30u

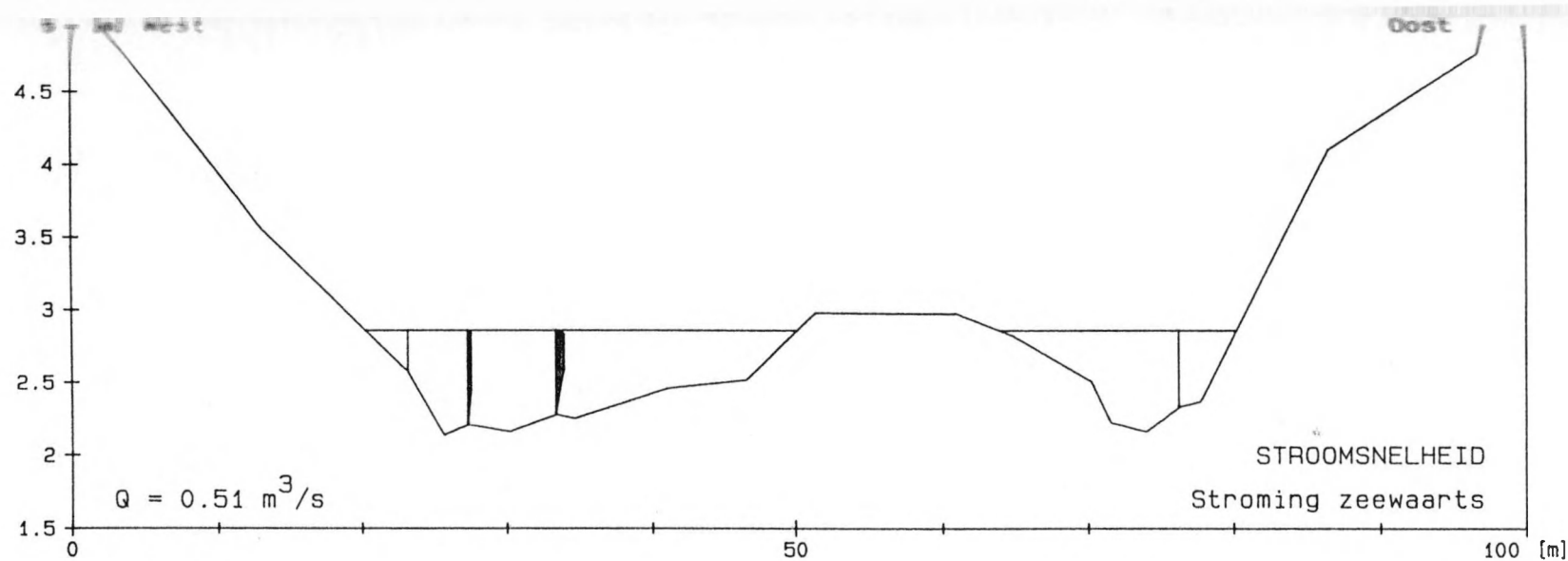
Fig. 3.51



- SCHAAL :
- snelheid :
 0 [m/s] 0.5 1
 - vertikaal : 1/50
 - horizontaal : 1/500
 - concentratie :
 0 [g/l] 0.1 0.2
- Legend:
 zandconcentratie
 totale concentratie

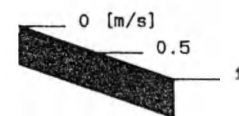
MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
LOKATIE ZUID, 14.00u

Fig. 3.6a



SCHAAL :

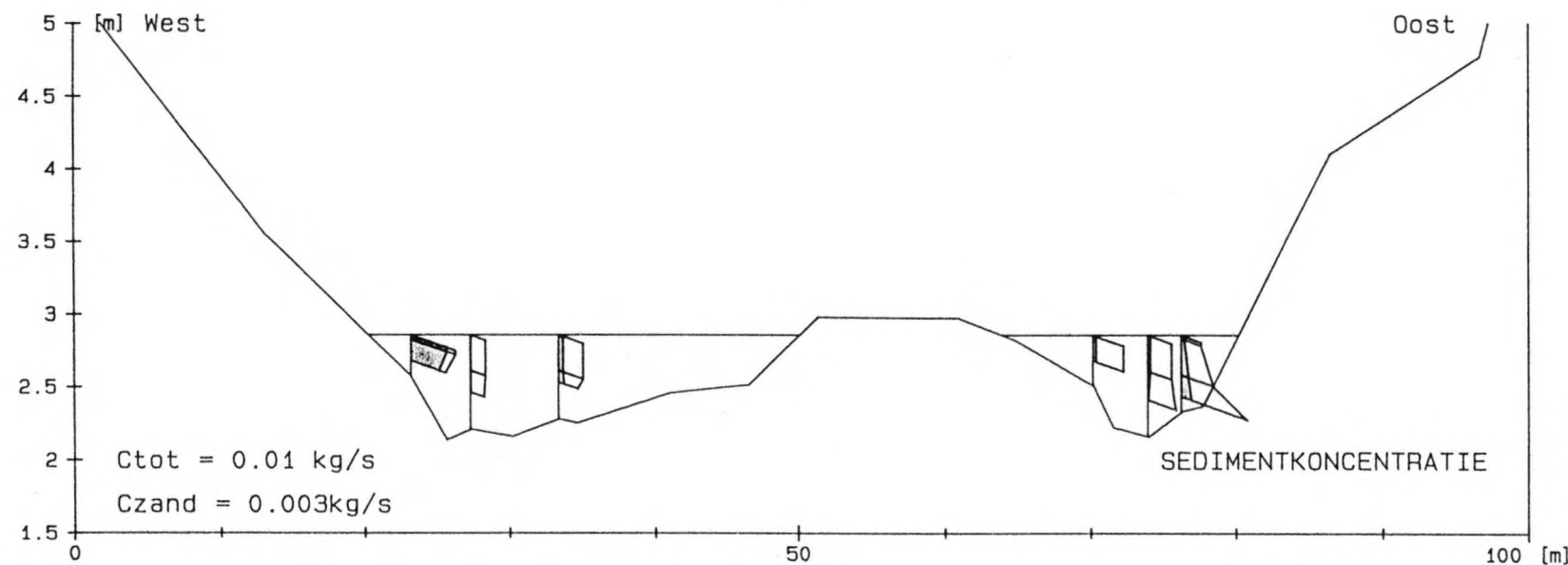
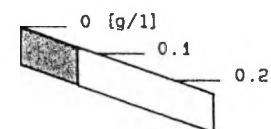
- snelheid :



- vertikaal : 1/50

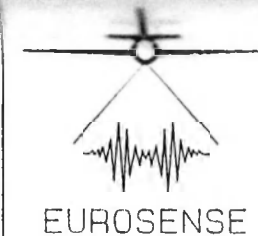
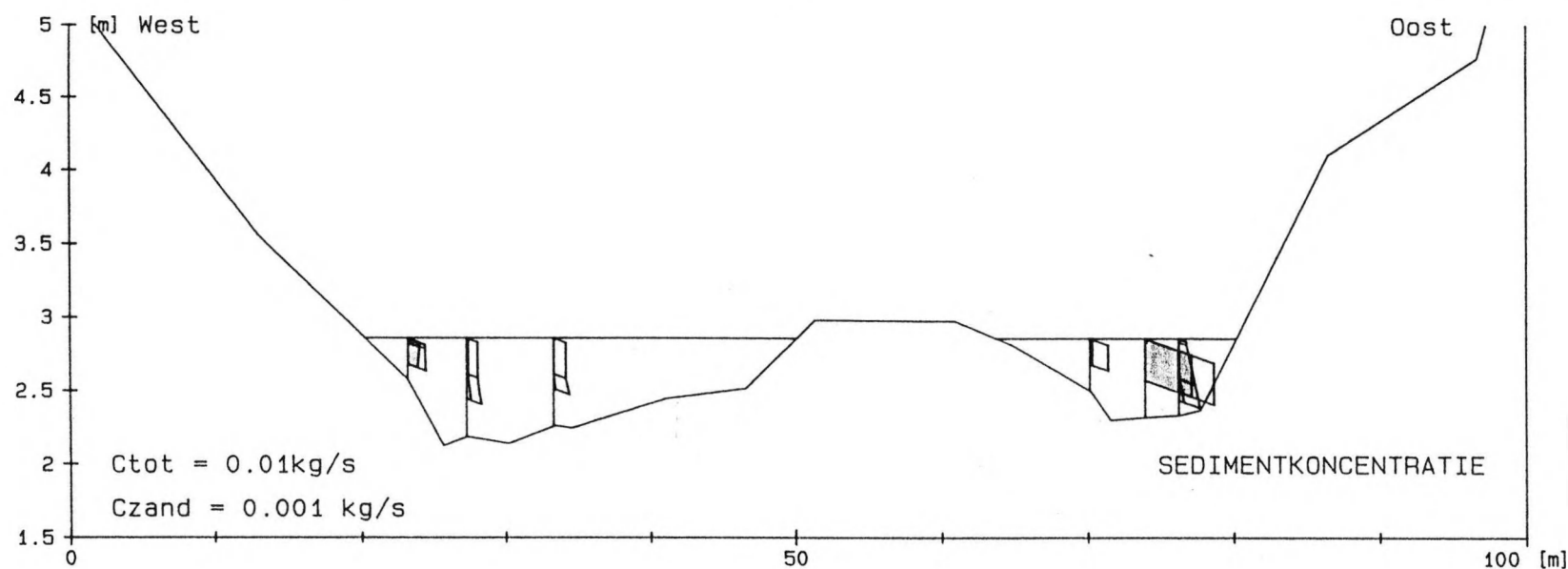
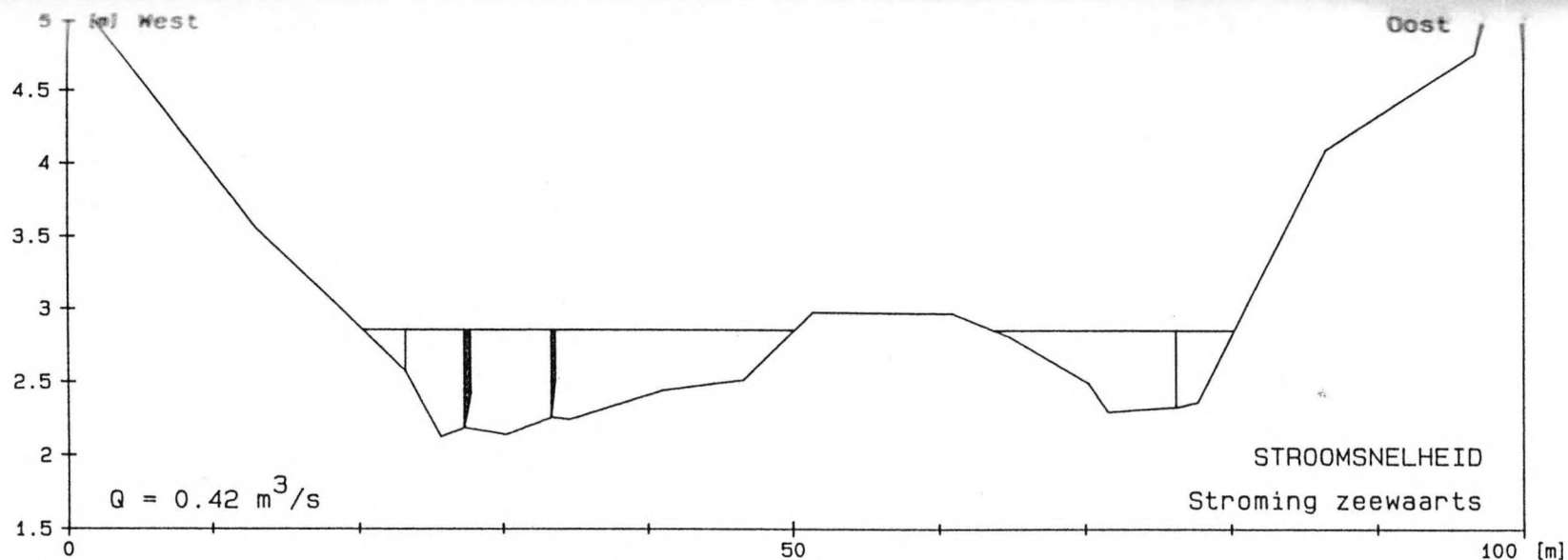
- horizontaal : 1/500

- concentratie :



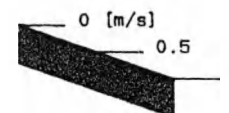
MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
LOKATIE ZUID, 14.30u

Fig. 3.6b



SCHAAL :

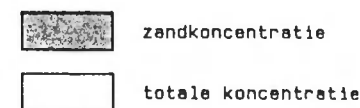
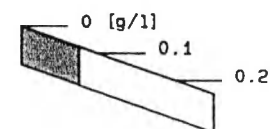
- snelheid :



- vertikaal : 1/50

- horizontaal : 1/500

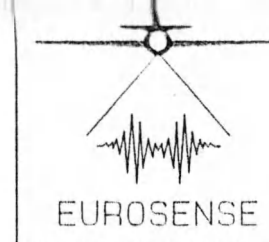
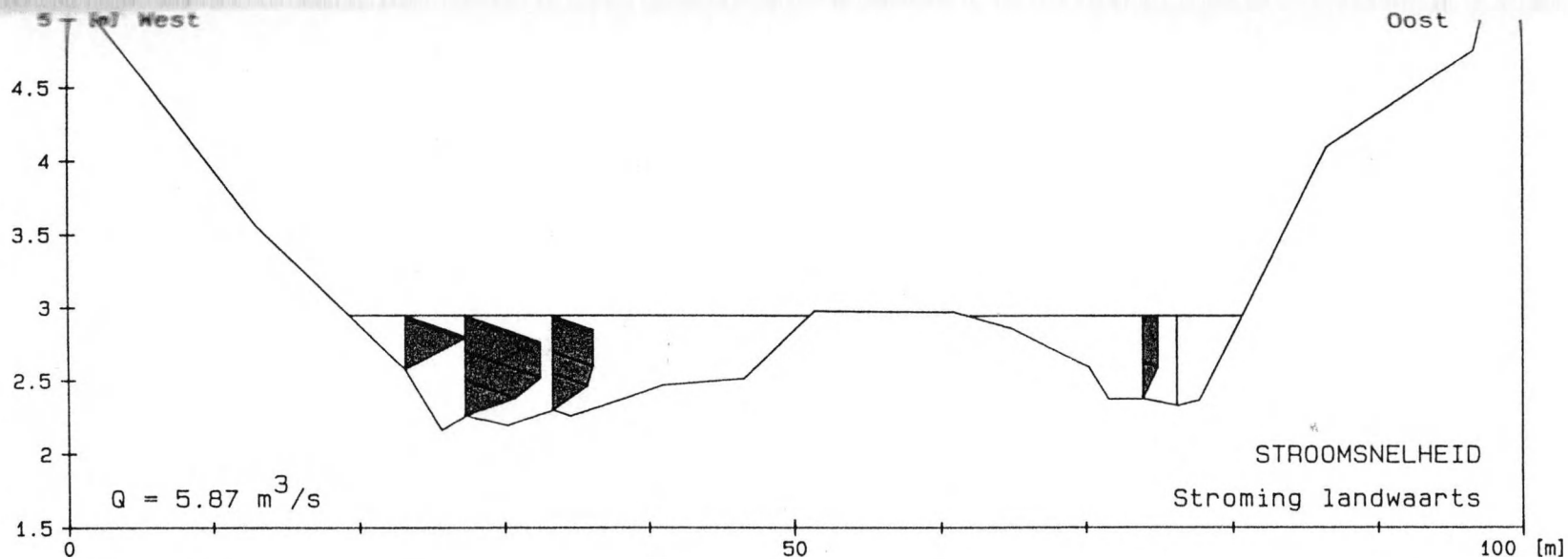
- concentratie :



MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991

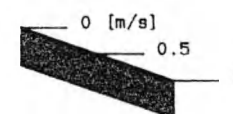
LOKATIE ZUID, 15.00u

Fig. 3.6c



SCHAAL :

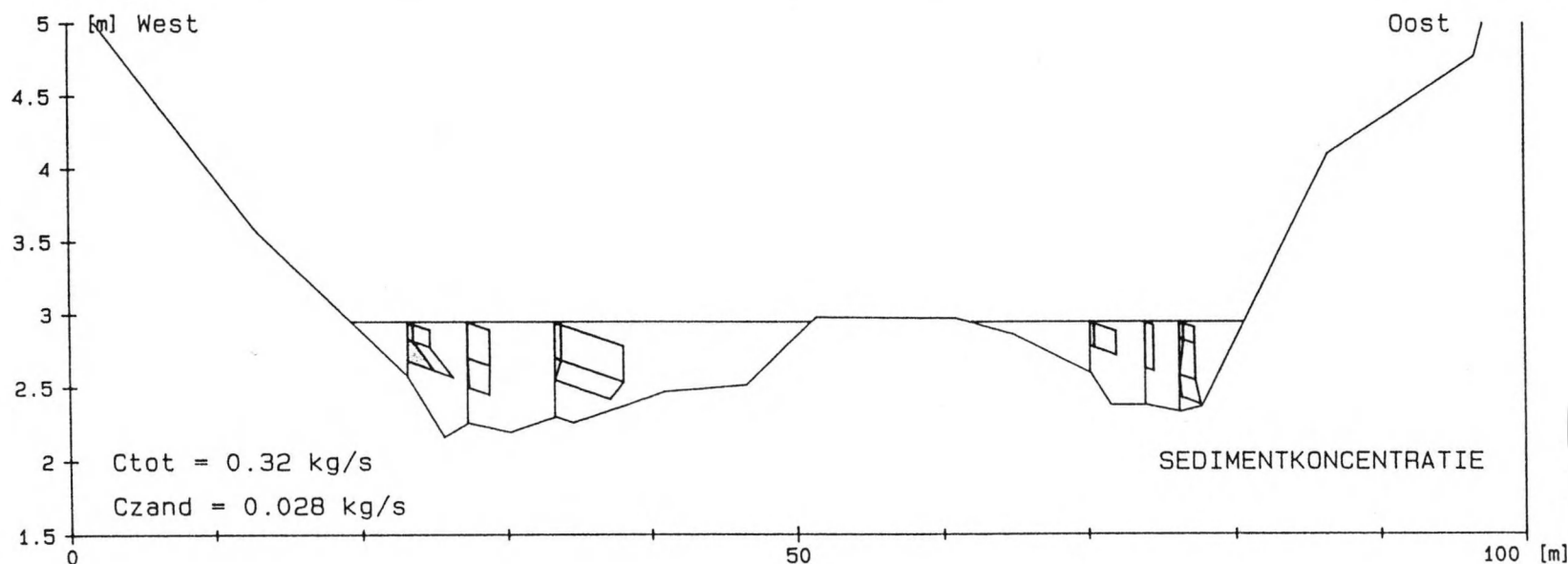
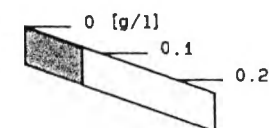
- snelheid :



- vertikaal : 1/50

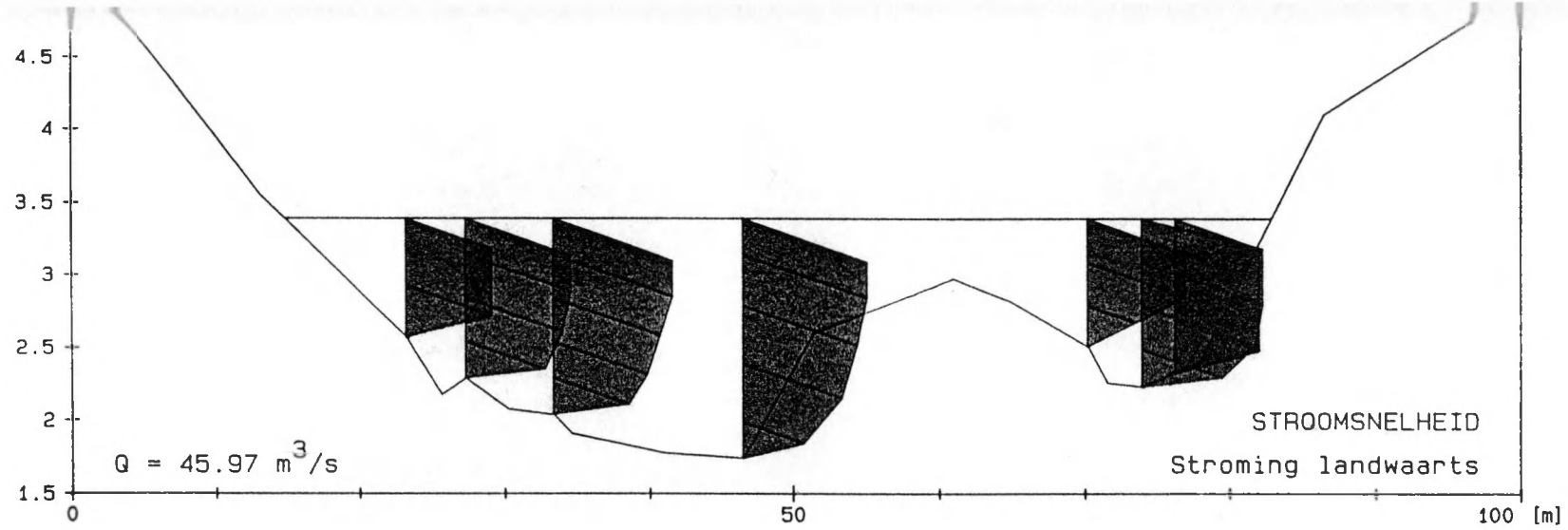
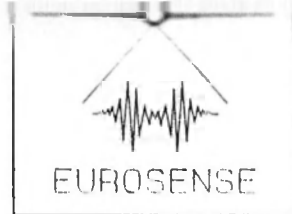
- horizontaal : 1/500

- concentratie :



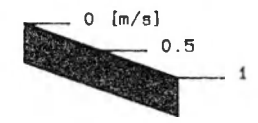
MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
LOKATIE ZUID, 15.30u

Fig. 3.6d



SCHAAL :

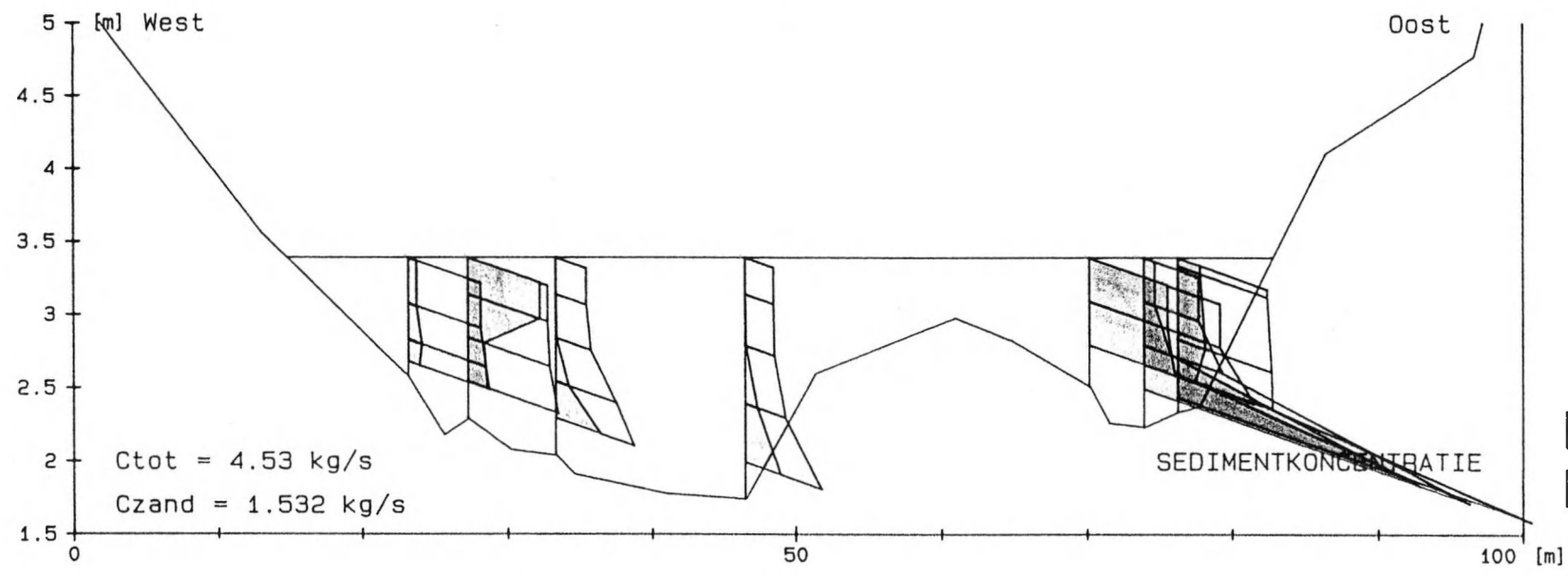
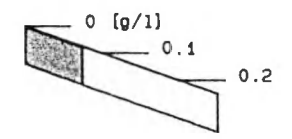
- snelheid :



- vertikaal : 1/50

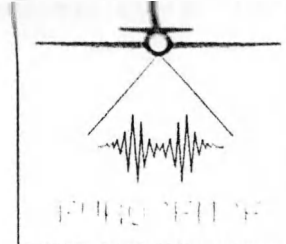
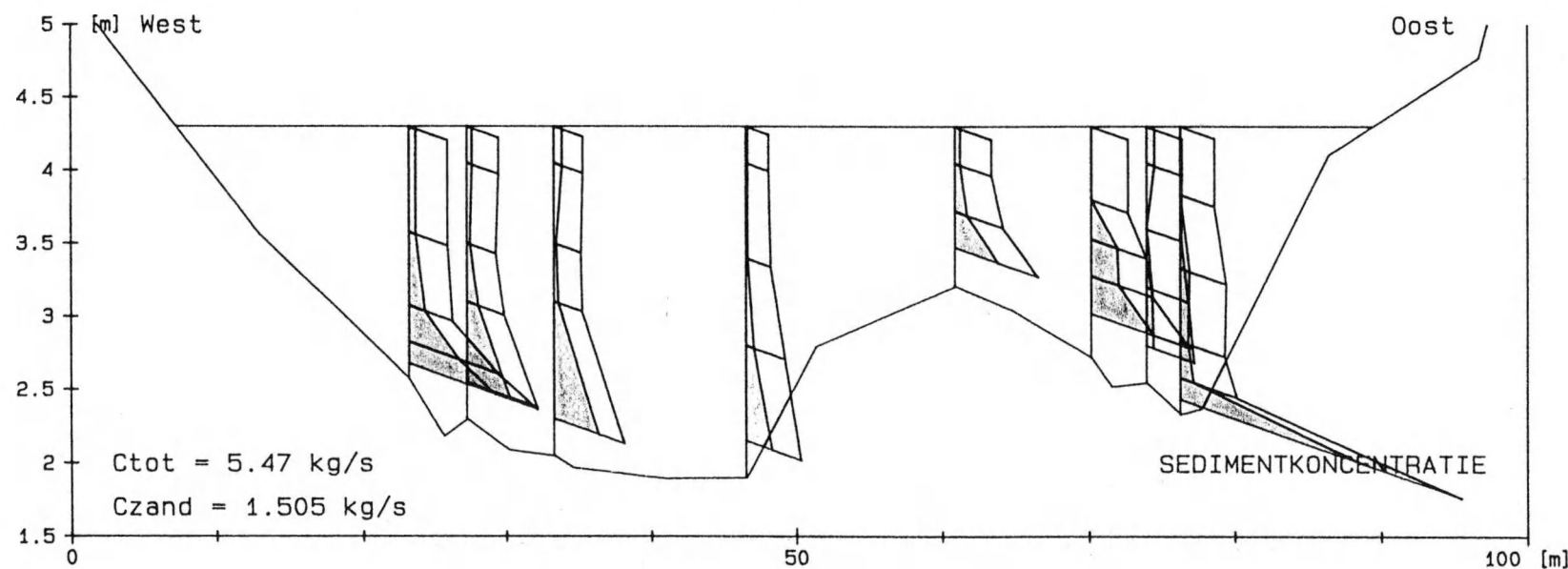
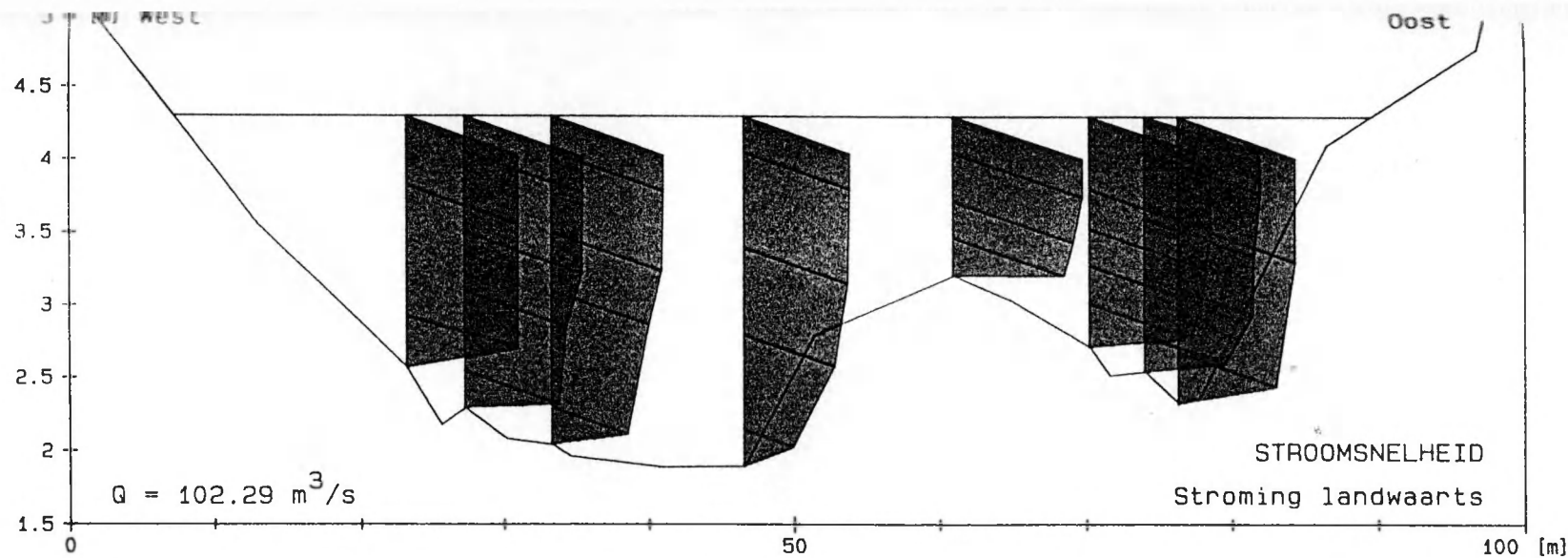
- horizontaal : 1/500

- concentratie :



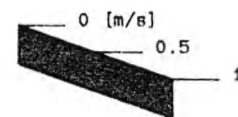
MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
LOKATIE ZUID, 15.50u

Fig. 3.6e



SCHAAL :

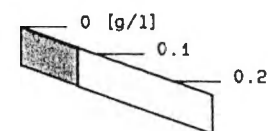
- snelheid :



- vertikaal : 1/50

- horizontaal : 1/500

- concentratie :



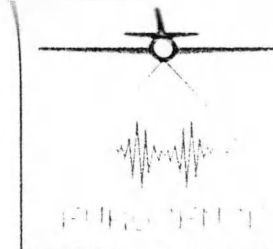
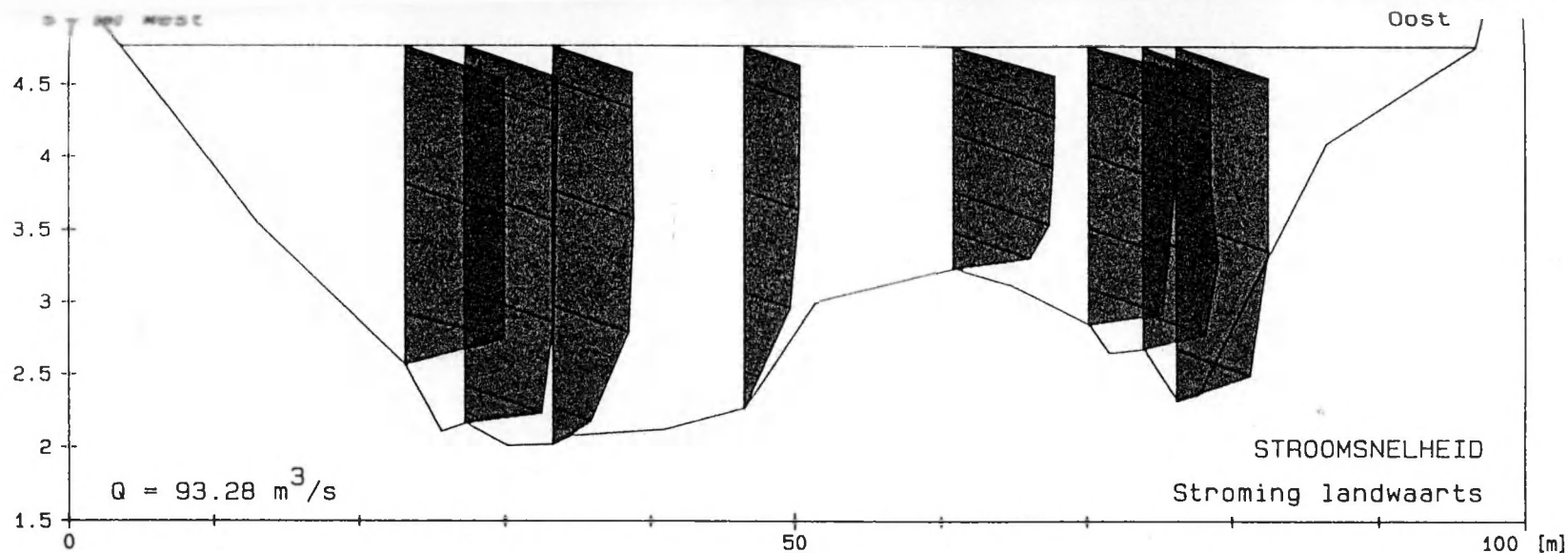
zandconcentratie

totale concentratie

MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991

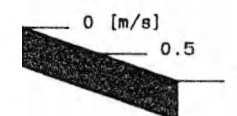
LOKATIE ZUID, 16.10u

Fig. 3.6f



SCHAAL :

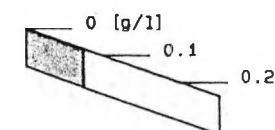
- snelheid :



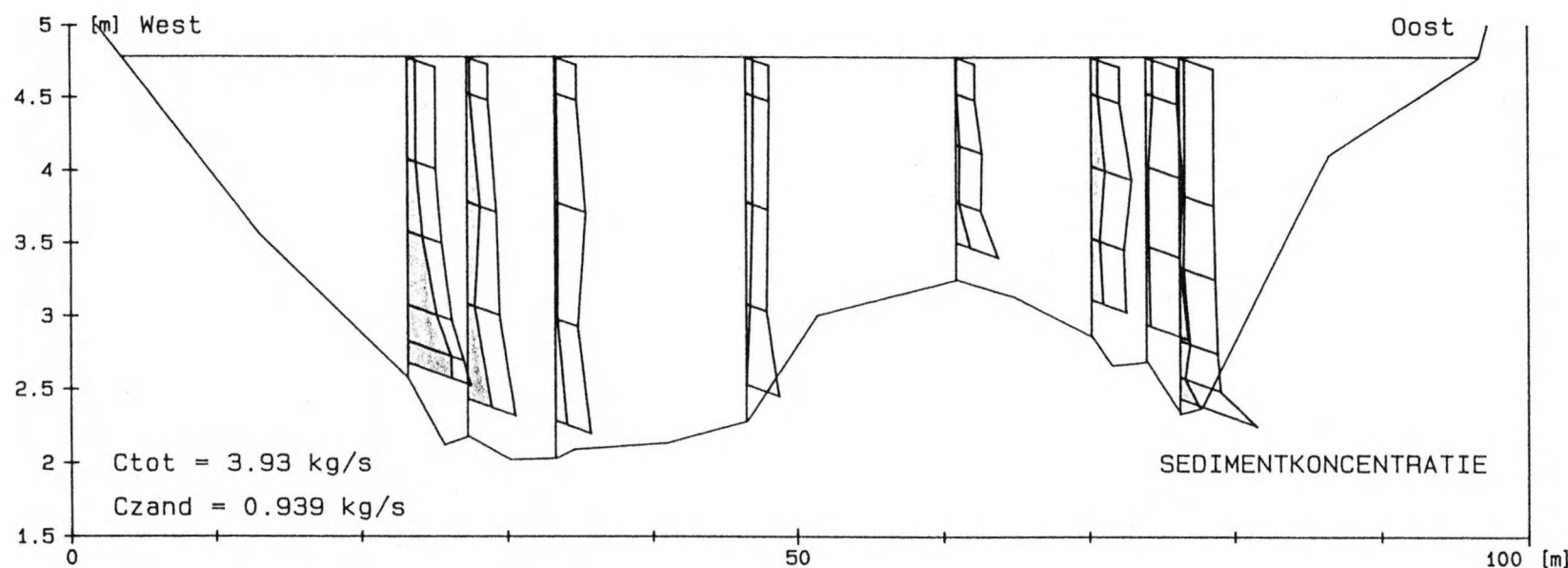
- vertikaal : 1/50

- horizontaal : 1/500

- concentratie :

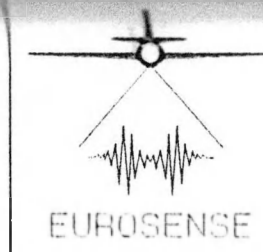
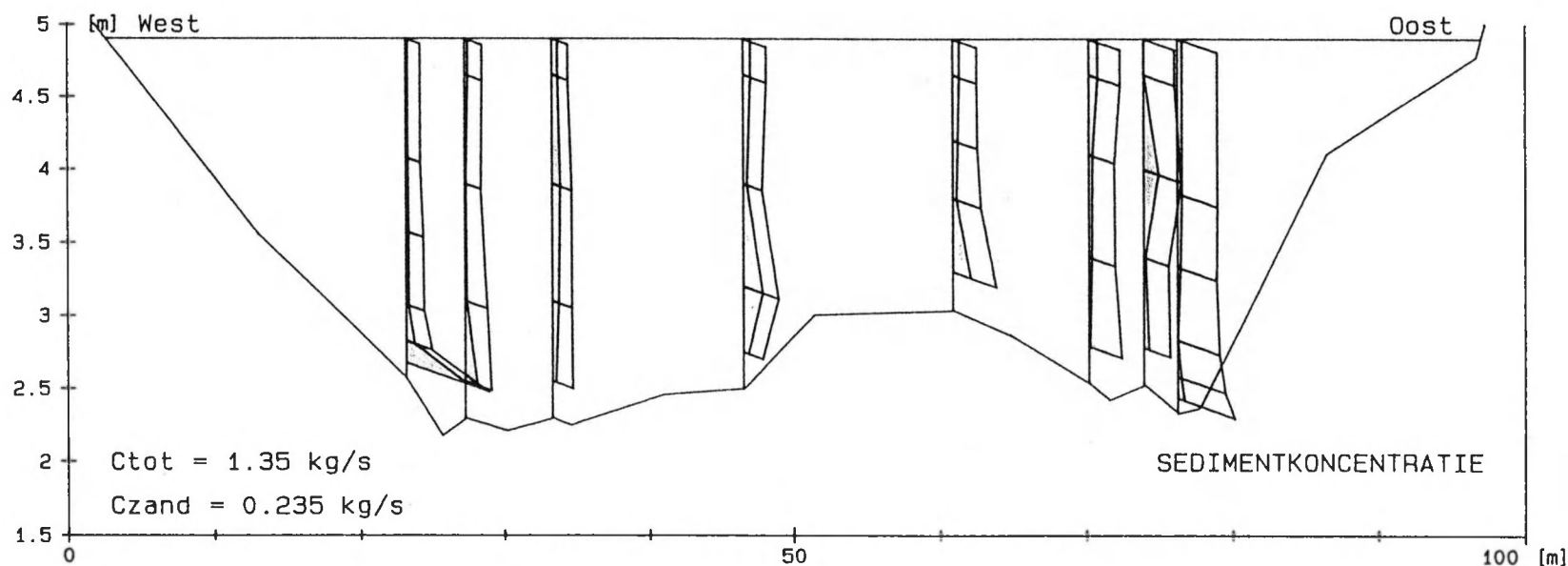
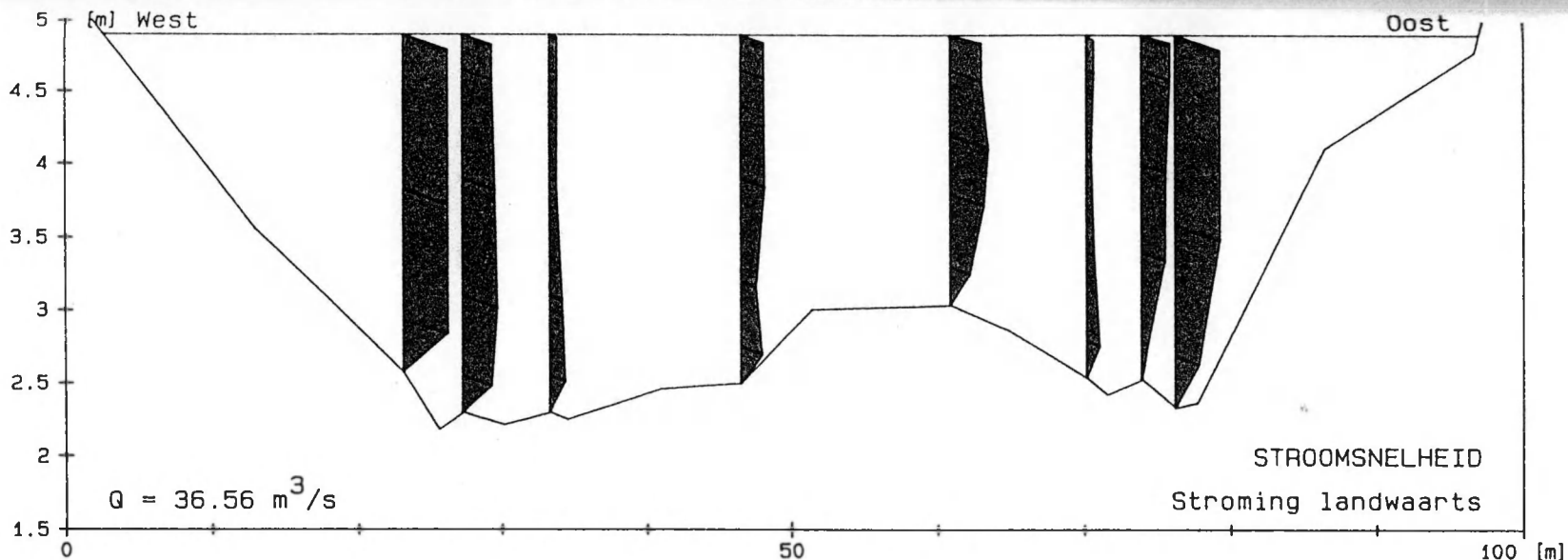


zandconcentratie
totale concentratie



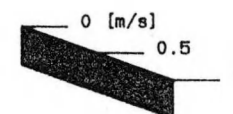
MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
LOKATIE ZUID, 16.30u

Fig. 3.6g



SCHAAL :

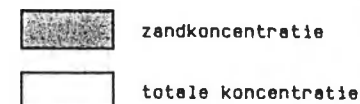
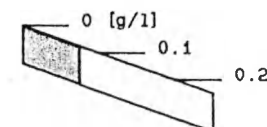
- snelheid :



- vertikaal : 1/50

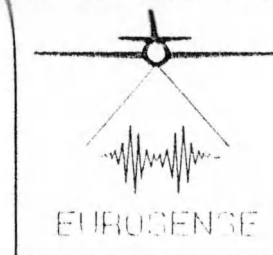
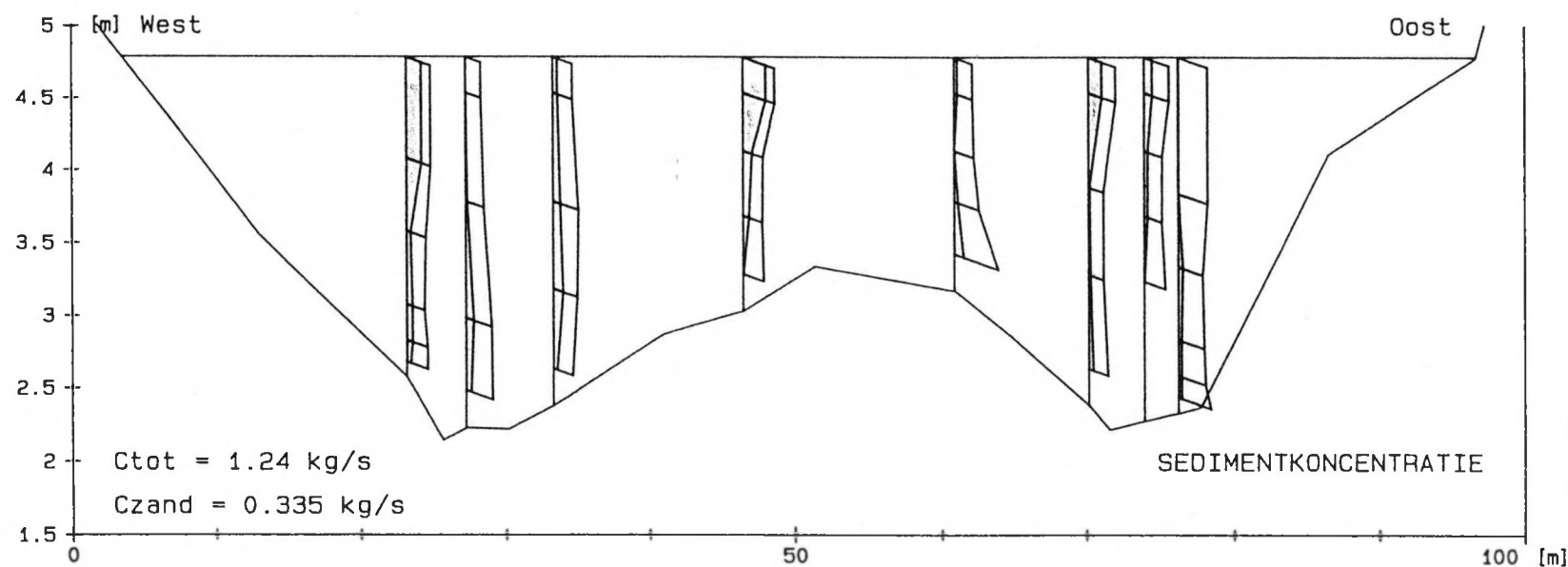
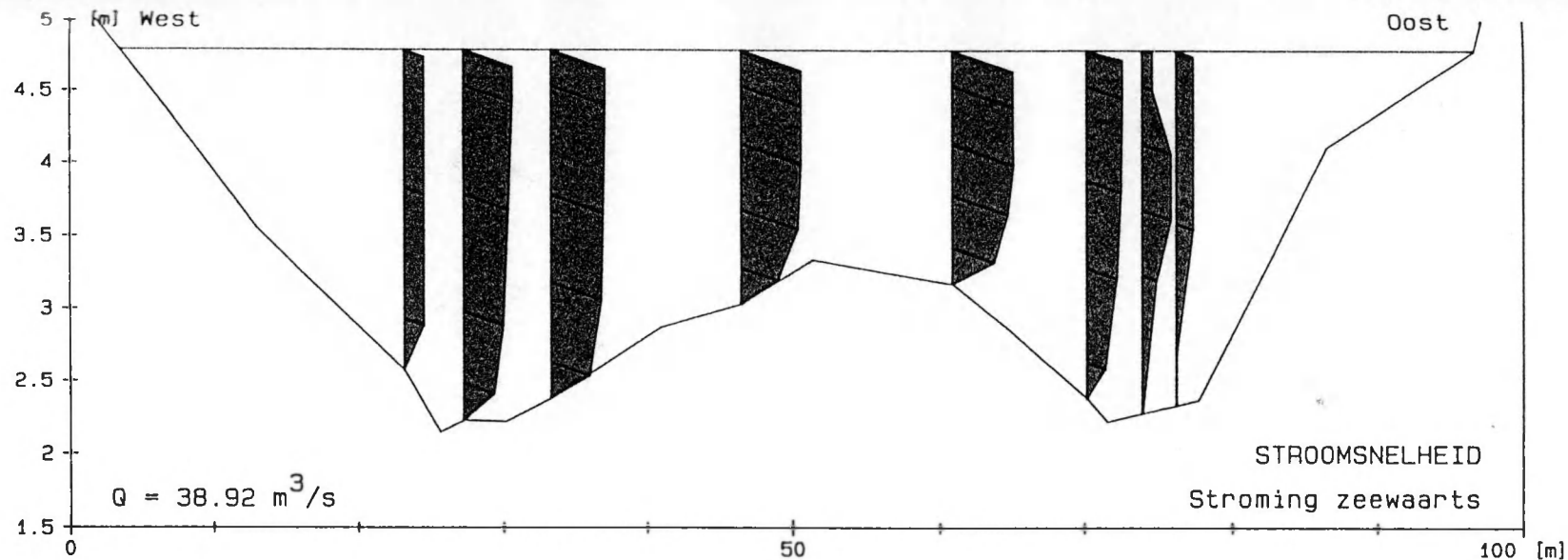
- horizontaal : 1/500

- concentratie :



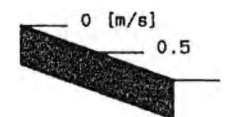
MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
LOKATIE ZUID, 16.50u

Fig. 3.6h



SCHAAL :

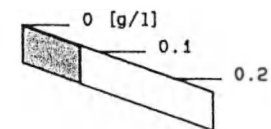
- snelheid :



- vertikaal : 1/50

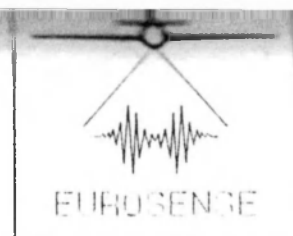
- horizontaal : 1/500

- concentratie :



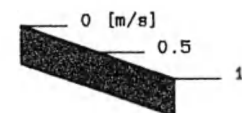
MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
LOKATIE ZUID, 17.10u

Fig. 3.6i



SCHAAL :

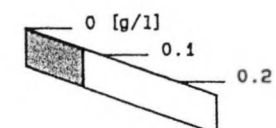
- snelheid :



- vertikaal : 1/50

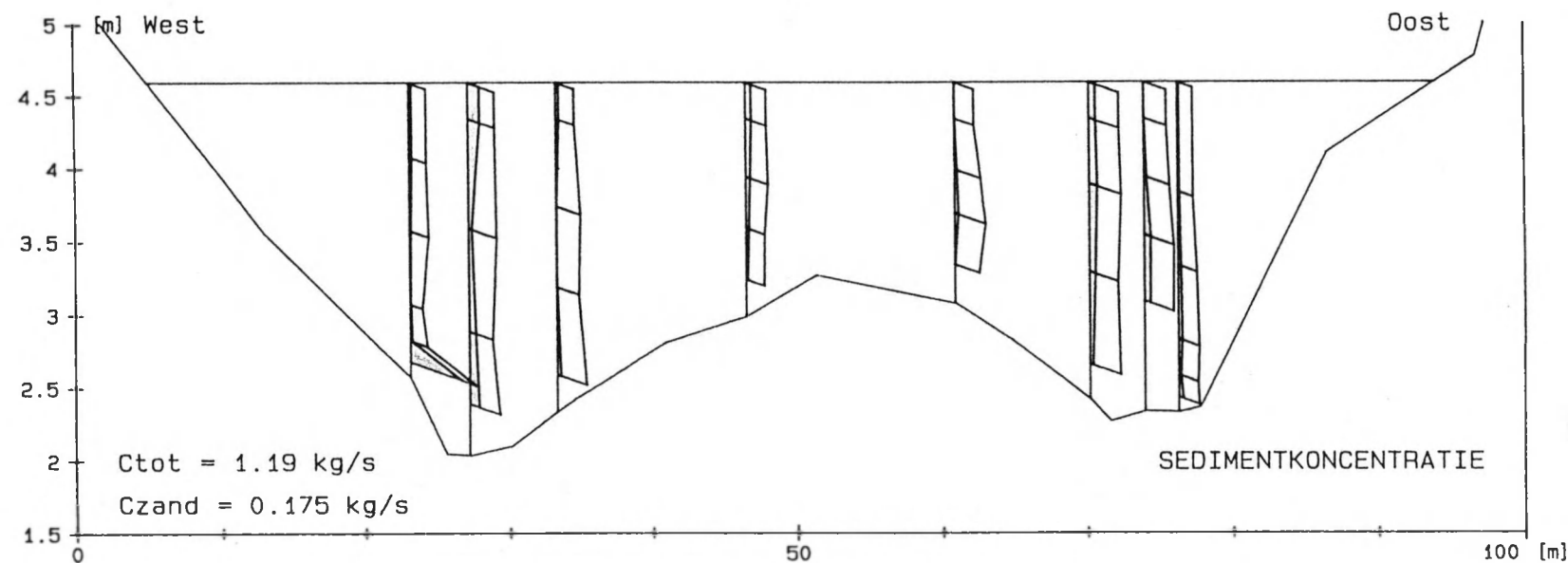
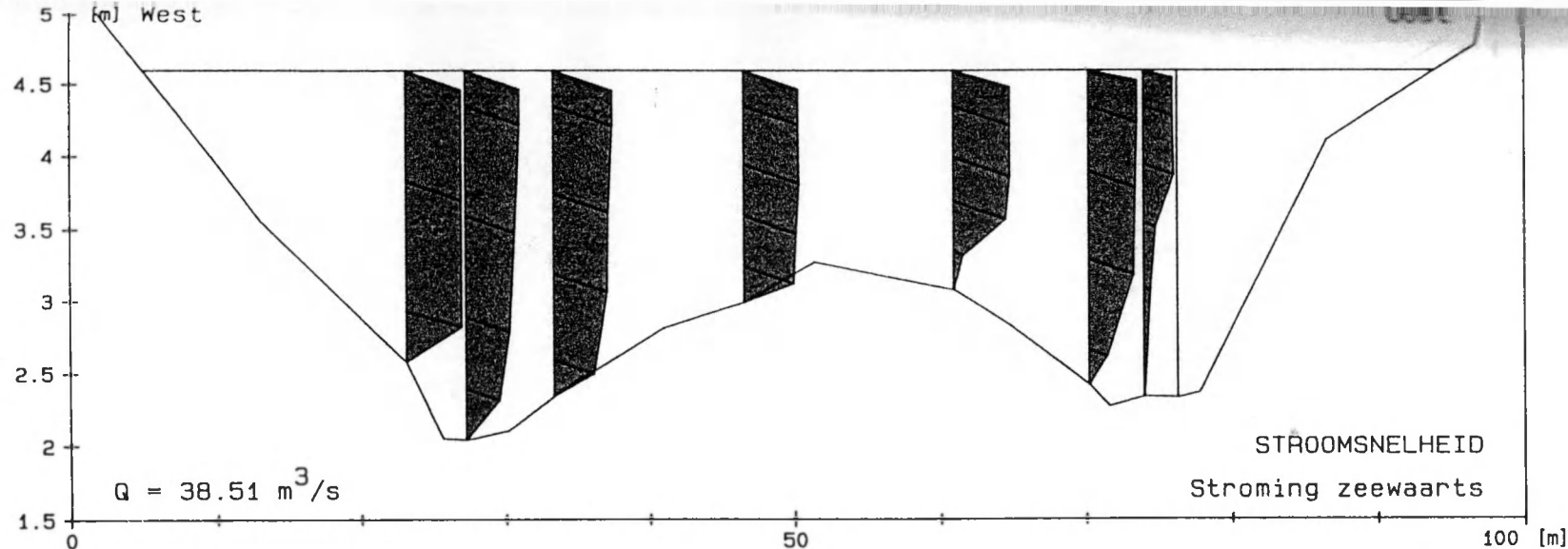
- horizontaal : 1/500

- concentratie :



zandconcentratie

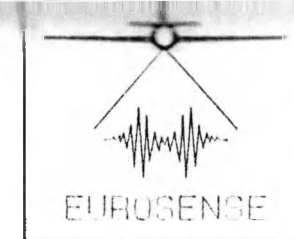
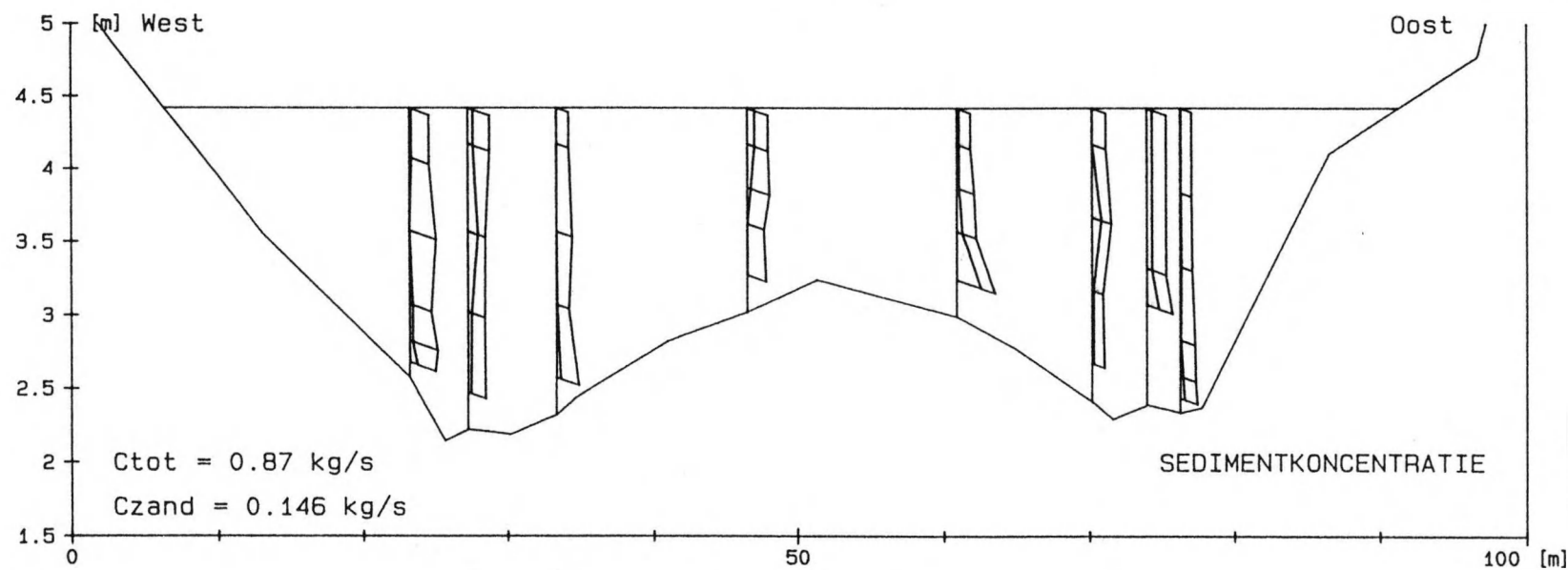
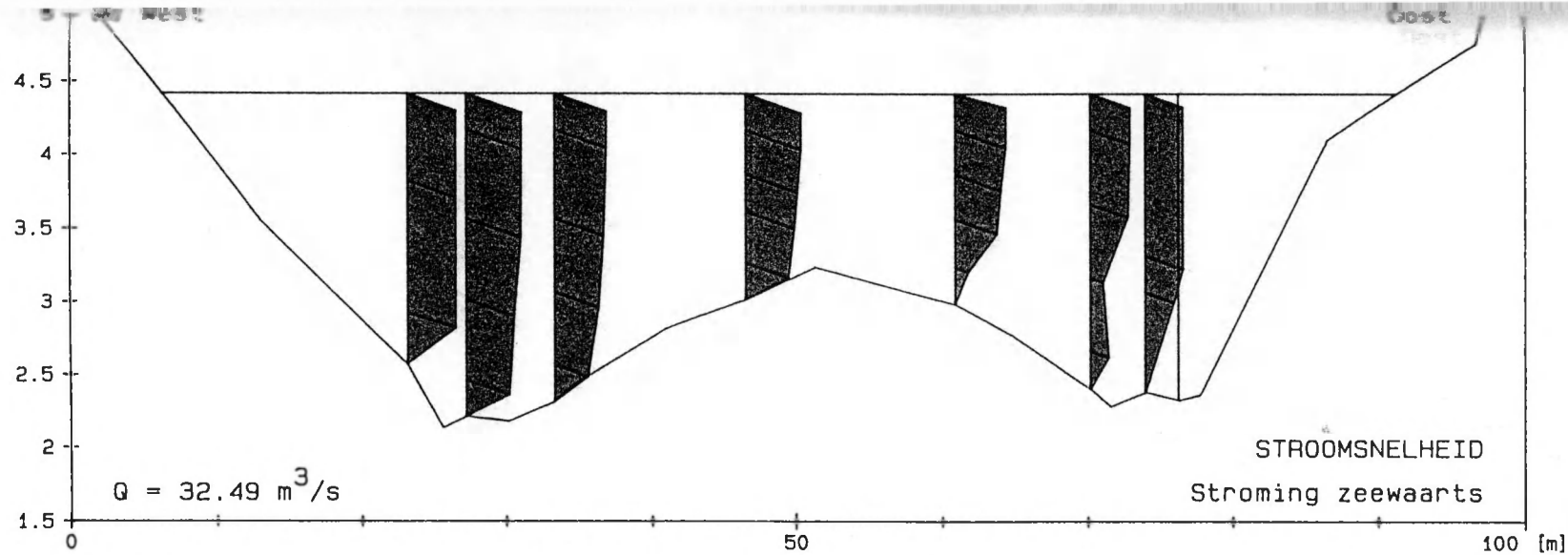
totale concentratie



MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991

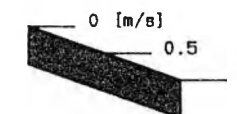
LOKATIE ZUID, 17.30u

Fig. 3.6j



SCHAAL :

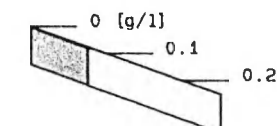
- snelheid :



- vertikaal : 1/50

- horizontaal : 1/500

- concentratie :



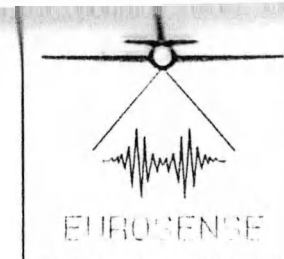
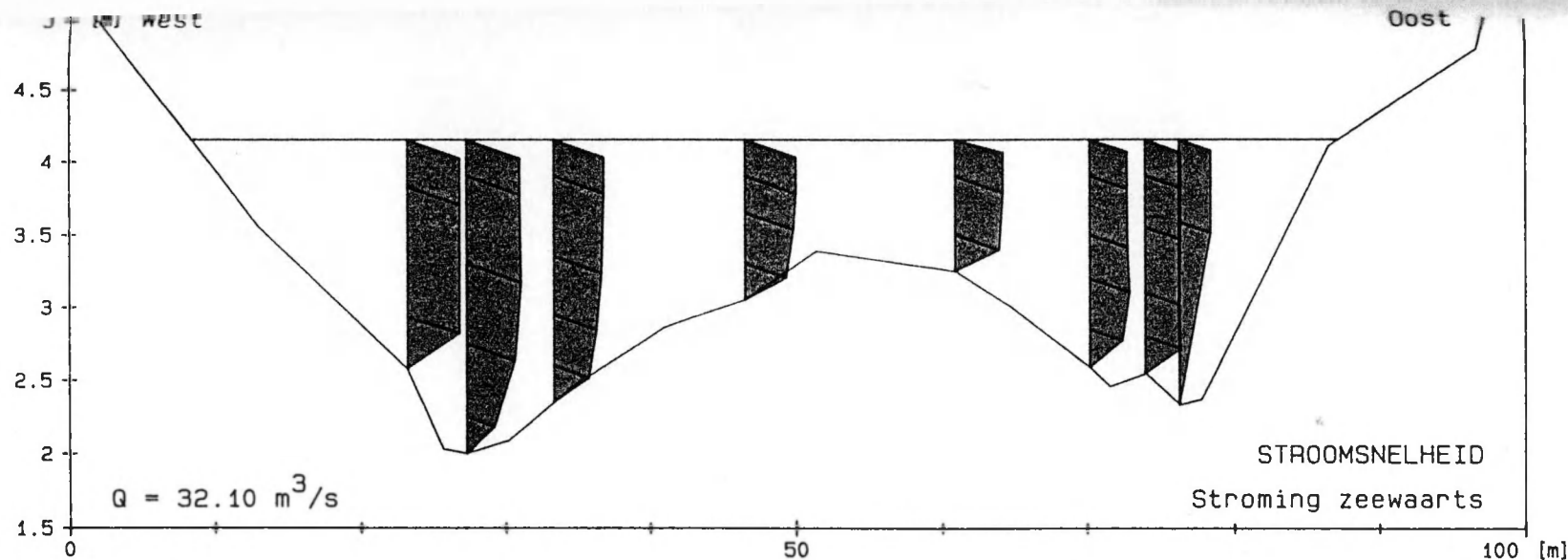
zandconcentratie

totale concentratie

MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991

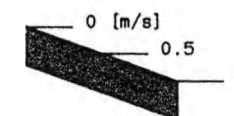
LOKATIE ZUID, 18.00u

Fig. 3.6k



SCHAAL :

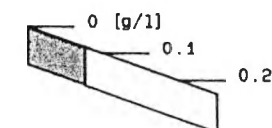
- snelheid :



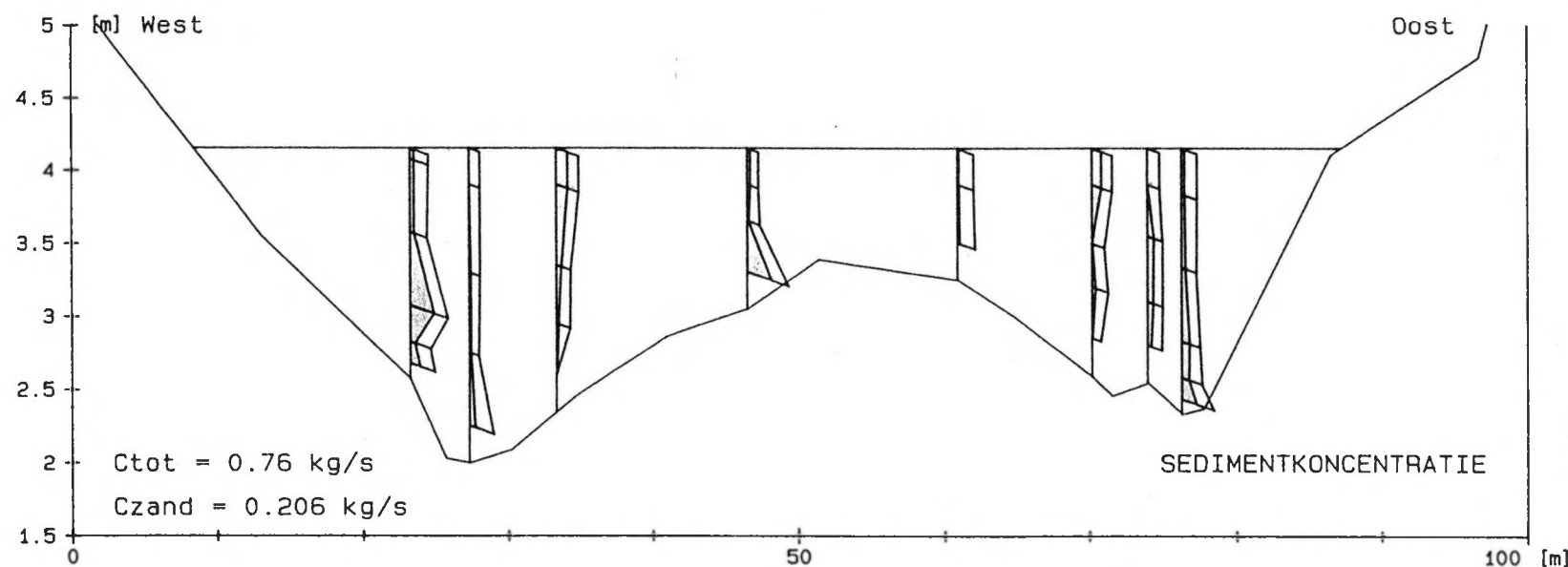
- vertikaal : 1/50

- horizontaal : 1/500

- concentratie :

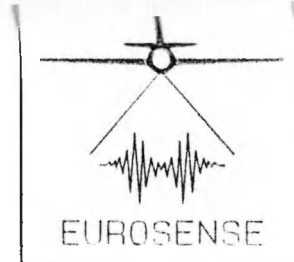
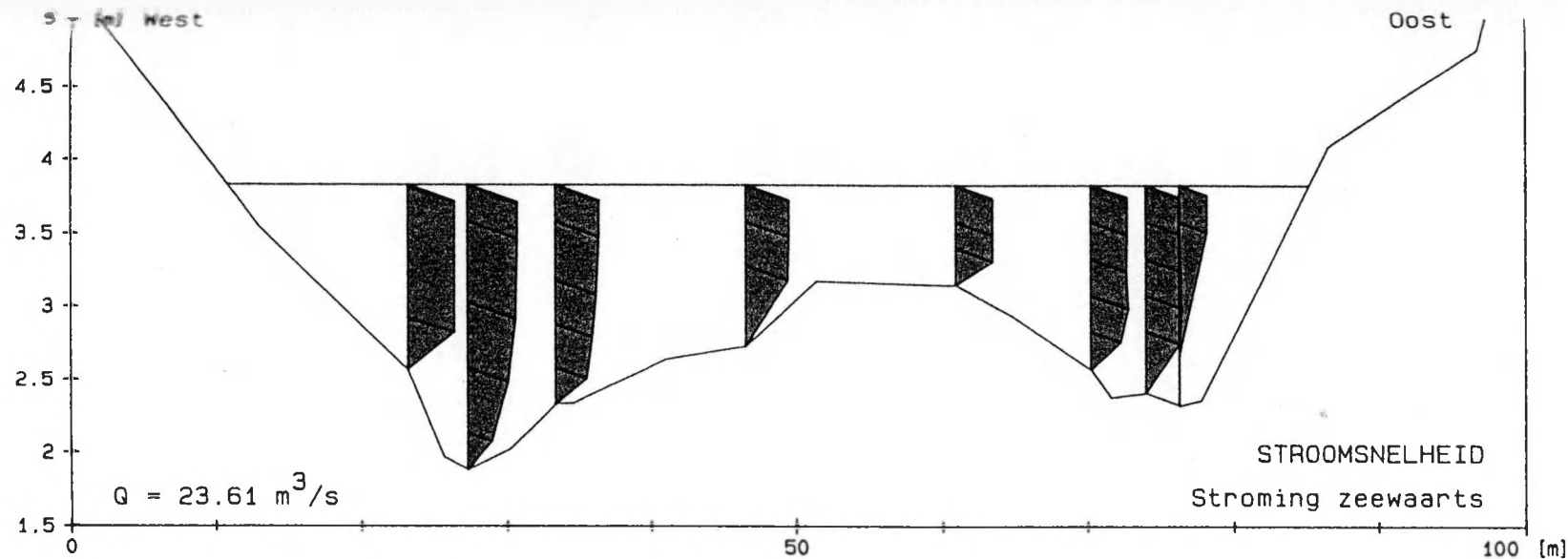


zandconcentratie
totale concentratie



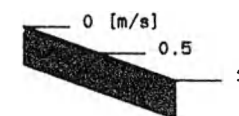
MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
LOKATIE ZUID, 18.30u

Fig. 3.61



SCHAAL :

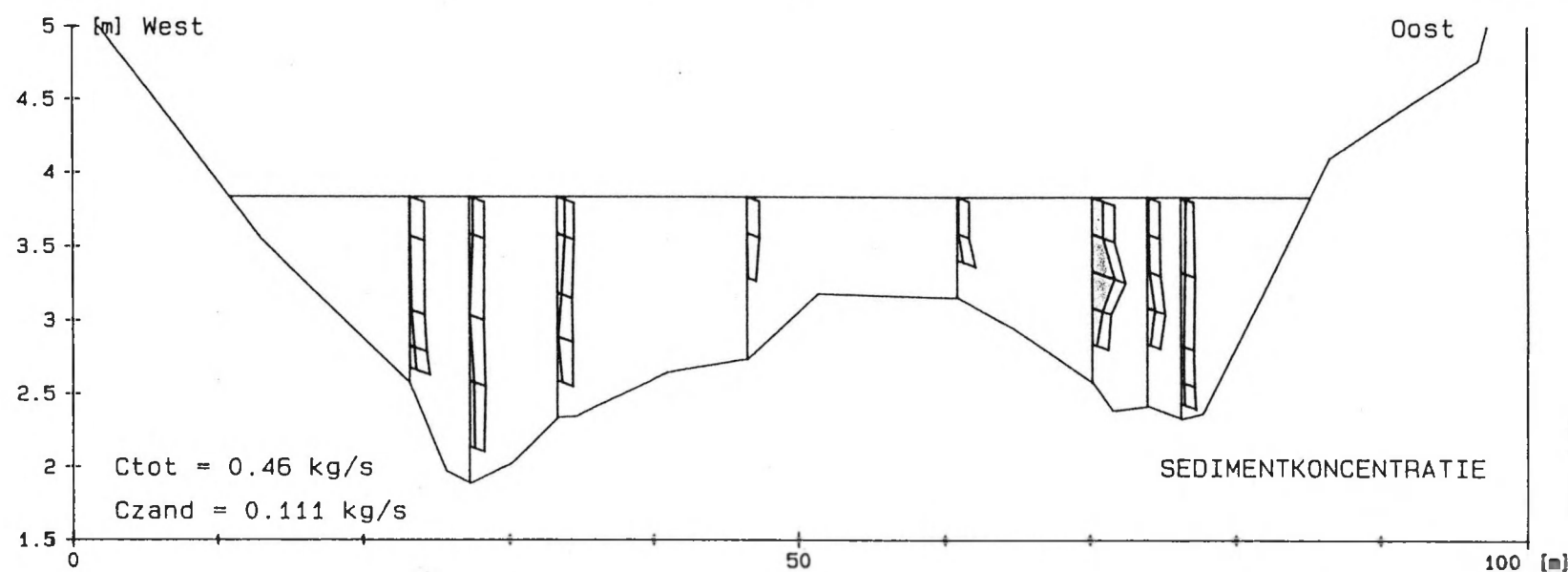
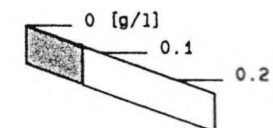
- snelheid :



- vertikaal : 1/50

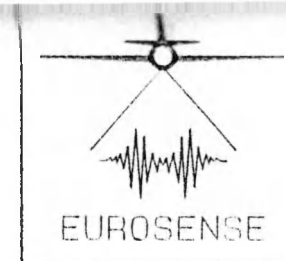
- horizontaal : 1/500

- concentratie :



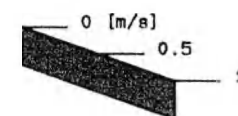
MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991

LOKATIE ZUID, 19.00u



SCHAAL :

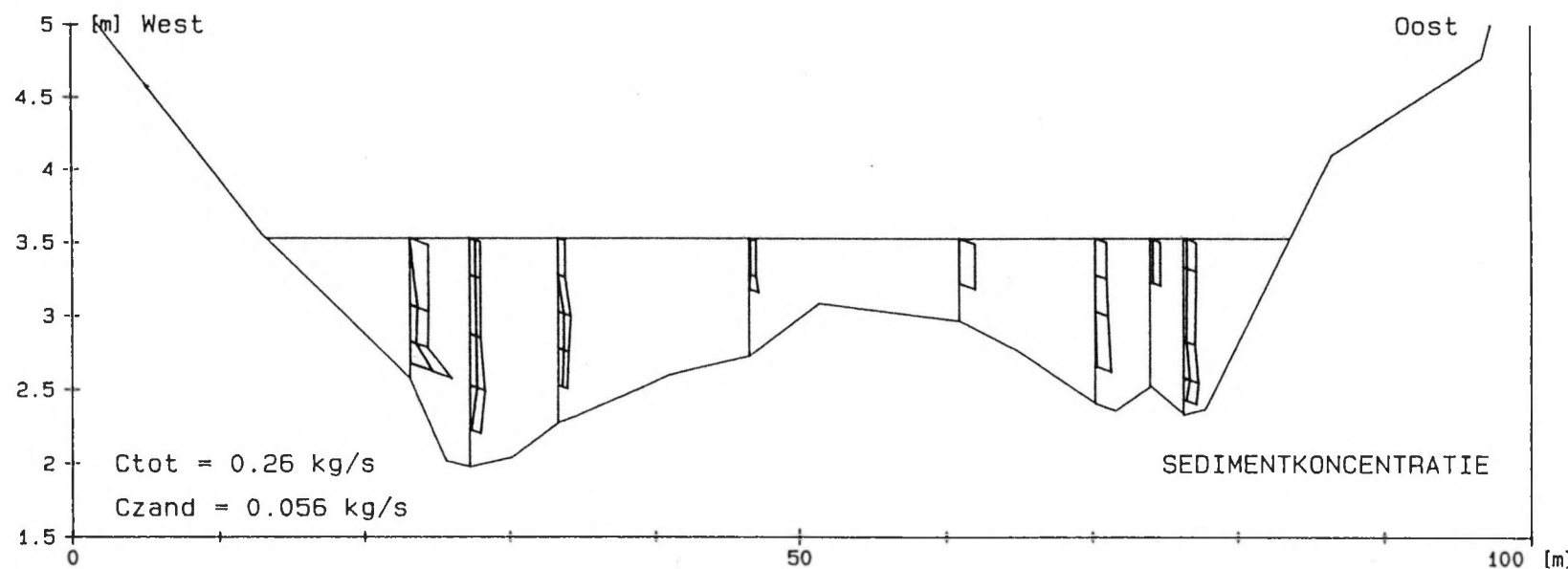
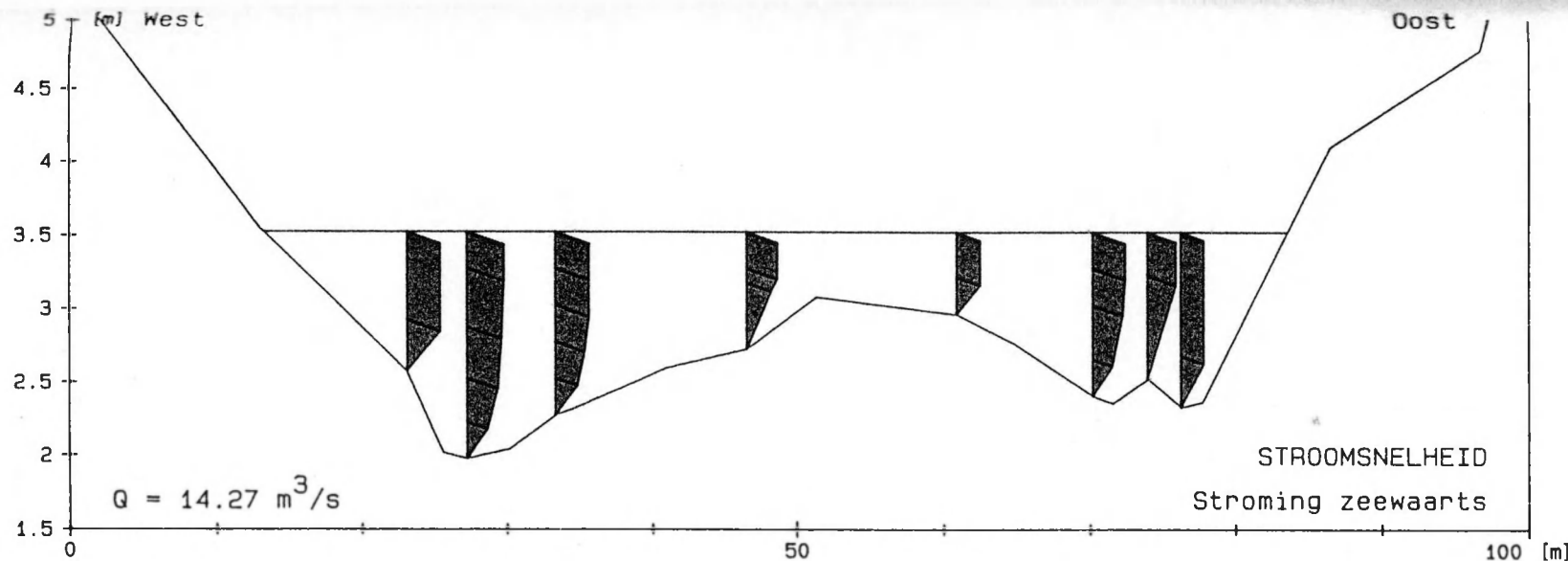
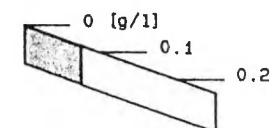
- snelheid :



- vertikaal : 1/50

- horizontaal : 1/500

- concentratie :



MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
LOKATIE ZUID, 19.30u

Fig. 3.6n

zeewaartse stroming genoteerd in de westelijke arm (vanaf ca. 17.00 u). De maximum waarde voor de gemiddelde snelheid bij eb wordt om 18.30 u bereikt en bedraagt 0,27 m/s. Er gaan echter geen grote hoeveelheden sediment in suspensie met deze zwakke piek gepaard. Integendeel, de suspensiekonzentraties blijven laag gedurende de fase van dalend waterpeil en overschrijden de 0,10 m/s niet meer. Hierbij blijft het zandgehalte rond de 15 à 25 % bedragen.

Over het algemeen sluiten de resultaten van de metingen op 13 augustus 1991 in zoverre aan bij deze van 19 maart 1991, dat er, in weerwil van belangrijke schommelingen in de snelheidswaarde, een opmerkelijke ruimtelijke homogeniteit in de suspensiekonzentraties te bespeuren valt. Niet alleen is de variatie in suspensiegehalte in functie van de dwarsafstand klein, maar ook de verticale menging is zeer goed ontwikkeld. Dit merkt men aan de vrijwel verticale profielen, die op de diverse meetlokaties werden geregistreerd. Het typische suspensieprofiel, waarbij de concentratiewaarden geleidelijk en in stijgende mate oplopen met de diepte, om een maximum te bereiken nabij de bodem, werd slechts duidelijk herkend bij de meetraaien van de vloed, bij toenemende watersnelheid. Het wordt dan ook verondersteld, dat op dit ogenblik het bodemtransport relatief groot is, en dat een hoeveelheid sediment o.i.v. de turbulente stroming omhoog gebracht wordt in de waterkolom. Waarschijnlijk erodeert de bedding van de Zwingel op dat ogenblik. Toch blijft de vaststelling dat de suspensiekonzentraties, zelfs bij vloed, significant lager zijn dan de concentraties in de raai West, en ook in vergelijking met de hoge concentraties die b.v. in de raai Noord werden gemeten op 19 maart 1991. Men dient deze verlaging in sedimentkonzentraties dan ook toe te schrijven aan sedimentatie in het gebied tussen raai Noord en raai Zuid, en dit dan het meest waarschijnlijk in de zandvang. Deze hypothese is in overeenstemming met de waarneming dat de zandvang snel dichtsedimenteert. De noordelijke zandvang werd immers in de winter 1990-1991 uitgegraven tot een capaciteit van ca. 65.000 m³. Medio december 1991 was deze put geheel met zand opgevuld t.g.v. sedimentatie.

3.5.4. Het geïntegreerd bodemtransport

Het bodemtransport werd afgeleid met behulp van bodemflessen, die waren opgesteld aan de voet van de drie bemonsteringsstaketsels (staketsel West, staketsel Zuid (west) en staketsel Zuid (oost)). De opstellingsduur bedraagt bijna

een volledige getijcyclus (zie tabel 3.4). Tabel 3.12 vat de meetresultaten in verband met de bodemflessen samen.

Lokatie	Oriëntatie sediment- transport	Kode	Interval [h]	Gewicht droog sediment [g]	Gemiddeld transport [kg/m ² s]
staketsel West	Zeewaarts	W 1	11.00	95	0,0063
	Landwaarts	W 2	11.00	105	0,0070
staketsel Zuid (west)	Zeewaarts	Z2/2	9.05	67	0,0054
	Landwaarts	Z2/1	9.05	104	0,0084
staketsel Zuid (oost)	Zeewaarts	Z1/2	10.15	73	0,0052
	Landwaarts	Z1/1	10.15	193	0,0138

Tabel 3.12. Werkingsinterval en hoeveelheden opgevangen door de bodemtransport-bemonsteringsflessen tijdens de meetcampagne in de Zwingel, 13 augustus 1991. Oriëntatie flesopening landwaarts betekent dat de stroming gericht van de Zwinvlakte naar de open zee vrij de fles kan binnenstromen.

Men stelt vast dat de hoeveelheden bodemtransport niet veel verschillen tussen de verschillende lokaties. Vergelijkt men de meetwaarden voor het gemiddeld transport, dan zijn de resultaten ook goed vergelijkbaar met de metingen van het geïntegreerd bodemtransport op 19 maart 1991.

De hoeveelheden landwaarts getransporteerd sediment zijn systematisch groter dan de hoeveelheden richting zee vervoerd bodemsediment. Deze vaststelling sluit aan bij de hogere concentraties suspensiesediment in de waterkolom bij vloed.

Lokatie	Oriëntatie fles- opening	Kode	Mediane korrel- grootte [µm]	Spreiding (in o)	Slib- gehalte (< 50 µm) [%]	Orga- nische stof [%]
staketsel West	L.W.	W 1	7	1,11	86,5	5,8
	Z.W.	W 2	8	1,37	77,2	5,2
staketsel Zuid (west)	L.W.	Z2/2	7	1,01	92,3	6,0
	Z.W.	Z2/1	32	5,42	53,6	4,0
staketsel Zuid (oost)	L.W.	Z1/2	6	2,64	92,5	10,5
	Z.W.	Z1/1	6	2,82	87,0	5,6

Tabel 3.13. Materiaal opgevangen in de bodemtransport-bemonsteringsflessen tijdens de meetcampagne in de Zwingel, 13 augustus 1991. Sedimentologische parameters. LW = oriëntatie flesopening landwaarts; ZW = oriëntatie flesopening zeewaarts.

In tabel 3.13 wordt de granulometrische samenstelling van het opgevangen sediment weergegeven aan de hand van enkele korrelgrootteparameters, terwijl de granulometrische kurven van de stalen zijn opgenomen in de fig. 3.7a-c.

Uit tabel 3.13 blijkt dat het sediment opgevangen in de bodemflessen zeer slibrijk is. Eigenlijk zijn de bodemflessen niet ontworpen om het slib in transport te onderscheppen, maar twee redenen verklaren waarom hoge slibgehalten toch mogelijk zijn :

- het door de analyse aangetoonde slib kan afkomstig zijn van slibaggregaten (dit zijn aan elkaar klevende deeltjes van de slibfractie). Slibaggregaten in transport gedragen zich hydrodynamisch vrijwel als zandkorrels : als aggregaat hebben zij een grote effectieve korreldiameter en een grotere massa dan de individuele slibdeeltjes. Zulke aggregaten zijn zeker voorhanden in het bestudeerde milieu; zij worden b.v. in het systeem gebracht door de erosie van de slik- en schorplaten aan de westzijde van de Zwingel (zie hoofdstuk 2).
- een ander gedeelte van het aanwezige slib kan toch door bezinking zijn neergezet in de bodemflessen. Bezinking van de fijne fractie is immers mogelijk bij vrijwel stilstaand water. De stroomsnelheid in de opgemeten sekties van de Zwingel is gedurende een groot gedeelte van de getijcyclus vrijwel nul, en dit geldt zeker voor de lokaties staketsel West en staketsel Zuid (oost).

Dit laatste staketsel stond opgesteld in de oostelijke arm van de Zwingel, die gedurende vele uren een afgesloten plas vormt, waar geen stroming meer optreedt. Op deze plaats is dan ook een duidelijke sliblaag op de bodem aanwezig.

Uit de granulometrische analyse blijkt tevens een systematische samenhang met de opgevangen hoeveelheden. De samenhang laat zich als volgt samenvatten :

- hoe meer sediment in een bezinkingsfles wordt opgevangen, hoe grover het sediment; m.a.w. hoe groter het bodemtransport, hoe grover het sediment.
- het gehalte organisch materiaal is groter wanneer het slibgehalte groter is, m.a.w. het organisch materiaal is verbonden met de slibfractie.

Vergelijkt men de bodemtransportmetingen uitgevoerd op 13 augustus 1991 met deze van 19 maart 1991, dan stelt men vast dat het geïntegreerd bodemtransport in de raai Noord (gemeten op 19 maart) niet alleen groter is, maar ook uit veel zandiger sediment bestaat dan elders. Deze vaststelling bevestigt nogmaals de hierboven vermelde afleiding, dat het grootste gedeelte van het via de Zwingel binnengevoerde zandige sediment bezinkt in het noordoostelijke gedeelte van de Zwinvlakte (het gebied met de noordelijke zandvang).

3.5.5. Komberging en sedimentbalans van de Zwinvlakte over een volledige getijcyclus

De gemiddelde en totale snelheids-, debiets- en concentratiewaarden per meet-raai vindt men overzichtelijk weer in de tabel 3.14. Zoals hierboven uitgelegd werden de totale komberging van de Zwinvlakte, de berging van het gebied tussen de raaien Noord, West en Zuid en de variatie van het sedimenttransport in de tijd afgeleid van deze waarden per meetraai, waar nodig geïntegreerd over de tijd.

De variatie van het debiet in de loop van de tijd over de gemeten getijcyclus is voorgesteld in fig. 3.8 (raai West en raai Zuid). In deze figuren werden de meetwaarden uitgezet t.o.v. het tijdstip van hoogwater nabij de raai Zuid (16.50 u). Men stelt vast dat het debiet het grootst is net voor en tijdens hoogwater (tijdens de vloedfase), en dat deze fase beperkt is tot ca. anderhalf uur. De ebpiek is veel lager maar uitgestrekt in de tijd. Bij vergelijking van de twee figuren merkt men op dat het debiet in de raai West een orde 20 tot 25 kleiner is dan in de raai Zuid. Het aandeel in de bevoeling van de Zwinvlakte is evenredig klein.

De komberging van het gebied tussen raai Noord, West en Zuid werd bekomen d.m.v. een gedetailleerde topografische opmeting, uitgevoerd in de ochtend van 13 augustus 1991. Er werden in het ganse gebied een zeer groot aantal punten opgemeten in X, Y (plaats) en Z (hoogte) om een digitaal terreinmodel te kunnen opstellen dat het gebied beschrijft. De opstelling en uitwerking van het digitaal terreinmodel is gelijkaardig aan de procedure die wordt gevolgd bij de verwerking van de aëroteledetische registraties ten behoeve van de opvolging van de morfologie van strand, duinen, enz. In fig. 3.9 zijn de gekumuleerde volumes uitgezet, die ter beschikking komen voor de berging van zeewater bij stijgend waterpeil. Merk op dat er pas enige effectieve berging optreedt vanaf het peil +2.5 m. Zelfs indien men aanneemt dat de tweede zandvang (van 65.000 m³), aangelegd in de winter 1990-1991, slechts was uitgegraven tot het peil +1,0 m merkt men dat er vrijwel geen capaciteit is overgebleven op 13 augustus 1991.

De komberging van de gehele Zwinvlakte (fig. 3.10) volgt uit de tijdsintegratie van het debiet ter hoogte van de raai Noord. Het debiet werd hier gemeten bij laagwater. Voor de periode van hoogwater werd het debiet afgeleid zoals gesteld in par. 3.1 door toepassing van de continuïteitsvergelijking

$$\sum Q + \frac{dV}{dt} = 0$$

Meetcampagne Zwingeul 13 augustus 1991

Profiel	Uur	Debiet	Natte Sektie	Gemiddelde snelheid	Totaal Sediment- transport	Gemiddelde totale concentratie	Totaal Zand- transport	Gemiddelde zand- concentratie	%zand/totaal	Stroom- richting
	[hh:mm]	[m3/s]	[m2]	[m/s]	[kg/s]	[g/l]	[kg/s]	[g/l]	[-]	

2	8:00	5,48	12,73	0,431						Zeewaarts
3	8:30	3,20	9,83	0,326						Zeewaarts
4	9:00	2,40	9,63	0,250						Zeewaarts
5	9:30	1,87	8,93	0,209						Zeewaarts
6	10:00	1,27	6,58	0,194						Zeewaarts
7	10:30	1,13	6,74	0,168						Zeewaarts
8	11:00	1,08	6,62	0,162						Zeewaarts
9	11:30	0,76	5,53	0,138						Zeewaarts
10	12:00	0,71	5,20	0,137						Zeewaarts
11	12:30	0,57	5,71	0,100						Zeewaarts
12	13:00	0,47	5,58	0,084						Zeewaarts
13	13:30	0,48	5,24	0,091						Zeewaarts
14	14:00	0,51	5,66	0,091						Zeewaarts
15	14:30	0,43	5,48	0,078						Zeewaarts
16	15:00	1,53	8,27	0,185						Landwaarts
17	19:50	11,01	19,91	0,553						Zeewaarts
18	20:20	6,15	16,21	0,379						Zeewaarts

3	15:00	0,01	0,07	0,191	-	-	-	-	-	Zeewaarts
4	15:30	0,02	0,07	0,269	-	-	-	-	-	Landwaarts
5	15:50	1,04	5,26	0,198	0,219	0,211	0,192	0,185	87,90%	Landwaarts
6	16:10	4,54	10,45	0,434	0,336	0,074	0,167	0,037	49,81%	Landwaarts
7	16:30	4,82	17,87	0,270	0,176	0,037	0,049	0,010	27,84%	Landwaarts
8	16:50	3,13	20,81	0,150	0,078	0,025	0,014	0,004	17,60%	Landwaarts
9	17:10	1,97	18,55	0,106	0,072	0,037	0,027	0,014	37,98%	Zeewaarts
10	17:30	1,41	13,78	0,102	0,028	0,020	0,012	0,009	43,96%	Zeewaarts
11	18:00	1,41	10,26	0,138	0,026	0,019	0,011	0,008	43,29%	Zeewaarts
12	18:30	0,67	5,79	0,115	0,018	0,026	0,005	0,008	30,16%	Zeewaarts
13	19:00	0,21	2,75	0,078	0,007	0,030	0,004	0,018	58,61%	Zeewaarts
14	19:30	0,09	0,85	0,108	0,017	0,180	0,007	0,076	42,11%	Zeewaarts

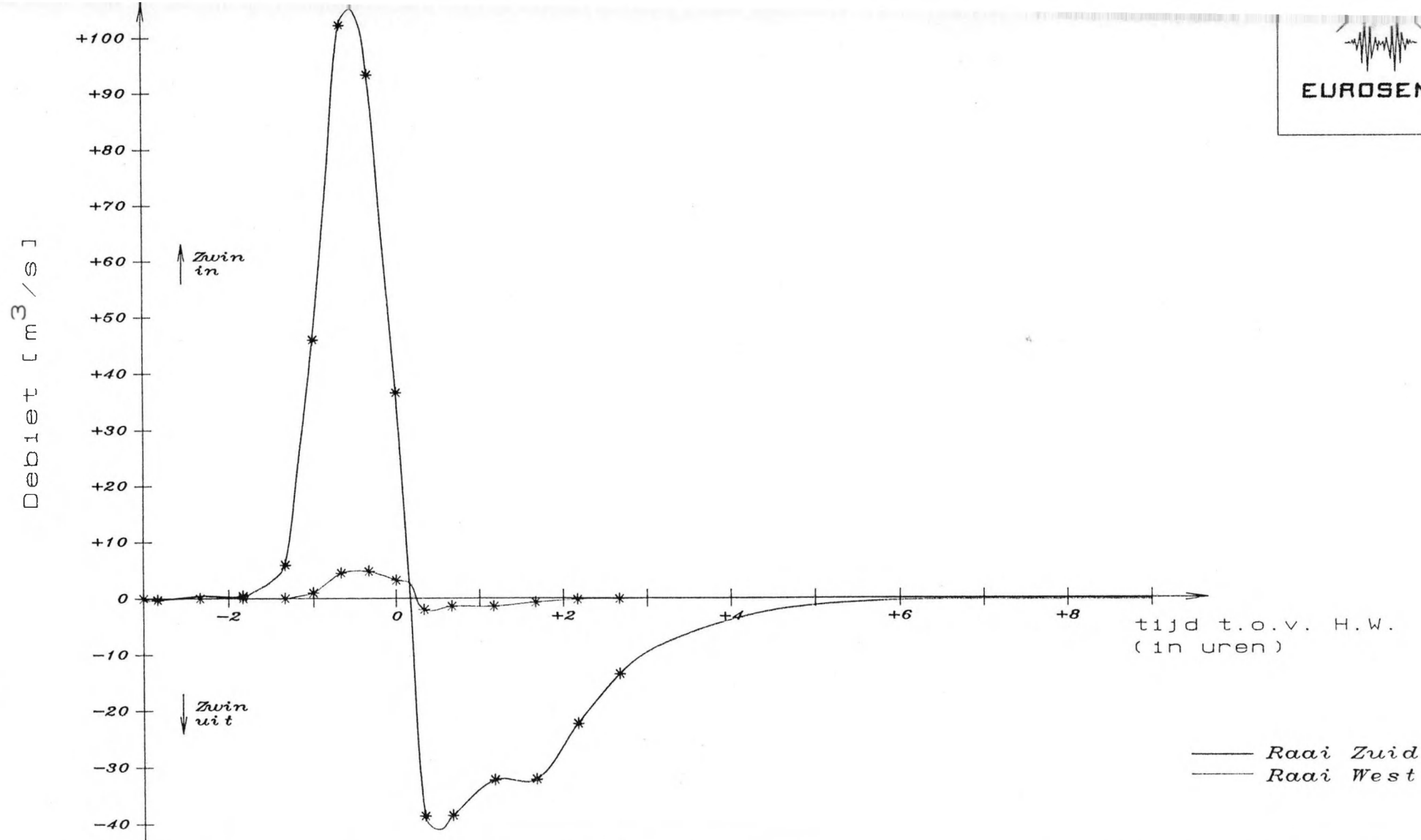
1	14:00	0,29	26,55	0,011	0,01	0,000	0,001	0,000	14,65%	Zeewaarts
2	14:30	0,51	28,75	0,030	0,01	0,028	0,003	0,000	20,55%	Zeewaarts
3	15:00	0,42	28,62	0,015	0,01	0,000	0,001	0,000	12,06%	Zeewaarts
4	15:30	5,87	31,82	0,184	0,32	0,010	0,028	0,005	8,92%	Landwaarts
5	15:50	45,97	82,39	0,558	4,53	0,055	1,532	0,033	33,84%	Landwaarts
6	16:10	102,29	146,38	0,699	5,47	0,037	1,505	0,015	27,50%	Landwaarts
7	16:30	93,28	177,82	0,525	3,93	0,022	0,939	0,010	23,92%	Landwaarts
8	16:50	36,56	186,04	0,196	1,35	0,037	0,235	0,006	17,37%	Landwaarts
9	17:10	38,92	169,17	0,230	1,24	0,007	0,335	0,009	26,93%	Zeewaarts
10	17:30	38,51	155,26	0,248	1,19	0,008	0,175	0,005	14,67%	Zeewaarts
11	18:00	32,49	143,27	0,227	0,87	0,006	0,146	0,004	16,86%	Zeewaarts
12	18:30	32,10	117,77	0,273	0,76	0,006	0,206	0,006	27,06%	Zeewaarts
13	19:00	23,61	99,89	0,236	0,46	0,005	0,111	0,005	24,05%	Zeewaarts
14	19:30	14,27	78,83	0,181	0,26	0,003	0,056	0,004	21,86%	Zeewaarts

Opmerkingen: Voorspelde waterstanden Zeebrugge voor 13-08-1991 : LW : 10:40 : 0,35 m. t.o.v. TAW
HW : 16:39 : 4,80 m. t.o.v. TAW

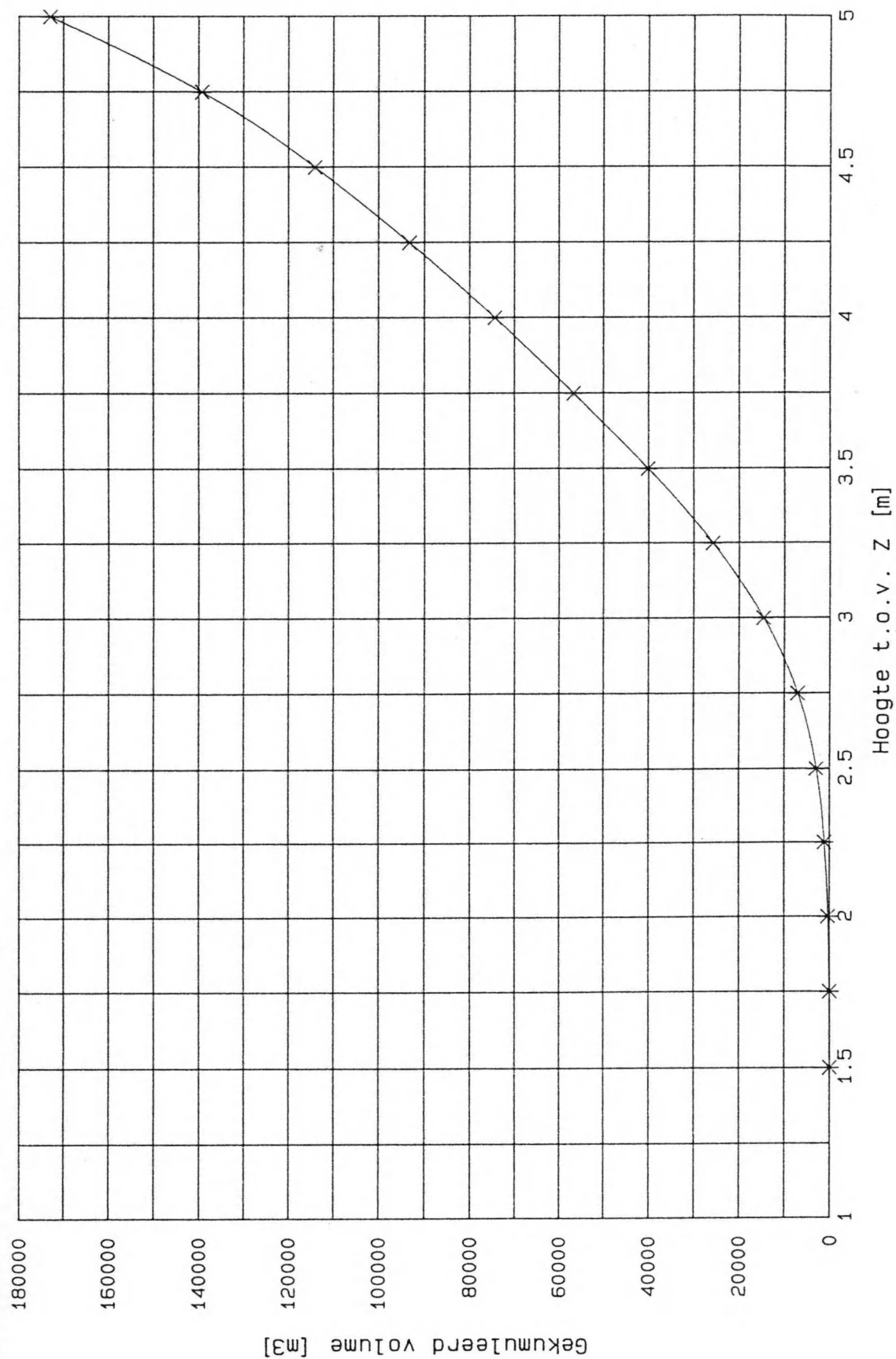
Voorspelde waterstanden Vlissingen voor 13-08-1991 : LW : 11:12 : 0,45 m. t.o.v. TAW
HW : 17:06 : 4,87 m. t.o.v. TAW

Waarnemingen in het Zwin (Raai Zuid): 15:20 stroming draait van Zeewaarts naar Landwaarts
16:58 stroming draait van Landwaarts naar Zeewaarts
L.W. : 15:20 H.W. : 16:50

Tabel 3.14

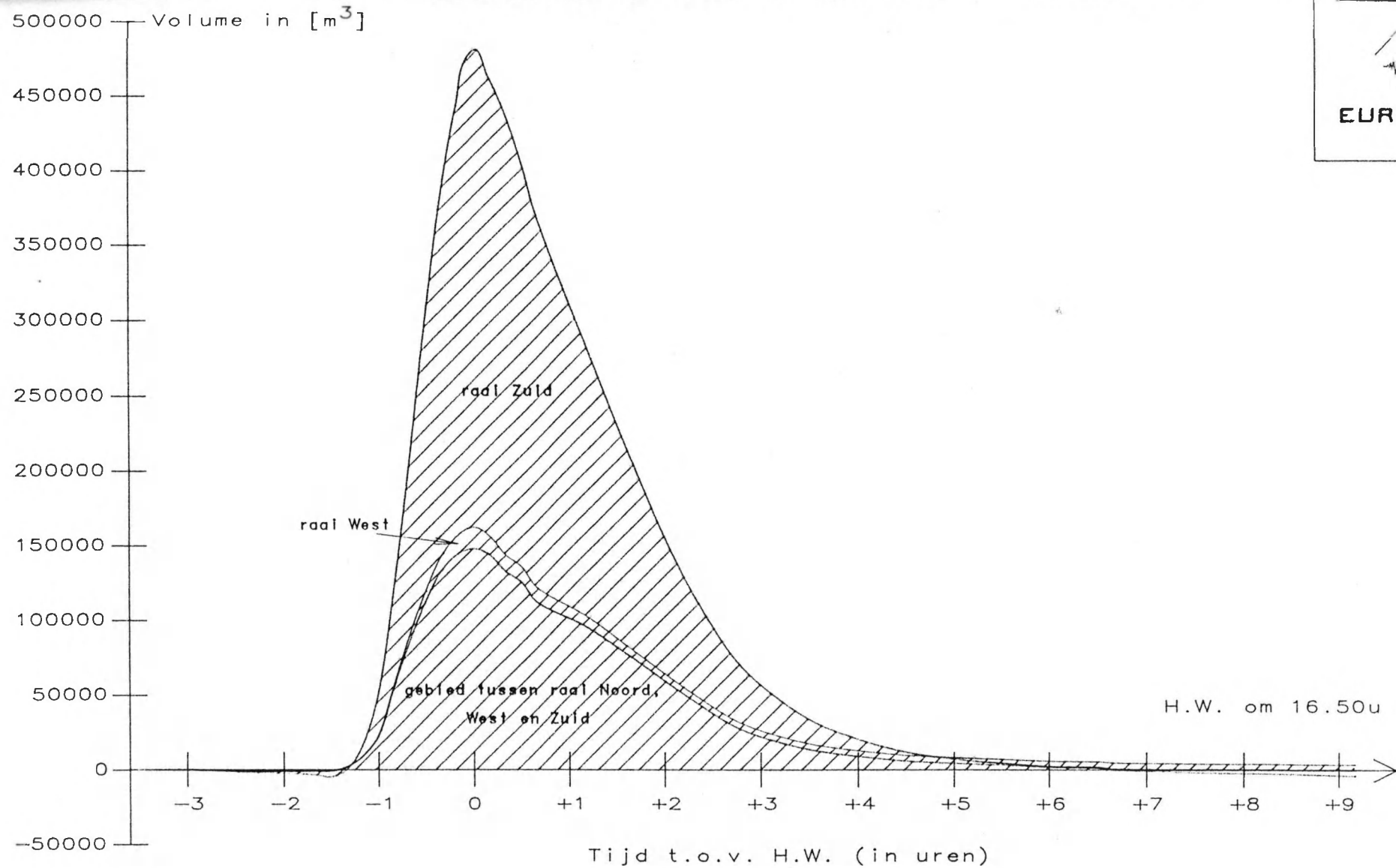
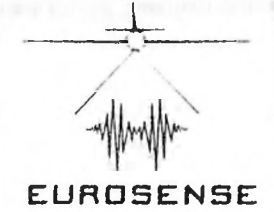


Meetcampagne Zwingeul, 13 augustus 1991

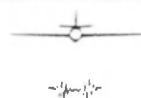


MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991

Komberging van de Zwingeul in het gebied tussen raaien Noord, Zuid en West



Meetcampagne Zwingenul, 13 augustus 1991



voor het gebied tussen raai Noord, West en Zuid. Kent men op een bepaald tijdstip het debiet Q van de raai West en de raai Zuid, en de verandering van het zeewatervolume dV/dt voor het gebied tussen de raai Noord, West en Zuid, dan kan men het overeenkomstige debiet voor de raai Noord berekenen.

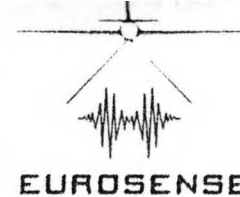
Uit fig. 3.10 blijkt dat bij de meetcampagne van 13 augustus 1991 op anderhalf uur tijd bijna een half miljoen m^3 zeewater werd gestockeerd in de Zwinvlakte. Neem men de duur van een volledige getijcyclus op 12.25 h, dan was het uitstromend volume ca. 25.000 m^3 kleiner. Dit verschil bedraagt bijna 5 % van het ingestroomd volume. Het wordt gevormd door de fouten op de diverse metingen, het werkelijk verschil in tijdsduur en komberging bij opeenvolgende getijcycli, mogelijke verschillen in ondergrondse stockage van zeewater tussen opeenvolgende getijcycli, en de geëvaporeerde volumes.

De evolutie van het sedimenttransport doorheen de raai Zuid werd voorgesteld in fig. 3.11. Het landwaarts sedimenttransport gebeurt in de beperkte tijdsspanne van anderhalf uur voor hoogwater tot hoogwater, maar bereikt (hoge) waarden tot meer dan 5 kg/s. Het aandeel hierin van het zandtransport is ruim een vierde, en de piek in het zandtransport valt iets vroeger dan de piek in het totaal sedimenttransport. De zandpiek gaat immers gepaard met de hoogste stroomsnelheden. Door tijdsintegratie van de transportkromme bekomt men een totaal landwaarts sedimenttransport van 18.300 kg/getijcyclus in de raai Zuid.

Het zeewaarts sedimenttransport is veel minder intens (de transportpiek bij eb komt onmiddellijk na hoogwater en bedraagt iets meer dan 1 kg/s). Het sedimenttransport bij eb duurt wel verschillende uren, maar de intensiteit neemt snel af naar nul. Het totaal zeewaarts sedimenttransport in de raai Zuid bedraagt 8.800 kg/getijcyclus. Er is dus een netto overschot van 9.500 kg/getijcyclus.

Lokatie	Landwaarts			Zeewaarts			Netto		
	Tot. sed.	Zand	%zand	Tot. sed.	Zand	%zand	Tot. sed.	Zand	%zand
Raai West*	960	510	53	-340	-130	38	610	380	61
Raai Zuid	18.270	5.010	27	-8.810	-1.840	21	9.450	3.180	34

Tabel 3.15. Vergelijking van de transporthoeveelheden (in kg) geïntegreerd over een volledige getijcyclus. De netto positieve waarden duiden op een landwaarts transportoverschot. *De cijfers voor de raai West zijn enkel indicatief.



Sedimenttransport [kg/s]

5
4
3
2
1
0
-1
-2

↑ Zwin
in

↓ Zwin
uit

Sedimentbudget :

$Q_{s,in}$: 18300 kg/getij

$Q_{s,uit}$: 8800 kg/getij

$Q_{s,netto}$: 9500 kg/getij (in)

waarvan 34 % zand en 66 % slib.

-2 0 +2 +4 +6 +8 tijd t.o.v. H.W.
(in uren)

— Totaal
— Zand

Meetcampagne Zwingeul, 13 augustus 1991

Lokatie Zuid



In tabel 3.15 worden de transporthoeveelheden en het aandeel zand hierin onderling vergeleken voor de raai West en de raai Zuid. Het moet hier vermeld worden dat de cijfergegevens voor de raai West voor wat betreft de suspensiekoncentratiemetingen op een gering aantal meetwaarden steunt, en daarom dienen de transporthoeveelheden in de raai West enkel als indicatieve cijfers te worden beschouwd. Toch valt het meteen op dat de absolute transporthoeveelheden veel kleiner zijn dan in de raai Zuid.

Aangezien in het zeewaarts sedimenttransport doorheen de raai Zuid het aandeel zand relatief veel kleiner is dan in het landwaarts transport (zie fig. 3.11 en tabel 3.15), is de verhouding zand/slib in het overschot (34 %) groter dan in het landwaarts transport (27 %).

De netto aanwas van de Zwinvlakte met 9.500 kg/getijcyclus betekent bij een aanname van de gemiddelde massadichtheid van vers aangespoeld sediment van 1.500 kg/m^3 een netto gemiddelde sedimentaanvoer met ruim 6 m^3 per getijcyclus. Deze hoeveelheid stemt overeen met een gemiddelde verhoging van $6 \mu\text{m}$ van een terrein met een oppervlakte van 100 ha, dit is op jaarbasis (met een aanname van 720 even grote getijcycli) ongeveer 4,5 mm.

Uit de opvolging van de morfologie van de Zwinvlakte blijkt dat deze waarde duidelijk aan de lage kant ligt. Men dient er evenwel rekening mee te houden dat de meetcampagne van 13 augustus 1991 midden in de zomer viel, bij zeer mooi weer en kalme zee. Uit diverse terreinwaarnemingen blijkt dat het sedimenttransport veel hoger is in stormachtige perioden.

3.6. BESPREKING VAN DE MEETRESULTATEN TEGEN DE ACHTERGROND VAN DE MORFOLOGISCHE EVOLUTIE VAN DE ZWINVLAKTE

De voornaamste besluiten van de beide meetcampagnes in de Zwingeu, op 19 maart 1991 en 13 augustus 1991, laten zich als volgt samenvatten :

- de instroming van zeewater in de Zwinvlakte, dit is de vloedfase, gebeurt zeer snel (op ca. anderhalf uur tijd) en gaat, in vergelijking met de ebfase, gepaard met relatief grote stroomsnelheden en sedimenttransport. Hierbij is het aandeel zand beduidend groter dan tijdens de ebfase.
- ter hoogte van de raai Noord zijn tijdens de vloedfase de sedimentconcentraties, en vooral de zandconcentraties, beduidend groter dan in de raai Zuid. Hieruit wordt afgeleid dat er een netto zandsedimentatie optreedt in het gebied tussen beide meetraaien, en met name in de noordelijke zandvang.

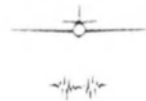
- zowel in de raai Zuid als de raai West is er een netto landwaarts sedimenttransport.
- hoewel het sediment in suspensietransport doorheen de raai Zuid vrij lage zandgehalten heeft (mede door de sedimentatie van zand in de noordelijke zandvang), is het netto landwaarts sedimenttransport ook hier in de zandfractie relatief groter dan in de slibfractie : voor de opgemeten getijcyclus van 13 augustus 1991 bedraagt de verhouding landwaarts t.o.v zeewaarts vervoerd slib 1,9 en voor de zandfractie is deze verhouding 2,7.

Alle hierboven vermelde konklusies zijn in verband te brengen met de eerst genoemde. Slaagt men er niet in om de grote aanvoer van zand via strand en vooroever naar de monding van de Zwingeuil te beperken, dan kan men slechts een fundamentele ommekeer in de verzandingsproblematiek van het Zwin bewerkstelligen indien men met sukses zou kunnen ingrijpen in de verhouding tussen instromings- en uitstromingstijden en/of ingestroomde en uitgestroomde volumes, en de ermee gepaard gaande stroomsnelheden.

Zoals reeds in de inleiding van dit rapport gesteld, wordt niets onverlet gelaten om de aanvoer van zand naar de monding van de Zwingeuil af te remmen. De maatregelen die in dit verband werden genomen behelzen :

- het aanplanten van strandhagen aan de Belgische en Nederlandse zijde van de Zwinmondig, tegen de duinvoet;
- het uitvoeren van een proefopstelling met onderwaterschermen op de vooroever ten westen van de Zwinmondig;
- het uitgraven van een zandvangput in het noordoostelijk gedeelte van de Zwinvlakte.

De opvolgingen van de morfologie van strand en duinaanzet tonen aan dat er in de gebieden met strandhagen wel degelijk aangroei optreedt, en dit vooral aan de zeewaartse rand. Wat de onderwaterschermen betreft mag men stellen dat deze, zo ze al geen netto sedimentatie teweeg hebben gebracht, geen significante invloed hebben uitgeoefend op de aanvoerstroon van zand naar de Zwingeuil. De zandvangput, uitgegraven in het najaar van 1989, was dichtgezand na de zware voorjaarsstormen van begin 1990. De put werd voor een eerste maal heruitgegraven in de winter 1990-1991. Eind 1991 was deze tweede put met een capaciteit van ca. 65.000 m³ opnieuw dichtgezand. Deze evolutie, alsmede de metingen uitgevoerd op 19 maart en 13 augustus 1991, tonen aan dat hier grote hoeveelheden zand effectief worden opgevangen en aldus belet de Zwinvlakte binnin te dringen.



Dezelfde meetcampagnes brachten echter ook aan het licht dat de verzanding van het reservaat toch nog doorgaat, ondanks de beschermende maatregelen. Bovendien zal de mate van verzanding opnieuw hoger liggen, wanneer het zand-onderscheppend effect van de zandvangput zal zijn opgeheven wanneer deze is opgevuld. De aanleg van een zandvang is immers essentieel een tijdelijke maatregel, die voortdurend onderhoud vergt.

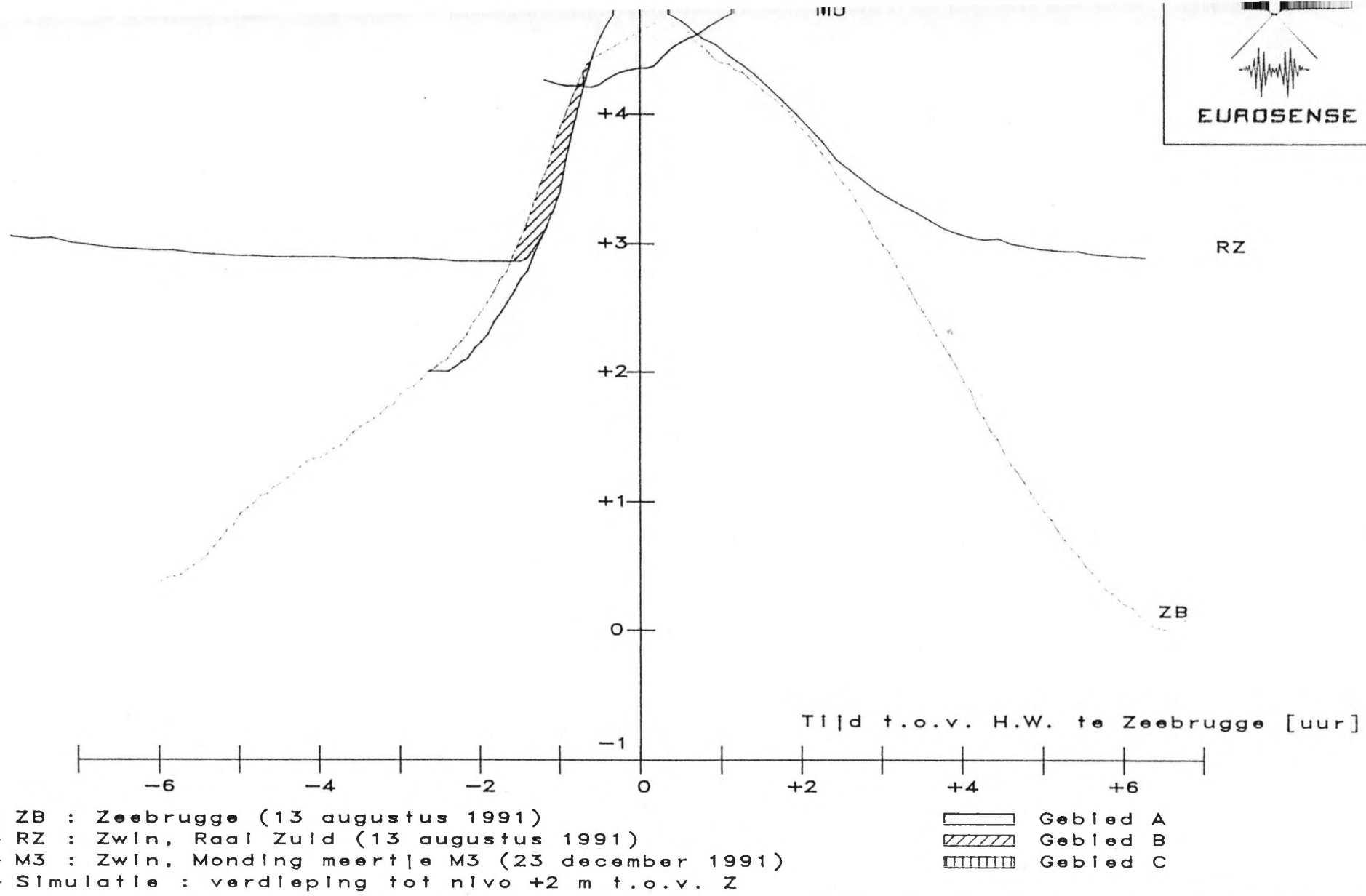
Hierboven werd reeds aangestipt dat ingrepen in het hydrodynamisch systeem van de Zwinvlakte zich dienen te concentreren op enerzijds het verlengen van de instromingsduur of het verminderen van het ingestroomd watervolume, om hierdoor lagere instroomsnelheden te bekomen, en/of anderzijds het verkorten van de uitstromingsfase of het verhogen van het uitstromend volume, waardoor hogere uitroomsnelheden worden bereikt.

Bij een dergelijke ingreep is het van groot belang dat de randvoorwaarden afdoende worden bestudeerd. De metingen uitgevoerd tijdens de campagnes van 19 maart 1991 en 13 augustus 1991 kunnen in dit kader reeds dienen als referentiesituatie voor het mondingsgebied van de Zwingeu.

Dankzij de uitgevoerde getijmetingen is het ook mogelijk reeds enkele randvoorwaarden aan te halen die worden opgelegd vanwege het getij.

In fig. 3.12 worden de getijkrommen hernomen van Zeebrugge en van de Zwingeu (raai Zuid), waargenomen op 13 augustus 1991, en uitgezet t.o.v. het tijdstip van hoogwater te Zeebrugge. Hieraan werd de getijkurve van opkomend water toegevoegd ter hoogte van de monding van het meertje "M3" (de waterplas in het noordwestelijk, niet-toegankelijk gedeelte van de Zwinvlakte). Dit meertje wordt grotendeels gevoed via een kreek die de zuidrand van het reservaat volgt en in het zuidoostelijk gedeelte van de Zwinvlakte in verbinding staat met de Zwingeu. De waterstanden aan M3 werden opgemeten op 23 december 1991, in een periode met een gelijkaardig springtij als op 13 augustus 1991; weliswaar stond er op 23 december 1991 een sterke noordwestenwind, die aanleiding gegeven kan hebben tot enige opwaaiing van Noordzeewater naar de kust. Deze getijkromme werd eveneens uitgetekend t.o.v. hoogwater in Zeebrugge, en kan aldus samen met de andere getijkrommen worden gelezen in fig. 3.12.

Men merkt dat de vloed met enige vertraging de Zwingeu binnenkomt t.o.v. de situatie in zee, zodat het tijdstip van hoogwater in de Zwingeu ook later valt dan in zee. Op 13 augustus 1991 bedroeg het tijdsverschil tussen de opgaande flanken van de getijkurven te Zeebrugge en in de Zwingeu ca. 18 minuten. Het hoogwater binnen in de Zwinvlakte komt nog later, b.v. aan de monding van het meertje



Getijkrommen, meetcampagnes Zwin 1991

M3 ca. 51 minuten later dan in de Zwingeul. Deze tijdsverschillen worden veroorzaakt door de beperkte instroomsektie (zie waarden van de instroomsektie van de Zwingeul in tabel 3.14).

Nu zou men gebruik kunnen maken van het verschil in waterstand buiten- en binnengaats ter hoogte van de duinenrij bij het meentje M3, om de Zwinvlakte reeds eerder te laten overstromen dan nu het geval is bij voeding via de Zwingeul. De maximum volumes zeewater die op deze manier kunnen worden aangesproken, zijn evenredig met de gearceerde gebieden in fig. 3.12.

Door een voortijdige vulling van de Zwinvlakte worden de watervolumes gereduceerd die bij vloed door de Zwingeul moeten worden aangevoerd, en samen met het verminderd verhang in de Zwingeul zullen lagere stroomsnelheden optreden. Maakt men de toevoer doorheen de duinenrij unidirectioneel, dan kan men belletten dat het water uit de Zwinvlakte langs dezelfde weg uitstroomt bij dalend waterpeil. Men dwingt aldus een uitstroming via de Zwingeul, waardoor hier nu grotere stroomsnelheden zullen optreden.

Een eventuele in overwegingname van het hier schematisch aangegeven scenario veronderstelt vanzelfsprekend bijkomende, voorafgaandelijke metingen van getij, bergingsvolumes, enz. De metingen uitgevoerd op 19 maart 1991 en 13 augustus 1991 tonen alvast aan dat een verbetering van de verzandingstoestand van het Zwin slechts kan worden bereikt mits een ingrijpen in het huidige regime van de Zwingeul. Deze metingen kunnen ook reeds gebruikt worden voor mathematische getijsimulaties, zoals in het volgende voorbeeld wordt aangetoond.

Het getij, dat werd gemeten aan de meetraai Zuid, kan immers ook berekend worden d.m.v. een expliciet rekenschema dat gebruik maakt van eindige differenties⁷, gesteld dat men het verband tussen de variatie van bepaalde grootheden met een referentie-grootheid (hier de waterhoogte) kent. Dit verband kan worden afgeleid uit de metingen van 19 maart en 13 augustus 1991. Het berekeningsschema steunt op de continuïteitsvergelijking

$$\sum Q + \frac{dV}{dt} = 0$$

die hier wordt toegepast voor het gebied opwaarts van de raai Zuid. De debieten ($\sum Q$) hebben betrekking op de meetraai Zuid en de volumeveranderingen (dV/dt) betreffen het gedeelte van de Zwinvlakte dat door de raai Zuid bevoloed

⁷Deze methode wordt gebruikt naar analogie met de zgn. hydraulische *flood routing*.

wordt. De continuïteitsvergelijking wordt geëvalueerd op opeenvolgende tijdstippen t , vertrekkend vanaf een tijdstip t_0 met een gekende waterhoogte h_0 bij de raai Zuid. Uit het hier uitgewerkte voorbeeld (fig. 3.13) blijkt dat een tijdstap van 5 minuten goede resultaten oplevert. Aangezien bij stijgend waterpeil rekening dient te worden gehouden met binnenkomende debieten en bij dalend waterpeil het debiet naar buiten stroomt, werden beide flanken van de getijkromme afzonderlijk berekend. De termen van de continuïteitsvergelijking werden als volgt bepaald :

$$Q = U \cdot A$$

A : natte sectie van de geul bij raai Zuid;

U : gemiddelde stroomsnelheid.

Hierbij is $U = C \cdot \sqrt{R \cdot i}$

(formule van Chézy), met :

C : koëfficiënt van Chézy;

R : hydraulische straal; $R = A/\chi$;

χ : natte omtrek van de geul bij raai Zuid;

i : verhang van de energielijn; $i = dh/ds$;

h : waterhoogte;

s : afstand volgens de stroomrichting.

Bij de bepaling van Q op tijdstip t wordt gebruik gemaakt van de relatie tussen A , χ en C met h , die werd opgesteld met behulp van de meetresultaten van de meetcampagnes in de Zwinggeul; de waarde van de grootheden wordt benaderd uitgaande van de waarde h_{t-1} die immers bekend is uit de vorige tijdstap. Voor het verhang i werd bij de opgaande flank van het getij gebruik gemaakt van de getijkurves van Zeebrugge en Cadzand, waaruit door tijdsverschuiving een getijkurve werd afgeleid voor de zee ter hoogte van de monding van de Zwinggeul. Bij de afgaande flank werd het verhang berekend aan de hand van de waterhoogtes ter hoogte van het meertje M3.

De eerste term van de continuïteitsvergelijking kan dus volledig worden geëvalueerd.

$$\frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Δt : de gekozen tijdstap;

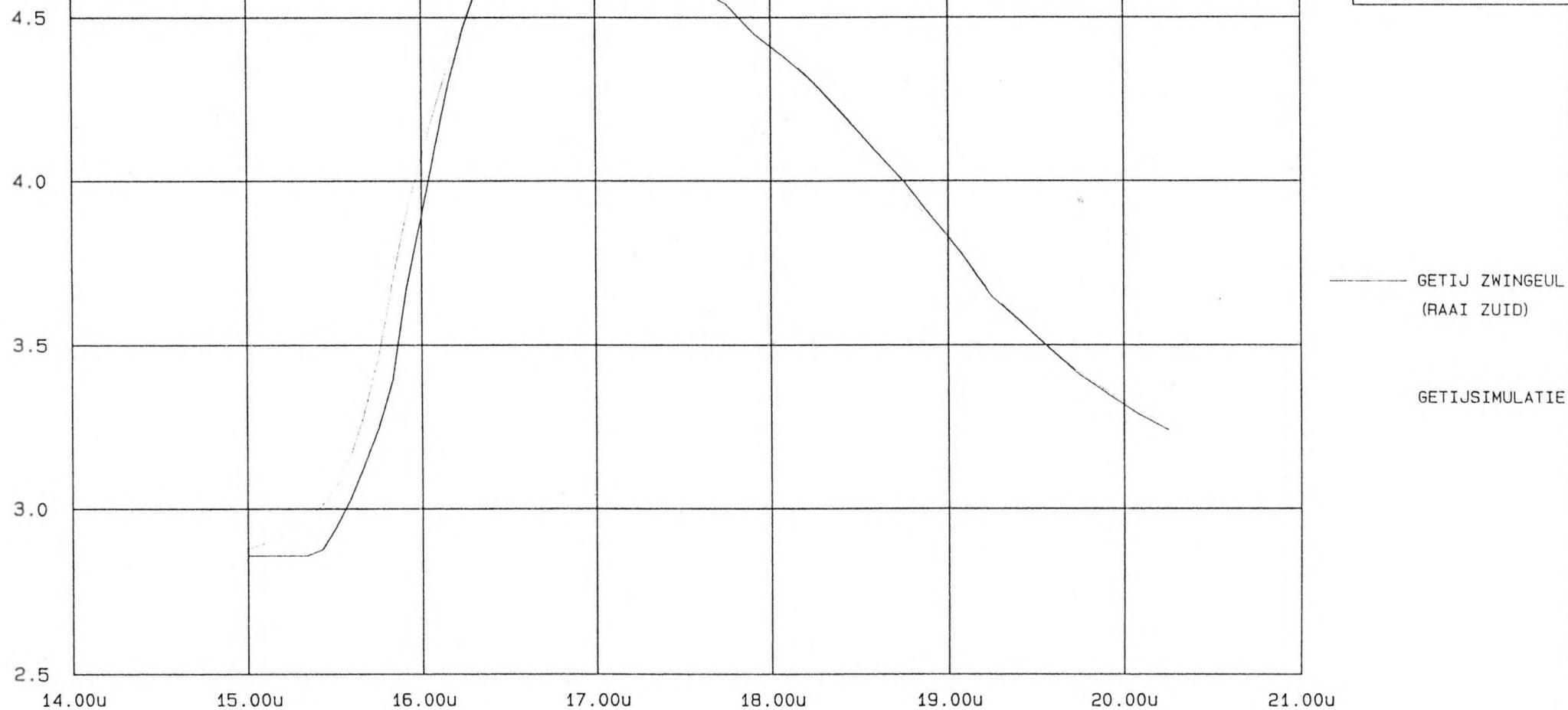
ΔV : de toename in watervolume van het gedeelte van de Zwinvlakte dat door de raai Zuid bevoeid wordt; $\Delta V = \Delta h \cdot \Omega$;

Δh : het te bepalen verschil in waterpeil;

Ω : de oppervlakte van de Zwinvlakte, bevoeid in het tijdsinterval Δt .



EUROSENSE



MEETCAMPAGNE ZWINGEUL, 13 AUGUSTUS 1991
VERGELIJKING GEMETEN WATERSTANDEN EN GETIJSIMULATIE

Fig. 3.13

De waarde van Ω wordt afgeleid in functie van de begin-waterhoogte h_{t-1} uit het digitaal terreinmodel, dat op basis van de topografische kartering van het Zwin werd opgesteld.

De getijkromme nabij raai Zuid wordt afgeleid uit de opeenvolgende hoogteverschillen Δh , bepaald door gelijkstelling van de hierboven beschreven termen, voor de opeenvolgende tijdstappen.

Het berekeningsresultaat wordt in fig. 3.13 vergeleken met de gemeten getijkromme. Men stelt vast dat de maximaal optredende verschillen in waterhoogte tot 10 cm en in tijd tot 5 minuten bedragen; op de meeste punten zijn de verschillen kleiner en mag de simulatie zeer behoorlijk worden genoemd.

3.7. SAMENVATTING EN BESLUIT

De meetcampagne van 13 augustus 1991 in de Zwingel werd uitgevoerd overeenkomstig eerdere ervaringen opgedaan bij de meetcampagne op 19 maart 1991. Hiertoe werden gelijktijdige stroomsnelheidsmetingen, metingen van de waterhoogte en metingen van de suspensiekoncentratie in de waterkolom uitgevoerd over een groot aantal tijdstippen, gespreid over een getijcyclus. Aangezien het de bedoeling was om metingen uit te voeren teneinde de inundatie van de Zwinvlakte, met het bijhorende sedimenttransport, op te volgen gedurende deze getijcyclus, werden de metingen toegespitst op twee dwarsraaien ("raai Zuid" en "raai West", zie fig. 3.1) in de toevoer- en drainagegeulen van de Zwinvlakte. Bijkomende hydrodynamische metingen, bij laagwater, in de raai Noord, en topografische opmetingen van het gebied tussen de drie raaien, lieten bovendien toe om, gebruik makend van de continuïteitsvergelijking, de variatie van het debiet en de komberging van de gehele Zwinvlakte te bepalen.

De voornaamste meetresultaten van de campagne op 13 augustus 1991 worden hieronder samengevat.

De instroming van zeewater in de Zwinvlakte, dit is de vloedfase, gebeurt zeer snel (op ca. anderhalf uur tijd) en gaat, in vergelijking met de ebfase, gepaard met relatief grote stroomsnelheden en sedimenttransport. In de raai West bedraagt de gemiddelde snelheid bij vloed (dat is ruim een half uur voor lokaal hoogwater) 0,43 m/s en bij eb (1.15 h na hoogwater) 0,14 m/s. In de raai Zuid worden de hoogste vloodsnelheden 40 minuten voor lokaal hoogwater opgetekend; de gemiddelde snelheid is dan 0,70 m/s. De ebpiek treedt 1.40 h na hoogwater op en bedraagt 0,27 m/s. De concentraties van het suspensiesediment in de raai

Zuid zijn overeenkomstig groter bij vloed (gemiddeld tot 0,055 g/l) dan bij eb (slechts 0,008 g/l). Evenzo is het aandeel zand groter tijdens de vloedfase (34 % bij maximale vloedstroming tot maximaal 27 % bij ebstroming).

In vergelijking met de raaien Noord en West treden zelfs bij vloed relatief lage suspensiekoncentraties, en met name lage zandkoncentraties, op in de raai Zuid. Hieruit wordt afgeleid dat er een netto zandsedimentatie optreedt in het gebied tussen beide meetraaien, en meer bepaald in de noordelijke zandvang. Deze konklusie is in overeenstemming met de eerder beschreven morfologische evolutie van dit gebied.

Zowel in de raai Zuid als de raai West is er een netto landwaarts sedimenttransport. In beide meetraaien bedraagt de hoeveelheid binnengekomen sediment meer dan het dubbele dan de hoeveelheid die weer buiten gaat. In de zandfractie is deze verhouding zelfs 3 tot 4. Deze vaststelling geldt ook voor de raai Zuid, ondanks de geringere aanvoer van zand in suspensie.

De hierboven weergegeven konklusies betreffende het sedimenttransport worden op onafhankelijke wijze bevestigd door de metingen van het getijgeïntegreerd bodemtransport d.m.v. bodemflessen.

De uitgevoerde metingen onderstrepen duidelijk de problematiek van de verzanding van de Zwinvlakte. De natuurlijke aanvoer van zand via het strand en de vooroever kan, gezien het bestaande regime van de Zwingeul, niet anders dan de Zwinvlakte binnengevoerd worden. De instroming van zeewater bij vloed, waarbij bijna een half miljoen kubieke meter water de Zwinvlakte dient te bereiken, gebeurt immers in een zeer korte tijdsspanne en gaat dan ook gepaard met hoge stroomsnelheden. Bij de lage uitstroomsnelheden van de ebfase kan het grofkorrelige zand vrijwel niet in transport worden gebracht. Zelfs ondanks de aanwezigheid van de zandvangput tussen de raaien Noord en Zuid is er nog een netto landwaartse aanvoer van zand doorheen de raai Zuid, al mag verondersteld worden dat deze doorvoer veel hoger zou liggen zonder zandvang. Dergelijke toestand is vandaag weer ingesteld, vermits de zandvang eind 1991 volledig dichtgesedimenteerd was.

Een structurele oplossing voor de verzandingsproblematiek van het Zwin zal zich dienen te concentreren op enerzijds het verlengen van de instromingsduur of het verminderen van het ingestroomd watervolume, om hierdoor lagere instroomsnelheden te bekomen, en anderzijds het verkorten van de uitstromingsfase of het verhogen van het uitstromend volume, waardoor hogere uitstroomsnelheden worden bereikt. Uit een vergelijking van de getijkrommen op verschillende plaatsen in

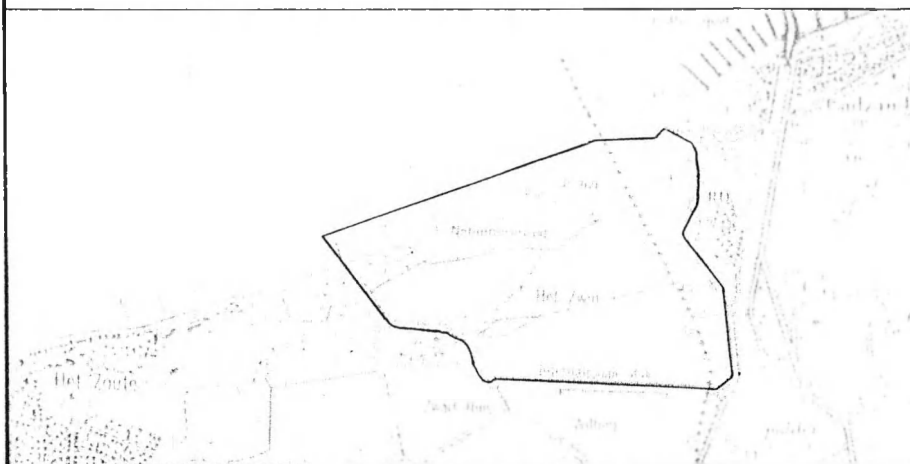
en bij het Zwin blijkt dat men gebruik zou kunnen maken van het verschil in waterstand buiten- en binnengaats ter hoogte van de duinenrij bij het meertje M3, om de Zwinvlakte reeds eerder te laten overstromen dan nu het geval is bij voeding via de Zwingeul. Hierdoor zouden zowel lagere instroomsnelheden als hogere uitstroomsnelheden in de Zwingeul kunnen worden bekomen.

Het in overweging nemen van een dergelijke structurele oplossing veronderstelt een doorgedreven studie van het bestaande getijregime in en rond het Zwin. De in dit rapport weergegeven metingen laten toe om met voldoende nauwkeurigheid getijkrommen te berekenen op plaatsen waar de relatie tussen stroomsektie en waterhoogte is gekend.

DIFFERENTIËLE HOOGTEKAART VAN HET NATUURRESERVAAT

''HET ZWIN''

Evolutie tussen 1989 en 1991



ADMINISTRATIE WATERINFRASTRUCTUUR
EN ZEEWEZEN
DIENST DER KUSTHAVENS



Schaal 1/3 000

0  150 m

Coördinatenstelsel: LAMBERT'72

EUROSENSE BELFOTOP N.V.

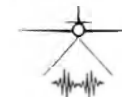
Nerviërsiaan 54

B-1780 WEMMEL-BELGIUM

Tel.: + 32 (0)2 460 70 00

Telex: 26687

Fax: + 32 (0)2 460 49 58



EUROSENSE

DIFFERENTIËLE HOOGTEKAART VAN HET NATUURRESERVAAT

''HET ZWIN''

ADMINISTRATIE WATERINFRASTRUCTUUR
EN ZEEWEZEN

DIENT DER KUSTHAVENS

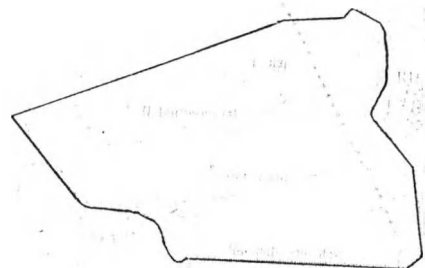


Evolutie tussen 1987 en 1991

Schaal 1/3 000

0  150 m

Coördinatenstelsel: LAMBERT'72



EUROSENSE BELFOTOP N.V.

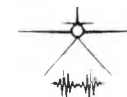
Nerviërsaan 54

B-1780 WEMMEL-BELGIUM

Tel.: + 32 (0)2 460 70 00

Telex: 26687

Fax: + 32 (0)2 460 49 58



EUROSENSE