

Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee

Het implementeren in TRIWAQ  
van een 3D barriërformulering  
voor gedeeltelijk geopende sluisen

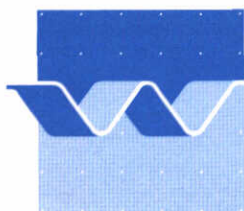
KEPS02, fase 2 en 3

april 1996

# Het implementeren in TRIWAQ van een 3D barriërformulering voor gedeeltelijk geopende sluizen

KEPS02, fase 2 en 3

E.D. de Goede



KLANT : Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ)

TITEL : Het implementeren in TRIWAQ van een 3D barriërformulering voor gedeeltelijk geopende sluisen

SAMENVATTING :

Om de effecten van diverse sluitingsstrategieën voor de Haringvlietsluizen te kunnen bestuderen, is in opdracht van Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ door het Waterloopkundig Laboratorium een 3D barriërformulering voor gedeeltelijk geopende sluisen geïmplementeerd in TRIWAQ. Deze formulering is generiek en biedt de mogelijkheid een extra verliesterm per laag te specificeren door middel van een kwadratische wrijvingsterm, die door calibratie bepaald moeten worden aan de hand van metingen. De schuiven worden gemodelleerd met behulp van grote wrijvingscoëfficiënten. Voor de drempels kan dezelfde aanpak gevolgd worden of kunnen de dieptes lokaal gewijzigd worden. Als alternatieve modellering kan een uniform verhoogde ruwheid worden voorgeschreven.

Door middel van een aantal experimenten is de 3D barriërimplementatie getest. In eerste instantie zijn 2DV modellen van de Haringvlietsluizen onderzocht. Voor verschillende afvoerdebieten, voor al dan niet gedeeltelijk geopende schuiven, voor zowel homogene als inhomogene situaties en voor verschillende roosterafstanden zijn berekeningen uitgevoerd. De berekende afvoercoëfficiënten blijken overeenkomstig te zijn met waarden uit eerder onderzoek. Bij de barriër ontstaan realistische stroombeelden.

Er zijn ook twee 3D problemen getest, te weten de Praktijkproef Visintrek en een simulatie met een verfijnd RIJMAMO model. Voor de Praktijkproef Visintrek zijn de resultaten bevredigend. Zowel de stroombeelden als de zoutverspreiding zijn goed in overeenstemming met de metingen. Voor het verfijnde RIJMAMO model is het moeilijk al enige conclusies te trekken, omdat slechts één simulatie is uitgevoerd. De vereiste rekentijd op een werkstation is ongeveer 10 dagen. Dit model kan nog beter afgeregeld worden.

REFERENTIES : RIKZ overeenkomstnummer RKZ-252

REV.	AUTEUR	DATUM	OPMERKINGEN	GECONTROLEERD	GOEDGEKEURD
	E.D. de Goede <i>EDG</i>	24-4-96	definitief	J.A. van Kester <i>JvK</i>	H.J.M.G. Steeghs <i>hf</i>
			eindrapport	G.S. Stelling <i>GSt</i>	
TREFWOORD(EN)			PAGINA'S	DOCUMENT NR.	STATUS
3D barriërformulering gedeeltelijk geopende Haringvlietsluizen TRIWAQ RIJMAMO 3D			TEKST : 24 TABELLEN : 6 FIGUREN : 78	V1225.96/Z986	<input type="checkbox"/> VOORLOPIG <input type="checkbox"/> CONCEPT <input type="checkbox"/> DEFINITIEF
			ARCHIEF NR: VR1225.96/Z986		

# Inhoud

## Lijst van figuren

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	1 – 1
<b>2</b>	<b>Omzetten meetdata</b> .....	2 – 1
<b>3</b>	<b>Implementatie van 3D barriërformulering</b> .....	3 – 1
	3.1 Aanpassing TRIWAQ datastructuur .....	3 – 1
	3.2 Aanpassing TRIWAQ rekenroutines .....	3 – 2
<b>4</b>	<b>Numerieke experimenten</b> .....	4 – 1
	4.1 2DV testproblemen .....	4 – 1
	4.2 Visintrek simulatie .....	4 – 5
	4.3 Simulatie met een verfijnd RIJMAMO model .....	4 – 7
<b>5</b>	<b>Conclusies</b> .....	5 – 1
	<b>Referenties</b> .....	ref – 1
	<b>Appendix 1: 3D barriërmodelleringen</b> .....	app – 1
	<b>Appendix 2: uitbreiding WAQUA User's Guide</b> .....	app – 2
	<b>Appendix 3: uitbreiding WAQUA User's Guide</b> .....	app – 3

## Figuren

## Lijst van figuren

- 4.1.1 Waterstanden voor inhomogene simulaties (FIJN 2DV model)
- 4.1.2 Vertikale profielen van snelheden voor inhomogene simulaties (drempel d.m.v. diepte-file)
- 4.1.3 Vertikale profielen van snelheden voor inhomogene simulaties (drempel d.m.v. schotjes)
- 4.1.4 Vertikale profielen van snelheden voor inhomogene simulaties (uniform verhoogde wrijving)
- 4.1.5 Vertikale profielen van snelheden voor inhomogene simulaties (originele implementatie van advectie)
  
- 4.2.1 Overzicht van meetlocaties van de Praktijkproef Visintrek
- 4.2.2 Tijdreeksen van waterstanden bij open randen
- 4.2.3 Tijdreeksen van waterstanden, snelheden en saliniteiten in station mtp 1-1
- 4.2.4 Tijdreeksen van waterstanden, snelheden en saliniteiten in station mtp 1-2
- 4.2.5 Tijdreeksen van waterstanden, snelheden en saliniteiten in station mtp 2-4
- 4.2.6 Tijdreeksen van waterstanden, snelheden en saliniteiten in station mtp 2-7
- 4.2.7 Tijdreeksen van waterstanden, snelheden en saliniteiten in station mtp 2-11
- 4.2.8 Tijdreeksen van waterstanden, snelheden en saliniteiten in station DWIP-1
- 4.2.9 Tijdreeksen van waterstanden, snelheden en saliniteiten in station mtp 4-2
- 4.2.10 Tijdreeksen van waterstanden, snelheden en saliniteiten in station mtp 4-6
- 4.2.11 Snelheidsveld op 12:10 uur voor laag 1 (oppervlak)
- 4.2.12 Snelheidsveld op 12:10 uur voor laag 5
- 4.2.13 Snelheidsveld op 12:10 uur voor laag 10 (bodem)
- 4.2.14 Snelheidsveld op 13:10 uur voor laag 1 (oppervlak)
- 4.2.15 Snelheidsveld op 13:10 uur voor laag 5
- 4.2.16 Snelheidsveld op 13:10 uur voor laag 10 (bodem)
- 4.2.17 Snelheidsveld op 14:10 uur voor laag 1 (oppervlak)
- 4.2.18 Snelheidsveld op 14:10 uur voor laag 5
- 4.2.19 Snelheidsveld op 14:10 uur voor laag 10 (bodem)
- 4.2.20 Snelheidsveld op 16:10 uur voor laag 1 (oppervlak)
- 4.2.21 Snelheidsveld op 16:10 uur voor laag 5
- 4.2.22 Snelheidsveld op 16:10 uur voor laag 10 (bodem)
- 4.2.23 Vertikale profielen van saliniteit op 19:40 uur
- 4.2.24 Vertikale profielen van saliniteit op 19:40 uur
- 4.2.25 Vertikale profielen van saliniteit voor meetpunt 1-2
- 4.2.26 Vertikale profielen van saliniteit voor meetpunt 2-7
- 4.2.27 Originele advectie; snelheidsveld op 13:10 uur voor laag 10 (bodem)
- 4.2.28 Originele advectie; snelheidsveld op 14:10 uur voor laag 5
- 4.2.29 Originele advectie; snelheidsveld op 14:10 uur voor laag 10 (bodem)
- 4.2.30 Originele advectie; snelheidsveld op 16:10 uur voor laag 10 (bodem)
- 4.2.31 Drempel d.m.v. schotjes; snelheidsveld op 13:10 uur voor laag 10 (bodem)
- 4.2.32 Drempel d.m.v. schotjes; snelheidsveld op 14:10 uur voor laag 5
- 4.2.33 Drempel d.m.v. schotjes; snelheidsveld op 14:10 uur voor laag 10 (bodem)
- 4.2.34 Drempel d.m.v. schotjes; snelheidsveld op 16:10 uur voor laag 10 (bodem)

- 4.2.35 Uniform verhoogde ruwheid; snelheidsveld op 13:10 uur voor laag 10 (bodem)
- 4.2.36 Uniform verhoogde ruwheid; snelheidsveld op 14:10 uur voor laag 5
- 4.2.37 Uniform verhoogde ruwheid; snelheidsveld op 14:10 uur voor laag 10 (bodem)
- 4.2.38 Uniform verhoogde ruwheid; snelheidsveld op 16:10 uur voor laag 10 (bodem)
  
- 4.3.1. Geometrie van verfijnd RIJMAMO model bij de Haringvlietsluizen
- 4.3.2. Tijdreeksen van waterstanden (numerieke resultaten)
- 4.3.3. Tijdreeksen van waterstanden (numerieke resultaten)
- 4.3.4. Tijdreeksen van waterstanden (metingen)
- 4.3.5. Tijdreeksen van waterstanden (metingen)
- 4.3.6. Snelheidsveld op 22 oktober 12:00 uur voor laag 1
- 4.3.7a. Profielen van snelheden in station Tiengemeten.
- 4.3.7b. Profielen van snelheden in station Tiengemeten.
- 4.3.7c. Profielen van snelheden in station Tiengemeten.
- 4.3.8a. Profielen van snelheden in station Dirksland.
- 4.3.8b. Profielen van snelheden in station Dirksland.
- 4.3.8c. Profielen van snelheden in station Dirksland.
- 4.3.8d. Profielen van snelheden in station Dirksland.
- 4.3.9a. Profielen van snelheden in station Hellevoetsluis.
- 4.3.9b. Profielen van snelheden in station Hellevoetsluis.
- 4.3.9c. Profielen van snelheden in station Hellevoetsluis.
- 4.3.9d. Profielen van snelheden in station Hellevoetsluis.
- 4.3.9e. Profielen van snelheden in station Hellevoetsluis.
- 4.3.10a. Profielen van snelheden in station Spui.
- 4.3.10b. Profielen van snelheden in station Spui.
- 4.3.10c. Profielen van snelheden in station Spui.
- 4.3.10d. Profielen van snelheden in station Spui.
- 4.3.10e. Profielen van snelheden in station Spui.
- 4.3.11a. Profielen van saliniteiten in station Tiengemeten.
- 4.3.11b. Profielen van saliniteiten in station Tiengemeten.
- 4.3.11c. Profielen van saliniteiten in station Tiengemeten.
- 4.3.12a. Profielen van saliniteiten in station Dirksland.
- 4.3.12b. Profielen van saliniteiten in station Dirksland.
- 4.3.12c. Profielen van saliniteiten in station Dirksland.
- 4.3.13a. Profielen van saliniteiten in station Hellevoetsluis.
- 4.3.13b. Profielen van saliniteiten in station Hellevoetsluis.
- 4.3.13c. Profielen van saliniteiten in station Hellevoetsluis.
- 4.3.13d. Profielen van saliniteiten in station Hellevoetsluis.
- 4.3.14a. Profielen van saliniteiten in station Spui.
- 4.3.14b. Profielen van saliniteiten in station Spui.
- 4.3.14c. Profielen van saliniteiten in station Spui.

# 1 Inleiding

Als onderdeel van de Deltawerken zijn in november 1970 de Haringvlietsluizen in gebruik genomen. In de loop der jaren is duidelijk geworden dat het huidige beheer van de Haringvlietsluizen negatieve gevolgen heeft voor de ecologische ontwikkeling van o.a. het Haringvliet estuarium. In 1989 is in het kader van het Integraal Beleidsplan Haringvliet - Hollandsch Diep - Biesbosch een onderzoek gestart naar de mogelijkheden van het gedeeltelijk openzetten van de Haringvlietsluizen bij vloed. Dit integraal beleidsplan heeft in 1993 een vervolg gekregen in het project Milieu Effect Rapportage (MER) Beheer Haringvlietsluizen. Ten behoeve van deze MER dienen effecten van alternatief beheer onderzocht te worden. Dit betreft effecten op het gebied van bijvoorbeeld de landbouw, recreatie, visserij, ecologie, morfologie, waterkwaliteit, die worden veroorzaakt door een veranderde waterbeweging en zoutindringing. De basis voor het voorspellen van deze effecten zijn computermodellen, waarmee de water- en de zoutbeweging gesimuleerd wordt.

De berekeningen in het onderzoek naar alternatief beheer van de Haringvlietsluizen zullen worden uitgevoerd met TRIWAQ. Ook situaties waarin de sluizen gedeeltelijk geopend zijn, dienen onderzocht te worden. Metingen hebben aangetoond dat het openzetten van één of meerdere sluizen leidt tot een verticale gelaagdheid van het zout. Een dergelijke gelaagdheid kan alleen goed beschreven worden in een 3-dimensionaal model. TRIWAQ bevat echter nog geen 3-dimensionale barriërformulering, maar slechts een 2-dimensionale formulering. Daarom is in dit project, in opdracht van Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ, door het Waterloopkundig Laboratorium een 3D barriërformulering geïmplementeerd in TRIWAQ.

Recent is door het Waterloopkundig Laboratorium experimenteel numeriek onderzoek uitgevoerd naar 3D barriërformuleringen (project KEPS02 fase 1). Over dit onderzoek is gerapporteerd in (Van Kester et al., 1996) en in (Stelling et al., 1996). In het onderhavige project zal allereerst meetdata omgezet worden, zodat deze gebruikt kan worden in numerieke experimenten met TRIWAQ (KEPS02 fase 2). Vervolgens zal de in fase 1 ontwikkelde 3D barriërformulering geïmplementeerd worden in TRIWAQ en zullen er numerieke experimenten uitgevoerd worden (KEPS02 fase 3).

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op het omzetten van de meetdata voor de numerieke experimenten. Hoofdstuk 3 bevat een beschrijving van de aanpassingen in TRIWAQ voor de 3D barriërformulering. Zowel de aanpassingen voor de TRIWAQ datastructuur (LDS) als voor de rekenroutines worden beschreven. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van testproblemen beschreven. Allereerst worden een aantal 2DV testproblemen uit (Van Kester et al., 1996) herhaald. Hiermee wordt de implementatie van de 3D barriërformulering getest. Vervolgens worden als testproblemen twee praktijksituaties beschouwd, te weten de "Visintrek" proef (Bol, 1995) en een verfijnd RIJMAMO model. Deze praktijksituaties worden niet gecaliëbreerd in dit project. Hoofdstuk 5 bevat de conclusies.

Dit project is uitgevoerd in opdracht van RIKZ als onderdeel van het project KEPS02 fase 2 en 3 (INVOWA) onder contractnummer RKZ-252 (opdrachtverlening RIKZ/OSE 926925 d.d. 21 september 1995). Bij het Waterloopkundig Laboratorium is dit onderzoek uitgevoerd door E.D. de Goede, J.A.Th.M van Kester, G.S. Stelling en D. Verploegh. Bij RIKZ is dit project begeleid door J.W.M. Lander.

## 2 Omzetten meetdata

In project KEPS02 fase 2 hebben we voor twee metingen data omgezet naar PRESENT formaat. Het betreft de "Meting 22 oktober 1970" (Rijkswaterstaat, 1970) en de "Visintrek meting" (Bol, 1995). Voor een gedetailleerde beschrijving van PRESENT verwijzen we naar (Rijkswaterstaat, 1988).

Voor de 22 oktober 1970 meting was slechts informatie beschikbaar in rapportvorm. Als eerste stap zijn derhalve uit dit rapport de tijdreeksen van de waterstanden, de verticale profielen van de snelheden en de verticale profielen van de zoutconcentraties gedigitaliseerd. De verticale profielen zijn ieder uur gedigitaliseerd. De overige informatie, zoals sedimentmetingen, is niet gedigitaliseerd. De gedigitaliseerde data is vervolgens omgezet naar PRESENT formaat.

Voor de tweede meting, de Visintrek meting, is data in PRESENT formaat aangeleverd door ir. R. Bol van Rijkswaterstaat/RIZA. Deze data was overzichtelijk gerangschikt en vereiste geen aanpassing voor gebruik in de numerieke experimenten.

In een aantal figuren in dit rapport worden zowel de numerieke resultaten als de meetdata weergegeven. De in de figuren weergegeven meetdata vormt slechts een klein gedeelte van de gedigitaliseerde data. De complete PRESENT data set is, in de vorm van een aantal files, toegeleverd aan Rijkswaterstaat/RIKZ.



### 3 Implementatie van 3D barriërformulering

De in (Van Kester et al., 1996) voorgestelde 3D barriërformulering is in dit project geïmplementeerd in TRIWAQ. Dit heeft tot aanpassingen geleid voor zowel de TRIWAQ datastructuur als de rekenroutines in TRIWAQ.

#### 3.1 Aanpassing TRIWAQ datastructuur

De lokale datastructuur (LDS) van TRIWAQ is uitgebreid met barriërverliescoëfficiënten per laag. Deze coëfficiënten worden ingelezen door de preprocessor en vervolgens opgeslagen in de LDS. Voor ieder barriërpunt afzonderlijk kunnen verliescoëfficiënten opgegeven worden. Deze verliescoëfficiënten zijn afhankelijk van de hefhoogte. Hierdoor is het bijvoorbeeld mogelijk voor een geheel geopende barriër geen extra verliescoëfficiënt op te geven en voor een gedeeltelijk geopende barriër wel. Voor een gedetailleerde beschrijving van barrières in TRIWAQ verwijzen we naar Appendix 3, waarin de TRIWAQ gebruikersdocumentatie voor de 3D barriërformulering is opgenomen.

De extra verliesterm is geparametriseerd door een kwadratische wrijvingsterm en is van de vorm

$$\frac{du_{i,k}}{dt} + \dots + \lambda_k \frac{u_{i,k} |u_{i,k}|}{\Delta x} = \dots \quad (3.1)$$

waarin  $i$  het horizontale roosternummer en  $k$  het laagnummer aangeeft. We merken op dat de waarde van de verliescoëfficiënt  $\lambda_k$  afhankelijk is van het laagnummer.

In TRIWAQ worden, evenals in WAQUA, de (beweegbare) schuiven van de barriër gemodelleerd met het key word GATE\_HEIGHT. Met behulp van (tijdsafhankelijke) waarden voor GATE\_HEIGHT wordt het open- en dichtzetten van de schuiven gesimuleerd. Op grond van de waterstand, schuifhoogte en diepte wordt door het programma berekend welke (vertikale) schotjes dichtgezet dienen te worden. Dit aantal kan per tijdstap variëren. Lagen worden hetzij volledig hetzij niet dichtgezet. Gedeeltelijke schotjes zijn derhalve op dit moment niet mogelijk.

De drempel van de barriër kan op twee manieren gemodelleerd worden. Ten eerste kan de dieptefile ter plaatse van de barriër aangepast worden. Ten tweede kan de drempel door middel van (vertikale) schotjes gemodelleerd worden. Hiervoor worden de tijdsafhankelijke drempelhoogtes in SILL\_DEPTH (zie paragraaf 2.7.2.6. van de WAQUA User's Guide) gebruikt. Het aantal verticale schotjes wordt door het programma berekend, analoog aan de wijze die toegepast wordt voor de tijdsafhankelijke schuifhoogtes. Het voordeel van de tweede aanpak is dat de verstoringen ten gevolge van de bodemgradiënten veel minder zijn. Het aanpassen van de diepte kan daarentegen tot grote bodemgradiënten leiden ter plaatse van de barriër.

De hierboven beschreven modellering kan leiden tot hoge snelheden bij de barriër, in het bijzonder als het doorstroomoppervlak gering is. Als alternatief voor het plaatsen van

vertikale schotjes is daarom ook de mogelijkheid van een uniform verhoogde ruwheid ingebouwd. De gebruiker dient dan in de invoerfile het key word UNIFORM PROFILE\_ENERGYLOSS op te geven (zie paragraaf 2.7.2.6. van de WAQUA User's Guide). We merken op dat bij een uniform verhoogde ruwheid alle lagen open zijn. De eventuele schotjes, die door de gebruiker zijn opgegeven via hef- en drempelhoogtes, worden genegeerd.

In geval van een uniform verhoogde ruwheid, wordt de afvoercoëfficiënt  $\mu$  berekend op grond van formule

$$\mu = \frac{Q}{A \sqrt{(2g |\zeta_1 - \zeta_3|)}} \quad (3.2)$$

met  $\zeta_1$  de bovenstroomse waterstand en  $\zeta_3$  de benedenstroomse waterstand. Bij deze aanpak wordt het doorstroomoppervlak  $A$  vergroot met een factor die gelijk is aan de totale waterdiepte gedeeld door de doorstroomopening. Bij een constant debiet wordt de afvoercoëfficiënt  $\mu$  verkleind met deze factor. Als de gebruiker de extra verliesterm (zie (3.1)), die van de vorm is

$$\lambda = \frac{1}{2\mu^2} \quad (3.3)$$

vergroot met deze factor in het kwadraat, dan blijft de Q-H relatie (3.2) identiek, als de advectione termen verwaarloosbaar zijn. In de experimenten hebben we geconstateerd dat dit niet het geval is. De gebruiker dient derhalve de verliesterm zo te kiezen dat dezelfde Q-H relatie gerealiseerd wordt.

### 3.2 Aanpassing TRIWAQ rekenroutines

De rekenroutines in TRIWAQ zijn uitgebreid met de arrays die de tijdsafhankelijke hefhoogtes en drempelhoogtes bevatten. Op grond van de barriërdiepte, drempelhoogte, schuifhoogte en de waterstand berekent het programma welke lagen open staan. Voor de open lagen wordt, indien door de gebruiker opgegeven, een extra verliesterm toegepast (zie (3.1)). Het dichtzetten van de lagen wordt gemodelleerd door een wrijvingscoëfficiënt van  $10^8$  voor te schrijven. Het ware iets nauwkeuriger geweest als we, in plaats van deze grote verliescoëfficiënten, schotjes per laag hadden gemodelleerd. Echter, zowel in TRIWAQ als in TRISULA kunnen in de huidige implementaties d.m.v. 2D kenmerkarrays slechts schotjes gezet worden in de horizontale richting die onafhankelijk zijn van het betreffende laagnummer. Er is slechts de keuze tussen alle lagen dicht of alle lagen open. Een uitbreiding van deze kenmerkarrays naar drie dimensies vergt een behoorlijke programmeerinspanning en valt ook buiten dit project.

De in paragraaf 3.1 beschreven 3D barriërformulering bleek in de experimenten niet de gewenste resultaten op te leveren. Daarom zijn er een aantal wijzigingen voor het numerieke schema geïmplementeerd. Allereerst is de discretisatie van de advectione termen bij de barriër aangepast. Het bleek dat de per 'stage' verschillende discretisatie van de advectione termen lokaal bij de barriër tot oscillaties in de tijd (met periode  $\Delta t$ ) leidt. Dit wordt veroorzaakt door de hoge snelheden die op de barriër optreden in geval van gedeeltelijk geopende sluisen. Door de advectione op de barriër in beide stages op dezelfde wijze te discretiseren, verdween de tijdsoscillatie. De volgende behoudende (1D behoud van energiehoogte) discretisatie is

toegepast:

$$\left[ u \ u_x \right]_{x=i} = \frac{u_{i,k}^2 - u_{i-1,k}^2}{2 \Delta x} \quad \text{voor} \quad u_{i,k} > 0 \quad (3.4)$$

Voor  $u < 0$  is de discretisatie analoog.

In de TRIWAQ rekenroutines is verder een controlestructuur ingebouwd die checkt of een extra verlies- (c.q. wrijvings)coëfficiënt groter is dan  $10^6$ . In dergelijke punten (i.e. de schuif of de drempel) worden de advectieve en viscositeitstermen in de impulsvergelijking verwaarloosd. Niet alleen op de barriër, maar ook in de directe omgeving van de barriër is de discretisatie van de advectieve termen aangepast. Rondom de schuif worden er kleinere discretisatiemoleculen toegepast. Deze wijziging voor de advectieve termen houdt in dat in het differentiemolecuul voor advectie geen snelheden in barriërpunten worden meegenomen. Een open laag in een barriërpunt wordt gekarakteriseerd door een verliescoëfficiënt die groter is dan 0 en kleiner is dan  $10^6$ . Deze aanpassing van de implementatie voor advectie is identiek aan de afhandeling van de advectie bij gesloten randen. Indien een punt in het differentiemolecuul overeenkomt met een barriërpunt (of gesloten rand), dan wordt een zogeheten kenmerkarray op nul gezet. Dit betekent bijvoorbeeld dat in het eerste roosterpunt na de barriër (bij stroming van de barriër af) de advectieve term volledig is uitgeschakeld. In de experimenten hebben we vastgesteld dat deze aanpassing van de advectieve termen essentieel is om realistische stroombeelden rondom de barriër te bewerkstelligen.

De verticale schotjes voor het modelleren van een schuif of drempel heeft ook tot aanpassingen geleid voor de stoftransportroutine. Er is een controle toegevoegd op wrijvingscoëfficiënten die groter zijn dan  $10^6$ , wat overeenkomt met de verticale schotjes. In dergelijke schotjes wordt de advectieve en diffusieve flux op nul gezet. Dit betekent derhalve dat er geen stoftransport plaatsvindt door deze schotjes.

Ten slotte is er in TRIWAQ er een 'free slip' randvoorwaarde geïmplementeerd (Van Kester et al., 1996):

$$v_v \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{z=a} = 0 \quad (3.5)$$

waarbij  $a$  hetzij de hefhoogte van de schuif hetzij de bovenkant van de drempel is.

We merken op dat in dit project een groot aantal numerieke technieken zijn getest, waarvan er in dit rapport slechts een klein aantal zijn beschreven. De numeriek experimenten gaven in eerste instantie geen bevredigende resultaten. Veelvuldig trad er een horizontale circulatie op, die in de praktijk niet aanwezig was. Dit verschijnsel kan door vele factoren veroorzaakt worden, zoals onvoldoende verticale menging, de afwezigheid van een horizontaal turbulentiemodel, het feit dat de toegepaste afvoerrelatie gebaseerd is op de situatie van het spuien van rivierwater en niet voor de vloed situatie, etc. De in deze paragraaf beschouwde aanpassingen hebben uiteindelijk bevredigende numerieke resultaten opgeleverd.

In Appendix 1 wordt een overzicht gegeven van de verschillende 3D barriërmodellerings. Tevens worden de voor- en nadelen van de modellerings beschouwd.

## 4 Numerieke experimenten

Voor de 3D barriërimplementatie zijn een aantal experimenten uitgevoerd, te weten

- a) 2DV simulaties
- b) De Visintrekproef
- c) Een simulatie met een verfijnd RIJMAMO model.

### 4.1 2DV testproblemen

Er zijn twee 2DV modellen opgezet met één sluis om de stroming door de barriër te simuleren, zie ook paragraaf 5.3 in (Van Kester et al., 1996). De modellen verschillen alleen in roosterafstand. Het FIJNE model heeft een roosterafstand van 50 m. Deze roosterafstand komt overeen met de roosterafstand toegepast in het zogenaamde MOHA-model (Stelling et al., 1994). Het GROVE rooster heeft een roosterafstand van 250 m afgeleid van RIJMAMO (MOHA staat voor MOnd HAringvliet; RIJMAMO staat voor RIJn MAas MOnd). Het gemodelleerde gebied strekt zich uit tot drie kilometer aan weerszijden van de sluizen. Het aantal lagen in de verticale richting is 20. Er is een equidistante laagverdeling toegepast. De tijdstap is 1 min en de simulatieperiode is 1200 min. Er zijn stationaire randvoorwaarden opgelegd. Het eindtijdstip van 1200 min is zo gekozen, dat dan de stationaire oplossing bereikt is. De drempel is gemodelleerd door aanpassing van de dieptefile ter plaatse van de barriër (zie paragraaf 3.1).

Bij de open randen en ter plaatse van het sluizencomplex is de diepteschematisatie aangepast. Bij de open randen is de bodem uniform N.A.P. -10 m. In het fijne model is de sluisvloer trapeziumvormig gemodelleerd met twee dieptepunten op NAP - 5.5 m; in het grove model is slechts één dieptepunt op NAP - 5.5 m gezet. De schematisatie van de drempel kan invloed hebben op de energieverliezen (Leendertse, 1994). De drempel ligt op het FIJNE rooster op coördinaat M=60 en op het GROVE rooster op coördinaat M=13. De diepte in de waterstandspunten wordt berekend volgens "MEAN" (zie WAQUA User's Guide).

Het 2DV model heeft twee open randen. Voor de berekeningen wordt op de zeerand een waterstand opgedrukt van 0.0 m en op de rivierrand een hoog afvoerdebiet van 800 m<sup>3</sup>/s of een laag afvoerdebiet van 80 m<sup>3</sup>/s. De randvoorwaarden zijn stationair en gekozen aan de hand van gemeten Q-H relaties (Rijkswaterstaat, 1983). Er zijn zowel homogene als inhomogene berekeningen uitgevoerd. Voor de inhomogene simulaties is op de debietrand (instroomrand) een verticale stratificatie opgedrukt van

$$s(z) = k \quad (\text{ppt}) \quad (4.1)$$

met k het laagnummer. We merken op dat deze randvoorwaarde op een ad hoc wijze in de TRIWAQ code geprogrammeerd is. In de standaard versie is het immers niet mogelijk een lineaire zoutverdeling op te geven. Slechts uniforme verdelingen in de vertikaal zijn mogelijk.

Er zijn vier situaties beschouwd, waarvan een overzicht wordt gegeven in Tabel 4.1 (De diepte bij de barriër is 5.5 m.):

Situatie	$\lambda_k$
open	schuif volledig open geen extra verliescoef.
3/4 open	schuif 4.2 m open extra verliescoef. : 0.1
1/2 open	schuif 2.8 m open extra verliescoef. : 0.35
1/4 open	schuif 1.4 m open extra verliescoef. : 0.35

Tabel 4.1 : Verliescoëfficiënten Haringvlietsluis

Een vergelijkbaar experiment is uitgevoerd met de implementatie in TRISULA in (Van Kester et al., 1996). We hebben dit experiment herhaald om enerzijds de implementatie van de 3D barriërformulering te testen voor een simpele geometrie, anderzijds om een vergelijking te kunnen maken met de resultaten in (Van Kester et al., 1996). We merken op dat er wel verschillen zijn tussen de experimenten. In (Van Kester et al., 1996) is voorgeschreven welke lagen open en dicht staan (zie Tabel 5.1 in dat rapport). In ons experiment wordt echter de hefhoogte voorgeschreven en berekent het programma welke lagen hiermee corresponderen. In de TRIWAQ aanpak kan het aantal open lagen dus variëren.

Uit de waterstandsverhagen in de simulaties is als volgt de afvoercoëfficiënt  $\mu$  bepaald (Van Rijn, 1990):

$$u = \mu \sqrt{(2g |\zeta_1 - \zeta_3|)} \quad (4.2)$$

met  $u$  de gemiddelde snelheid in de sluisopening,  $\zeta_1$  de waterstand bij de ene rand,  $\zeta_3$  de waterstand bij de andere rand. In de experimenten is geconstateerd dat de waterstanden vóór en ná de barriër min of meer constant zijn, zie ook bijv. Fig. 4.1.1. Derhalve heeft de positie waarvan de waterstanden gebruikt worden niet veel invloed op de grootte van de afvoercoëfficiënt in (4.2).

Tabel 4.2 bevat de resultaten voor de hoge afvoerdebit en Tabel 4.3 voor de lage afvoerdebit. De volgende notatie is toegepast in de tabellen:

eerste letter:

f = 50 m rooster (fijn)

g = 250 m rooster (grof)

tweede letter:

h = homogeen

i = met zout

derde letter:

0 = open

1 = 3/4 open

2 = 1/2 open

3 = 1/4 open

code	situatie	energie verlies coëfficiënt	afvoer coëfficiënt $\mu$
fh0	open	0.	0.88
fh1	3/4 open	0.1	0.81
fh2	1/2 open	0.35	0.76
fh3	1/4 open	0.35	0.70
fi0	open	0.	0.94
fi1	3/4 open	0.1	0.85
fi2	1/2	0.35	0.76
fi3	1/4	0.35	0.70
gh0	open	0.	0.76
gh1	3/4 open	0.	0.76
gh2	1/2 open	0.	0.67
gh3	1/4 open	0.	0.56
gi0	open	0.	0.83
gi1	3/4 open	0.	0.77
gi2	1/2 open	0.	0.67
gi3	1/4 open	0.	0.56

Tabel 4.2. Overzicht 2DV simulaties hoge rivierafvoer

Uit Tabel 4.2 blijkt dat de afvoercoëfficiënten goed overeenkomen met de resultaten in Tabel 5.2 in (Van Kester et al., 1996). In dat rapport wordt beschreven dat er achter de barriër een straal langs de bodem ontstaat, die fysisch niet erg realistisch lijkt. In ons experiment is er geen straalvorming vanwege de gewijzigde afhandeling van de advectieve termen rondom de barriër, zie paragraaf 3.2. In Fig. 4.1.2 zijn voor de inhomogene experimenten verticale profielen van snelheden rondom de barriër weergegeven.

Ter illustratie zijn in Fig. 4.1.3 en 4.1.4 verticale snelheidsprofielen weergegeven voor de andere twee barriërmodellerings (drempel d.m.v. schotjes of uniform verhoogde ruwheid) en voor de oorspronkelijke implementatie van de advection (zie Fig. 4.1.5). In Fig. 4.1.5 blijkt duidelijk dat er zonder de gewijzigde advectione discretisatie straalvorming optreedt bij de bodem.

Fig. 4.1.1 bevat waterstandlijnen voor de inhomogene experimenten. Evenals in (Van Kester et al., 1996), is de waterstand voor en achter de barriër zo goed als constant. Het waterstandsverhang wijkt wel enigszins af in vergelijking met de resultaten in Fig. 5.4.2 uit (Van Kester et al., 1996). Dit wordt veroorzaakt door het feit dat het aantal open lagen verschillend is. Voor bijvoorbeeld de 1/4 open situatie, is in (Van Kester et al., 1996) het aantal open lagen altijd vijf. In onze experimenten blijkt dat slechts drie lagen open staan (een laagdikte is ongeveer 0.5 m). De afvoercoëfficiënten zijn vergelijkbaar. Vanwege de geringere opening in TRIWAQ zijn de snelheden ter plaatse van de barriër hoger en dientengevolge ook het waterstandsverhang (ongeveer 9 vs. 7 m).

code	situatie	energie verlies coëfficiënt	afvoer coëfficiënt $\mu$
fh0	open	0.	0.92
fh1	3/4 open	0.1	0.78
fh2	1/2 open	0.35	0.75
fh3	1/4 open	0.35	0.70
fi0	open	0.	niet stationair
fi1	3/4 open	0.1	0.98
fi2	1/2	0.35	0.76
fi3	1/4	0.35	0.71
gh0	open	0.	0.74
gh1	3/4 open	0.	0.74
gh2	1/2 open	0.	0.65
gh3	1/4 open	0.	0.49
gi0	open	0.	niet stationair
gi1	3/4 open	0.	0.76
gi2	1/2 open	0.	0.70
gi3	1/4 open	0.	0.50

Tabel 4.3. Overzicht 2DV simulaties met lage rivierafvoer

De afvoercoëfficiënten voor het grove model hebben ook een grote overeenkomst met die in Tabel 5.4 in (Van Kester et al., 1996). Op het grove rooster is het energieverlies bij de barriër al dermate groot dat een extra verliescoëfficiënt niet gewenst is.

Voor de inhomogene simulatie met een volledig geopende barriër is de interne wrijving gering vanwege de verticale gelaagdheid. Ook verstoringen in de tijd dempen daarom langzaam uit. In dit geval is de numerieke oplossing nog niet stationair na 1200 min.

Op grond van de resultaten van deze 2DV simulaties kan geconcludeerd worden dat goede afvoercoëfficiënten berekend worden met TRIWAQ. Dit geldt zowel voor homogene als inhomogene situaties. Dichtheidsverschillen zijn slechts van ondergeschikt belang. De afvoercoëfficiënten bij inhomogene simulaties zijn in het algemeen een fractie hoger dan in vergelijkbare homogene simulaties.

De berekende afvoercoëfficiënten en stroombeelden zijn vergelijkbaar met die in (Van Kester et al., 1996).

## 4.2 Visintrekproef

Omdat er weinig meetgegevens beschikbaar waren met betrekking tot de verspreiding van het zoute water bij de Haringvlietsluizen, is in het voorjaar van 1994 de "Praktijkproef Visintrek" uitgevoerd. Hierover is gerapporteerd in (Bol, 1995). Deze meetcampagne had twee doelen:

- a) Onderzoek naar de intrek van vis via de bij vloed geopende schuiven.
- b) Metingen uitvoeren naar de zoutindringing bij geopende sluisen.

De Praktijkproef Visintrek bestond uit een aantal metingen. In dit rapport zullen we de tweede proefneming (controlemeting A2) simuleren. De controlemeting A2 is op 10 maart uitgevoerd. In eerste instantie zijn op die dag de schuiven 11 en 12 met een hefhoogte van 2 m opengezet. In verband met de te hoge stroomsnelheden bij de meetopstellingen is de totale opening na één uur verdeeld over de vier schuiven 10 t/m 13, met ieder een hefhoogte van 1 m. Bij de kentering van eb naar vloed, om 10 maart 12.10 uur, zijn de schuiven opengezet. Tot aan het einde van de vloedperiode, te weten tot 16.40 uur, hebben de schuiven opengestaan.

In het numerieke experiment hebben we van 12.10 uur tot 16.40 uur de vier schuiven met één meter opengezet. De simulatieperiode is 2 dagen en het starttijdstip is 9 maart 00:00 uur. Er is dus een "inspeelperiode" van ongeveer 36 uur, voordat de schuiven worden opengezet.

In dit experiment is gebruik gemaakt van het MOHA (MOnding HAringvliet) rooster dat ook al in andere projecten gebruikt is, zie bijv. (Stelling et al., 1994). Voor dit rooster vallen elk van de 17 Haringvlietsluizen samen met één roostercel. Ter plaatse van de sluisen zijn de vakbreedtes (evenwijdig aan het sluisencomplex) ongeveer 57 m en de vaklengtes (loodrecht op het complex) ongeveer 47 m. Het gemodelleerde gebied strekt zich uit tot drie kilometer aan weerszijden van de sluisen. Nabij de modelranden zijn de vaklengtes ongeveer 200 m en variëren de vakken in de dwarsrichting van 50 tot 90 m. Het aantal roosterpunten



in het horizontale vlak bedraagt  $49 \times 53$ . De roostercoördinaten van het sluisencomplex zijn in Tabel 4.4 weergegeven.

rooster	positie sluizen in dieptepunten
FIJN	M=24, N=17-34 M=25, N=17-34

Tabel 4.4. Roostercoördinaten van de sluizen

Op de zeerand en op de rivierand worden waterstanden opgedrukt. Data voor de waterstanden is aangeleverd door Rijkswaterstaat/RIZA in de vorm van tijdreeksen (uit DONAR database). In Fig. 4.2.2 zijn de waterstandsranden voor 10 maart 1994 weergegeven. Bij gebrek aan randvoorwaarden voor het zout, zijn stationaire zoutconcentraties opgelegd, te weten 0.2 ppt bij de rivierand en 18 ppt bij de zeerand. De overige karakteristieken van de Visintrek simulatie zijn:

- 10 equidistante lagen
- droogvalprocedure 'MEAN'
- Manning coëfficiënt 0.026
- tijdstap van 0.5 min
- coëfficiënt voor zwak reflecterende randvoorwaarde bij zeerand:  $\alpha = 50$
- coëfficiënt voor zwak reflecterende randvoorwaarde bij rivierand:  $\alpha = 50$

Fig. 4.2.1 bevat de meetlocaties van de Praktijkproef Visintrek. Dit figuur is overgenomen uit (Bol, 1995).

In dit experiment zijn de barriërschuiven door middel van verticale schotjes gemodelleerd. De drempels zijn gemodelleerd door lokaal de diepte te wijzigen. Er is dus geen uniform verhoogde ruwheid toegepast. Deze laatste aanpak is niet noodzakelijk, omdat de gekozen aanpak al tot goede resultaten leidt.

De figuren 4.2.3 t/m 4.2.10 bevatten tijdreeksen van waterstanden, snelheden en saliniteiten voor de meetstations mtp 1-1, mtp 1-2, mtp 2-4, mtp 2-7, mtp 2-11, DWIP-1, mtp 4-2 en mtp 4-6. Deze stations liggen verspreid over het gehele gebied, zie Fig. 4.2.1. Om 12:10 uur worden de vier schuiven met 1 m opengezet. In de figuren 4.2.11 t/m 4.2.22 zijn vectorplots weergegeven voor een aantal tijdstippen. Om 12:10 uur zijn in laag 10 op de barriër vier vectoren zichtbaar, die overeenkomen met de vier geopende schuiven. Op bijvoorbeeld de tijdstippen 14:10 uur (fig. 4.2.16) en 16:10 uur (fig. 4.2.19) is te zien dat er een goede zijwaartse afstroming is. Er is nauwelijks neervorming, wat verklaard kan worden door het feit dat de barotrope drukterm een grotere invloed heeft dan de advectione termen. In de implementatie zonder de wijziging voor de advectione (zie paragraaf 3.2) treedt wel neervorming op en ontstaan er na enige tijd onrealistisch hoge stroomsnelheden. Ter illustratie zijn een aantal figuren (4.2.27 t/m 4.2.30) toegevoegd, die verkregen zijn met een code waarin de implementatie van de advectione termen niet gewijzigd was (zie paragraaf 3.2).

Ten gevolge van een goede zijwaartse afstroming vindt het zouttransport zowel in de lengterichting als in de dwarsrichting plaats. Dit is in overeenstemming met de metingen, zie bijvoorbeeld Fig. 3.5.17.2 in (Bol, 1995). Daarentegen is er wel verschil tussen de metingen en de numerieke resultaten voor wat betreft de zoutconcentraties. In de figuren 4.2.23 t/m 4.2.26 zijn enige verticale profielen van het zout voor zowel de metingen als de numerieke resultaten weergegeven. Bijvoorbeeld op tijdstip 12:57 uur, één uur na opening van de schuiven, is het verschil al duidelijk tussen de gemeten en de berekende zoutconcentraties, wat mogelijk veroorzaakt wordt door de initiële waarden voor de zoutconcentratie. Het is bekend dat de beginvoorwaarden voor de zoutconcentraties van grote invloed zijn. Andere randvoorwaarden voor het zout of een langere inspeelperiode kunnen mogelijk ook tot betere resultaten aanleiding geven.

In de figuren met de tijdreeksen treden kleine oscillaties op in de waterstanden voor de meetstations bij de barriër. Bij de open randen treden dergelijke oscillaties niet op. Het verhogen van de zogeheten achtergrondviscositeit leidt niet tot een vermindering van de oscillaties. In dit experiment is er een achtergrondviscositeit van  $10^{-4}$  (i.p.v. de default waarde  $10^{-6}$ ) toegepast. Hiermee wordt voorkomen dat er een ontkoppeling tussen lagen kan ontstaan vanwege een te geringe verticale viscositeit. Een dergelijke achtergrondviscositeit heeft waarschijnlijk nauwelijks enige invloed op de resultaten, omdat er een behoorlijke stroming optreedt.

De simulatie vergt ongeveer 9 uur rekentijd op een HP 9000/735.

In bovenstaand experiment zijn de drempels gemodelleerd door lokaal de diepte te wijzigen. Ter illustratie zijn ook enige figuren toegevoegd voor een modellering van de drempel d.m.v. schotjes (Fig. 4.2.31 t/m 4.2.34) en voor een uniform verhoogde ruwheid (Fig. 4.2.35 t/m 4.2.38). De resultaten hebben een grote gelijkenis met die voor een modellering via de dieptefile, zie figuren 4.2.16, 4.2.18, 4.2.19 en 4.2.22. Op basis van de resultaten kan derhalve voor de Praktijkproef Visintrek geen voorkeur voor één van de modelleringen worden aangegeven.

### 4.3 Simulatie met een verfijnd RIJMAMO model

De barriërimplementatie is ook getest voor een RIJMAMO model. In het verleden zijn experimenten uitgevoerd met een RIJMAMO model waarvoor de roosterafstanden rondom het Haringvlietsluizencomplex ongeveer 250 m bedragen, zie bijvoorbeeld (Van der Kaaij, 1995). Het sluisencomplex valt dan samen met vijf roostercellen, zie Fig. 5.1.3 in (Van Kester et al., 1996).

Ten behoeve van de MER Haringvlietsluizen en de verificatie van de 3D sluisformuleringen met metingen, is door Rijkswaterstaat/RIKZ het RIJMAMO model rondom de barriër verfijnd tot een maaswijdte van ongeveer 50 m (zie Fig. 4.3.1). Dit model zullen we het *verfijnde RIJMAMO model* noemen. Dit model heeft 469 bij 243 roosterpunten in de horizontale richting. In de verticale richting zijn 8 equidistante lagen toegepast. De simulatieperiode is drie dagen en het begintijdstip is 20 oktober 1970 om 00:00 uur.

In vier stations zijn metingen verricht voor de verticale profielen van de snelheden en van de zoutconcentraties. De vier stations zijn Tiengemeten, Dirksland, Hellevoetsluis en het Spui. Er dient opgemerkt te worden dat de stations op een behoorlijke afstand van de Haringvlietsluizen liggen.

In dit experiment is het sluisencomplex gedurende de eerste dag volledig gesloten en gedurende de overige twee dagen volledig geopend. In de praktijk waren de Haringvliet-sluisen op 19 en 20 oktober 1970 gesloten vanwege hevige stormen. Er is geen extra verliescoëfficiënt toegepast in geval van de volledig open barriër. We merken op dat we in de vorige experimenten ook geen extra verliescoëfficiënt hebben toegepast voor een volledig geopende situatie.

Dit experiment vereist ongeveer 300 MB intern geheugen van de computer. De rekentijd op een HP 9000/755 werkstation is ongeveer 10 dagen.

De Figuren 4.3.2 t/m 4.3.5 bevatten tijdreeksen van waterstanden voor zowel de metingen als de berekeningen. Niet alleen in de nabijheid van de barriër, maar ook bij Hoek van Holland zijn verschillen zichtbaar tussen de metingen en de berekeningen. Deze verschillen treden zowel op in de amplitude als in de fase van de waterstanden. Voor de getijmeetpalen C en D, die aan weerszijden van de barriër liggen, zijn de waterstanden apart weergegeven in de Figuren 4.3.3 en 4.3.5. In de numerieke resultaten is er nauwelijks een waterstandverschil tussen deze twee stations aanwezig, terwijl die wel gemeten is (zie Fig. 4.3.5). Fig. 4.3.6 bevat het snelheidsveld voor laag 1 op 22 oktober 1970 om 12:00 uur.

Waren de verschillen in waterstanden tussen de meting en de berekening nog enigszins acceptabel, de verschillen tussen de meting en de berekening voor de snelheden en de saliniteit zijn echter aanzienlijk. Voor bijvoorbeeld station Tiengemeten kan geconstateerd worden dat alleen de richting van de snelheden in orde is en dat de absolute grootte van de snelheden zeer verschillend is. In de metingen is het zout bij Tiengemeten volledig opgemengd, terwijl in de berekeningen een gelaagdheid wordt waargenomen. Voor de andere stations is het min of meer andersom. Vanwege hoge snelheden bij de barriër is het zout in de berekeningen min of meer volledig opgemengd in de nabijheid van de Haringvlietsluizen, terwijl in de metingen met enige regelmaat stratificatie optreedt.

Deze grote verschillen tussen de berekening en de meting kunnen tal van oorzaken hebben. Zo kan de vraag gesteld worden of de bodemschematisatie die in dit experiment gebruikt is, overeen komt met de situatie in 1970. Verder is dit een moeilijke simulatie, omdat enkele dagen voor 22 oktober 1970 een hevige storm woedde en de Haringvlietsluizen gesloten waren. Dit kan grote gevolgen hebben voor de zoutconcentraties rondom de sluisen. Ook een meer nauwkeurige initiële zoutverdeling of een langere inspeelperiode kan mogelijk tot betere resultaten leiden. Dit verfijnde RIJMAMO model brengt echter de moeilijkheid met zich mee dat één simulatie van drie dagen ongeveer tien dagen rekentijd vergt. Op grond van die ene simulatie, die we hebben uitgevoerd, is het moeilijk conclusies te trekken.

We merken op dat dit experiment is uitgevoerd met de code waarin de implementatie van de advectieve termen nog niet gewijzigd was (zie paragraaf 3.2). Vanwege de zeer lange doorlooptijd (minimaal 10 dagen) is dit experiment niet herhaald met de definitieve code. Met de definitieve code kan mogelijk wel stratificatie bij de barriër bereikt worden. Om tot betere resultaten te komen is echter ook onderzoek naar andere aspecten vereist. Zo zou

bijvoorbeeld de invloed van de bodemschematisatie, de lengte van de inspeelperiode en de invloed van de initiële zoutconcentraties onderzocht kunnen worden. Aangezien in de praktijk vaak een aantal simulaties uitgevoerd dienen te worden, voordat de resultaten voldoende nauwkeurig zijn om gerapporteerd te worden, verdient het de aanbeveling in eerste instantie met een kleiner detailmodel de meting van 22 oktober 1970 te simuleren.

## 5 Conclusies

In opdracht van Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ is door het Waterloopkundig Laboratorium een 3D barriërformulering geïmplementeerd in TRIWAQ. Er zijn veel numerieke technieken getest om voor realistische toepassingen acceptabele numerieke resultaten te realiseren. Met name de overgang van 2DV naar 3D modellen heeft de nodige complicaties opgeleverd. Zo bleek in 3D de keuze van de implementatie van de advectieve termen bij de barriër zeer belangrijk te zijn.

De geïmplementeerde 3D barriërformulering is generiek en biedt de mogelijkheid een extra verliesterm per laag te specificeren door middel van een kwadratische wrijvingsterm, die door calibratie bepaald moet worden aan de hand van metingen. De schuiven zijn zodanig gemodelleerd met behulp van grote wrijvingscoëfficiënten, dat de stroming nagenoeg nul wordt. Het voorschrijven van grote wrijvingscoëfficiënten kan beschouwd worden als het plaatsen van verticale schotjes. De drempel van de barriër kan zowel door middel van schotjes (c.q. grote wrijvingscoëfficiënten) als door het aanpassen van de dieptegegevens gemodelleerd worden. Als alternatief voor deze twee modelleringen kan een uniform verhoogde ruwheid voorgeschreven worden door de gebruiker. In dat geval worden eventuele schotjes, die door de gebruiker zijn opgegeven via hef- en drempelhoogtes, genegeerd en wordt de extra verliescoëfficiënt met een door het programma berekende factor geschaald.

De 3D barriërimplementatie dient bij een gegeven waterstandsverhang een correct debiet te genereren bij de barriër, wat gecontroleerd kan worden met behulp van de zogeheten Q-H relatie. Met de extra wrijvingsterm kan het energieverlies verder afgeregeld worden. Tevens dient de implementatie het effect van een barriër zodanig in rekening te brengen dat de verticale snelheids- en zoutprofielen op enige afstand van de barriër goed gerepresenteerd worden.

Voor een aantal experimenten is de werking van de 3D barriërimplementatie onderzocht. In eerste instantie zijn 2DV testproblemen uitgevoerd. Voor verschillende afvoerdebieten, voor al dan niet gedeeltelijk geopende barrières en voor zowel homogene als inhomogene situaties zijn berekeningen uitgevoerd. De berekende afvoercoëfficiënten blijken overeenkomstig te zijn met de waarden in (Van Kester et al., 1996). Bovendien varieert de afvoercoëfficiënt niet al te sterk voor de verschillende situaties. De 3D barriërimplementatie levert realistische stroombeelden rondom de barriër.

Voor de Praktijkproef Visintrek zijn de numerieke resultaten bevredigend. De uiteindelijk in TRIWAQ geïmplementeerde 3D barriërformulering levert realistische stroomsnelheden bij de Haringvlietsluizen. Tevens is er een realistische zoutverspreiding in het Haringvliet. Er is zowel zoutverspreiding in de lengte- als in de dwarsrichting. Evenals in de metingen, bereikt de zouttong niet het drinkwaterinnamepunt in het Haringvliet.

De drie barriërmodelleringen (te weten drempel via dieptegegevens, drempel d.m.v. schotjes en een uniform verhoogde ruwheid) hebben voor de Praktijkproef Visintrek vergelijkbare resultaten opgeleverd. Op basis van de resultaten kan derhalve voor dit experiment geen voorkeur worden aangegeven.

Voor het tweede praktijkexperiment, te weten een verfijnd RIJMAMO model, is het moeilijk

al enige conclusies te trekken, omdat dit het eerste en enige experiment is dat met dit model is uitgevoerd. Op grond van de resultaten is wel duidelijk dat dit verfijnde 3D RIJMAMO model verbeterd dient te worden. Zo zou bijvoorbeeld de invloed van de bodemschematisatie, de lengte van de inspeelperiode en de invloed van de initiële zoutconcentraties onderzocht kunnen worden. We merken op dat dit een moeilijk experiment is, omdat enkele dagen voor de tijdstippen waarop we de numerieke resultaten met de metingen vergelijken, een hevige storm woedde. Bovendien is in dit project slechts één simulatie uitgevoerd, omdat één simulatie van drie dagen ongeveer 10 dagen rekentijd vergt op een HP 9000/755.

In de experimenten is vastgesteld dat het (tijdsafhankelijke) gedrag van de schuiven goed gerepresenteerd wordt. Voor zover het mogelijk was de Q-H relatie te vergelijken met metingen, bleken de gemeten en berekende afvoercoëfficiënten in overeenstemming te zijn met elkaar. De definitieve waarden van de afvoercoëfficiënten dienen door calibratie bepaald te worden.

## Referenties

- Bol, R., 1995: Een snuffe zout ...! Verslag van de metingen naar zoutindringing via de Haringvlietsluizen in het kader van de Praktijkproef Visintrek. Rijkswaterstaat / RIZA, nota 94.051.
- Kaaij, Th. van der, 1995: Rijmamo-3D; Waterbeweging ten behoeve van integrale analyse Voordelta en Waterweg (INVOWA). Waterloopkundig Laboratorium, Rapport Z673.
- Kester, J.A.Th.M. van, G.S. Stelling, 1996: 3D-numerieke modellering gedeeltelijk geopende Haringvlietsluizen. Sluisformuleringen en testberekeningen voor implementatie in TRIWAQ, KEPS02 fase 1. Waterloopkundig Laboratorium, Rapport Z948.
- Leendertse, J.J., 1994. Comments on draft report 3D numerieke modellering Haringvlietsluizen. Fax, 7 Mei, 1994.
- Rijkswaterstaat, Deltadienst Waterloopkundige afdeling, Bureau Hellevoetsluis. Haringvliet / Spui, tijdens afsluiting Haringvliet, stroom-, zout, sediment- en getijmeting 22 oktober 1970.
- Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging District Zuidwest, 1979. Voorstudeel Afvoerbestemming Haringvlietsluizen. Notanummer 71.001.06.
- Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging District Zuidwest, 1983. Debietmeting Haringvlietsluizen bij geheel geopende schuiven. Notanummer 71.001.32.
- Rijkswaterstaat, Directie Benedenrivieren, Dienst Binnenwateren/RIZA, 1988. PRESENT manual, versie 1.0, gebruikershandleiding plot-programmatuur.
- Rijkswaterstaat / RIKZ, 1994: User's Guide WAQUA, SIMONA rapport 92-10, versie augustus 1994.
- Rijn, L.C. van, 1990. Principles of fluid flow and surface waves in rivers, estuaries, seas and oceans. Aqua publications, Oldemarkt.
- Stelling, G.S. and J.A.Th.M. van Kester, 1996: A non-hydrostatic flow model in Cartesian coordinates. Waterloopkundig Laboratorium, speurwerkverslag, Rapport Z901-10.





## Appendix 1: 3D barriërmodellerings

In deze appendix wordt een overzicht gegeven van de verschillende 3D barriërmodellerings die zijn ingebouwd in TRIWAQ. Tevens worden voor- en nadelen van de modellerings beschouwd.

Een schuif kan slechts op één manier gemodelleerd worden en wel door middel van een zeer grote wrijvingscoëfficiënt (zie paragraaf 3.2). Dit komt overeen met het zetten van verticale schotjes. De drempel van de barriër kan zowel door middel van schotjes als door het aanpassen van de dieptegegevens gemodelleerd worden. Het modelleren van de drempel d.m.v. schotjes, wat leidt tot een vlakke bodem rondom de barriër, heeft als voordeel dat  $\sigma$ -transformatie problemen veel minder een rol spelen. Het nadeel is echter dat lokaal de laagdiktes (= percentage van de waterdiepte) toenemen, waardoor er een resolutieprobleem zou kunnen optreden bij de schuifopening. In de barriërimplementatie kan een laag immers slechts helemaal open of helemaal dichtgezet worden. Hoe groter de laagdiktes, hoe groter de fout in de doorstroomopening.

Als de verstoringen ten gevolge van grote bodemgradiënten (c.q. de hierboven genoemde  $\sigma$ -transformatie problemen) bij de barriër gering zijn, dan kan voor een modellering van de drempel d.m.v. de dieptegegevens gekozen worden. Bij grote bodemgradiënten kan als alternatief een modellering d.m.v. schotjes gekozen worden, mits de doorstroomopening geen problemen oplevert in combinatie met de laagverdeling. Als beide modellerings onverhoopt tot problemen zouden leiden, dan kan als laatste alternatief voor een uniform verhoogde ruwheid gekozen worden. In dat geval worden eventuele schotjes, die door de gebruiker zijn opgegeven via hef- en drempelhoogtes, genegeerd en wordt de extra verliescoëfficiënt met een door het programma berekende factor geschaald. Het toepassen van een uniform verhoogde wrijving, waarbij alle lagen open gezet worden, heeft als voordeel dat de snelheden in de schuifopening laag zijn. Het nadeel is echter dat de Q-H relatie

$$Q = A \mu \sqrt{(2g |\zeta_1 - \zeta_3|)}$$

slechts identiek blijft als de advectione termen verwaarloosbaar zijn. In de experimenten hebben we geconstateerd dat dit voor de Haringvlietsluizen niet het geval is. De gebruiker dient derhalve de extra verliesterm, die van de vorm is

$$\lambda = \frac{1}{2\mu^2}$$

zo te calibreren dat dezelfde Q-H relatie gerealiseerd wordt. Ter illustratie wordt in Appendix 2 voor de inhomogene 2DV simulatie (cf. Tabel 4.2) de afwijking van de Q-H relatie bepaald.

We merken op dat voor de Praktijkproef Visintrek de drie barriërmodellerings (te weten drempel via dieptegegevens, drempel d.m.v. schotjes en een uniform verhoogde ruwheid) vergelijkbare resultaten hebben opgeleverd. Op basis van de resultaten kan derhalve voor dit experiment geen voorkeur worden aangegeven.

Voor wat betreft de grootte van de extra verliesterm, is in de experimenten gepoogd de energieverliescoëfficiënt zodanig af te regelen dat er een afvoercoëfficiënt van 0.78 ontstaat. Deze keuze is gemaakt bij gebrek aan andere metingen, bijvoorbeeld voor de vloedsituatie. Een waarde van 0.78 is gemeten bij hoge rivierafvoer voor volledig geheven schuiven (Rijkswaterstaat, 1979). Ook bij de Visintrek proef is de afvoercoëfficiënt niet experimenteel bepaald.

## Appendix 2: Effect van een uniform verhoogde ruwheid op de Q-H relatie

In deze bijlage worden voor een modellering met een uniform verhoogde ruwheid de afvoercoëfficiënt weergegeven voor de inhomogene 2DV simulatie met hoge rivierafvoer (cf. Tabel 4.2). Tevens wordt er een vergelijking gemaakt met de afvoercoëfficiënten in Tabel 4.2. Daarmee wordt een indruk verkregen van de afwijkingen in de Q-H relatie ten gevolge van een uniform verhoogde ruwheid.

Tabel A.1 bevat resultaten die overgenomen zijn uit Tabel 4.2 van het bovengenoemde rapport:

Tabel A.1	situatie	energie verlies coëfficiënt	doorstroomoppervlak A	afvoer coëfficiënt $\mu$
fi1	3/4 open	0.1	4.2	0.85
fi2	1/2	0.35	2.8	0.76
fi3	1/4	0.35	1.4	0.70

We merken op dat we de geheel geopende situatie (run fi0) hebben weggelaten. Bij een uniform verhoogde ruwheid veranderen de resultaten immers niet, omdat het doorstroomoppervlak gelijk blijft.

Een uniform verhoogde ruwheid leidt tot de volgende resultaten:

Tabel A.2	situatie	energie verlies coëfficiënt	doorstroomoppervlak A	afvoercoëfficiënt $\mu$	formule (A.2.1)
fi1	3/4 open	0.2	5.8	0.60	0.61
fi2	1/2	1.62	6.1	0.42	0.35
fi3	1/4	12.0	7.5	0.19	0.14

De energieverliescoëfficiënten worden berekend door het programma en zijn overeenkomstig formule (3.3). De bijbehorende afvoercoëfficiënt zou gelijk moeten zijn aan

$$\frac{A \text{ uit Tabel 1}}{A \text{ uit Tabel 2}} * \mu \text{ uit Tabel 1} \quad (\text{A.2.1})$$

In Tabel A.2 hebben we de waarde van formule (A.2.1) voor de drie verschillende situaties weergegeven. Bij dit experiment blijken de afwijkingen acceptabel te zijn, zeker als rekening gehouden wordt met onnauwkeurigheden in bijvoorbeeld de doorstroomoppervlakken. Hoewel de advectieve termen niet verwaarloosbaar zijn, blijken de hierdoor veroorzaakte afwijkingen in de Q-H relaties dus mee te vallen voor dit experiment.

## Appendix 3: uitbreiding WAQUA User's Guide

Appendix 2 bevat de uitgebreide paragraaf 2.7.2.6 van de WAQUA User's Guide, die de 3D barriërformulering bevat.

### BARRIERS (optional)

In this subsection the barrier characteristics are given. Barrier characteristics are defined in TIMESERIES format (refer to 2.1.3) for every barrier as defined in MESH. Subsections are

BARRIERS  
SILL\_DEPTH  
GATE\_HEIGHT  
BARRIER\_WIDTH  
PROFILE\_ENERGYLOSS  
ENERGYLOSS

Global layout:

```

BARRIERS
  < B[iseg] : SILL_DEPTH :
    INITIAL[val] SERIES=[text]
    |
    | FRAME=[val1] [val2] [val3]
    | VALUES= < [val] > (i.c. text='regular')
  <
    | < TIME_AND_VALUES=[tval] [val] >
    | (i.c. text='irregular')
    GATE_HEIGHT
      (TIMESERIES like under SILL_DEPTH)
    BARRIER_WIDTH
      (TIMESERIES like under SILL_DEPTH)
    PROFILE_ENERGYLOSS
      (flag for vertically uniform energy loss coefficient)
  >
ENERGYLOSS
  < COEF: BARPT=[ival] GATE_HEIGHT=[val] ENERCO=[val]
  >

```

#### Explanation:

B[iseg]

s Barrier sequence number as defined in MESH, BOUNDARIES, BARRIERS

**SILL\_DEPTH** (mandatory)

The sill depths are given here. For WAQUA the sill depths are positive downwards. For TRIWAQ the sill depth corresponds to the length over which the flow near the bottom is set to zero.

**Explanation:**

INITIAL=[val]

SERIES=[text]

FRAME=[val1] [val2] [val3]

VALUES= &lt; [val] &gt;

TIME\_AND\_VALUES=[tval] [val]

M Initial sill depth (m).

O SERIES can have two possible values namely: 'regular' or 'irregular'. When SERIES = 'regular' key-words FRAME and VALUES are expected. When SERIES = 'irregular' key-word TIME\_AND\_VALUE is expected. When SERIES is not given, a constant value equal to the initial value is taken.

O [val1] is the first time for which a sill depth is given. [val2] is the time interval at which sill depths are given. [val3] is the last time at which a sill depth is given. (These times are given in (elapsed simulation) minutes.)

O The values for sill depths are given for the times as defined at the key-word FRAME (m).

O In this case it is possible to give sill depths (m) at non-equidistant times.

**Remarks:**

- For WAQUA the features of barriers have been described in Section 3.5.1. of this User's Guide. For TRIWAQ the sill depth corresponds to the length over which the flow is set to zero. For example, if a sill depth of 5 m is specified for TRIWAQ, then from the bottom to 5 m upwards the flow is set to zero. The TRIWAQ program computes the layer numbers for which the flow is set to zero. This feature in TRIWAQ is an alternative to locally decreasing the depth values. The advantage of the former approach is that the (sigma) co-ordinate lines are more horizontal, which leads to smaller rounding off errors.

**GATE\_HEIGHT** (mandatory)

The gate heights are given here. Gate heights are positive upwards.

**Explanation:**

INITIAL[val]

SERIES=[text]

FRAME=[val1] [val2] [val3]

M Initial gate height (m).

O See under SILL\_DEPTH.

O [val1] is the first time for which a gate height is given. [val2] is

the time interval at which gate heights are given. *[val3]* is the last time at which a gate height is given. (These times are given in minutes.)

VALUES= < *[val]* >

- o The values for gate heights are given for the times as defined at the key-word FRAME (m).

TIME\_AND\_VALUES=*[tval]* *[val]* >

- o In this case it is possible to give gate heights (m) at non-equidistant times.

#### Remark:

- If a gate height is specified for TRIWAQ, then from the free surface to the position of the gate height the flow is set to zero. The TRIWAQ program computes the layer numbers for which the flow is set to zero. This is similar to the approach for sill depths in TRIWAQ, in which the flow near the bottom is set to zero.

#### BARRIER\_WIDTH (mandatory)

The effective widths for barriers are given here. The effective width is the barrier width divided by the grid size STEPSIZE. BARRIER\_WIDTH is the fraction of the grid space that is open (BARRIER\_WIDTH = 0.0 means entirely closed to flow.)

#### Explanation:

INITIAL*[val]*

- M Initial effective width (dimensionless).

SERIES=*[text]*

- o See under SILL\_DEPTH.

FRAME=*[val1]* *[val2]* *[val3]*

- o *[val1]* is the first time for which an effective width is given. *[val2]* is the time interval at which effective widths are given. *[val3]* is the last time at which an effective width is given. (These times are given in (elapsed simulation) minutes.)

VALUES= < *[val]* >

- o The values for effective widths are given for the times as defined at the key-word FRAME (dimensionless).

TIME\_AND\_VALUES=*[tval]* *[val]* >

- o In this case it is possible to give effective widths (dimensionless) at non-equidistant times.

#### PROFILE\_ENERGYLOSS (optional)

In this subsection flags related to vertically uniform energy loss coefficients are defined. This information is only meaningful for TRIWAQ.

#### Explanation:

UNIFORM

- D If this key-word is specified, a vertically uniform energy loss coefficient is applied.

Default: no vertically uniform energy loss coefficient

**Remarks:**

- If a vertically uniform energy loss coefficient is specified, then this coefficient is computed by TRIWAQ. Depending on the actual gate height, sill depth and the energy loss coefficient specified by the user (see below), a uniform energy loss coefficient is computed. The value specified by the user is multiplied by the square of the ratio of the total water depth to the length of the barrier opening. In this way the so-called Q-H relation remains identical (cf. Section 3.5.1). The gate height and the sill depth are neglected, which means that all layers are open. The computed energy loss coefficient is applied to all layers.

This approach to model barriers in multi-layer situations leads to lower velocities near the barrier, in comparison with the other modelling approaches for barriers. High velocities may lead to unrealistic velocity patterns near the barrier.

ENERGYLOSS (optional)

Energy loss coefficients for barriers are given here. For each barrier, energy loss coefficients may be specified for various gate heights. If coefficients are specified for a given barrier, then the fully open and the closed situation should be specified as well. For example, GATE\_HEIGHT=-999.9 may represent an closed barrier and GATE\_HEIGHT=999.9 an open situation.

**Explanation:**

BARPT=[ival]

GATE\_HEIGHT=[val]

ENERCO=[val]

M Barrier sequence number (dimensionless).

M Gate height for which an energy loss coefficient is specified.

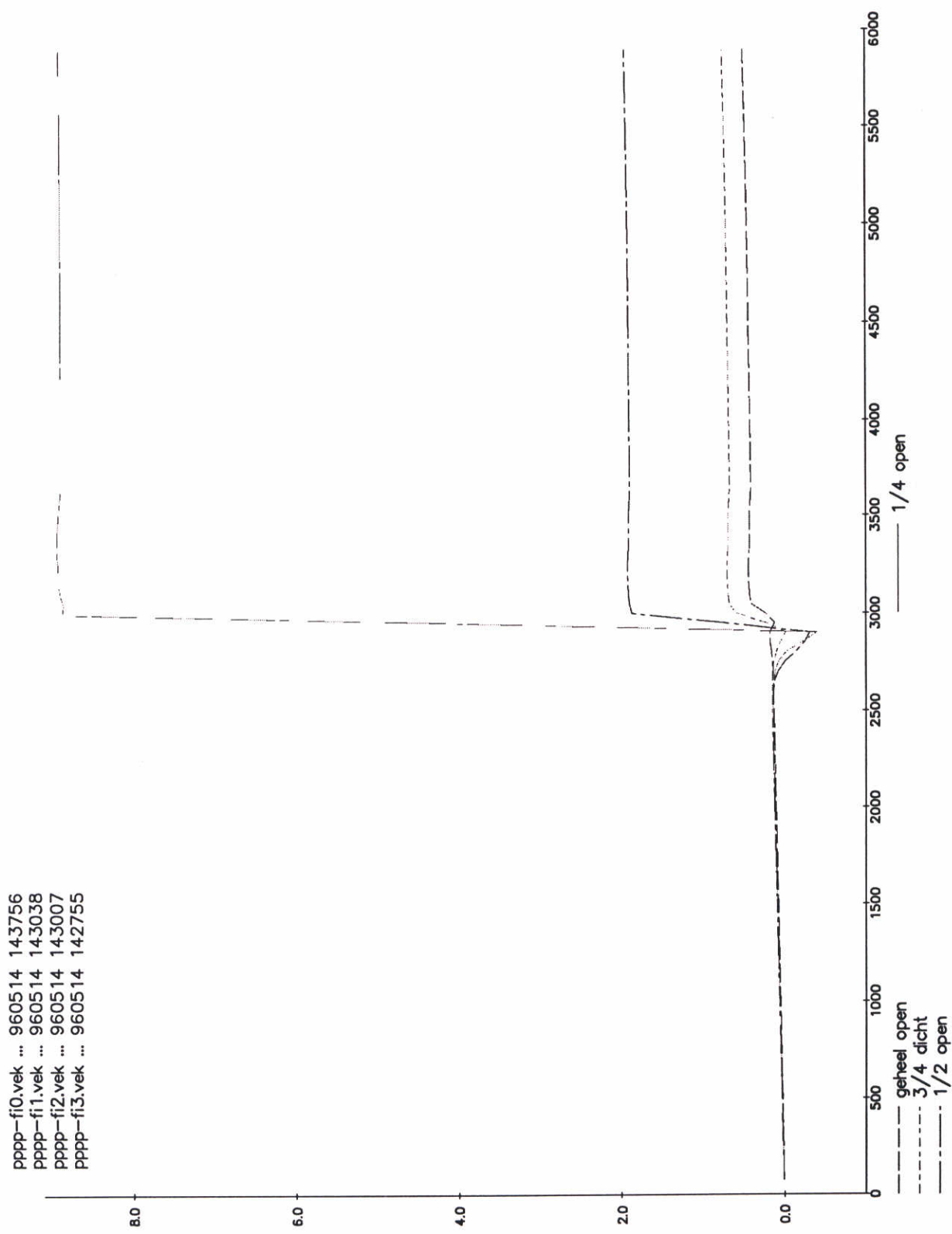
M Energy loss coefficient for given gate height at given barrier sequence number

**Remarks for TRIWAQ:**

- BARRIER\_WIDTH is assumed to be 1.
- In case of a vertically uniform energy loss coefficient this value is increased by TRIWAQ (see Section PROFILE\_ENERGY-LOSS).

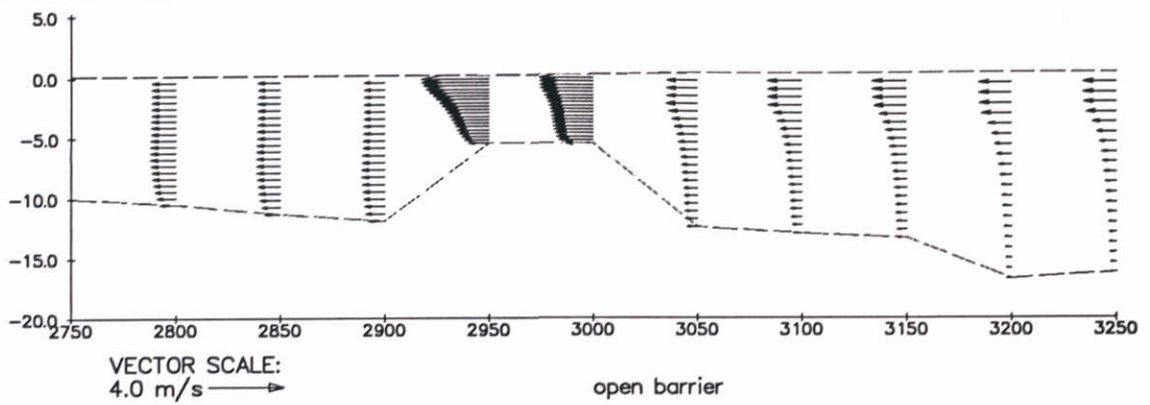




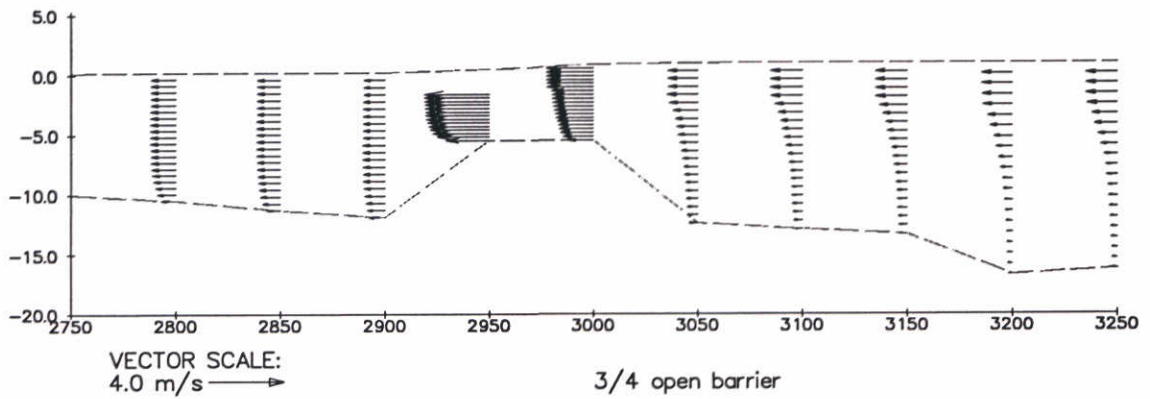


Waterstanden. 2DV-simulatie, 20 lagen  
 Waterstand zeezijde 0.0 m, afvoer 800 m<sup>3</sup>/s.

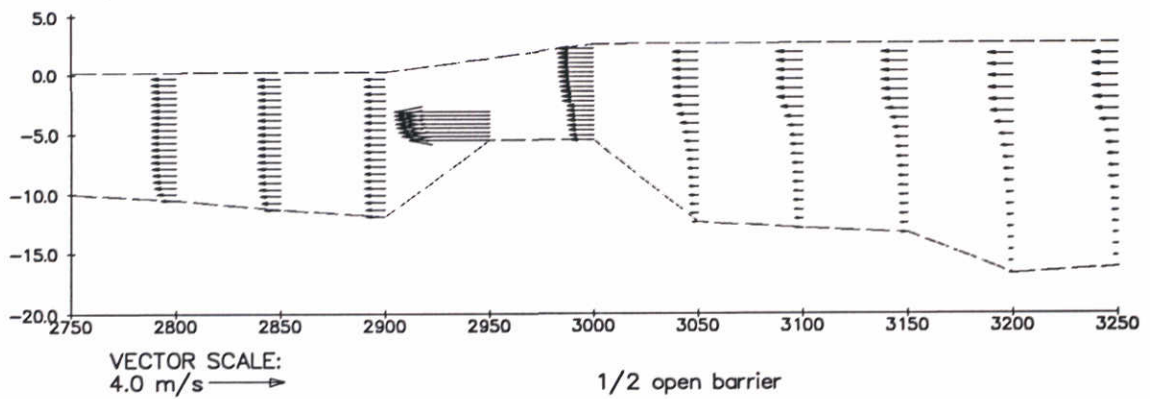
1996-05-14  
 14:48:52



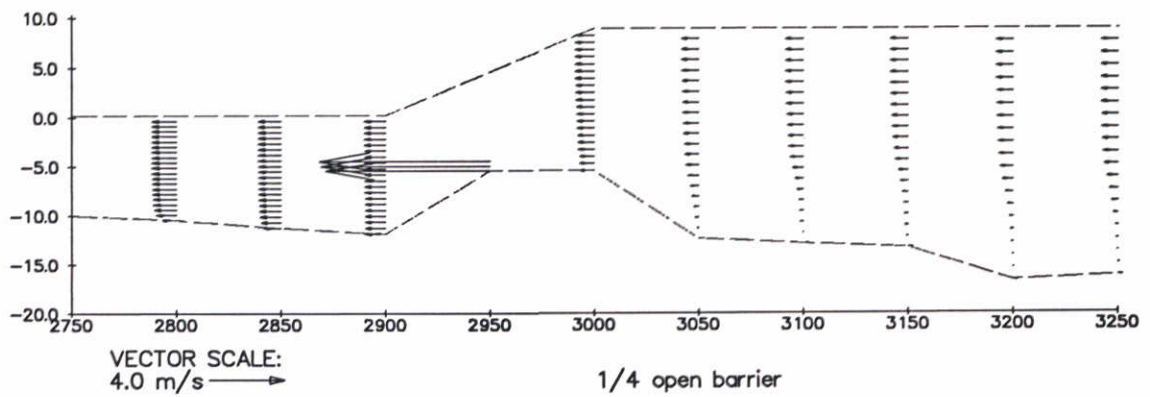
trim-fi1.dat fi1 960514 113731



trim-fi2.dat fi2 960514 113741



trim-fi3.dat fi3 960514 113750

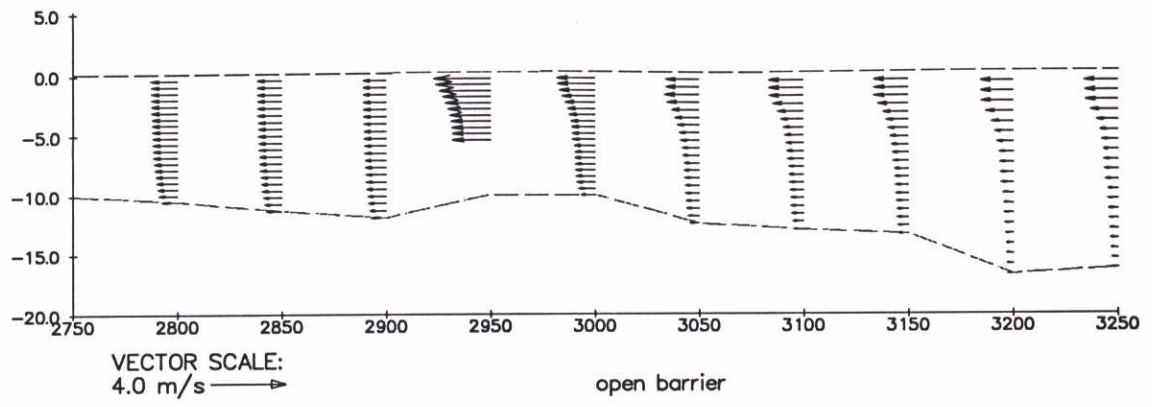


2DV simulation. Fine grid model TRIWAQ  
vector field near barrier; inhomogeneous simulation  
Schuif dmV schotjes; drempel via dieptefile

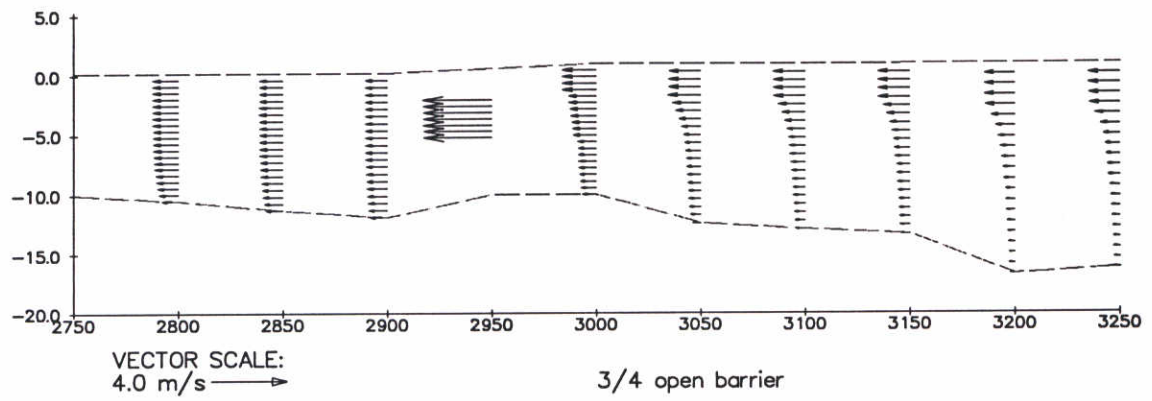
1996-05-14  
11:39:08

DELFT HYDRAULICS

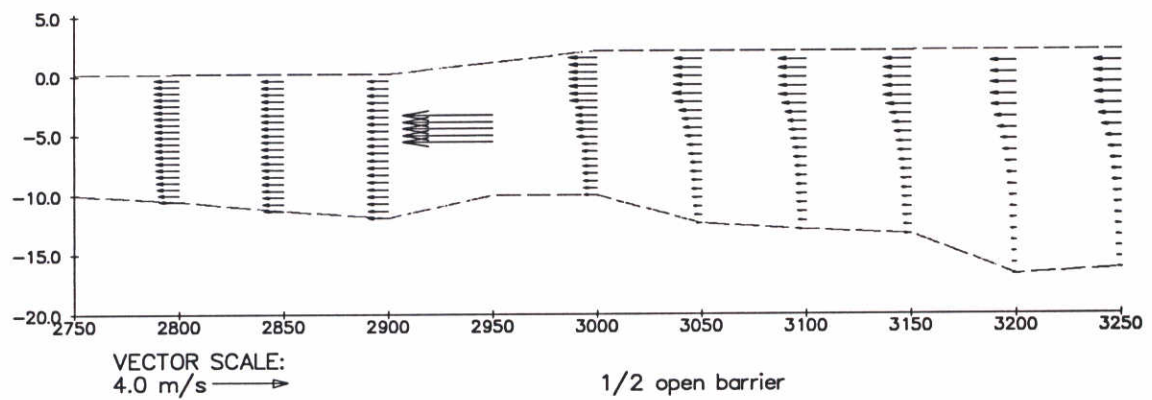
Fig. 4.1.2



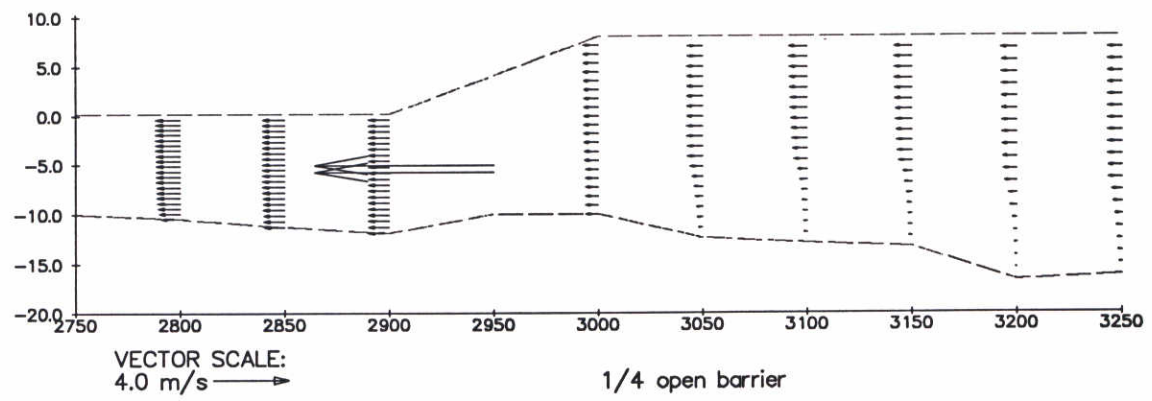
trim-fh1.dat fh1 960514 094120



trim-fh2.dat fh2 960514 094130



trim-fh3.dat fh3 960514 094139

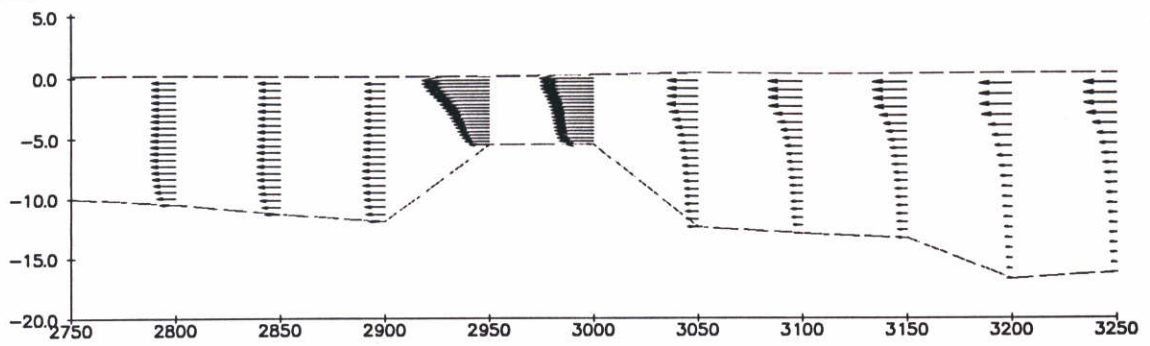


2DV simulation. Fine grid model TRIWAQ  
vector field near barrier; inhomogeneous simulation  
Schuif dmV schotjes; drempel dmV schotjes

1996-05-14  
09:42:30

DELFT HYDRAULICS

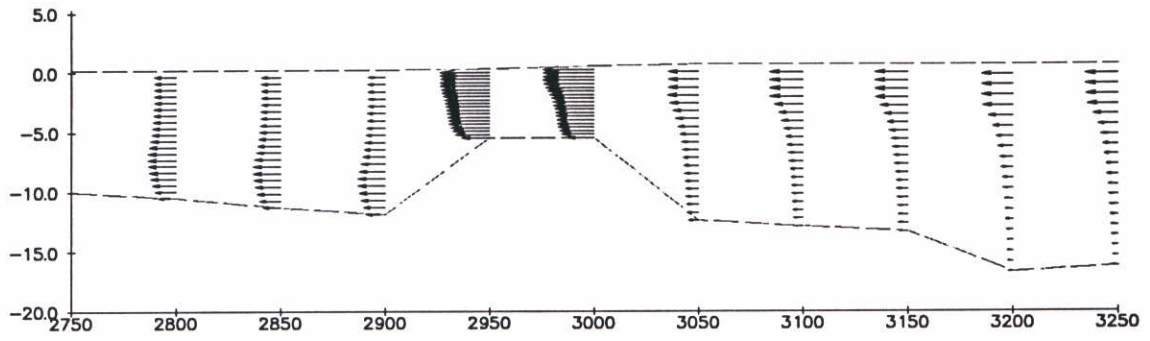
Fig. 4.1.3



VECTOR SCALE:  
4.0 m/s →

open barrier

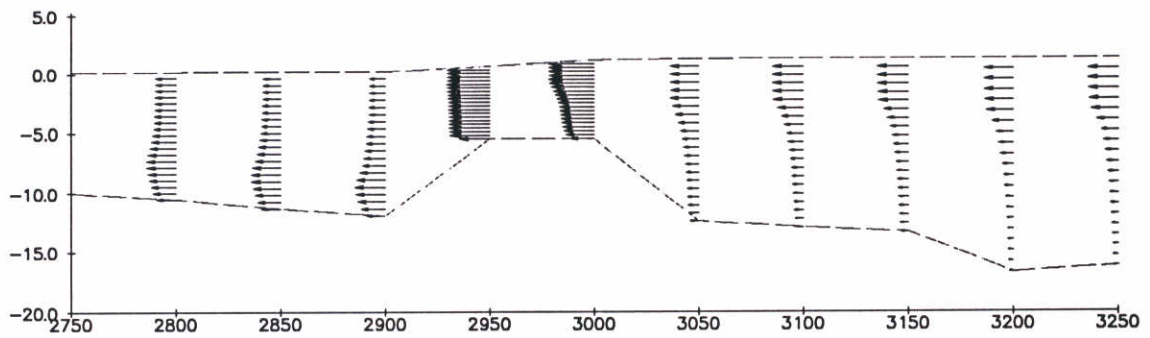
trim-fh1.dat fh1 960514 093336



VECTOR SCALE:  
4.0 m/s →

3/4 open barrier

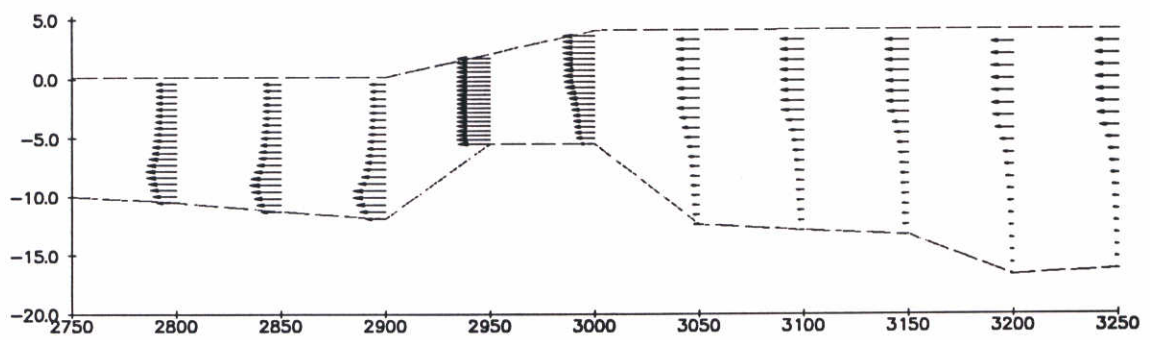
trim-fh2.dat fh2 960514 093348



VECTOR SCALE:  
4.0 m/s →

1/2 open barrier

trim-fh3.dat fh3 960514 093402



VECTOR SCALE:  
4.0 m/s →

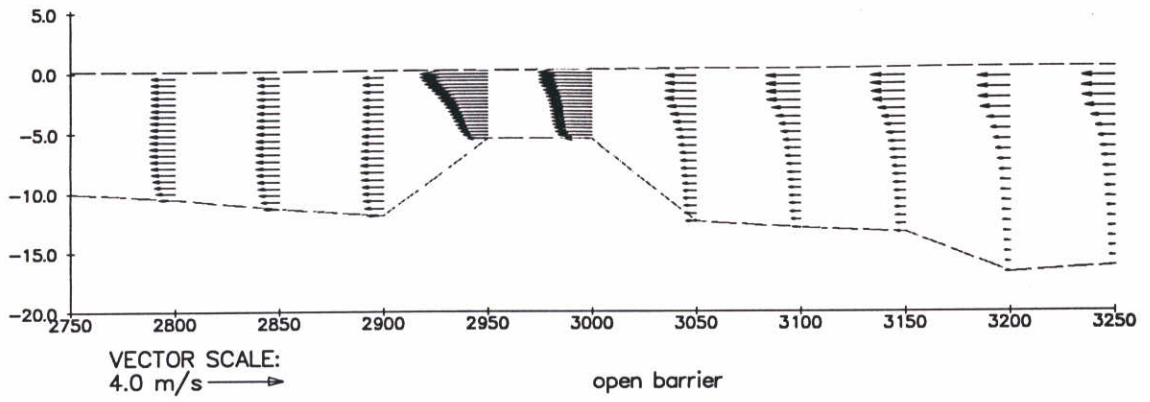
1/4 open barrier

2DV simulation. Fine grid model TRIWAQ  
vector field near barrier; inhomogeneous simulation  
Uniform verhoogde ruwheid; drempel dmv dieptefile

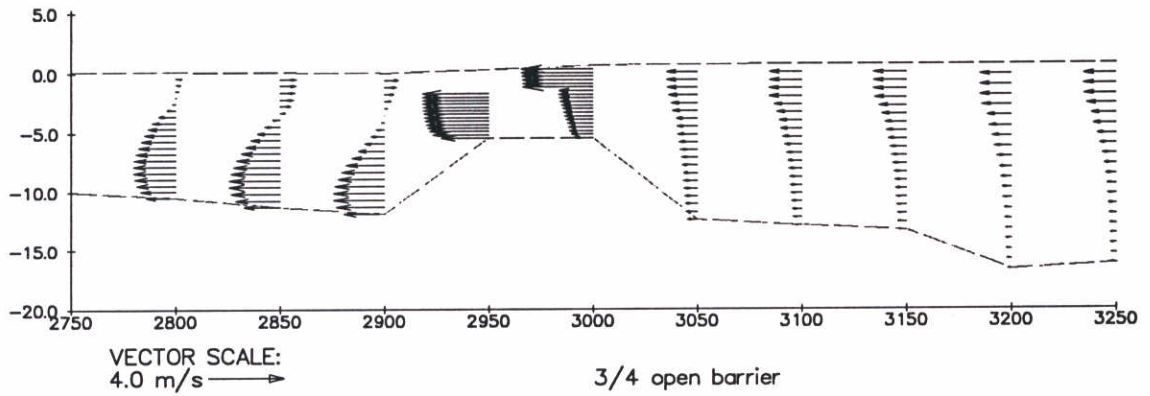
1996-05-14  
09:43:28

DELFT HYDRAULICS

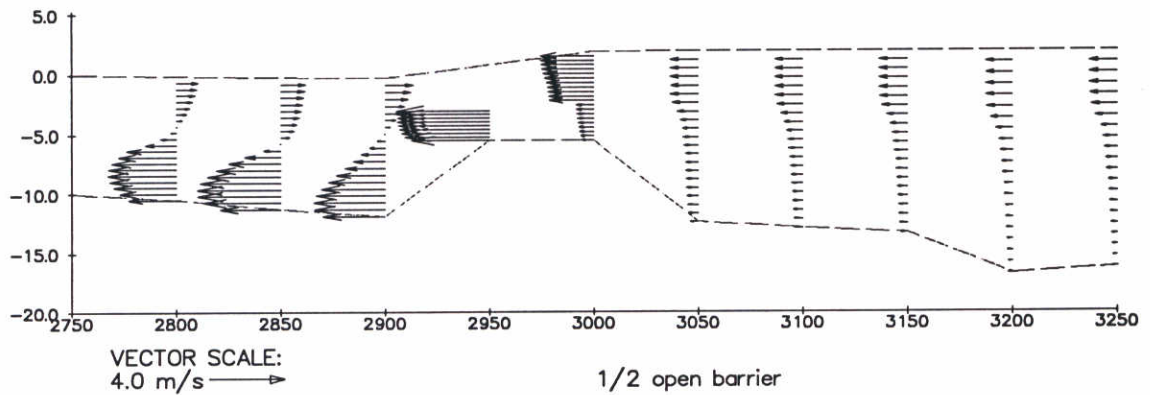
Fig. 4.1.4



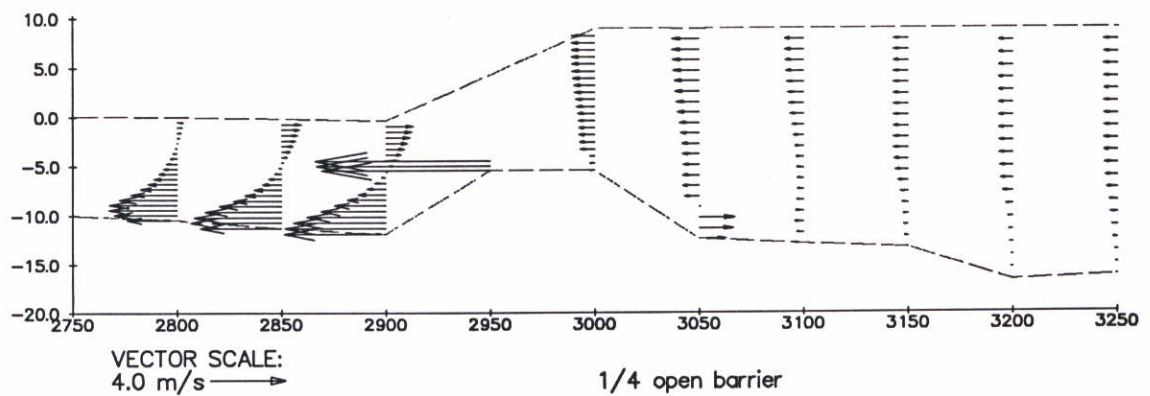
trim-fi1.dat fi1 960514 124346



trim-fi2.dat fi2 960514 124355



trim-fi3.dat fi3 960514 124405

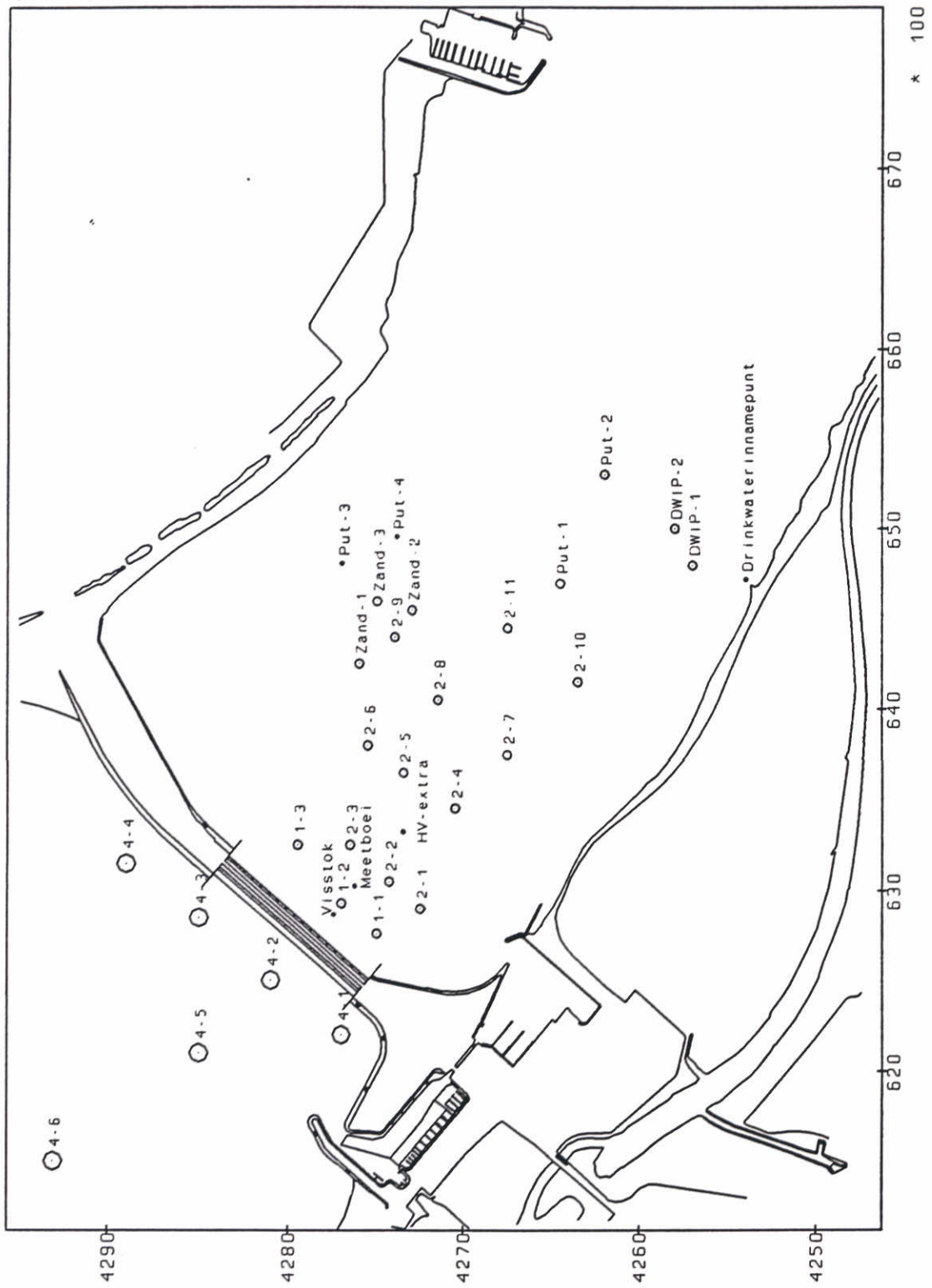


2DV simulation. Fine grid model TRIWAQ  
vector field near barrier; inhomogeneous simulation  
Originele advectie; Schuif dmv schotjes;

1996-05-14  
12:44:22

DELFT HYDRAULICS

Fig. 4.1.5

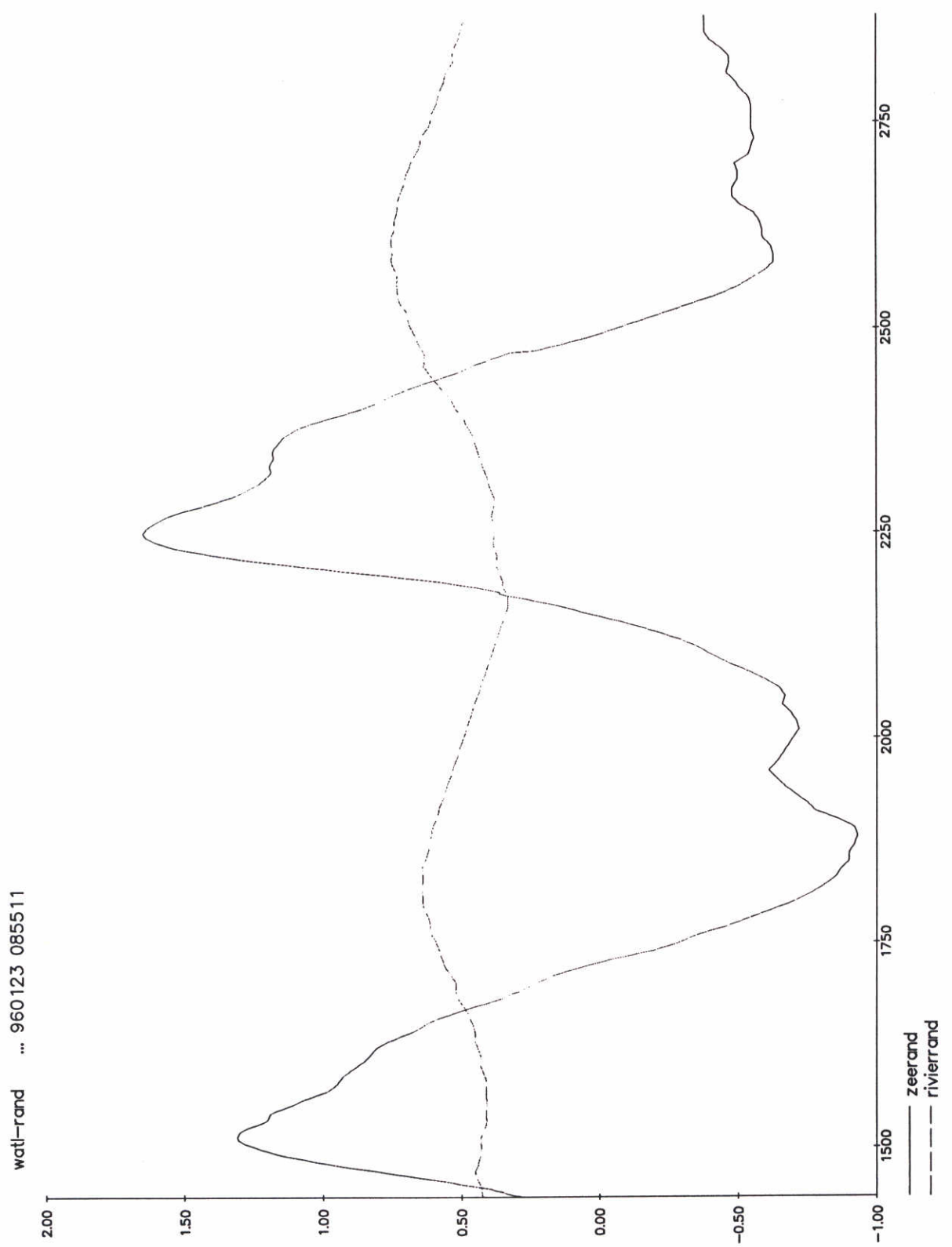


Visintrek simulatie  
 Locaties meetstations

1996-01-24  
 12:49:28

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.1



Waterstanden Visintrek  
bij randen

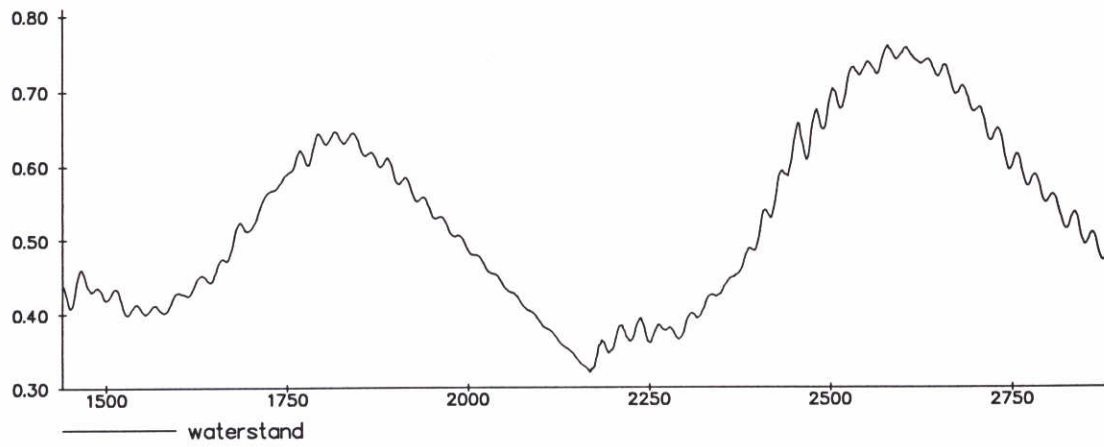
1996-01-23  
09:02:59

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

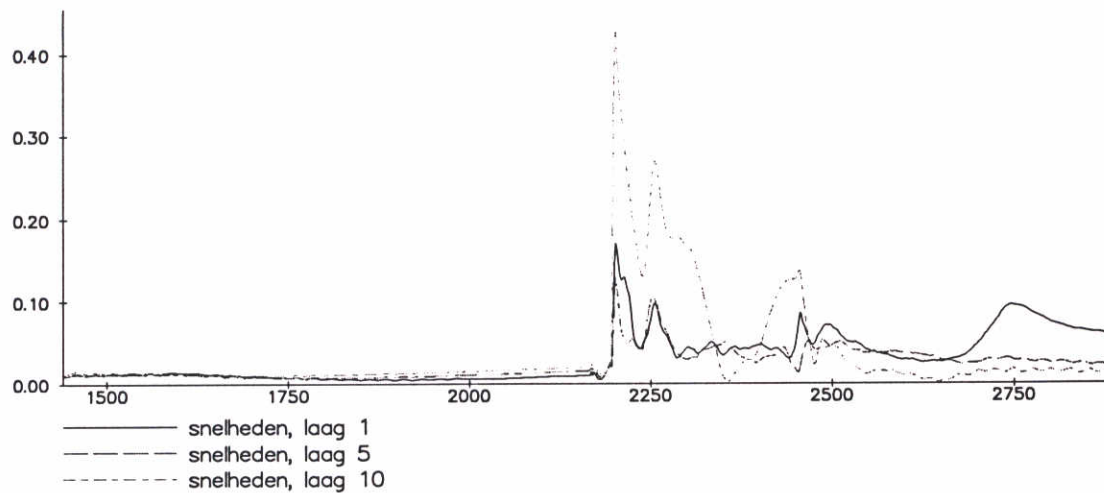
Fig. 4.2.2



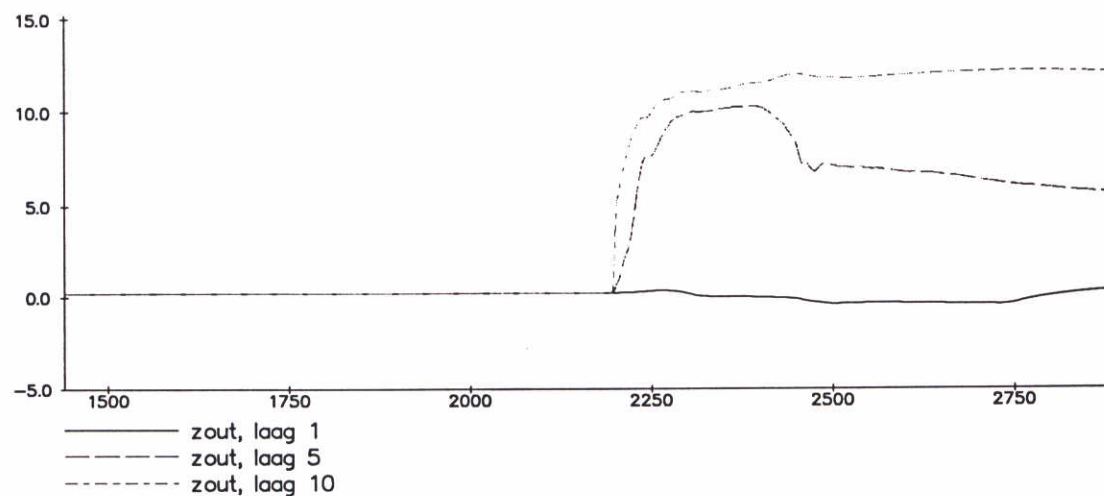
waterlev ... 960410 092007



vel-his ... 960410 091915



con-his ... 960410 091846

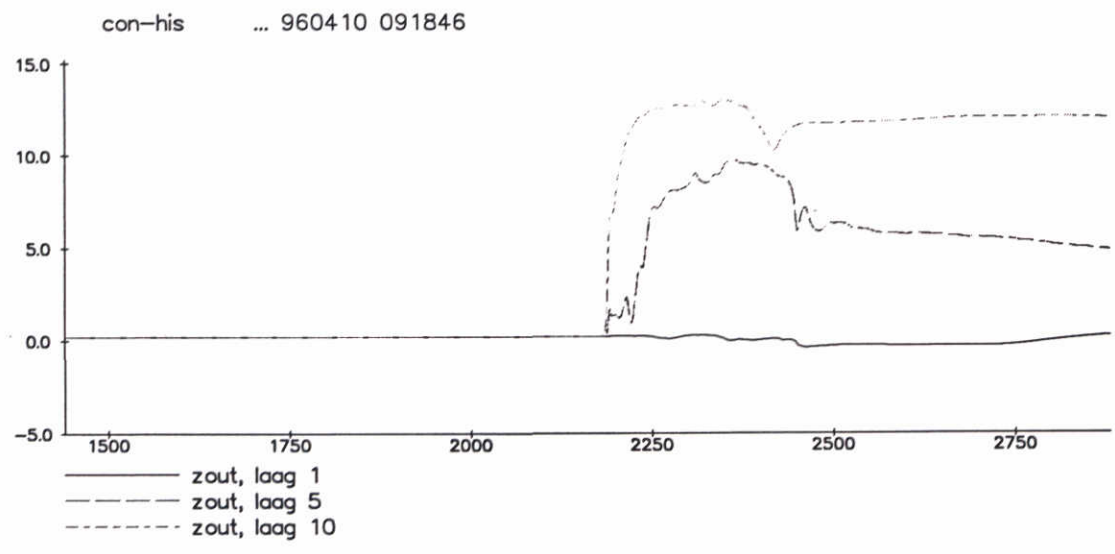
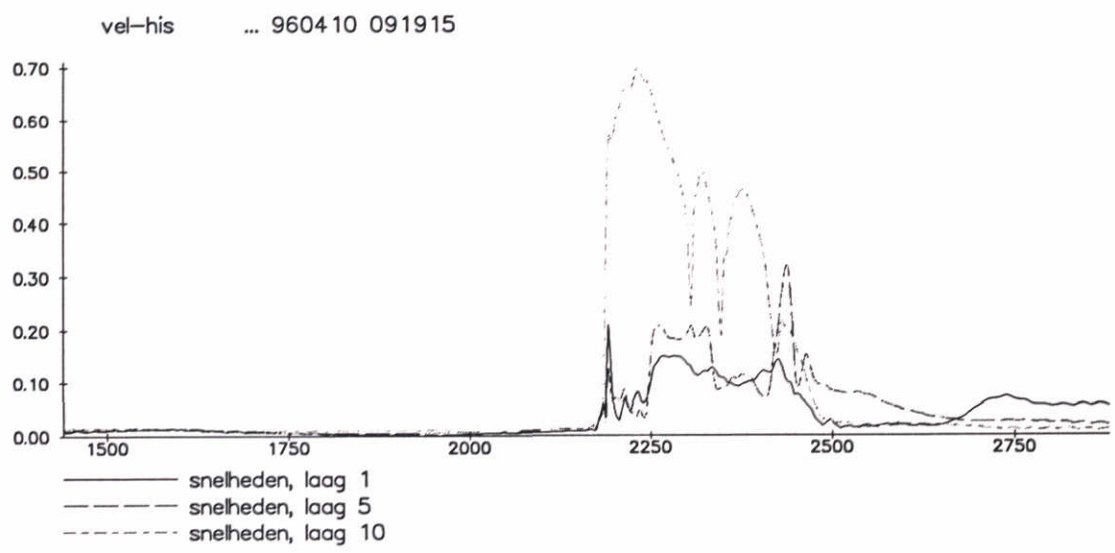
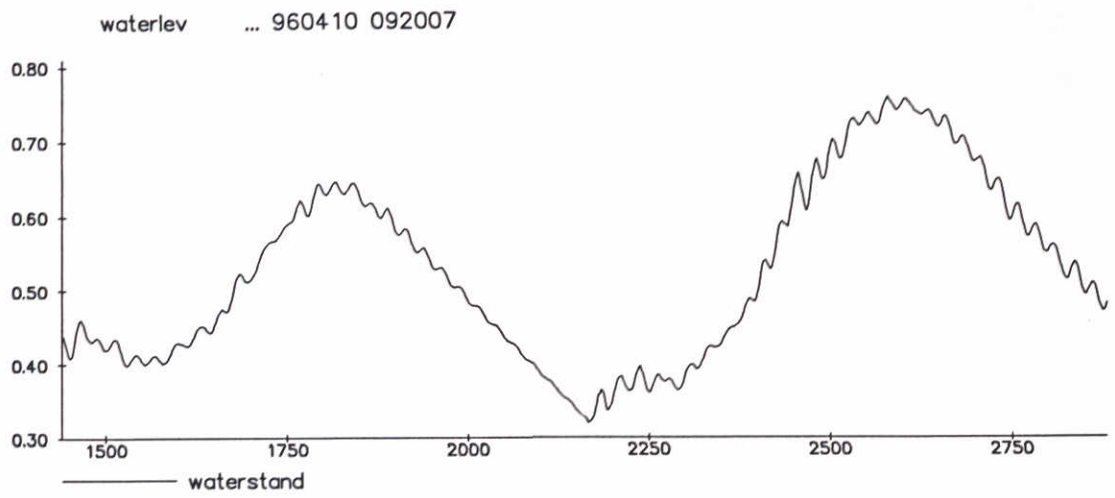


Visintrek simulatie 10 maart 1994  
Tijdreeksen waterstanden, snelheden en zout  
in mtp 1-1 (schuif drmv schotjes; drempel via diepte file)

1996-04-22  
08:54:17

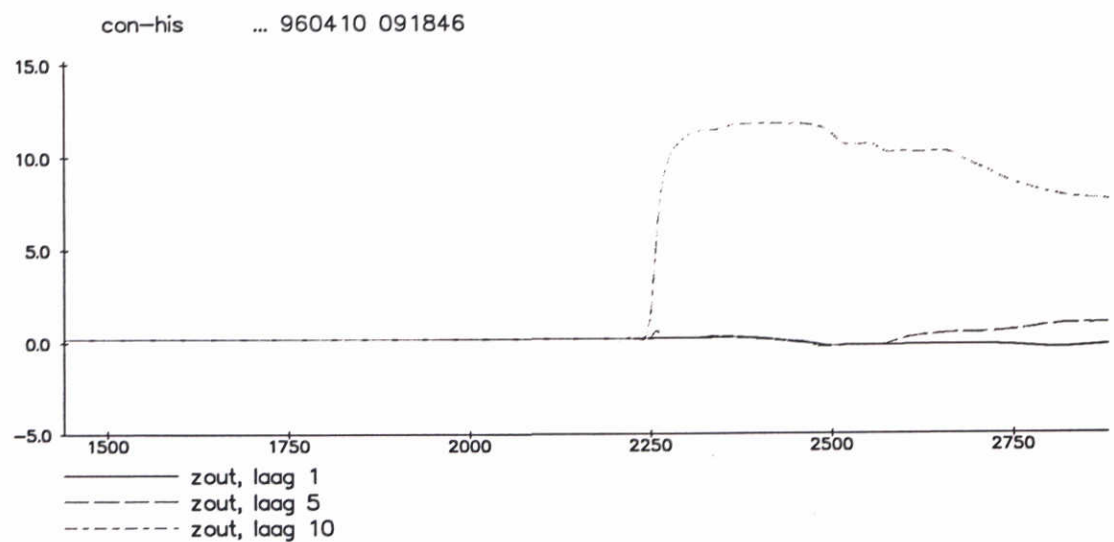
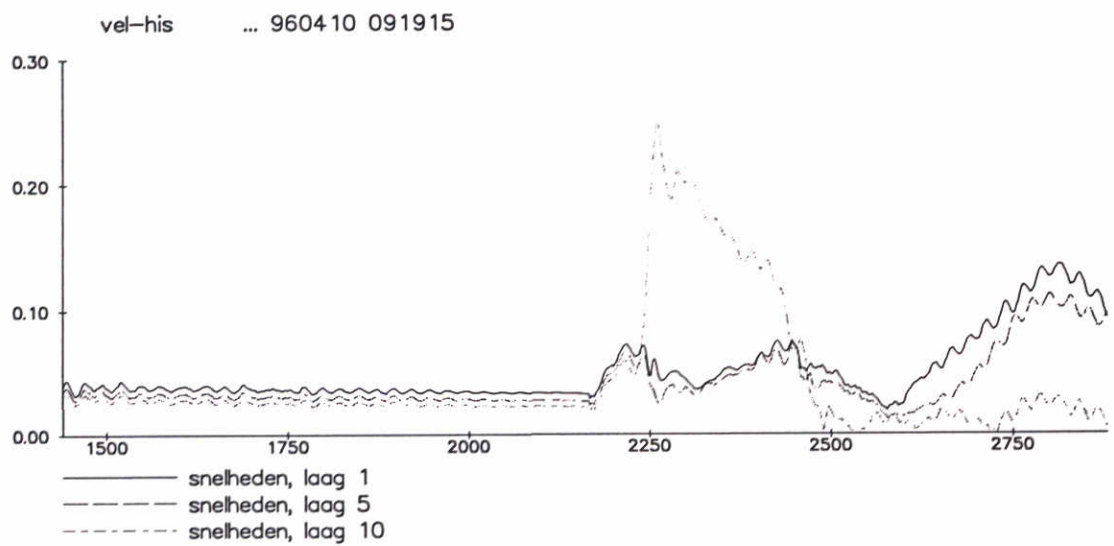
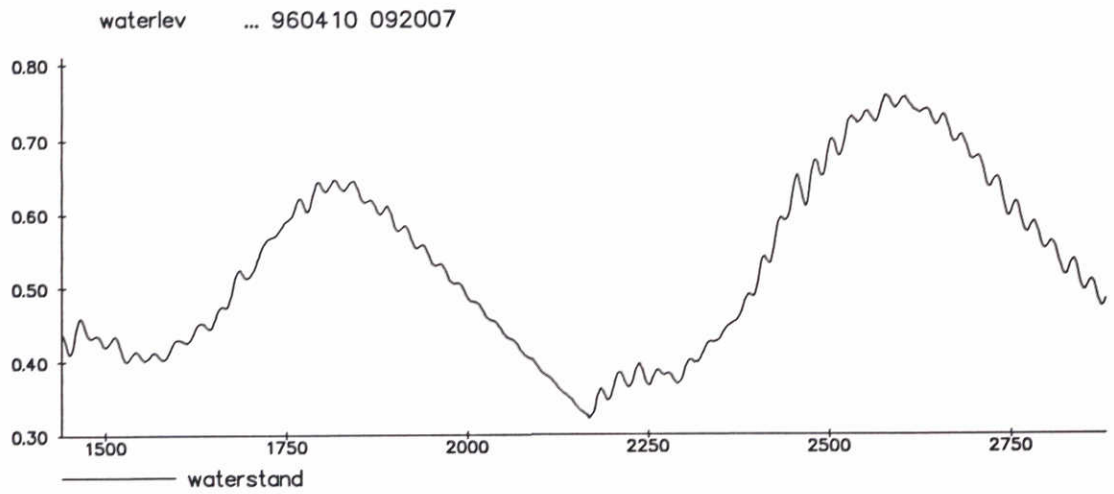
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.3



Visintrek simulatie 10 maart 1994  
Tijdreeksen waterstanden, snelheden en zout  
in mtp 1-2 (schuif dmv schotjes; drempel via dieptefile)

1996-04-22  
08:54:19

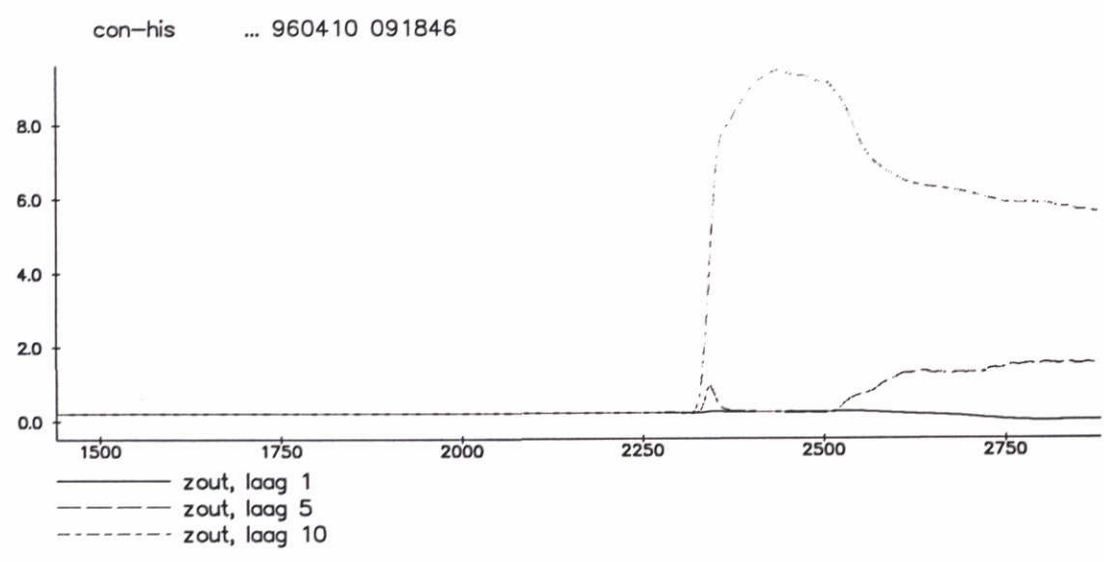
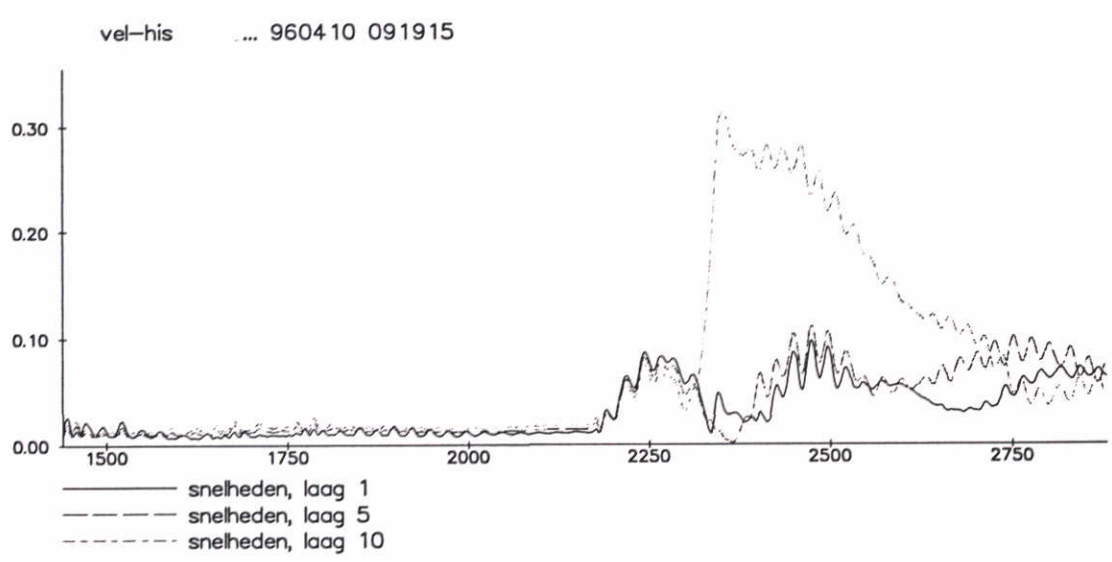
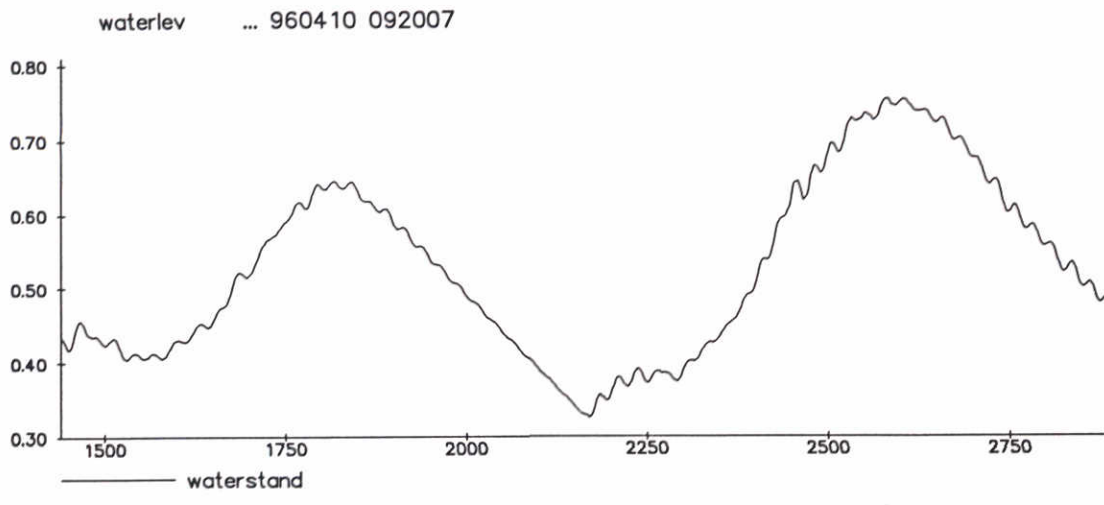


Visintrek simulatie 10 maart 1994  
Tijdreeksen waterstanden, snelheden en zout  
in mtp 2-4 (schuif dmv schotjes; drempel via dieptefile)

1996-04-22  
08:54:20

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

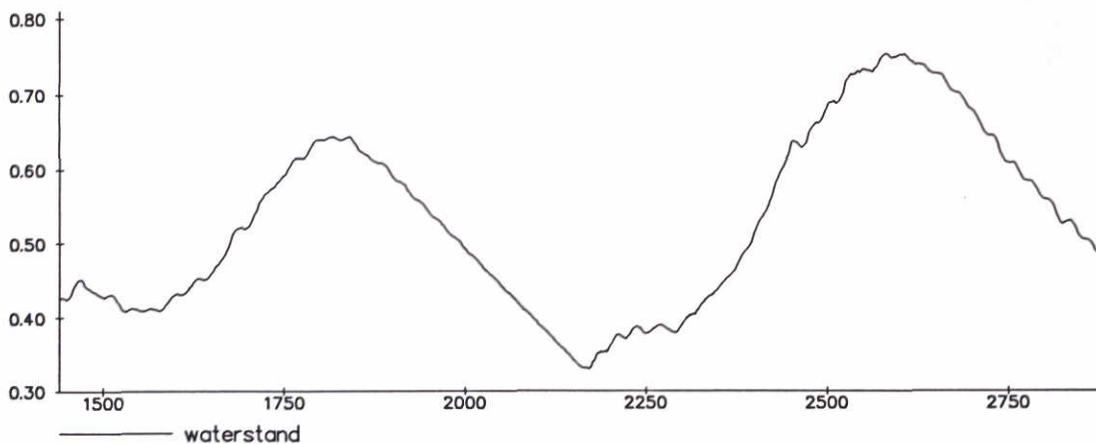
Fig. 4.2.5



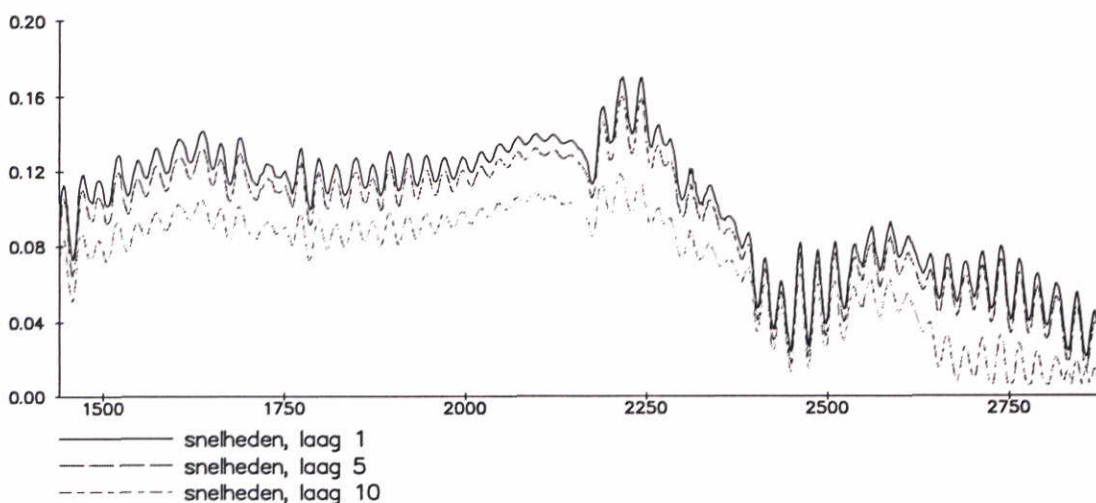
Visintrek simulatie 10 maart 1994  
 Tijdreeksen waterstanden, snelheden en zout  
 in mtp 2-11 (schuif dmv schotjes; drempel via dieptefile)

1996-04-22  
 08:55:09

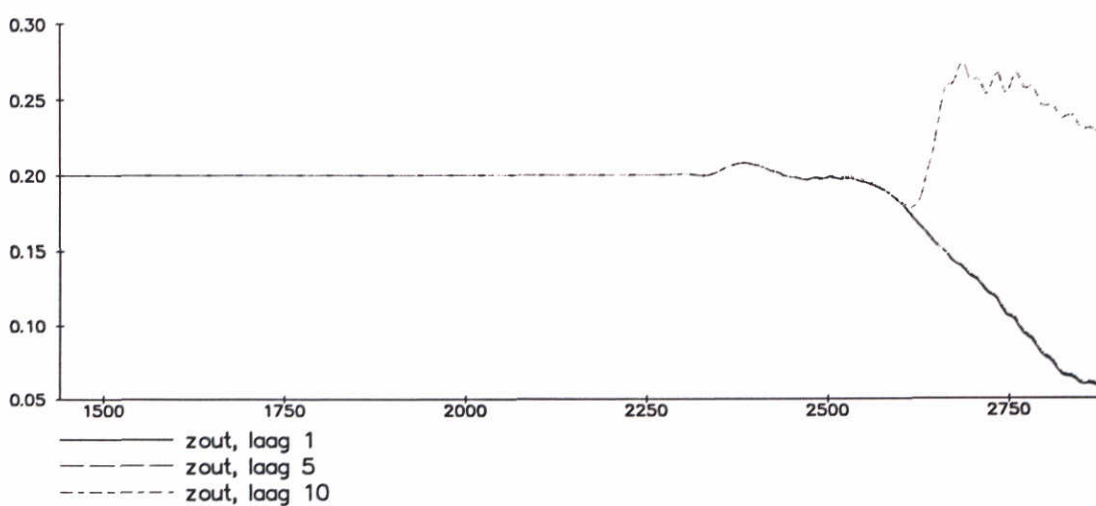
waterlev ... 960410 092007



vel-his ... 960410 091915



con-his ... 960410 091846

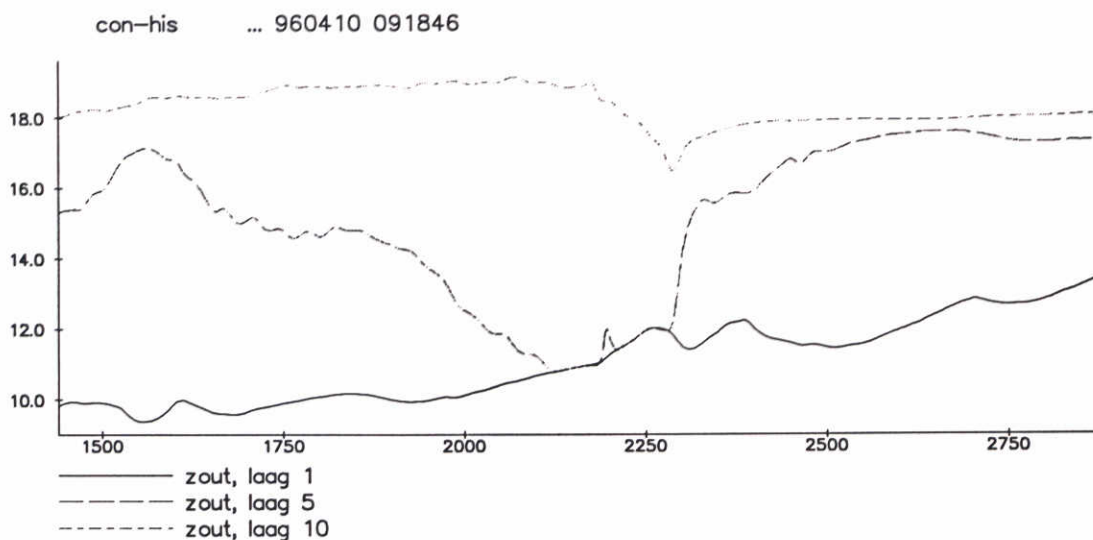
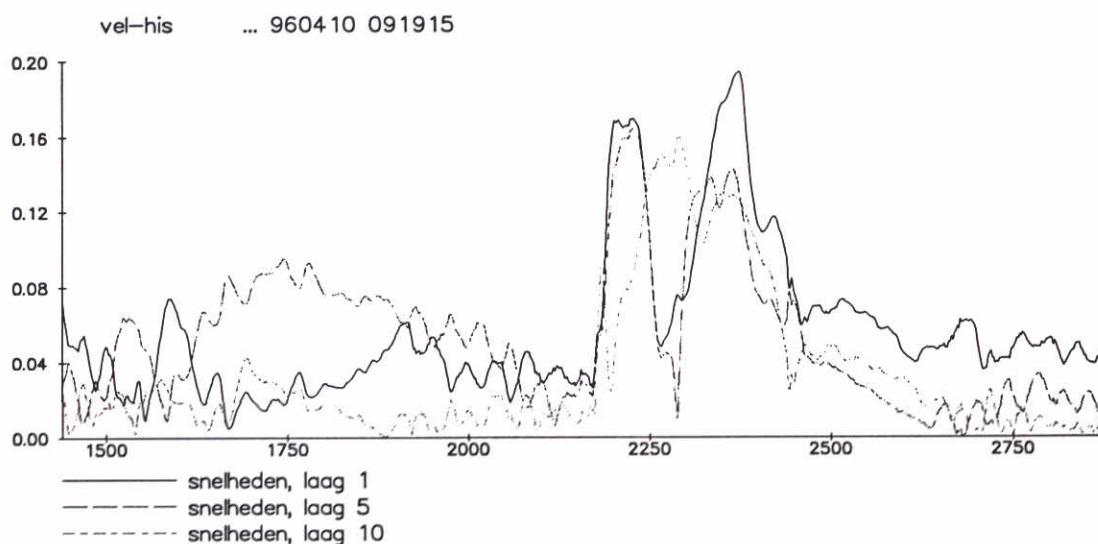
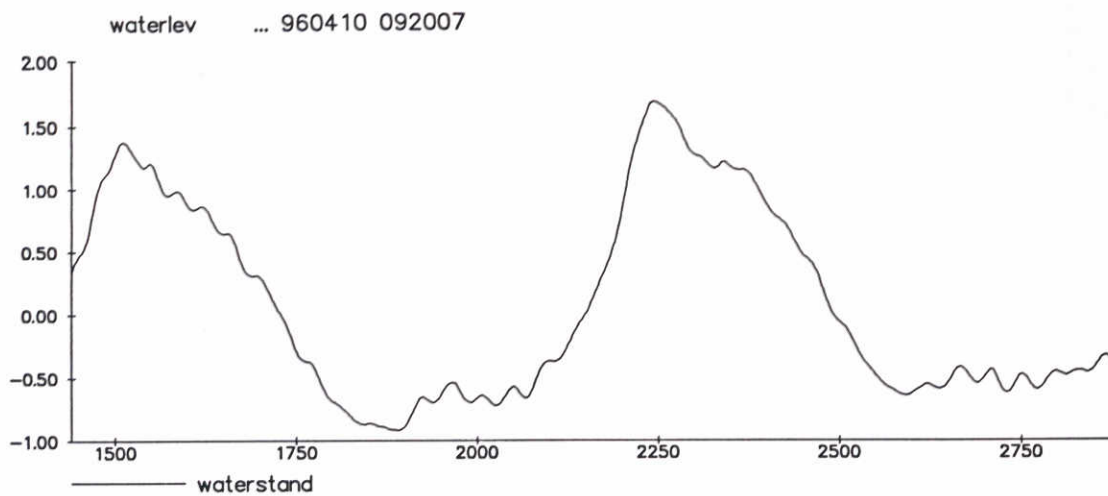


Visintrek simulatie 10 maart 1994  
Tijdreeksen waterstanden, snelheden en zout  
in DWIP-1 (schuif drmv schotjes; drempel via dieptefile)

1996-04-22  
08:55:10

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.8

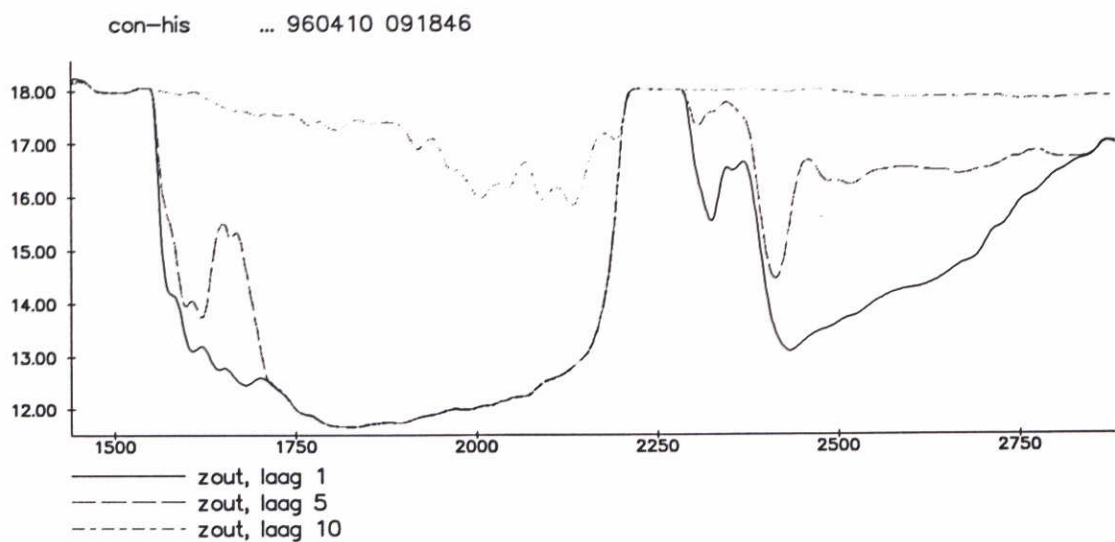
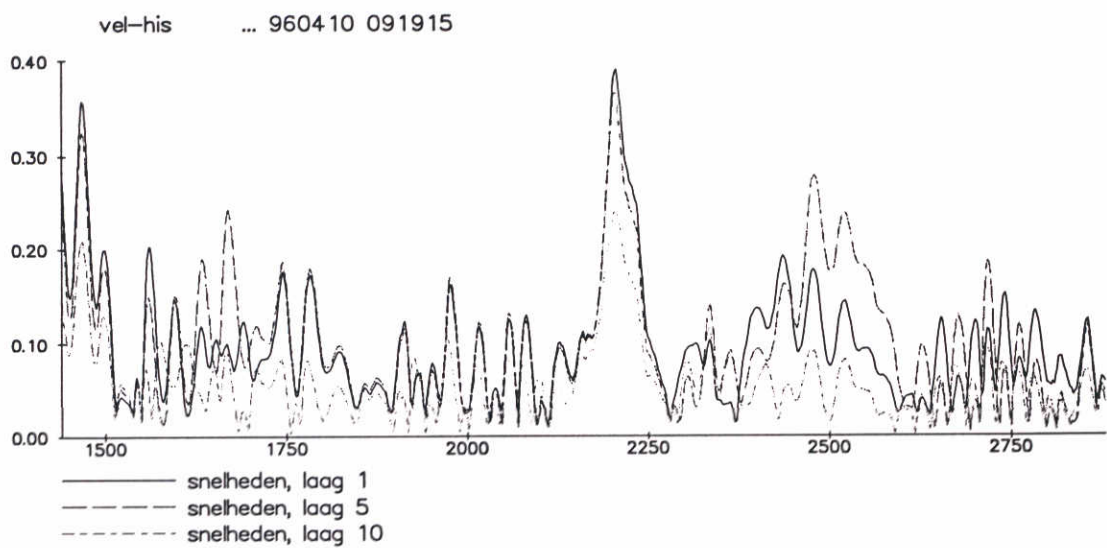
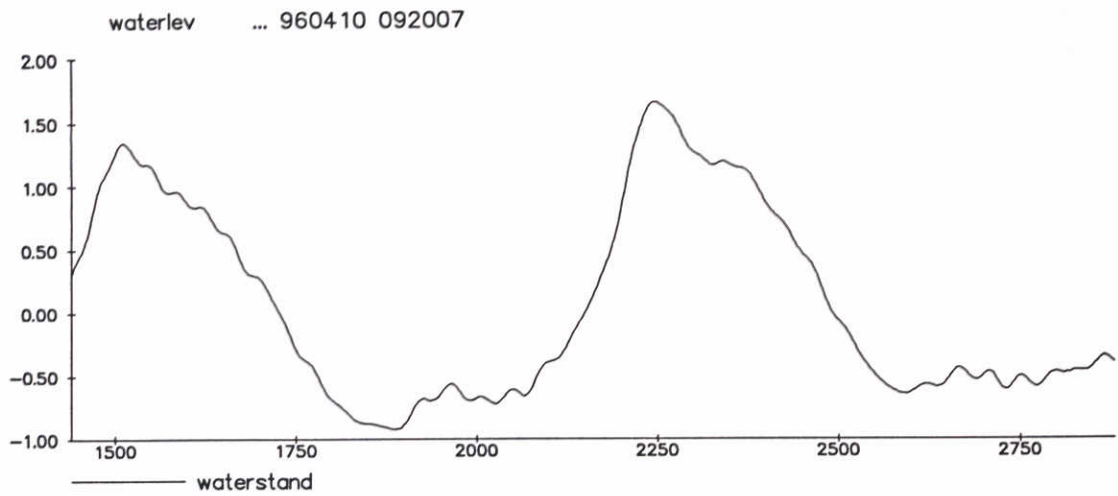


Visintrek simulatie 10 maart 1994  
Tijdreeksen waterstanden, snelheden en zout  
in mtp 4-2 (schuif dmv schotjes; drempel via dieptefile)

1996-04-22  
08:55:12

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.9



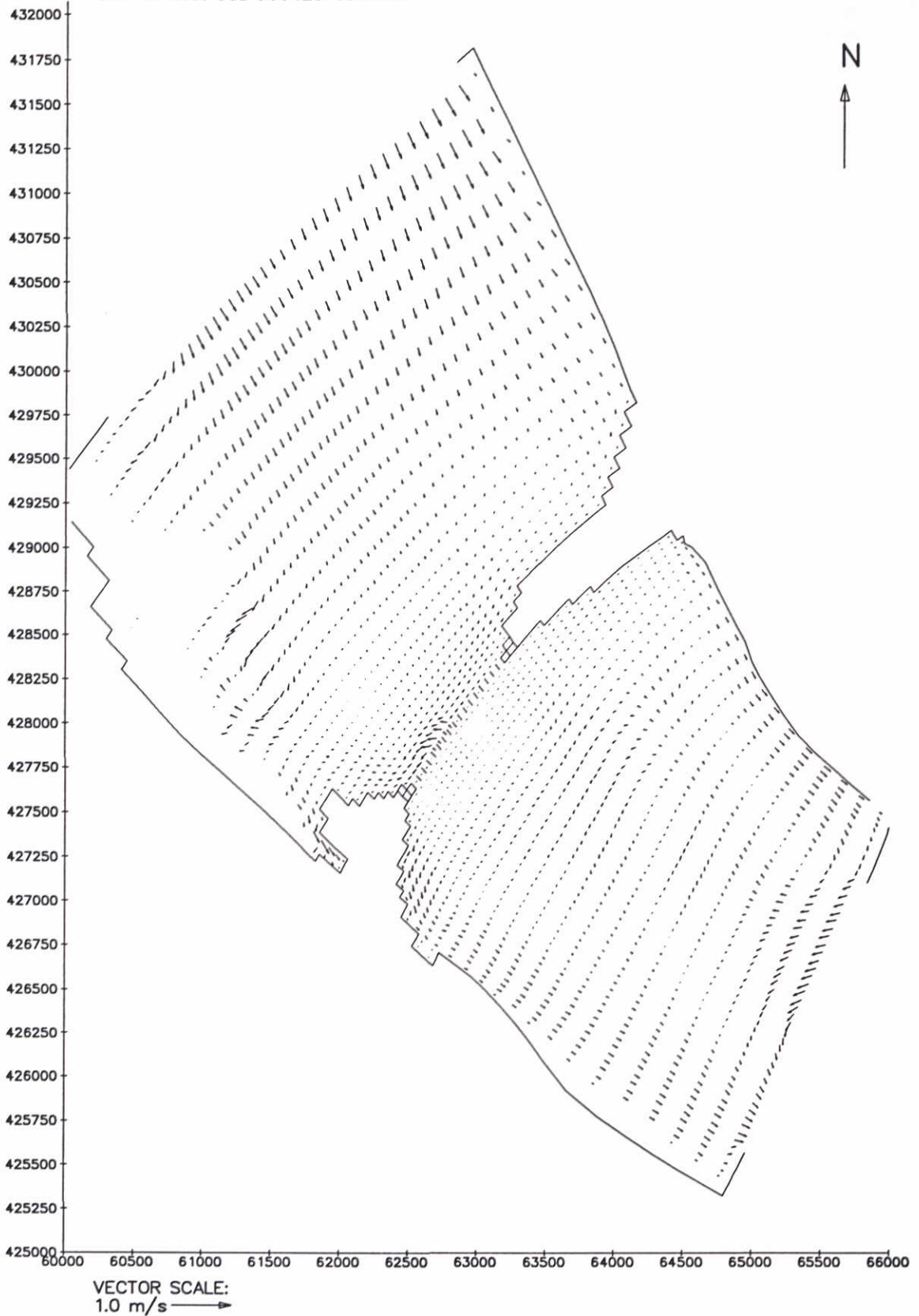
Visintrek simulatie 10 maart 1994  
 Tijdreeksen waterstanden, snelheden en zout  
 in mtp 4-6 (schuif dmv schotjes; drempel via dieptefile)

1996-04-22  
 08:55:13

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.10

map-2170 ... 960410 091927  
trim-3dd.dat 3dd 960123 084903



Visintrek simulatie 10 maart 1994  
vectorveld op 12:10 uur; laag 1  
Schuif dmv schotjes; drempel via dieptefile

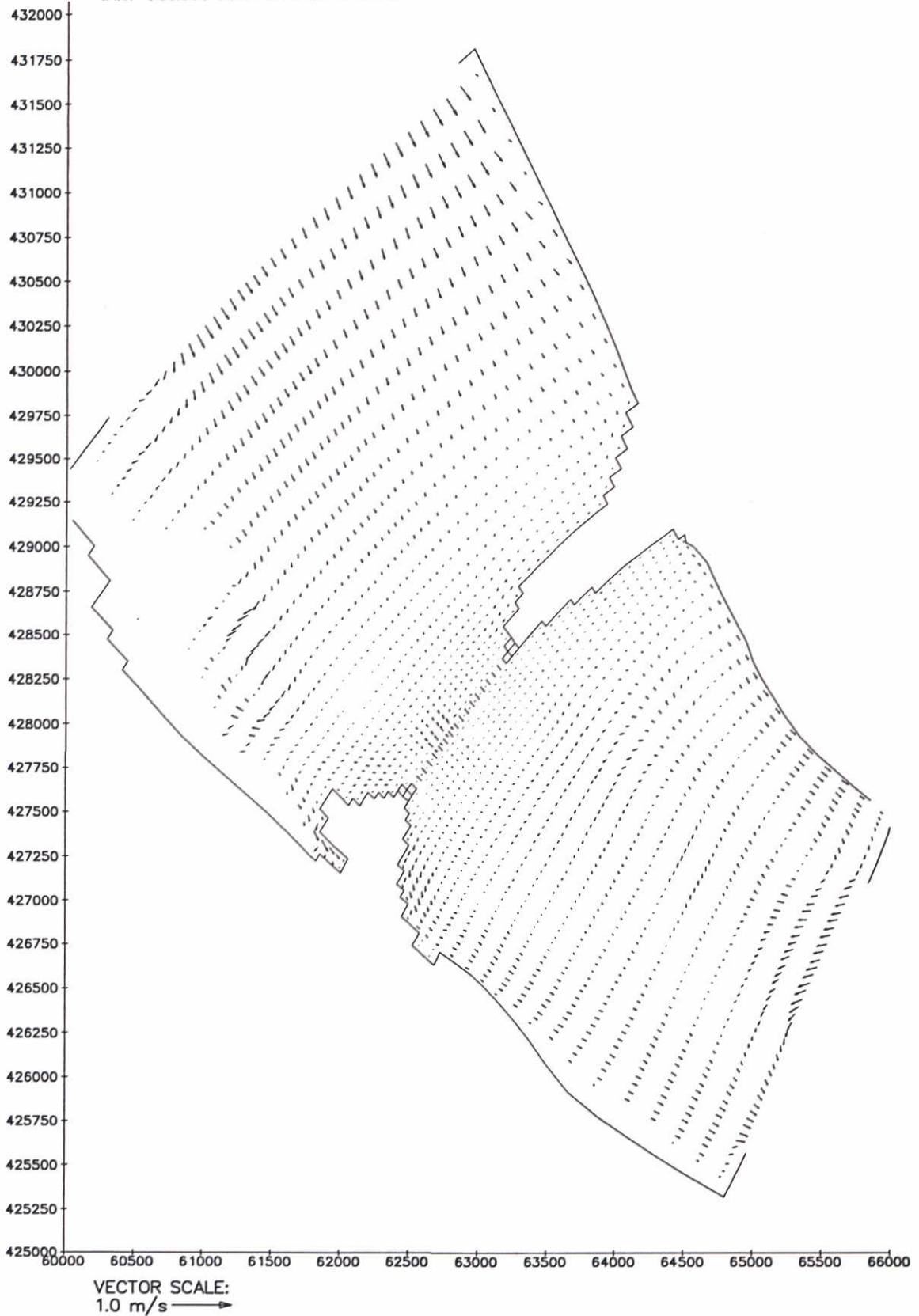
1996-04-22  
08:56:47

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.11



map-2170 ... 960410 091927  
trim-3dd.dat 3dd 960123 084903



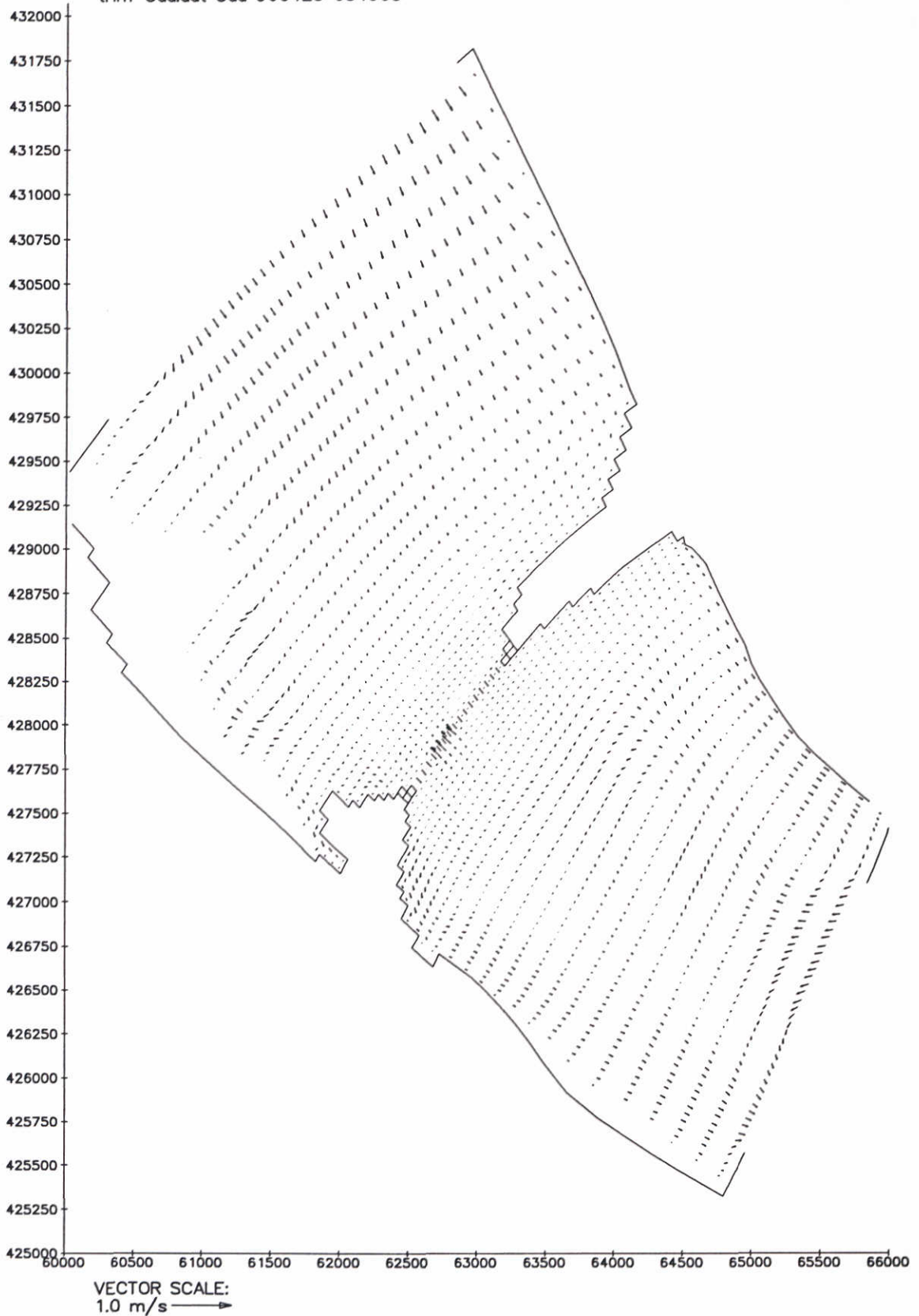
Visintrek simulatie 10 maart 1994  
vectorveld op 12:10 uur; laag 5  
Schuif dmv schotjes; drempel via diepte file

1996-04-22  
08:56:48

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.12

map-2170 ... 960410 091927  
trim-3dd.dat 3dd 960123 084903



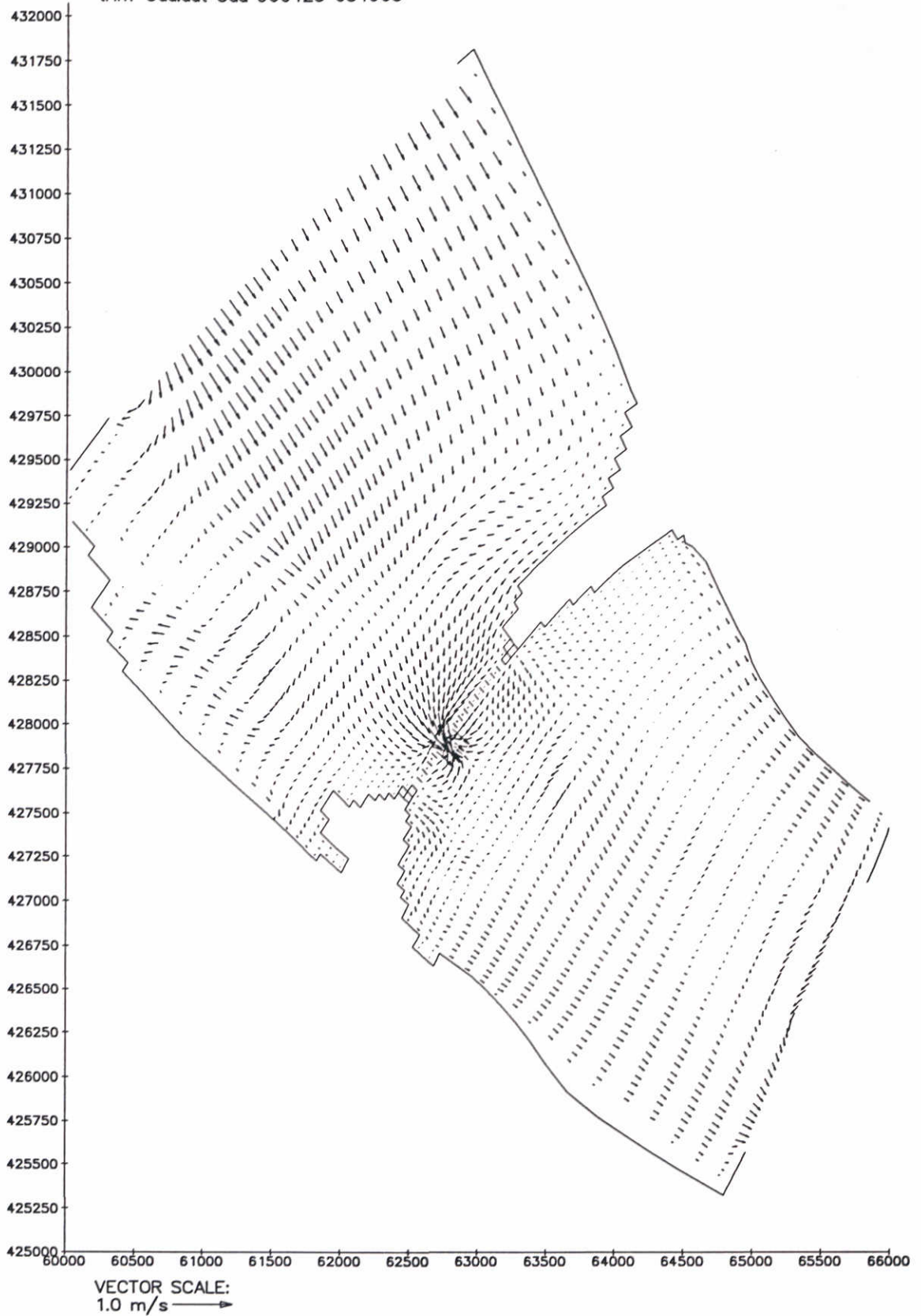
Visintrek simulatie 10 maart 1994  
vectorveld op 12:10 uur; laag 10  
Schuif dmv schotjes; drempel via dieptefile

1996-04-22  
08:56:49

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.13

map-2230 ... 960410 091936  
trim-3dd.dat 3dd 960123 084903



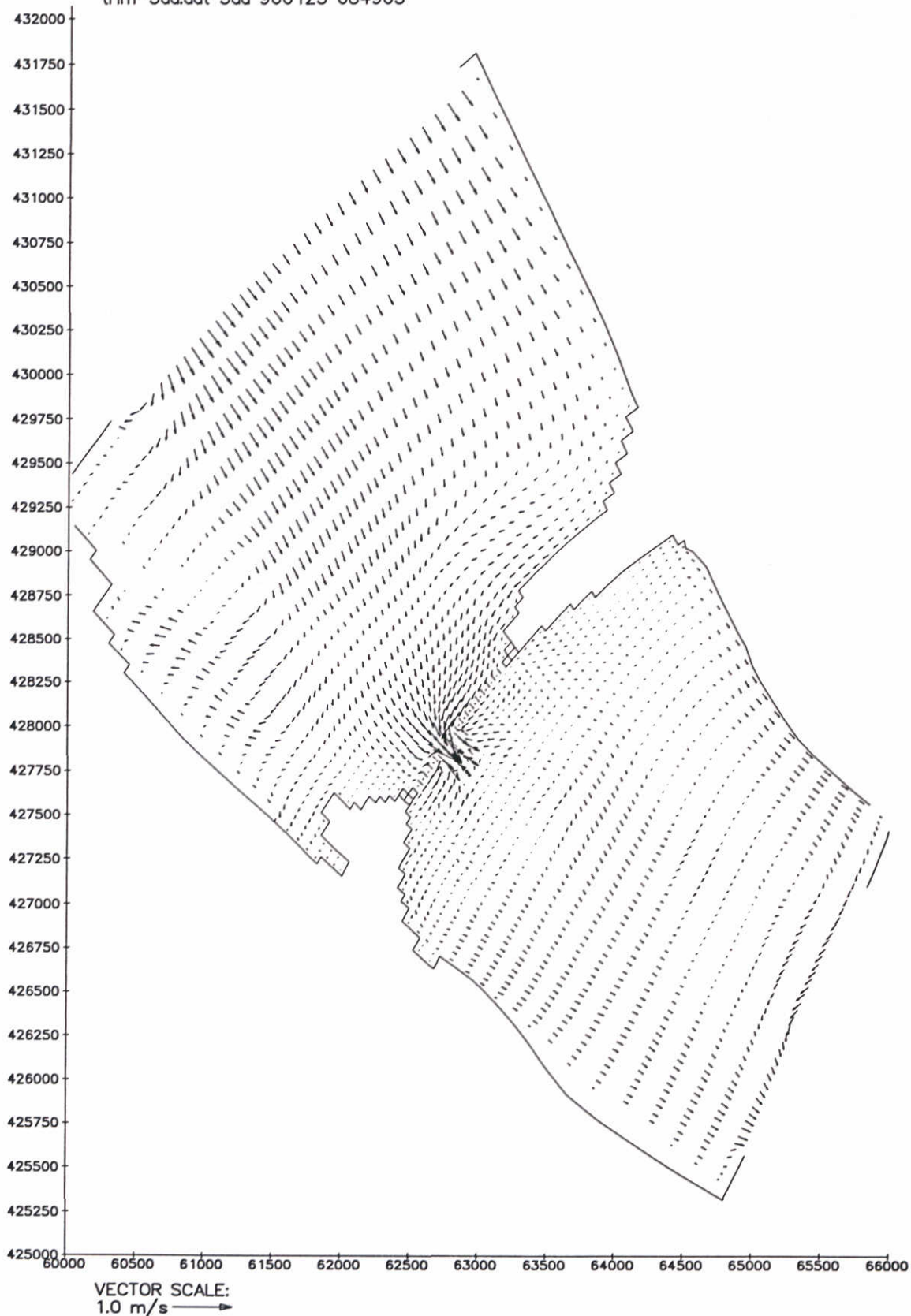
Visintrek simulatie 10 maart 1994  
vectorveld op 13:10 uur; laag 1  
Schuif dmv schotjes; drempel via dieptefile

1996-04-22  
08:56:51

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.14

map-2230 ... 960410 091936  
trim-3dd.dat 3dd 960123 084903



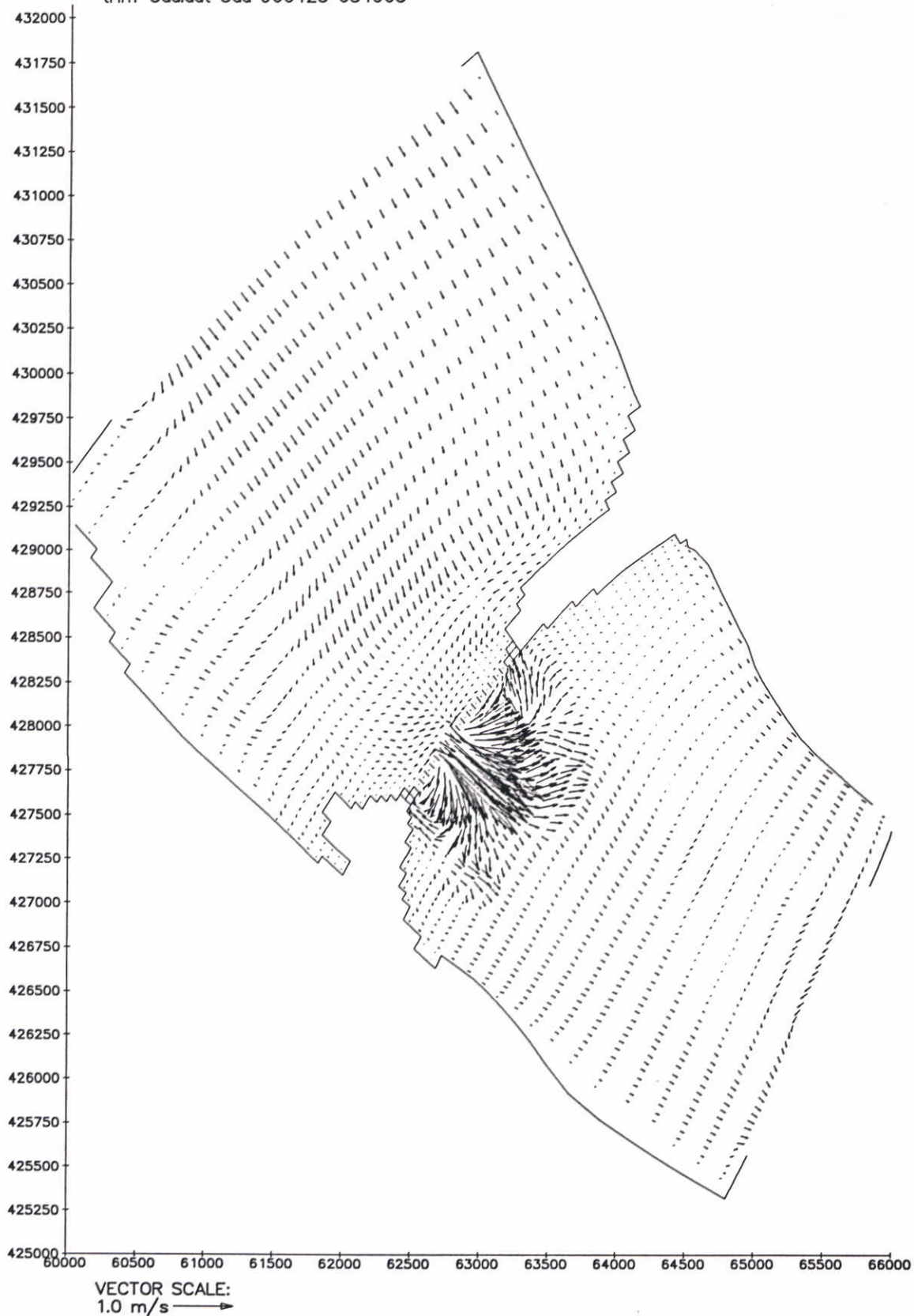
Visintrek simulatie 10 maart 1994  
vectorveld op 13:10 uur; laag 5  
Schuif dmv schotjes; drempel via dieptefile

1996-04-22  
08:56:52

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.15

map-2230 ... 960410 091936  
trim-3dd.dat 3dd 960123 084903



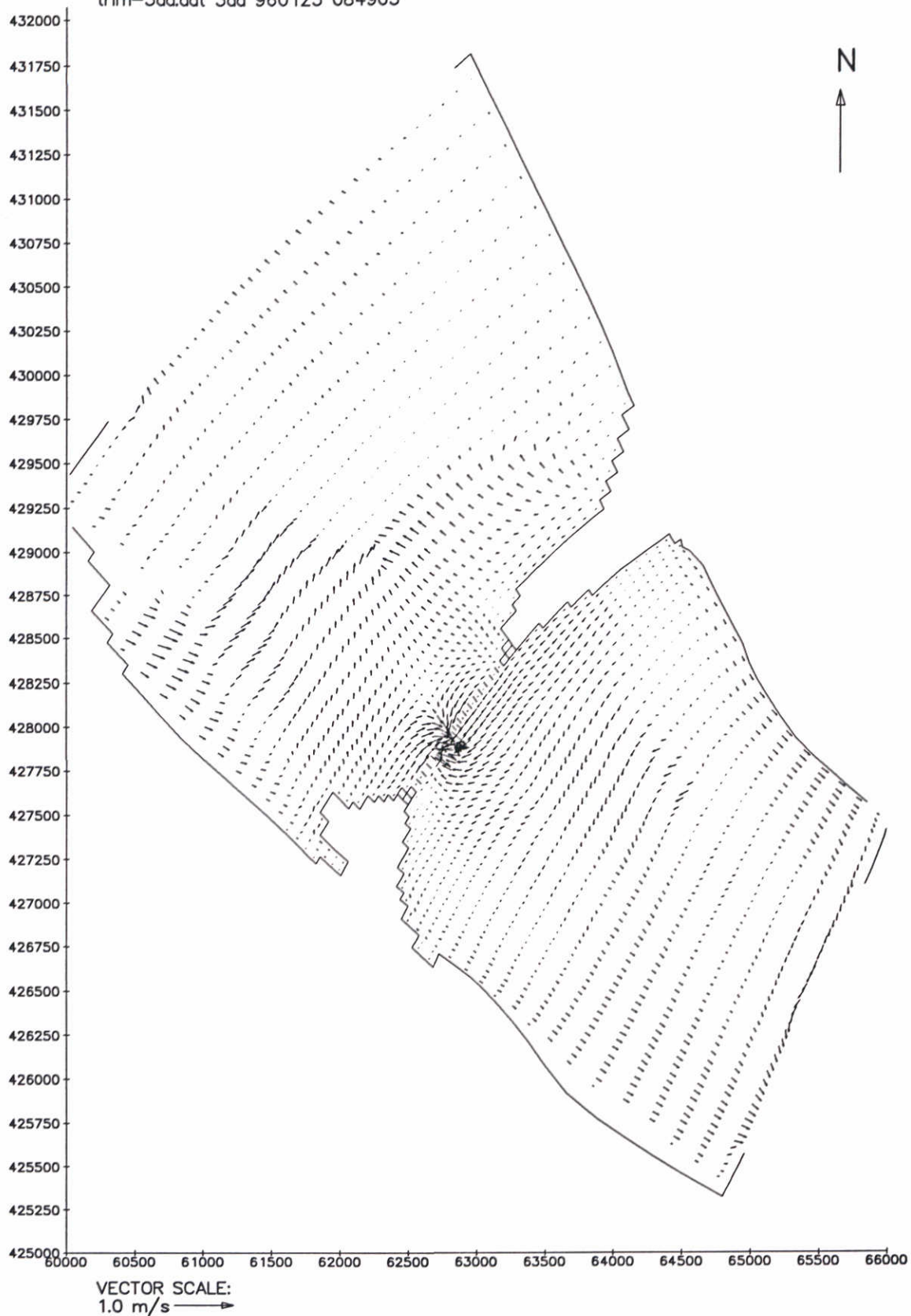
Visintrek simulatie 10 maart 1994  
vectorveld op 13:10 uur; laag 10  
Schuif dmv schotjes; drempel via dieptefile

1996-04-22  
08:56:53

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.16

map-2290 ... 960410 091945  
trim-3dd.dat 3dd 960123 084903



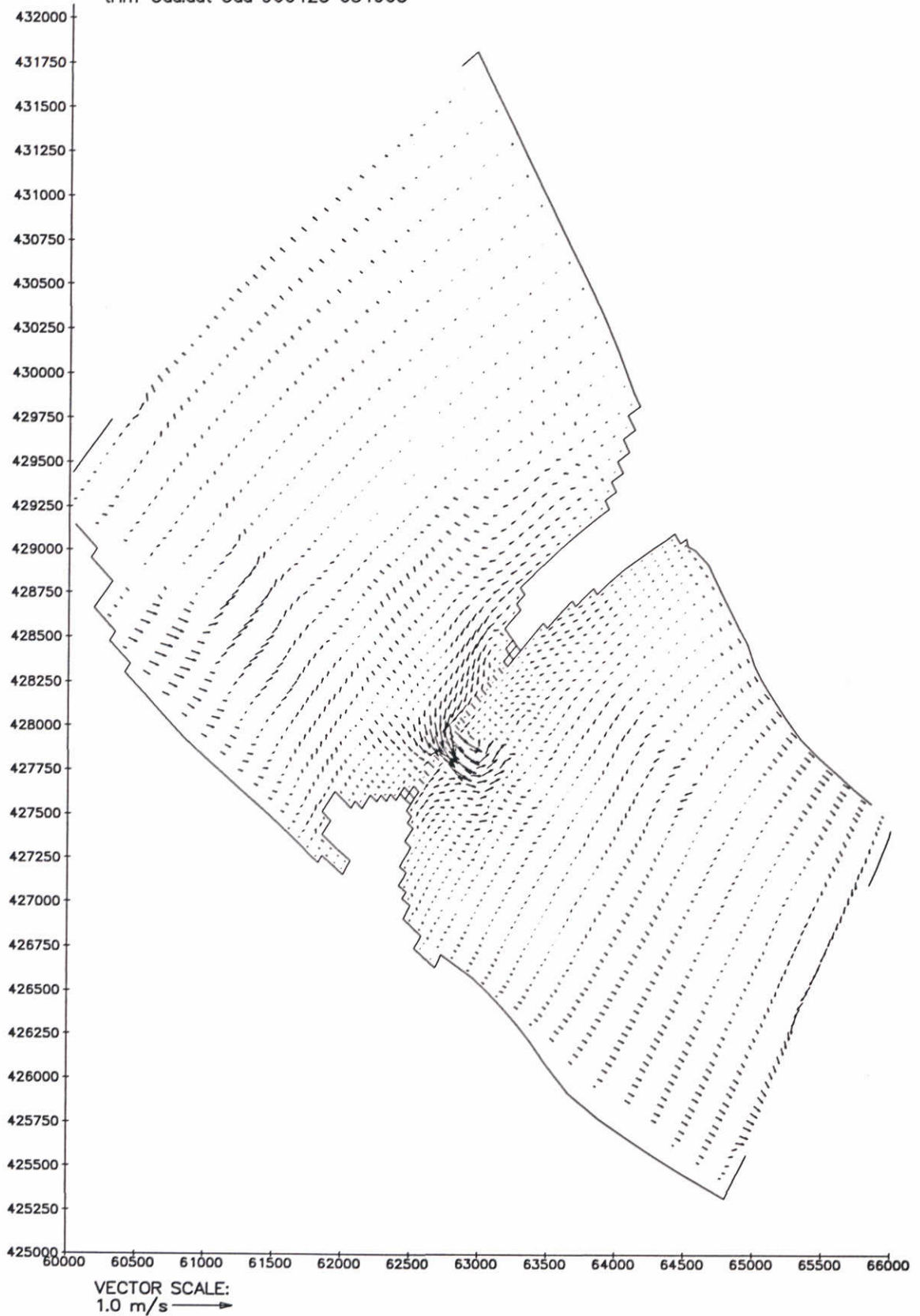
Visintrek simulatie 10 maart 1994  
vectorveld op 14:10 uur; laag 1  
Schuif dmv schotjes; drempel via dieptefile

1996-04-22  
08:56:04

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.17

map-2290 ... 960410 091945  
trim-3dd.dat 3dd 960123 084903



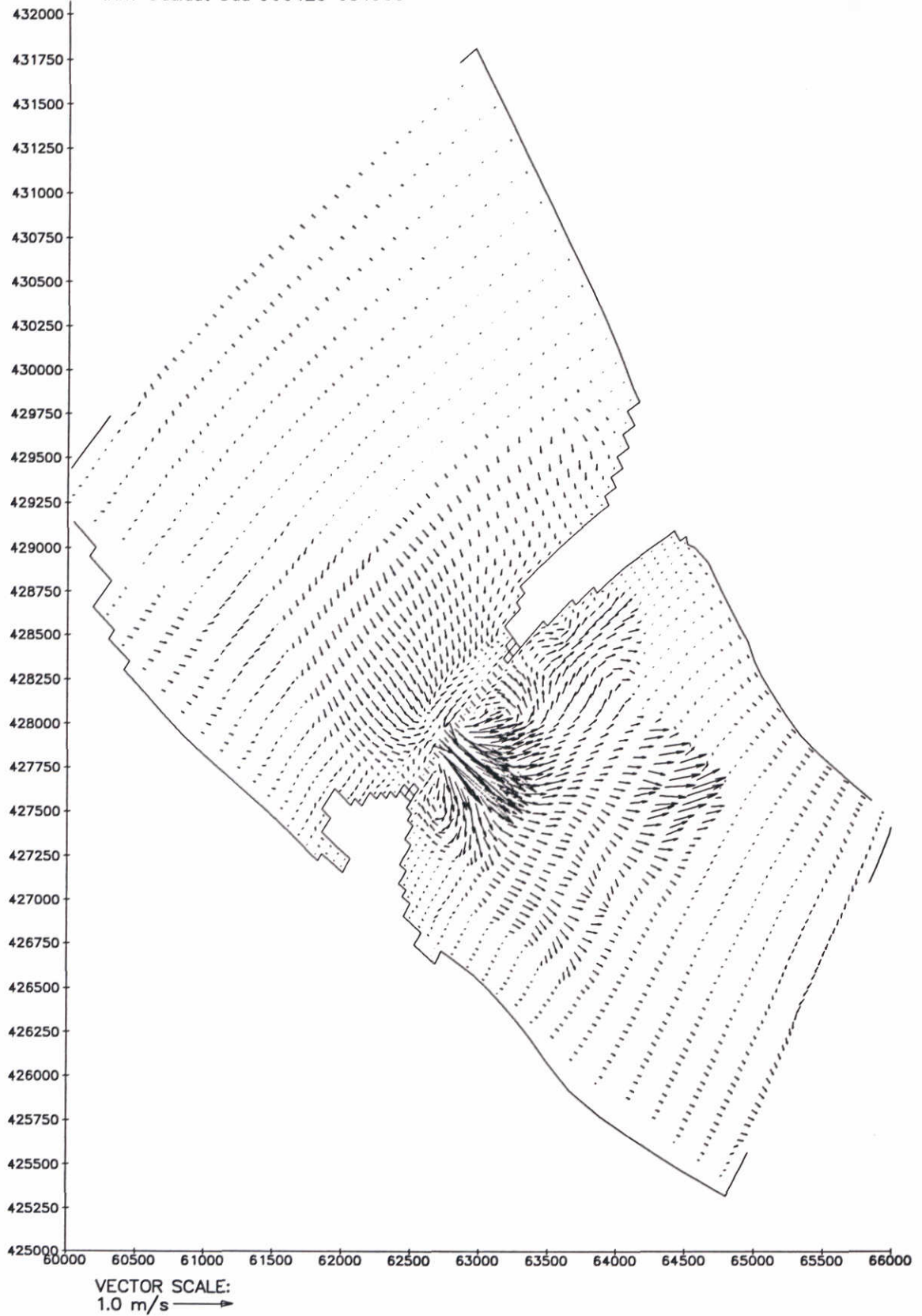
Visintrek simulatie 10 maart 1994  
vectorveld op 14:10 uur; laag 5  
Schuif dmv schotjes; drempel via diepte file

1996-04-22  
08:56:05

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.18

map-2290 ... 960410 091945  
trim-3dd.dat 3dd 960123 084903



Visintrek simulatie 10 maart 1994  
vectorveld op 14:10 uur; laag 10  
Schuif dmv schotjes; drempel via dieptefile

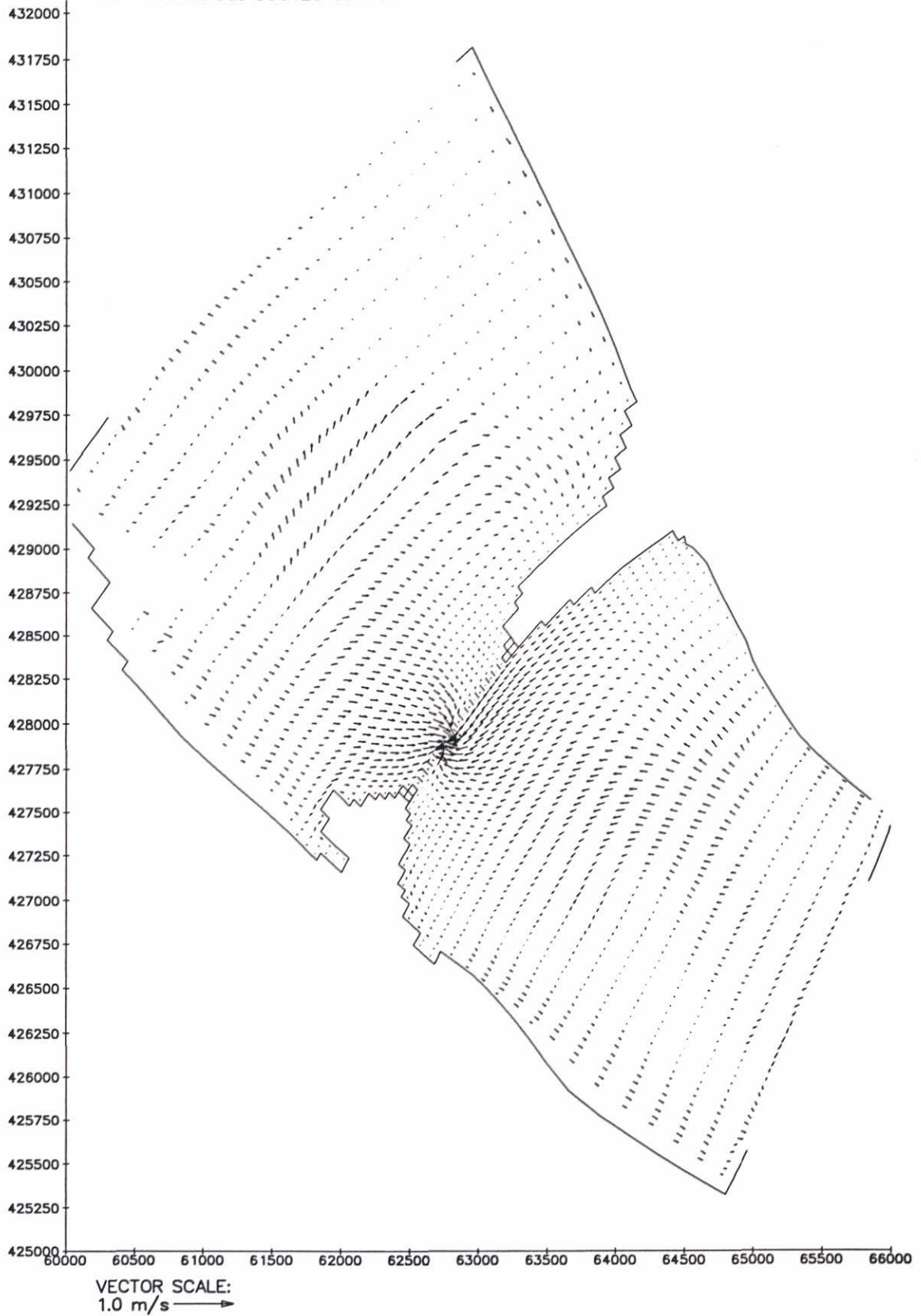
1996-04-22  
08:56:06

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.19



map-2410 ... 960410 091953  
trim-3dd.dat 3dd 960123 084903



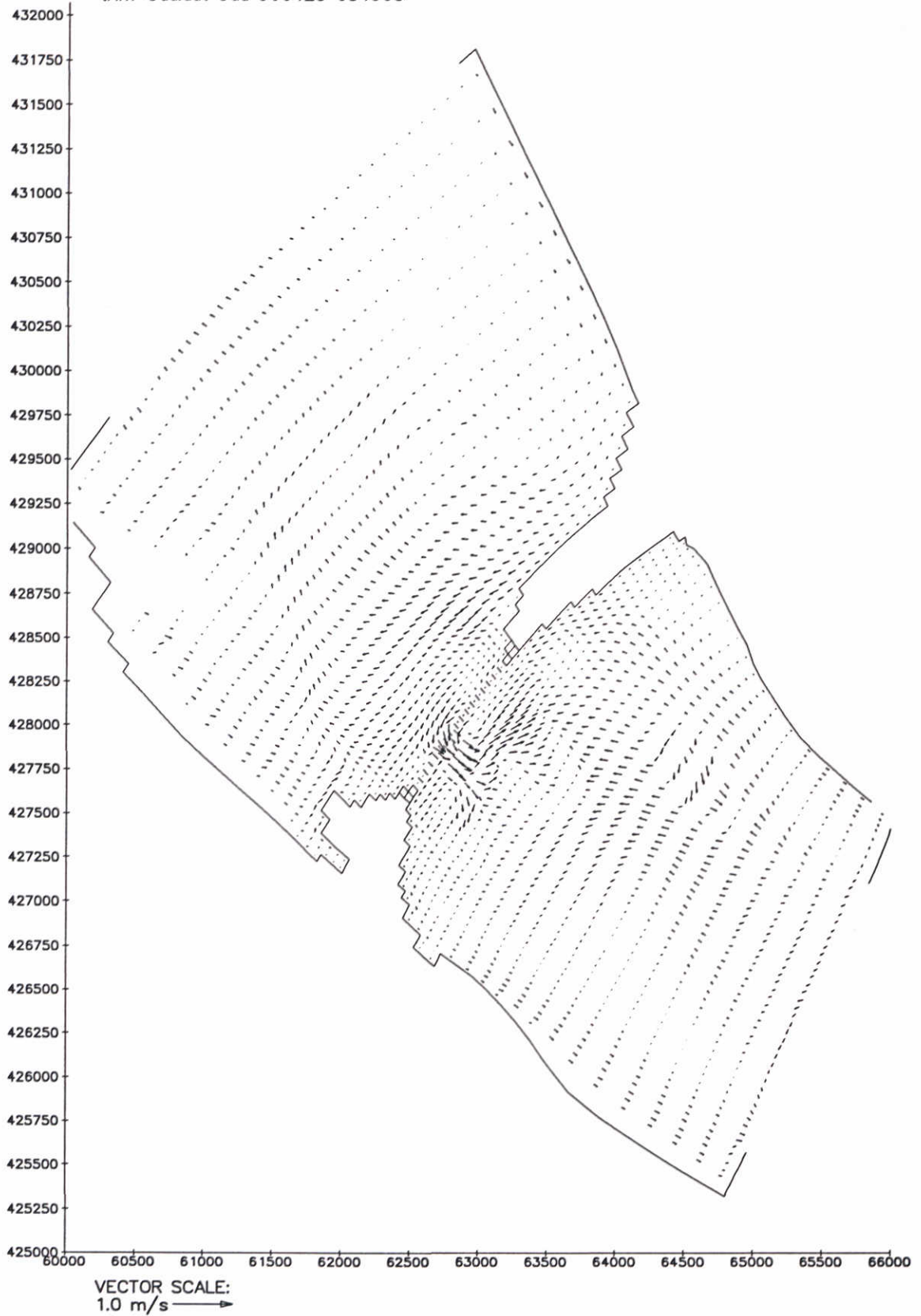
Visintrek simulatie 10 maart 1994  
vectorveld op 16:10 uur; laag 1  
Schuif dmv schotjes; drempel via dieptefile

1996-04-22  
08:56:07

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.20

map-2410 ... 960410 091953  
trim-3dd.dat 3dd 960123 084903



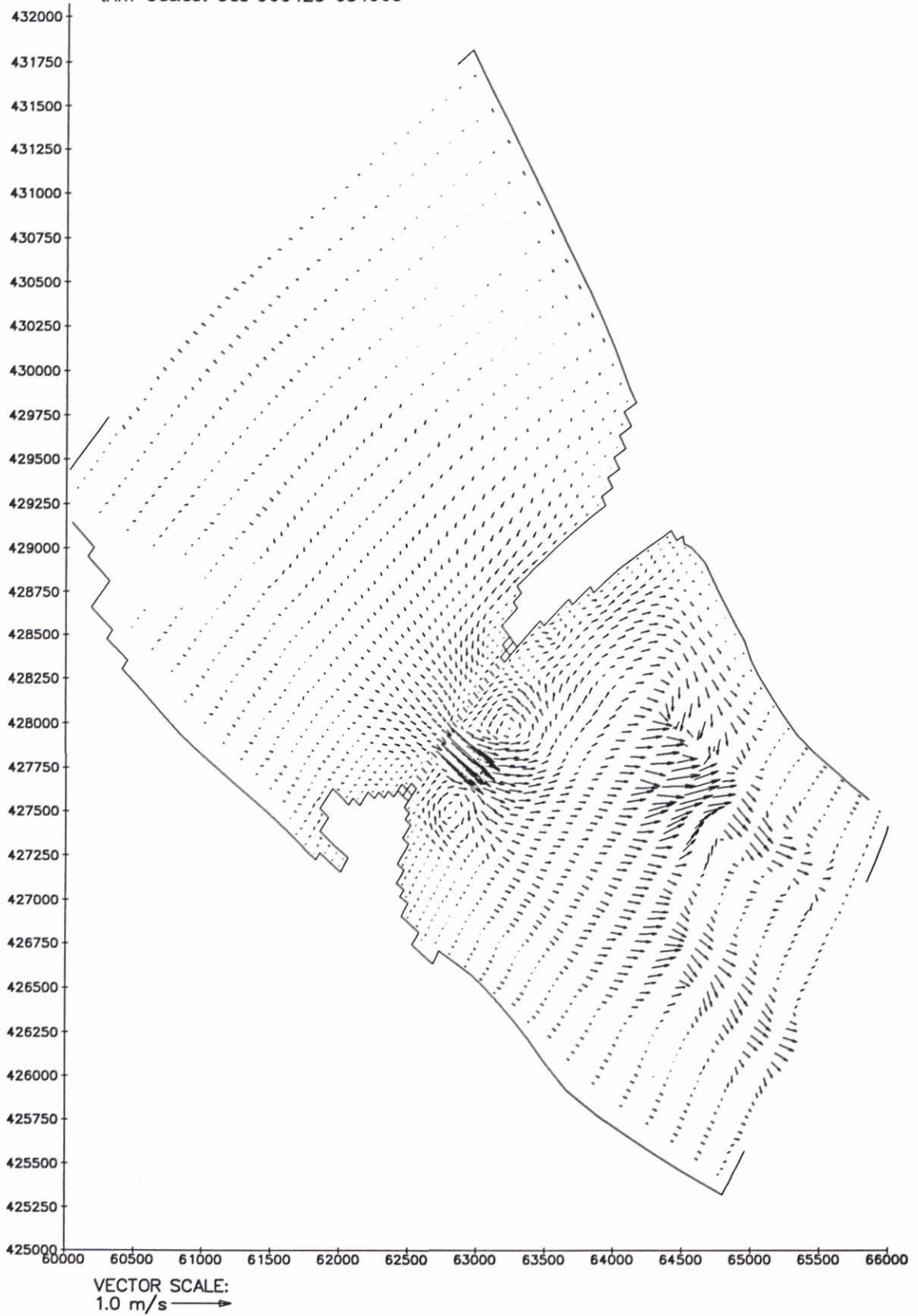
Visintrek simulatie 10 maart 1994  
vectorveld op 16:10 uur; laag 5  
Schuif dmv schotjes; drempel via dieptefile

1996-04-22  
08:56:08

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.21

map-2410 ... 960410 091953  
trim-3dd.dat 3dd 960123 084903

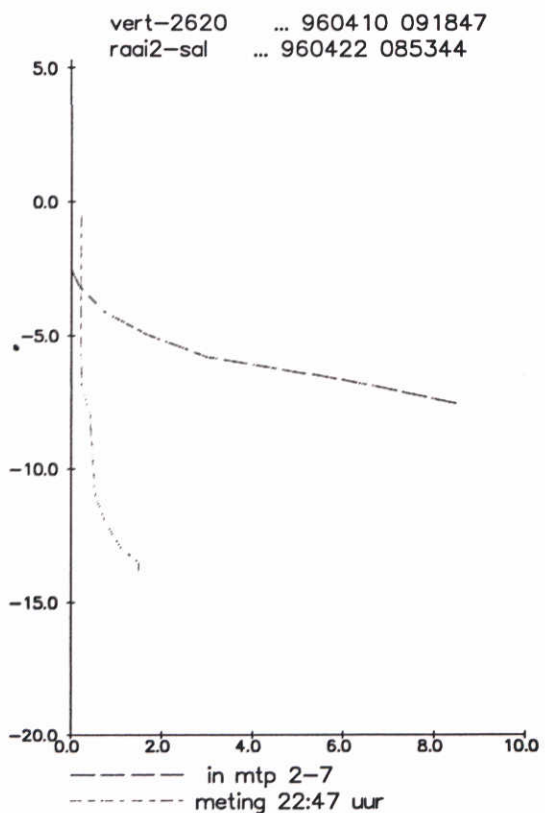
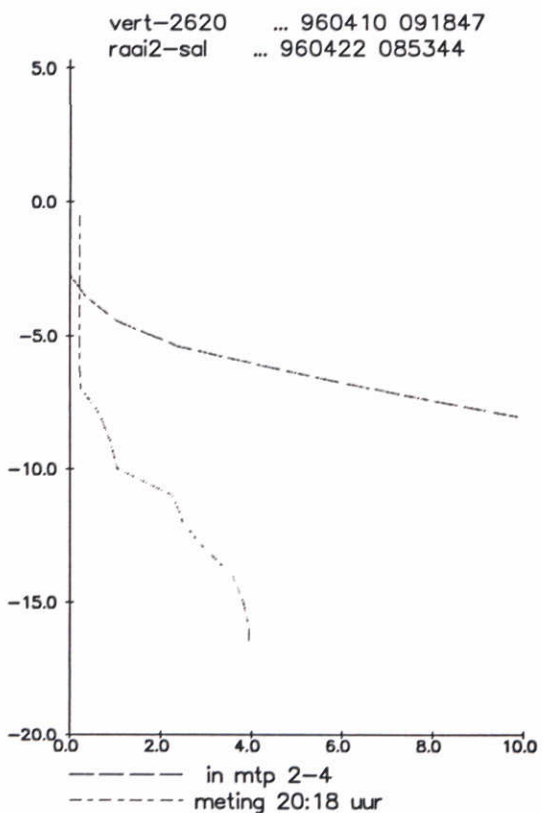
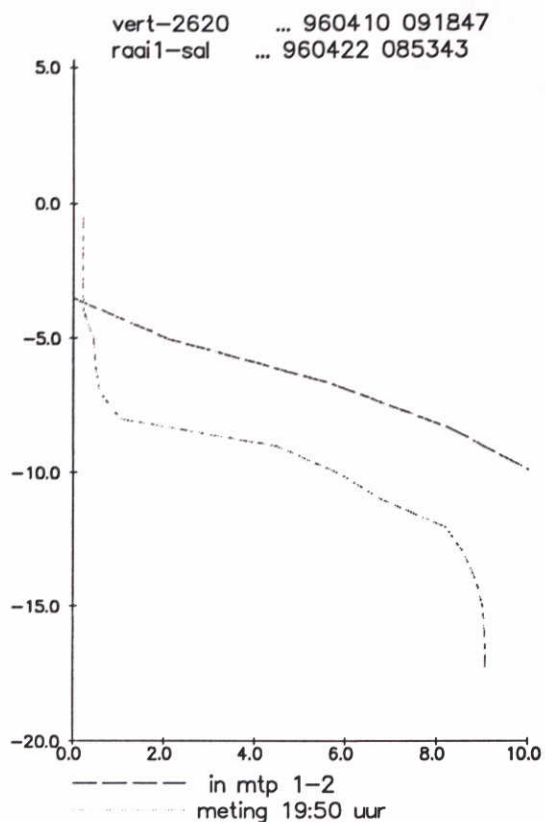
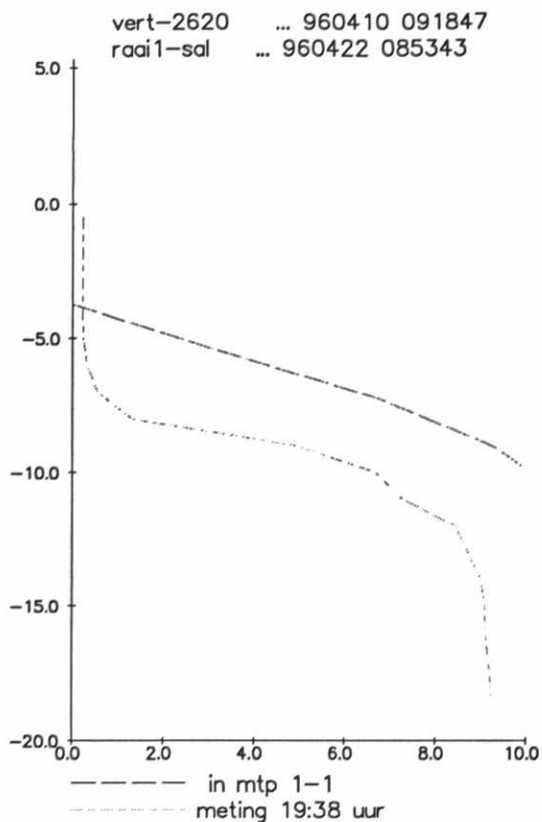


Visintrek simulatie 10 maart 1994  
vectorveld op 16:10 uur; laag 10  
Schuif drmv schotjes; drempel via dieptefile

1996-04-22  
08:56:09

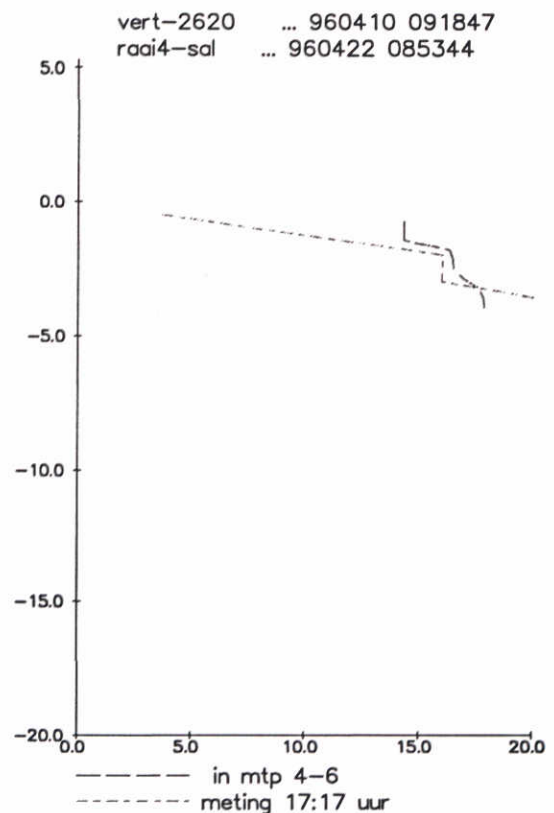
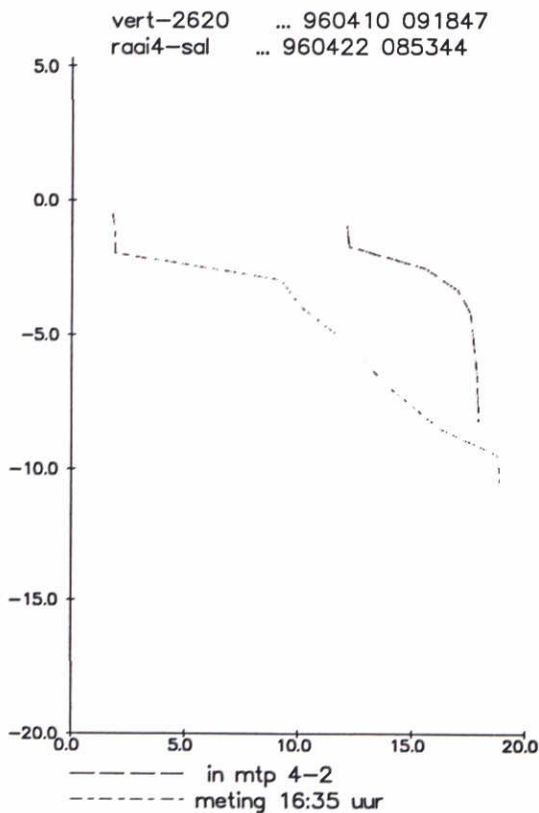
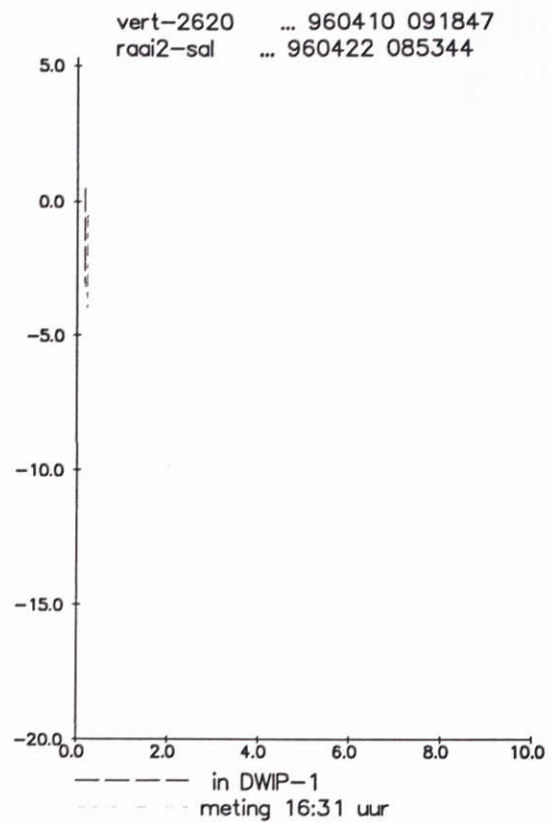
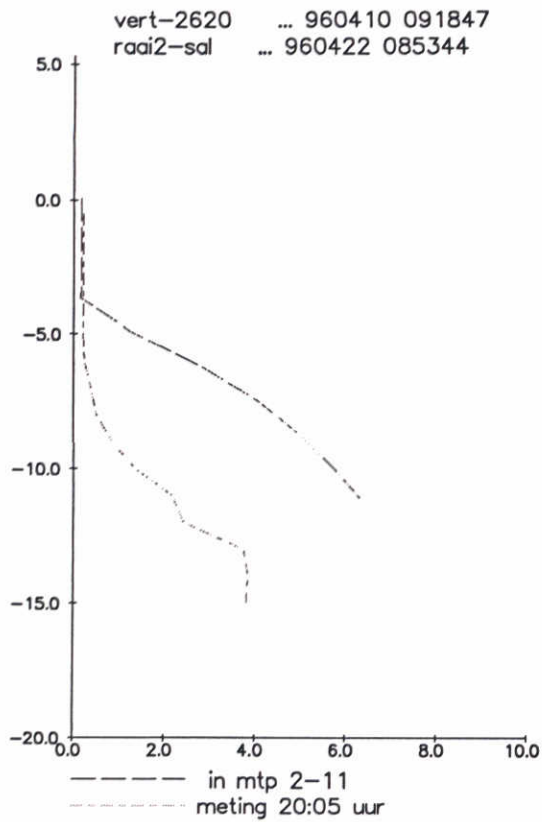
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.22



Visintrek simulatie 10 maart 1994  
Vertikale profielen van zout; op 19:40 uur  
Schuif dmv schotjes; drempel via dieptefile

1996-04-22  
08:57:26

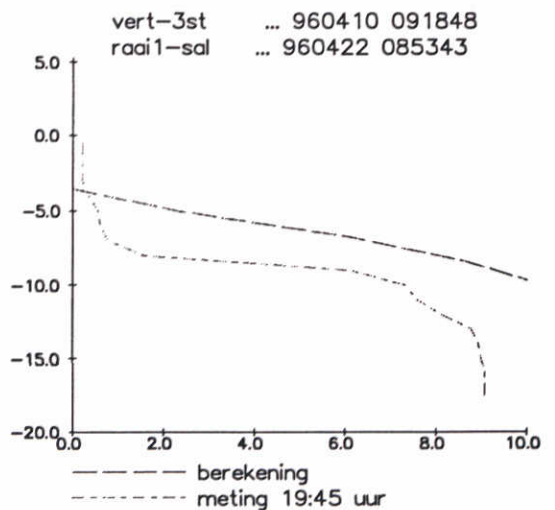
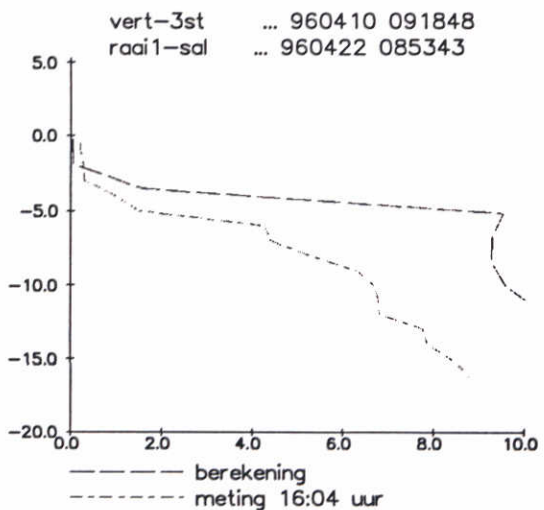
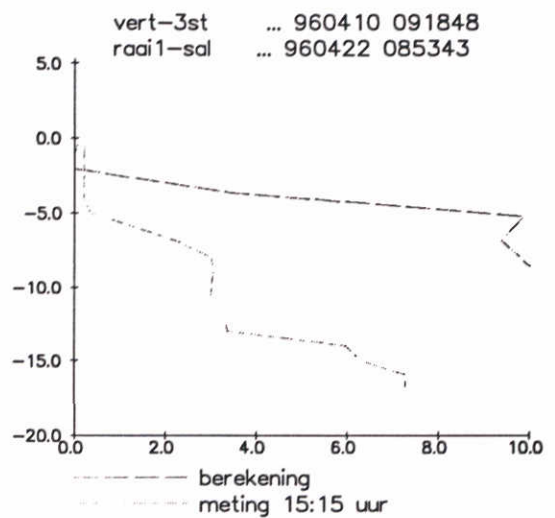
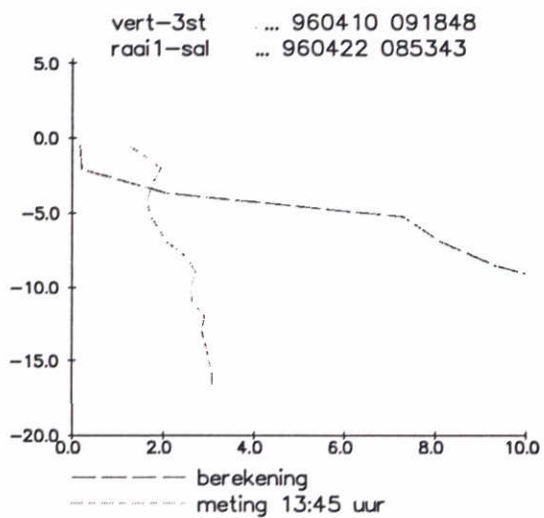
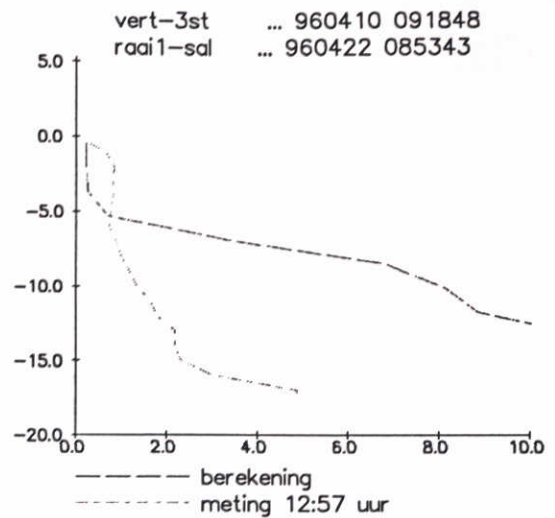
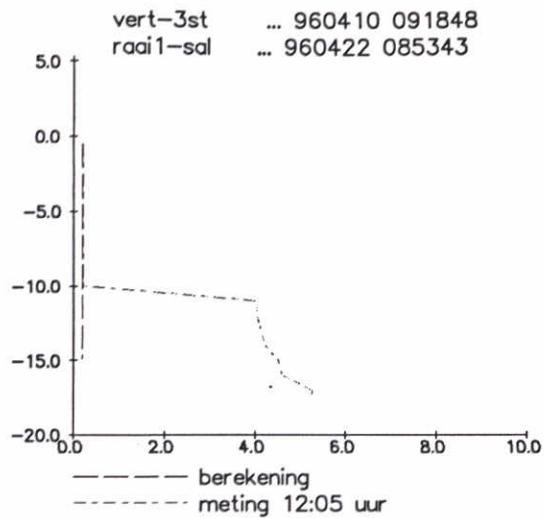


Visintrek simulatie 10 maart 1994  
Vertikale profielen van zout; op 19:40 uur  
Schuif dmv schotjes; drempel via dieptefile

1996-04-22  
08:57:29

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.24

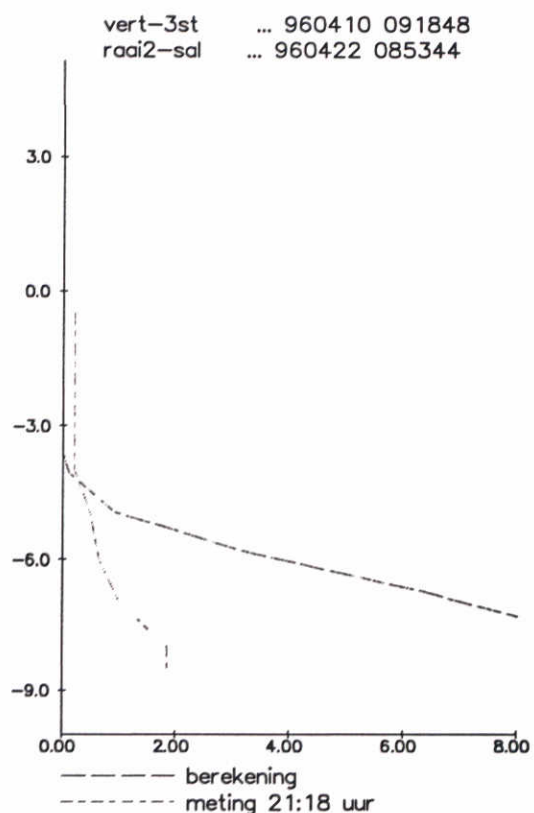
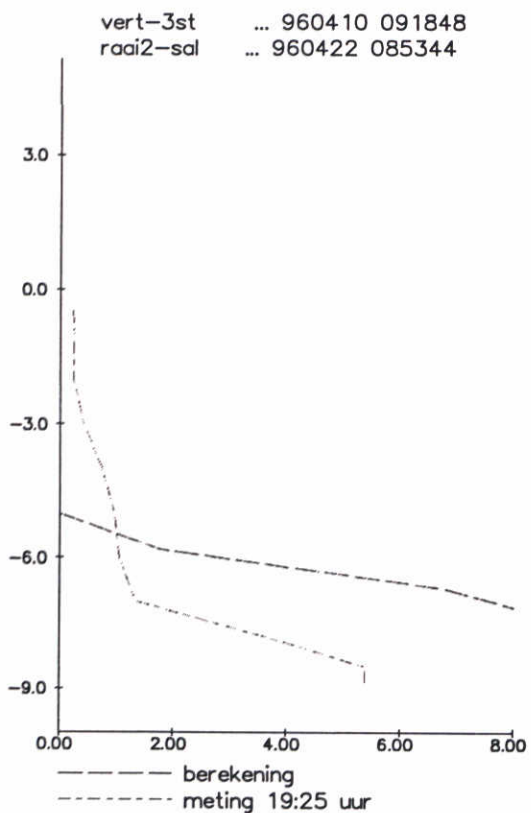
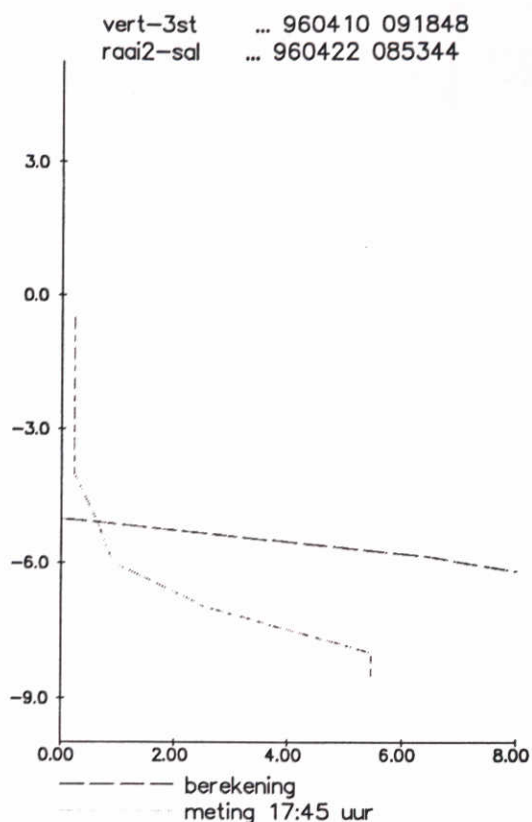
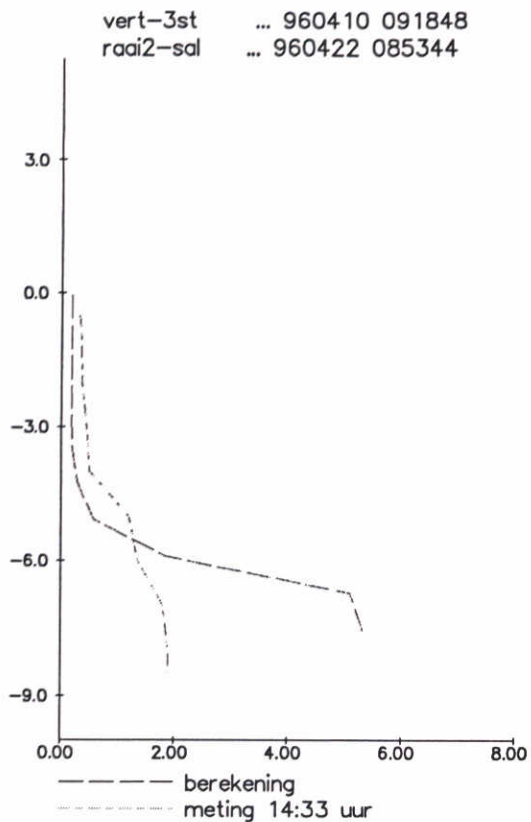


Visintrek simulatie 10 maart 1994  
Vertikale profielen van zout; in meetpunt 1-2  
Schuif dmv schotjes; drempel via dieptefile

1996-04-22  
08:57:40

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.25



Visintrek simulatie 10 maart 1994  
Vertikale profielen van zout; in meetpunt 2-7  
Schuif dmv schotjes; drempel via dieptefile

1996-04-22  
08:57:49

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.26

map-2230 ... 960415 084239  
trim-3dd.dat 3dd 960123 084903



Visintrek simulatie 10 maart 1994  
vectorveld op 13:10 uur; laag 10  
Schuif dmv schotjes; drempel via dieptefile

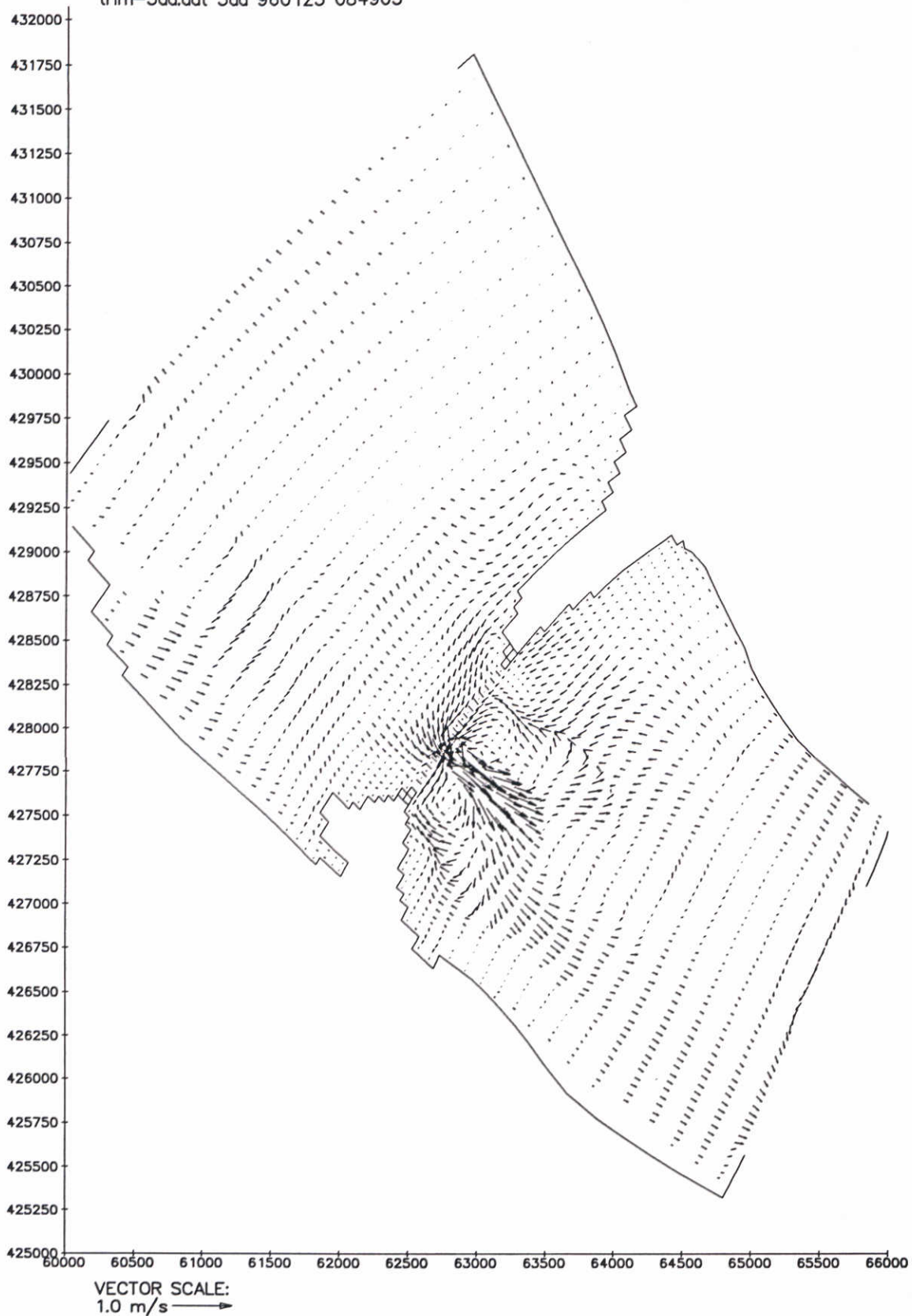
1996-04-22  
09:06:16

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.27



map-2290 ... 960415 084245  
trim-3dd.dat 3dd 960123 084903



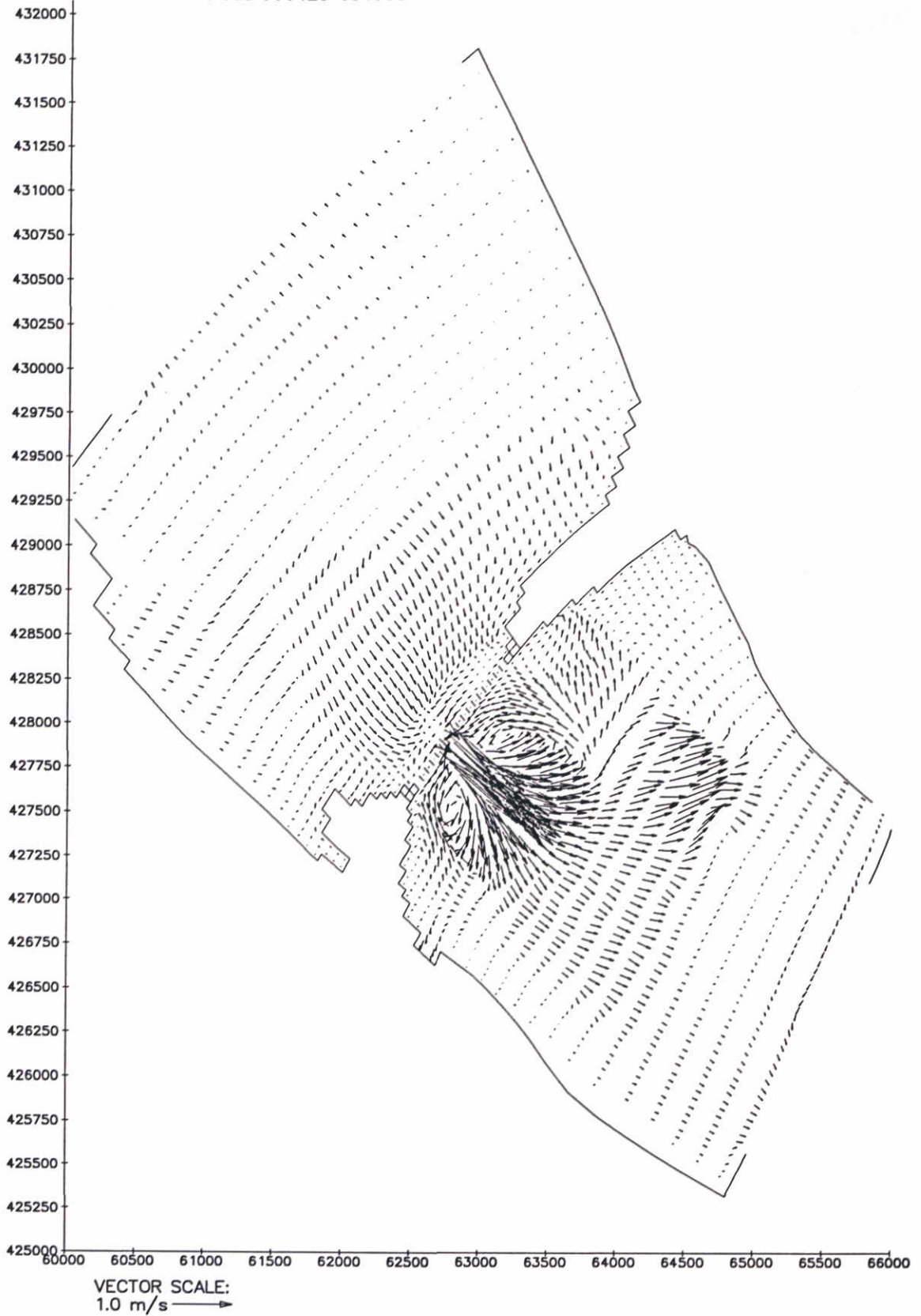
Visintrek simulatie 10 maart 1994  
vectorveld op 14:10 uur; laag 5  
Schuif dmv schotjes; drempel via dieptefile

1996-04-22  
09:05:29

**WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM**

Fig. 4.2.28

map-2290 ... 960415 084245  
trim-3dd.dat 3dd 960123 084903



Visintrek simulatie 10 maart 1994  
vectorveld op 14:10 uur; laag 10  
Schuif dmv schotjes; drempel via dieptefile

1996-04-22  
09:05:30

**WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM**

Fig. 4.2.29

map-2410 ... 960415 084251  
trim-3dd.dat 3dd 960123 084903



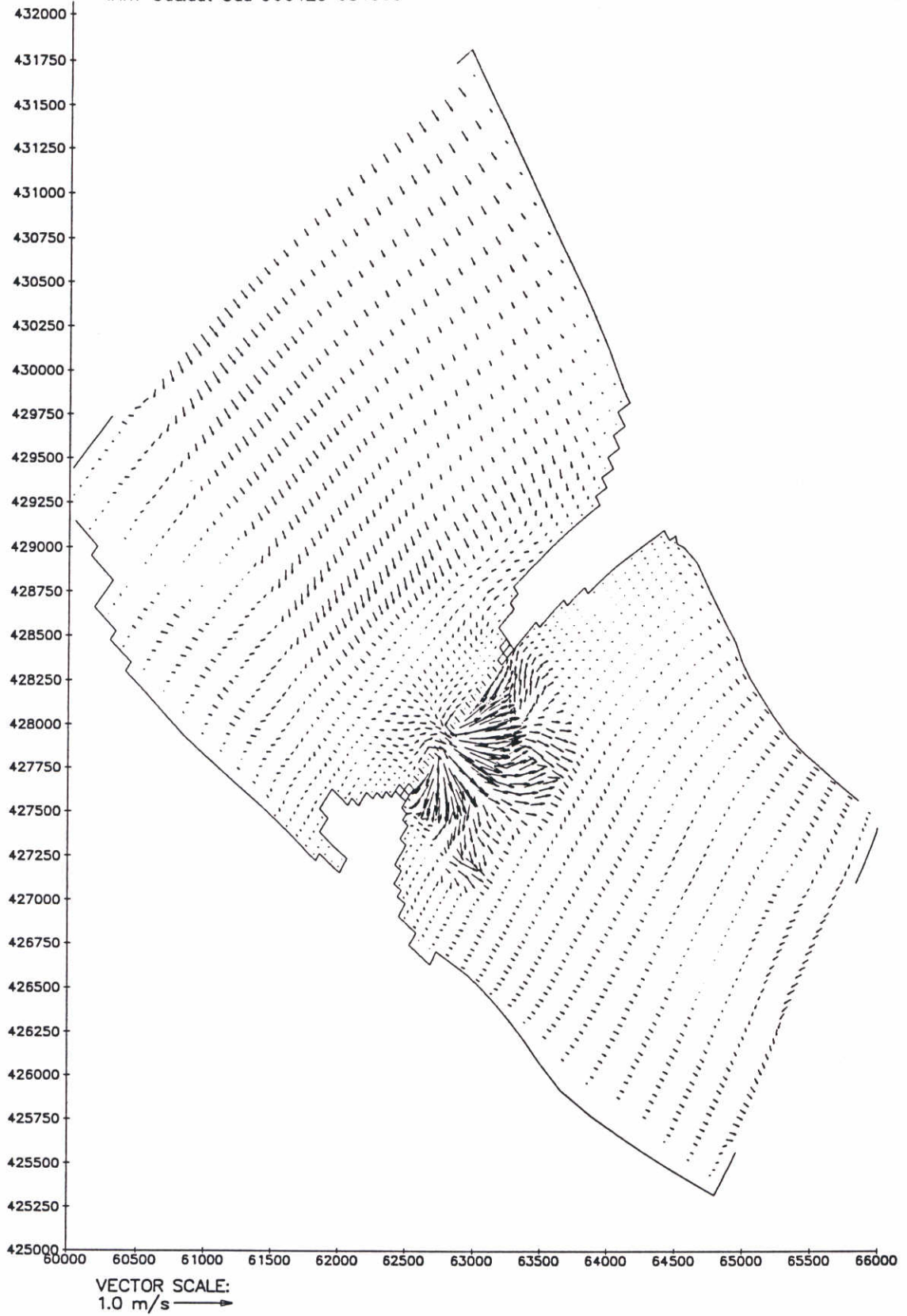
Visintrek simulatie 10 maart 1994  
vectorveld op 16:10 uur; laag 10  
Schuif dmv schotjes; drempel via dieptefile

1996-04-22  
09:05:33

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.30

map-2230 ... 960410 091612  
trim-3dd.dat 3dd 960123 084903



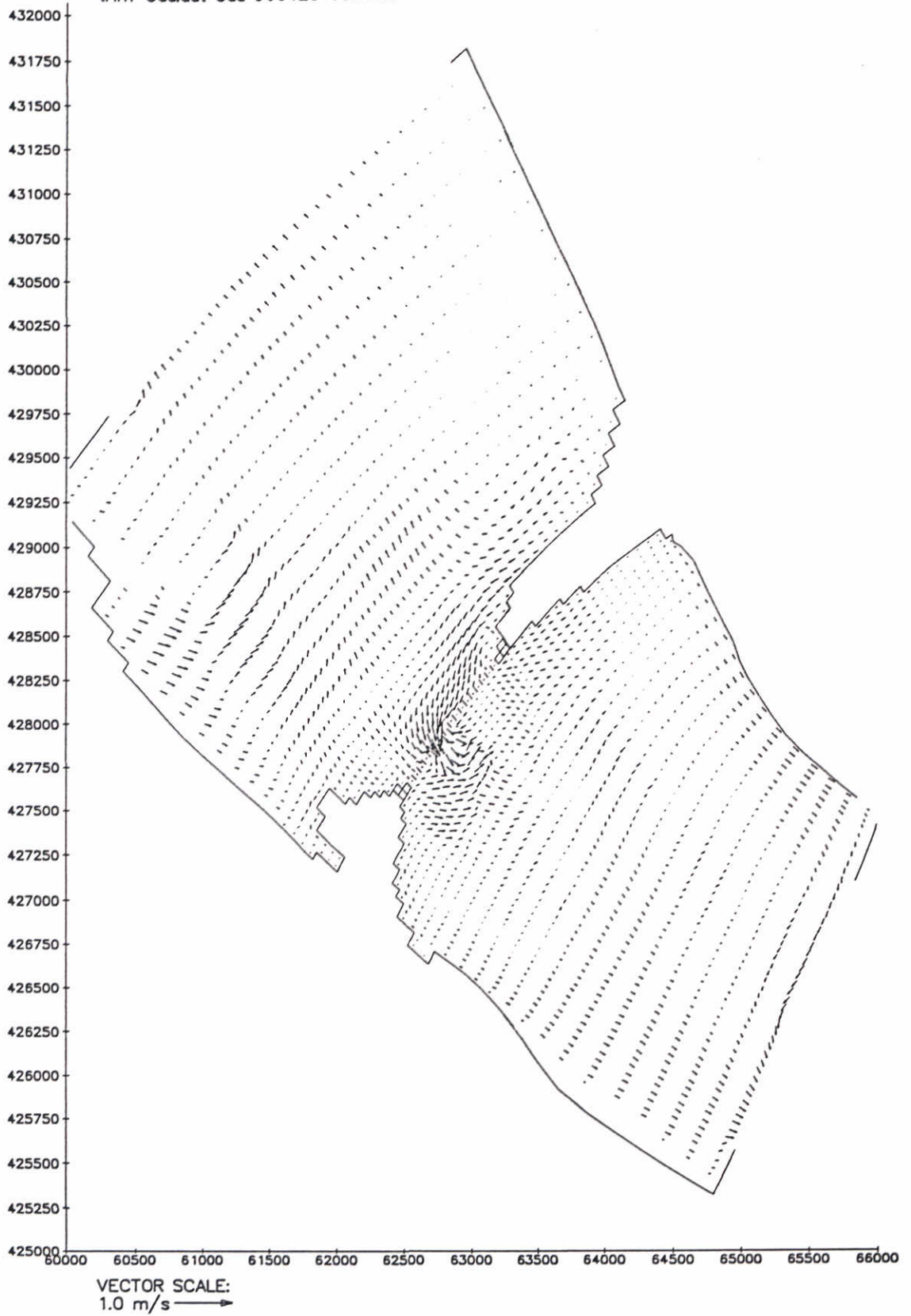
Visintrek simulatie 10 maart 1994  
vectorveld op 13:10 uur; laag 10  
Schuif dmv schotjes; drempel dmv schotjes

1996-04-29  
10:24:05

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.31

map-2290 ... 960410 091618  
trim-3dd.dat 3dd 960123 084903



Visintrek simulatie 10 maart 1994  
vectorveld op 14:10 uur; laag 5  
Schuif dmv schotjes; drempel dmv schotjes

1996-04-29  
10:23:00

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.32

map-2290 ... 960410 091618  
trim-3dd.dat 3dd 960123 084903



Visintrek simulatie 10 maart 1994  
vectorveld op 14:10 uur; laag 10  
Schuif dmv schotjes; drempel dmv schotjes

1996-04-29  
10:23:01

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.33

map-2410 ... 960410 091624  
trim-3dd.dat 3dd 960123 084903



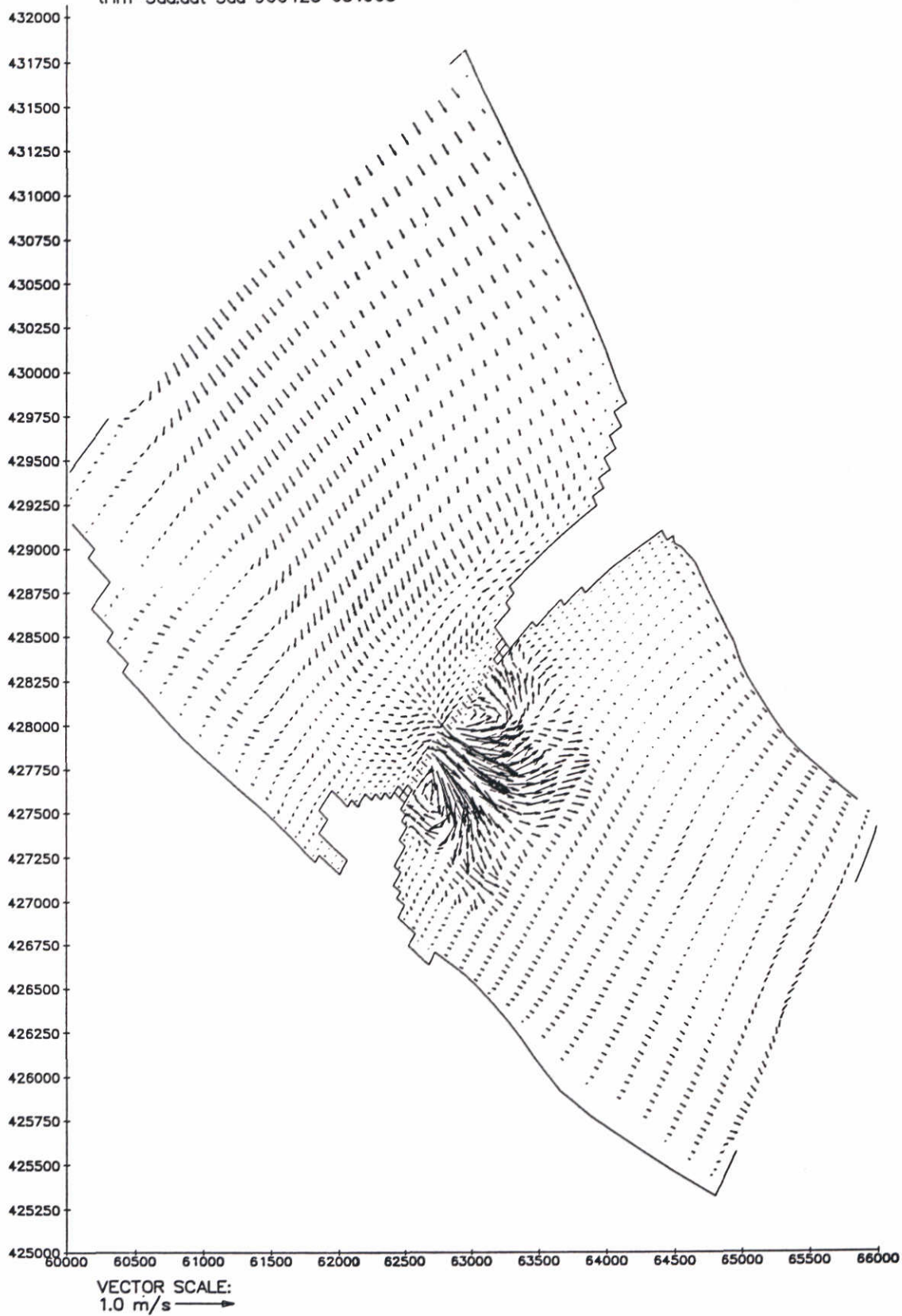
Visintrek simulatie 10 maart 1994  
vectorveld op 16:10 uur; laag 10  
Schuif dmv schotjes; drempel dmv schotjes

1996-04-29  
10:23:04

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.34

map-2230 ... 960416 110901  
trim-3dd.dat 3dd 960123 084903



Visintrek simulatie 10 maart 1994  
vectorveld op 13:10 uur; laag 10  
Uniform verhoogde ruwheid; drempel via dieptefile

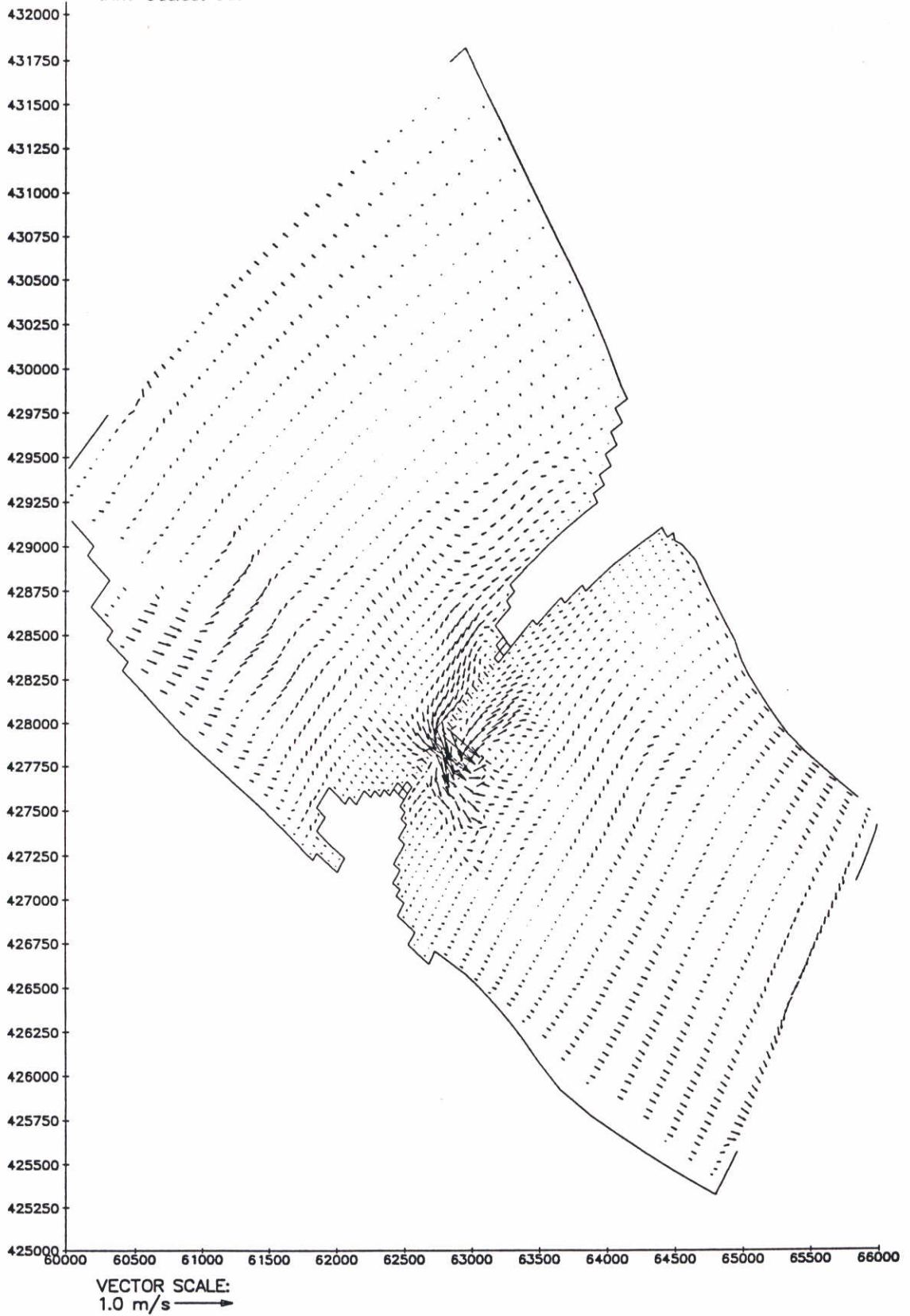
1996-04-16  
11:15:12

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.35



map-2290 ... 960416 110907  
trim-3dd.dat 3dd 960123 084903



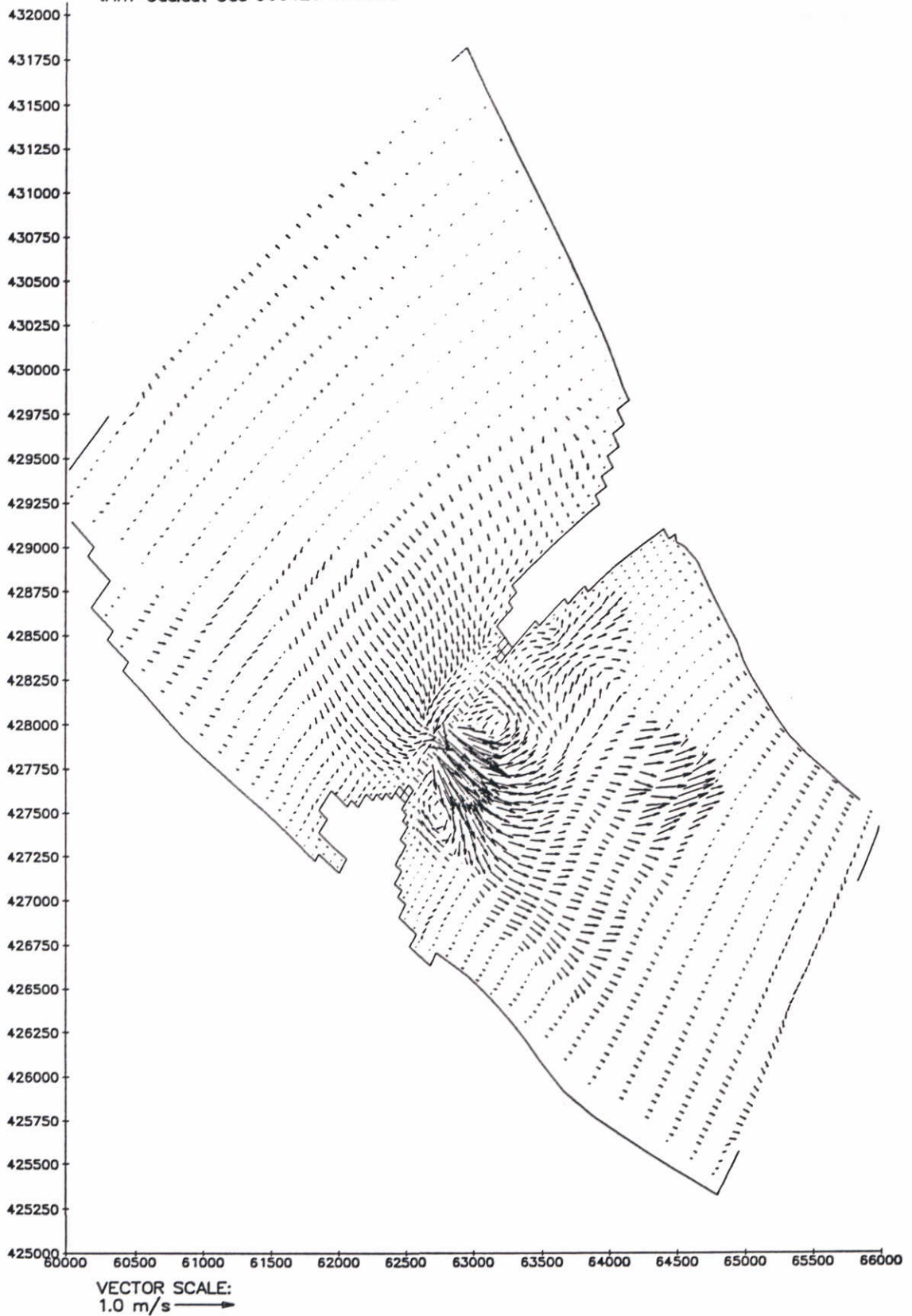
Visintrek simulatie 10 maart 1994  
vectorveld op 14:10 uur; laag 5  
Uniform verhoogde ruwheid; drempel via diepte file

1996-04-16  
11:13:48

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.36

map-2290 ... 960416 110907  
trim-3dd.dat 3dd 960123 084903



Visintrek simulatie 10 maart 1994  
vectorveld op 14:10 uur; laag 10  
Uniform verhoogde ruwheid; drempel via dieptefile

1996-04-16  
11:13:49

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.37

map-2410 ... 960416 110913  
trim-3dd.dat 3dd 960123 084903

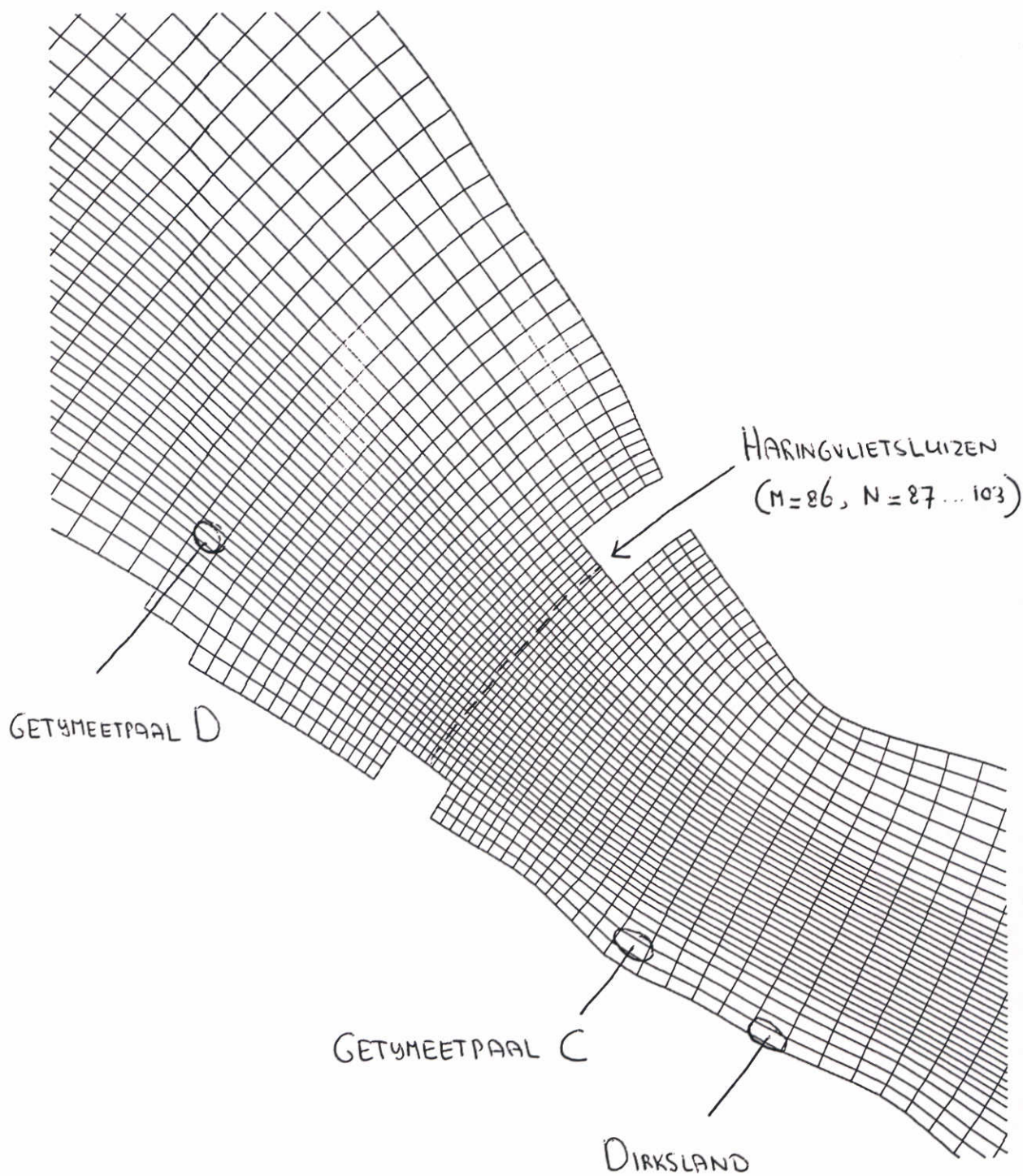


Visintrek simulatie 10 maart 1994  
vectorveld op 16:10 uur; laag 10  
Uniform verhoogde ruwheid; drempel via dieptefile

1996-04-16  
11:13:51

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.2.38

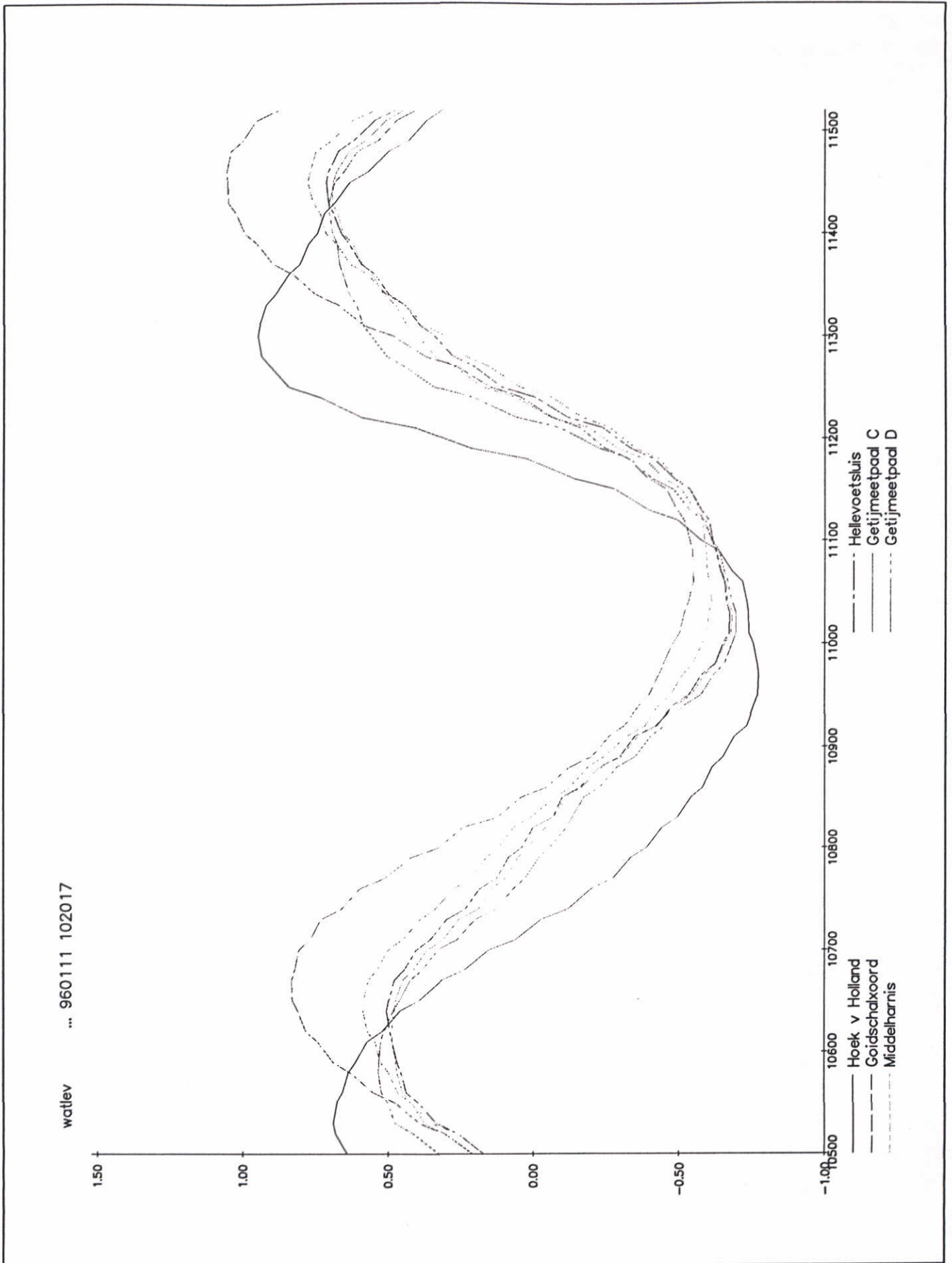


Verfijnd RIJMAMO model (run 22 oktober 1970)  
Geometrie rondom Haringvlietsluizen

1996-03-13  
14:01:06

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.3.1

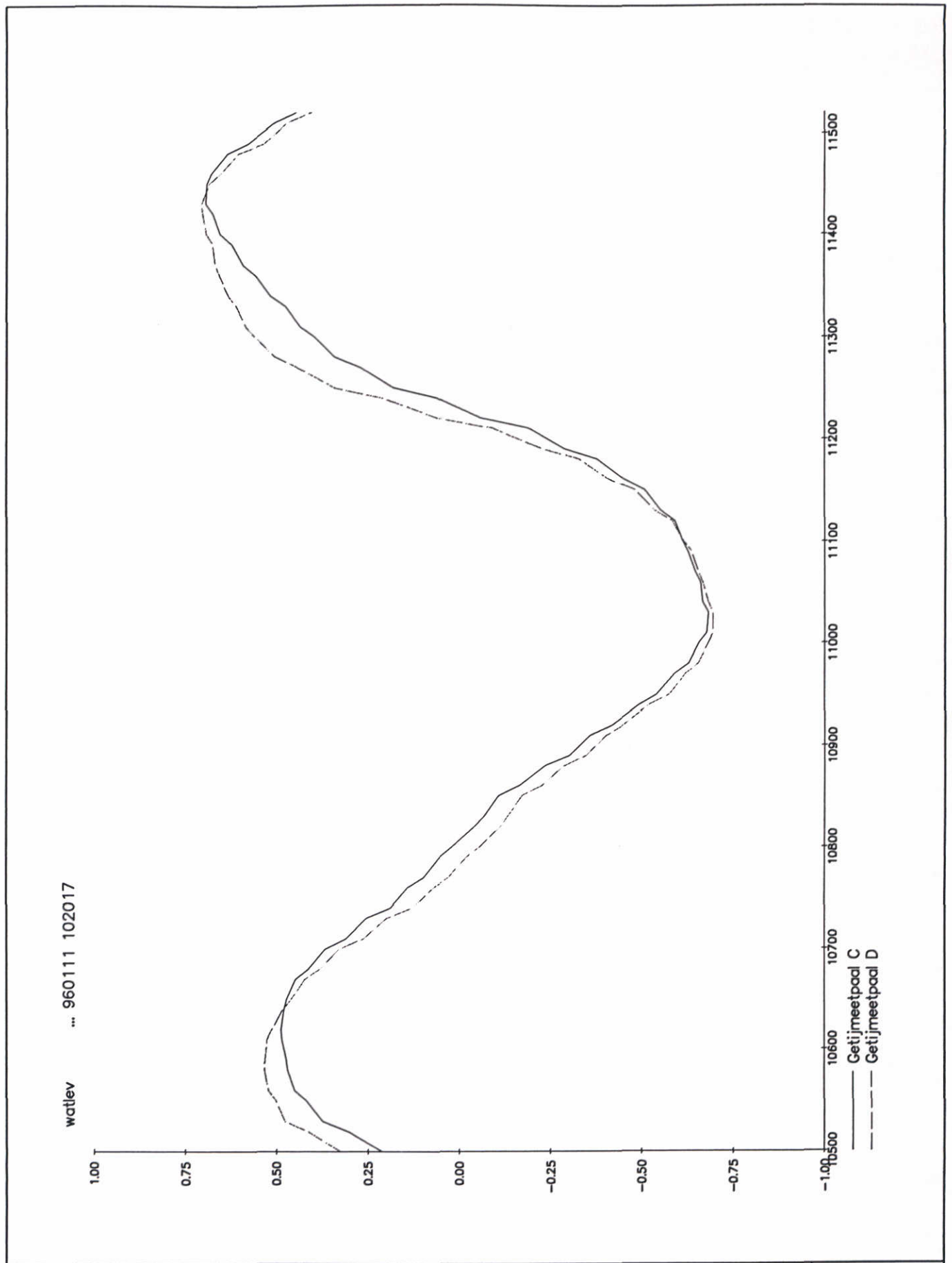


Waterstanden 22 oktober 1970  
 Verfijnd RIJMAMO model  
 Numerieke resultaten

1996-01-24  
 12:33:09

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.3.2



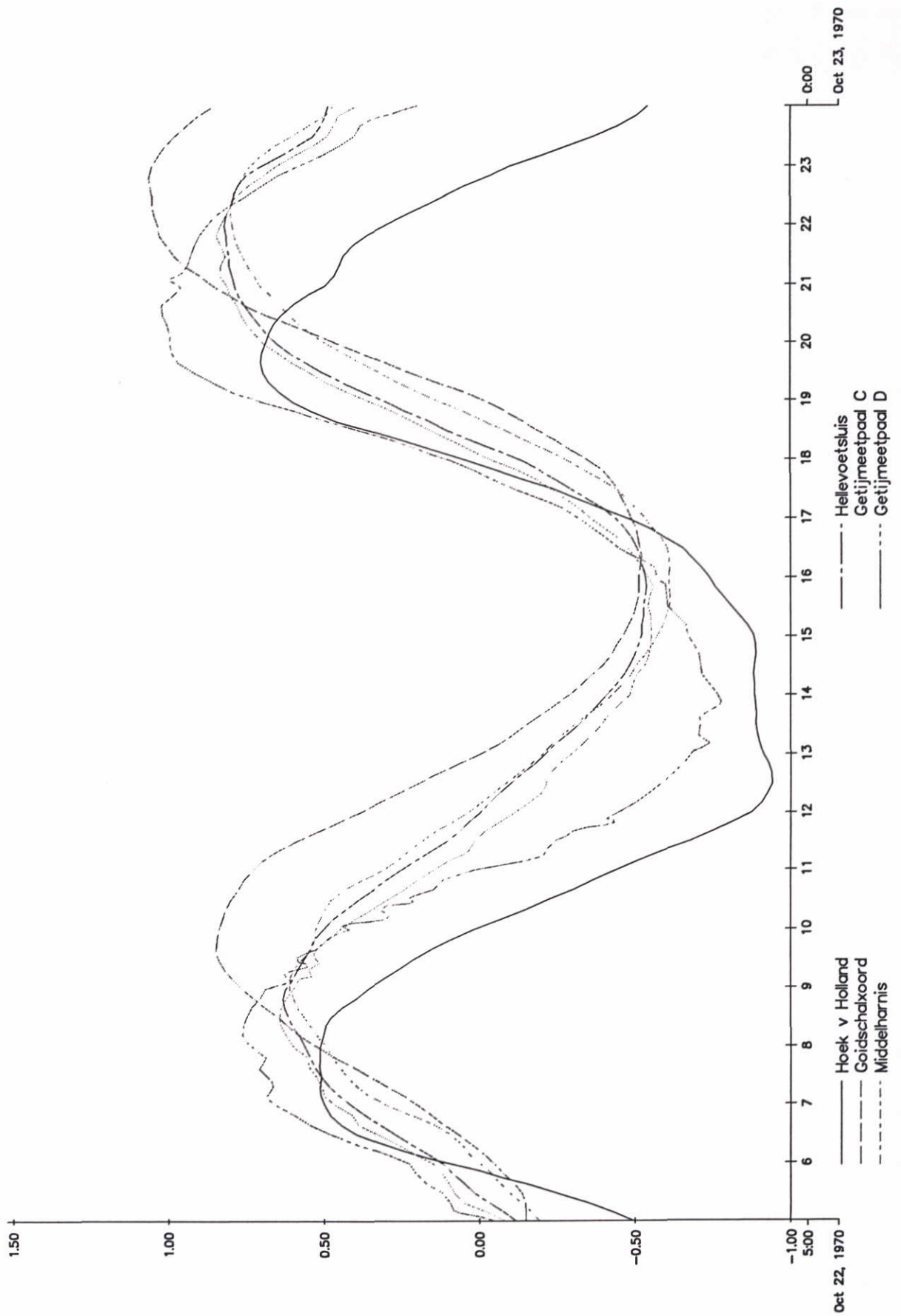
Waterstanden 22 oktober 1970  
 Verfijnd RIJMAMO model  
 Numerieke resultaten

1996-01-24  
 12:33:26

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.3.3

7253.dat .. 960313 133602

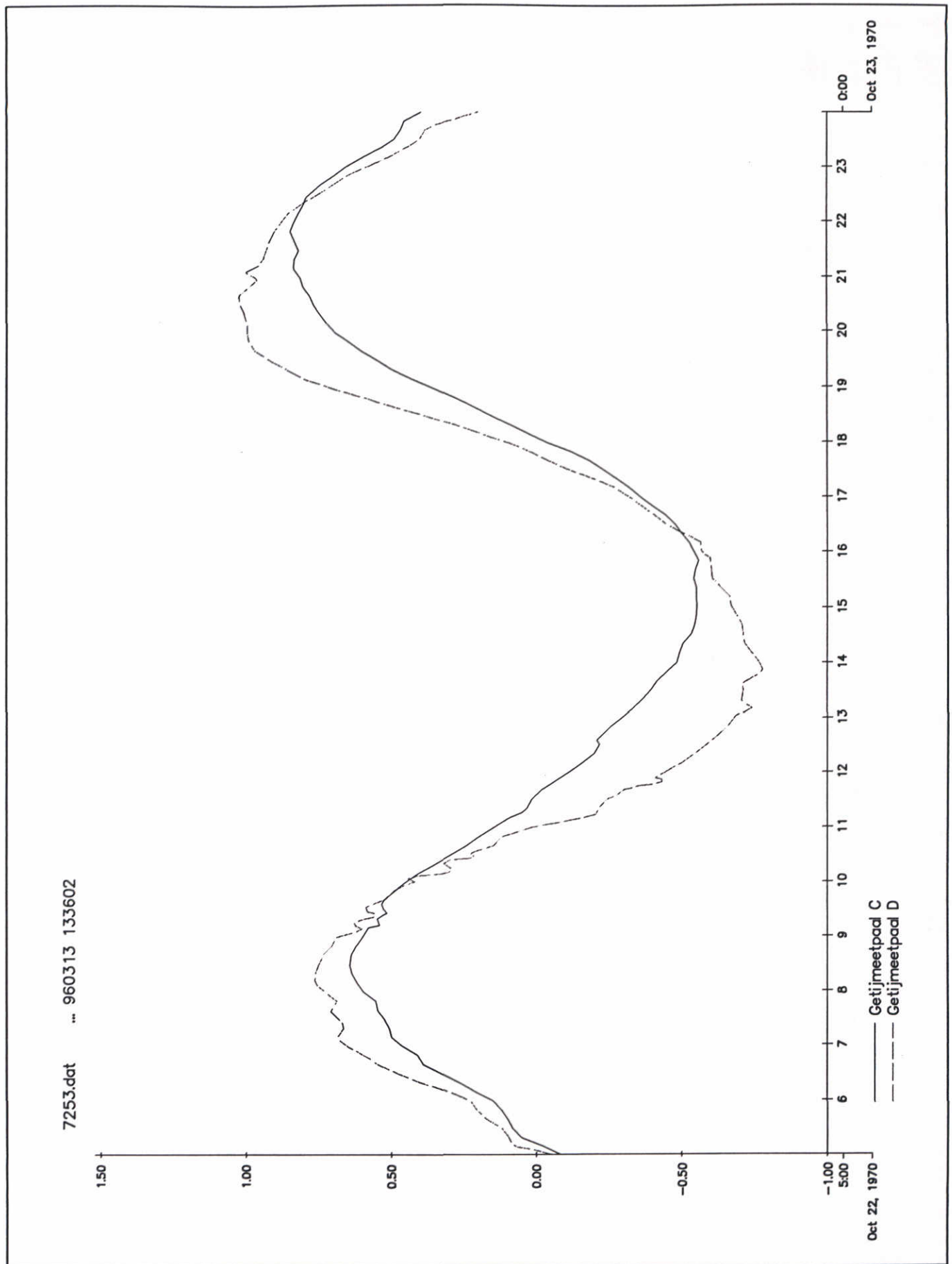


Verfijnd RIJMAMO model (run 22 oktober 1970)  
Waterstanden  
Metingen

1996-03-13  
13:50:26

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.3.4



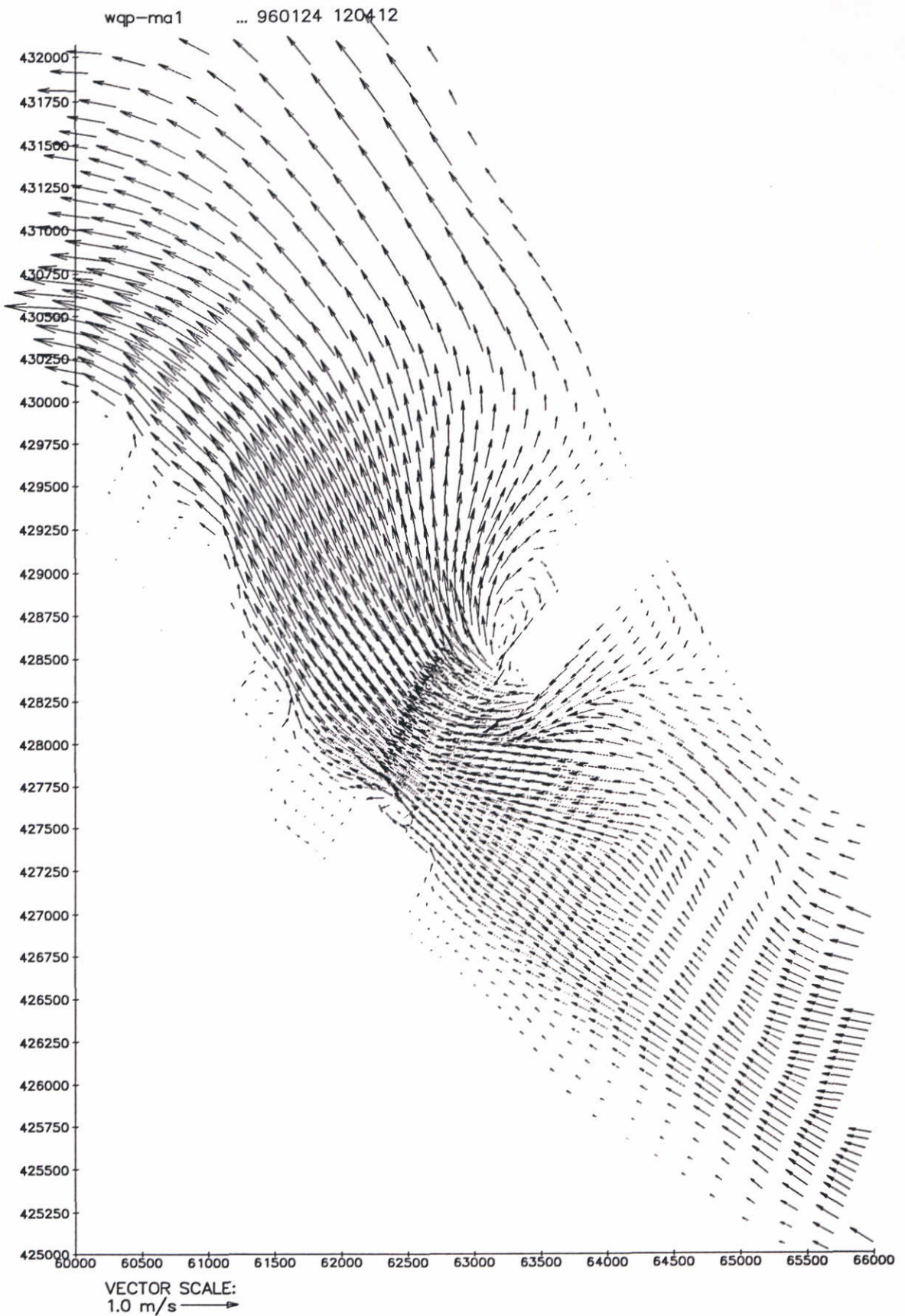
Verfijnd RIJMAMO model (run 22 oktober 1970)  
Waterstanden  
Metingen

1996-03-13  
13:50:52

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.3.5



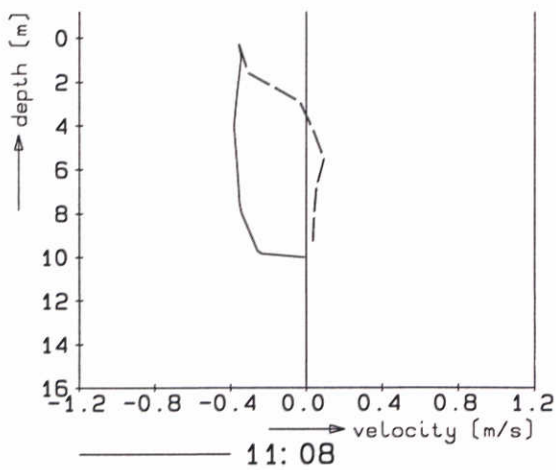
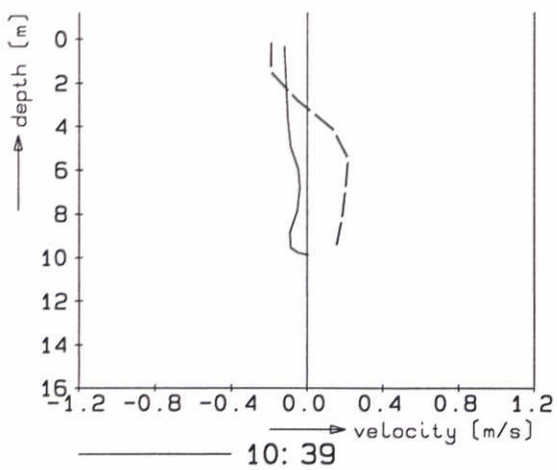
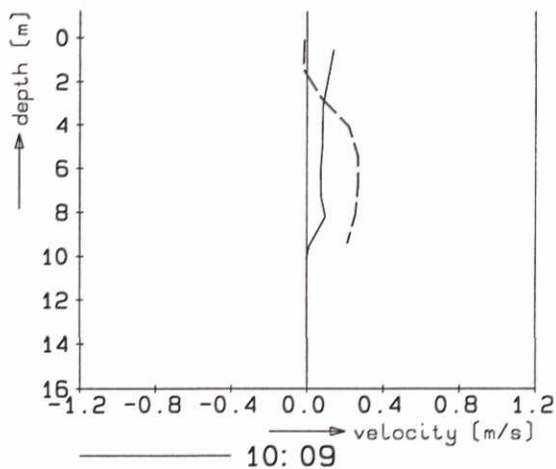
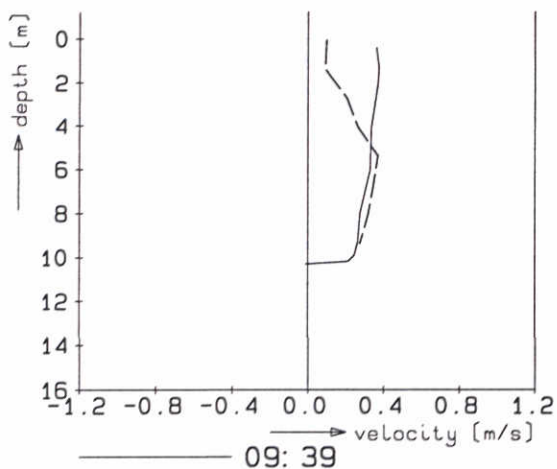
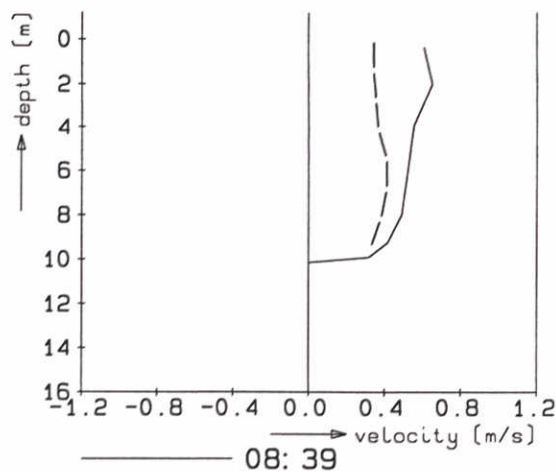
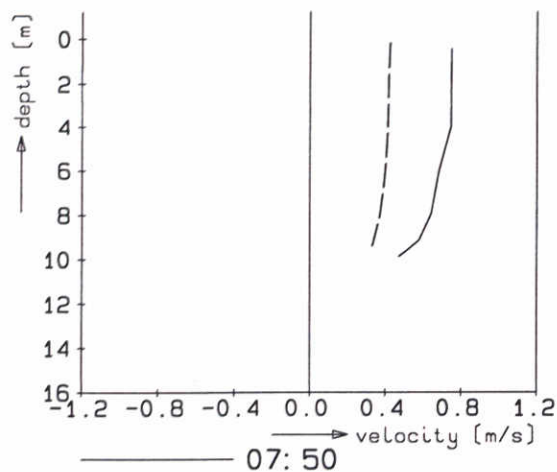


Verfijnd RIJAMO model  
vectorveld op t=10800 min (22 okt. 12:00 uur)  
laag 1

1996-01-24  
12:32:49

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig. 4.3.6



----- computed U-velocity

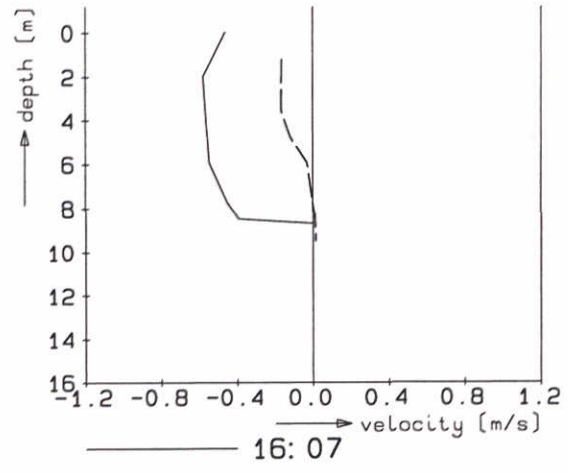
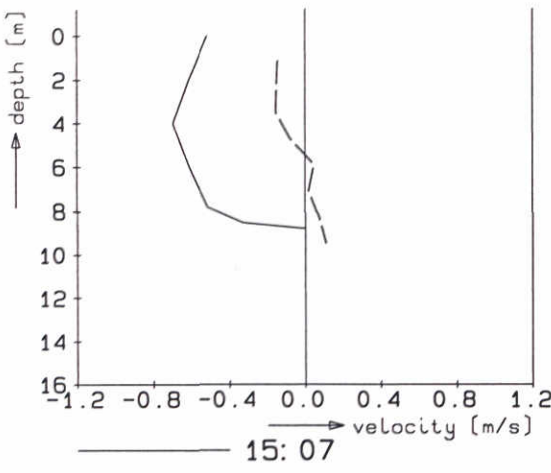
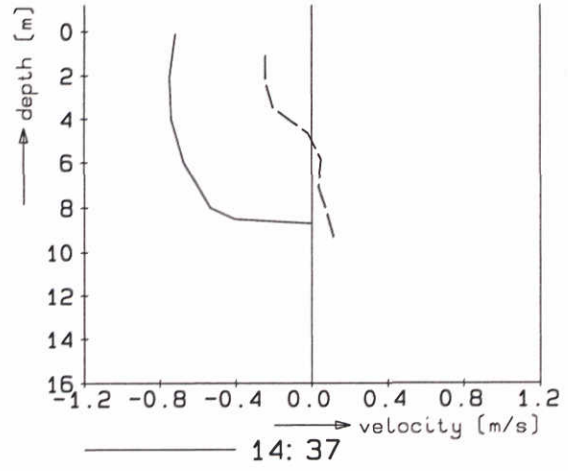
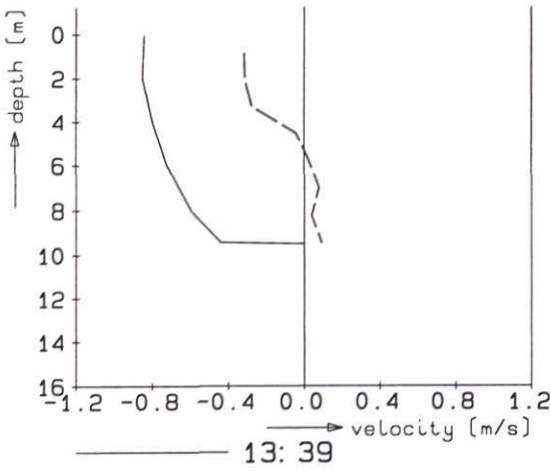
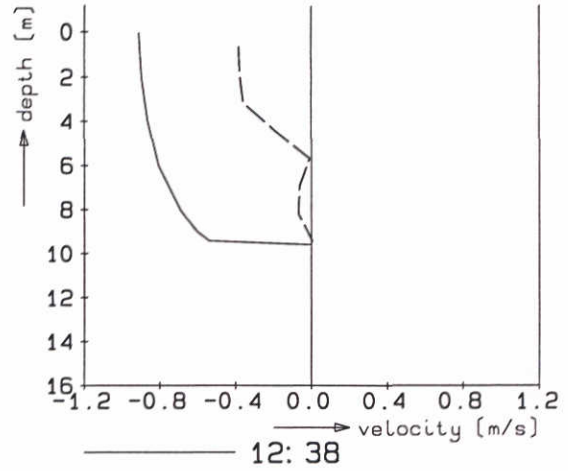
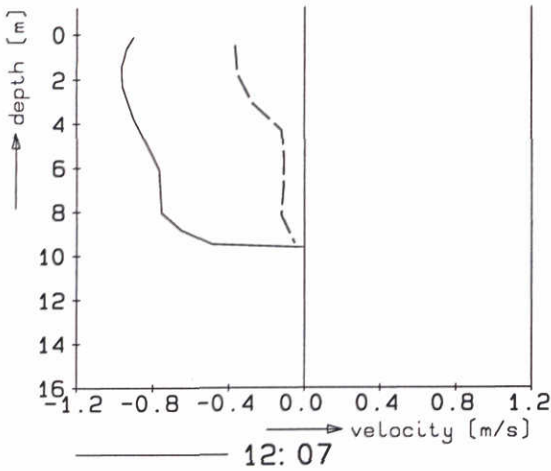
Tiengemeenten

blz. 7256

DELFT HYDRAULICS

Z-986.20

Fig. 4.3.7a



----- computed U-velocity

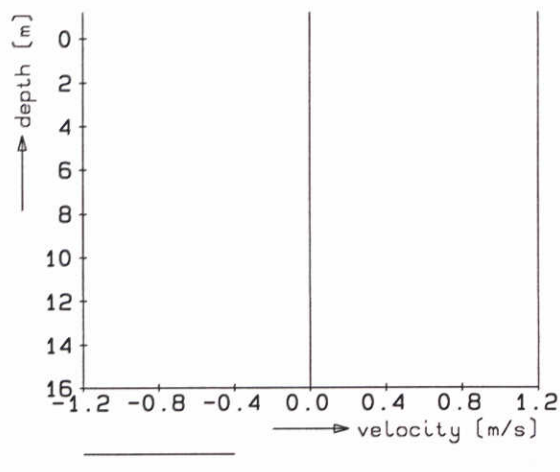
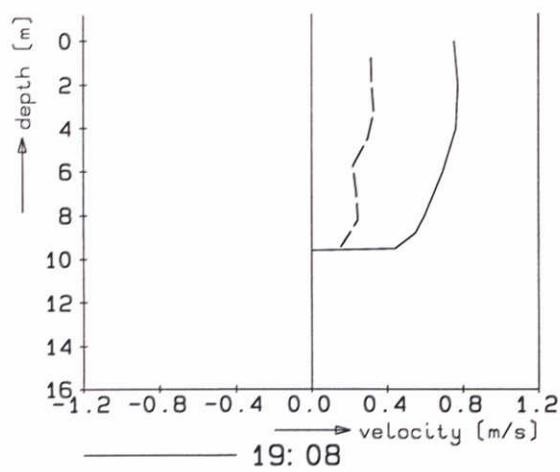
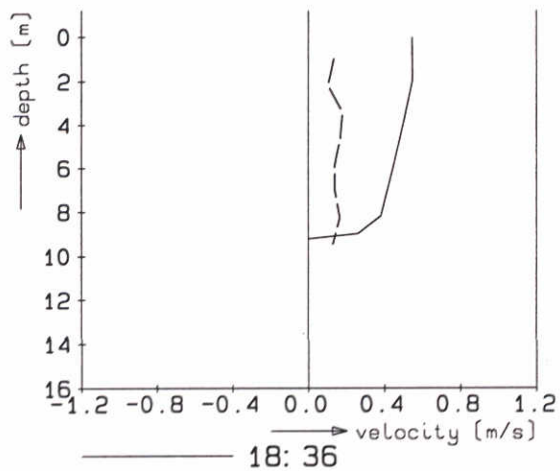
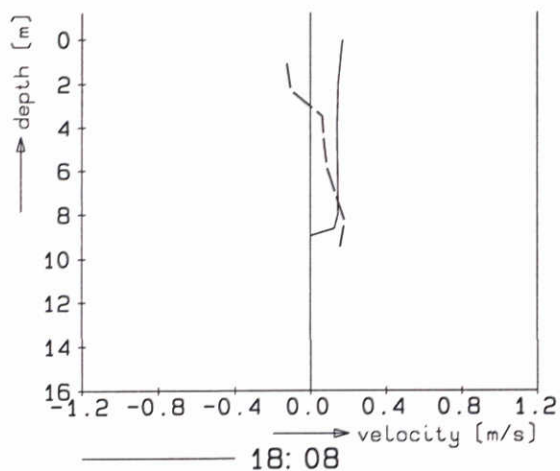
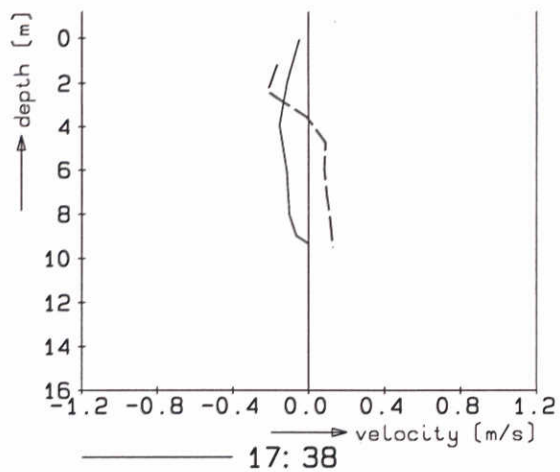
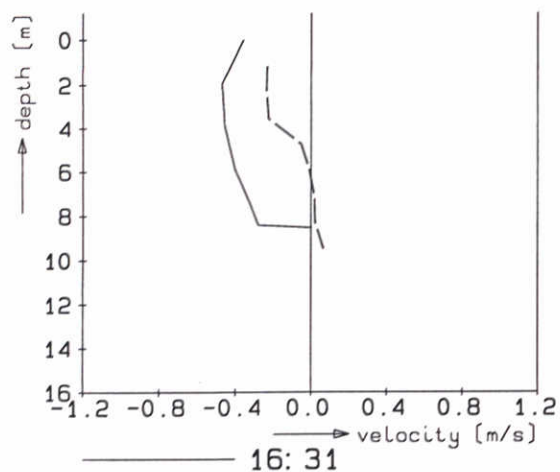
Tiengemeenten

b1z. 7256

DELFT HYDRAULICS

Z-986.20

Fig. 4.3.7b



----- computed U-velocity

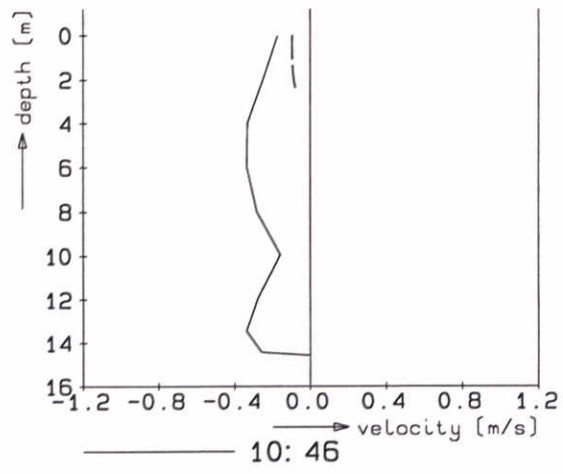
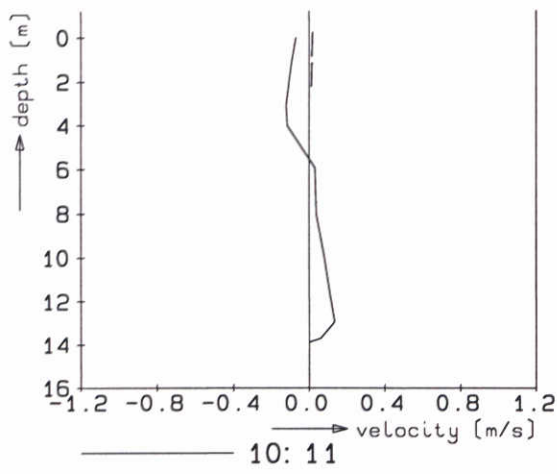
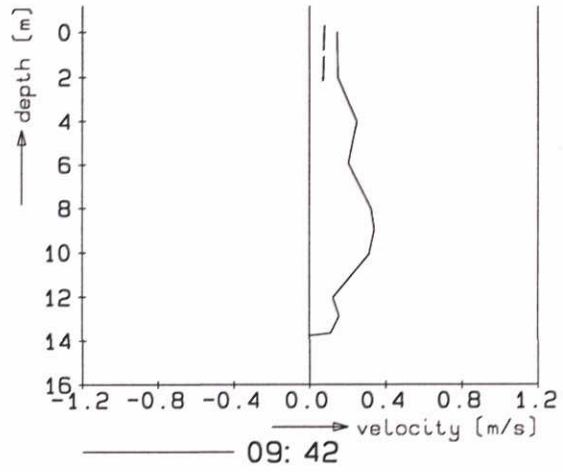
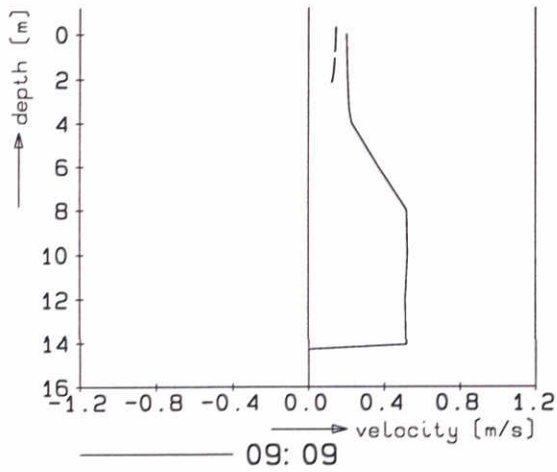
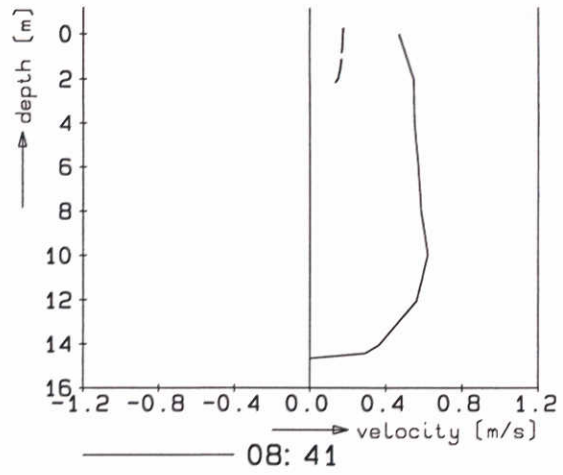
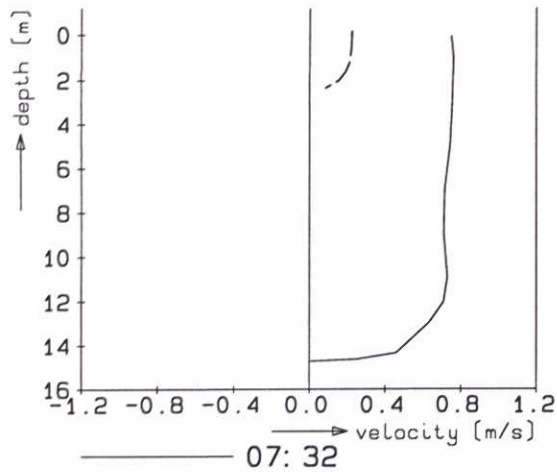
Tiengemeenten

blz. 7256

DELFT HYDRAULICS

Z-986.20

Fig. 4.3.7c



----- computed U-velocity

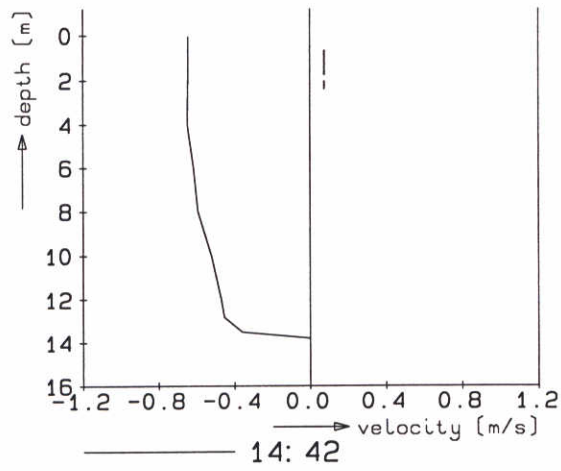
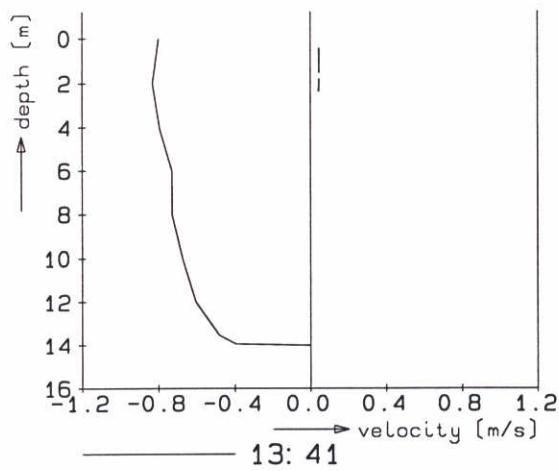
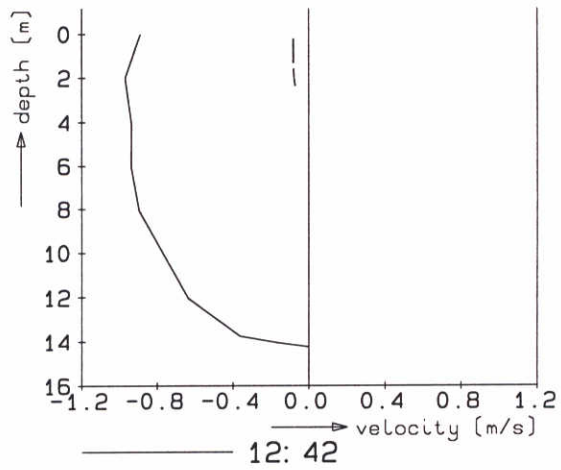
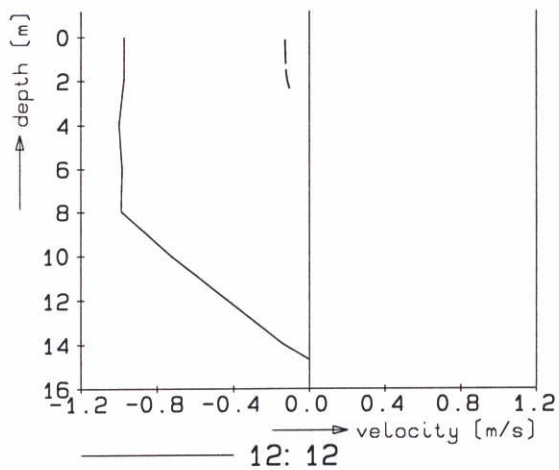
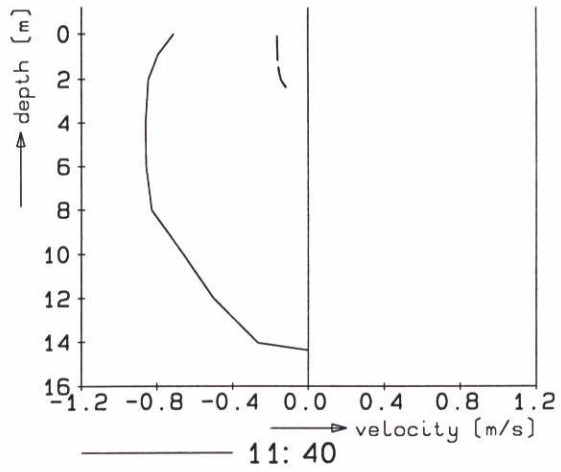
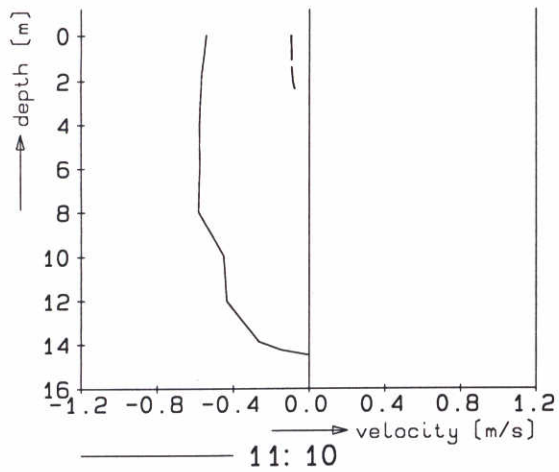
Dirksland

blz. 7257

DELFT HYDRAULICS

Z-986.20

Fig. 4.3.8a



----- computed U-velocity

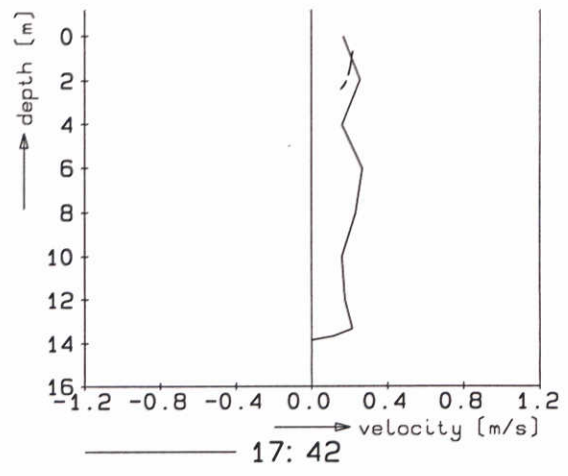
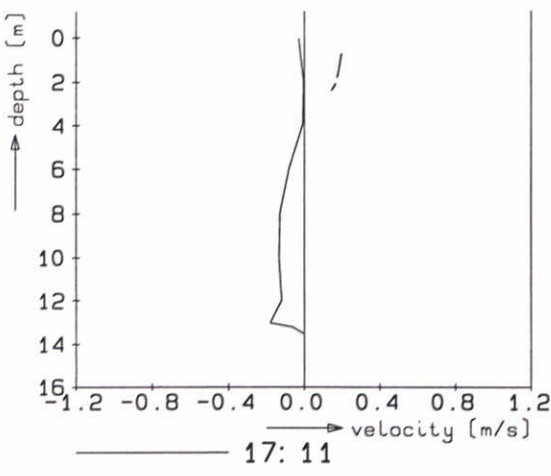
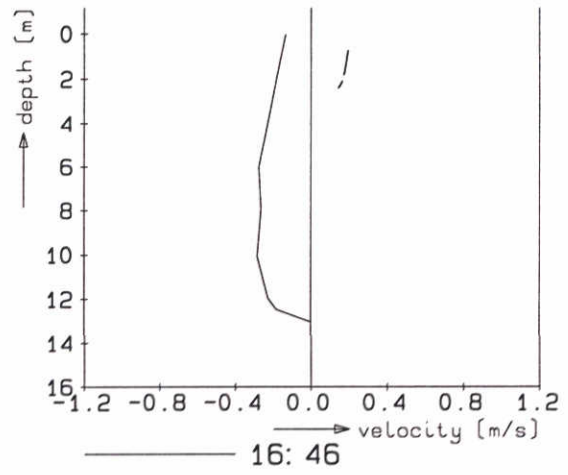
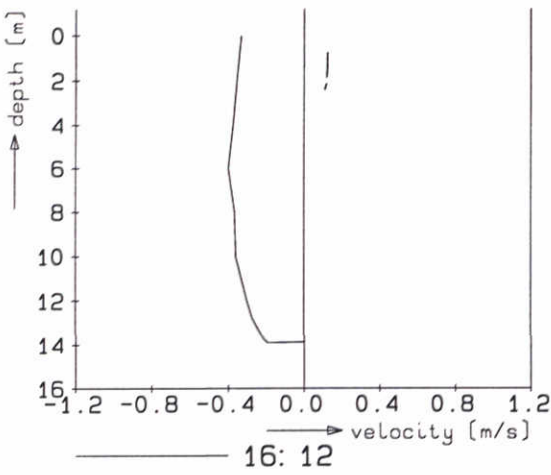
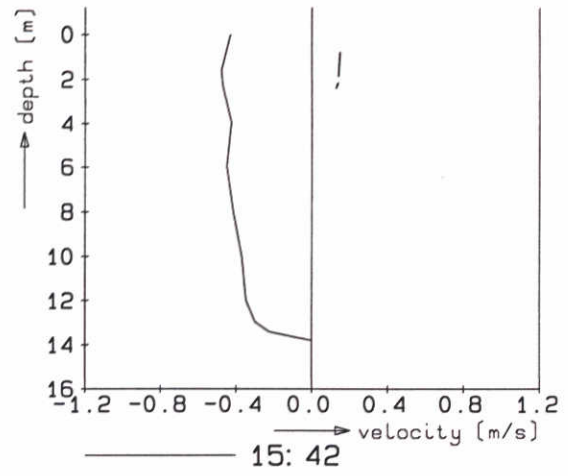
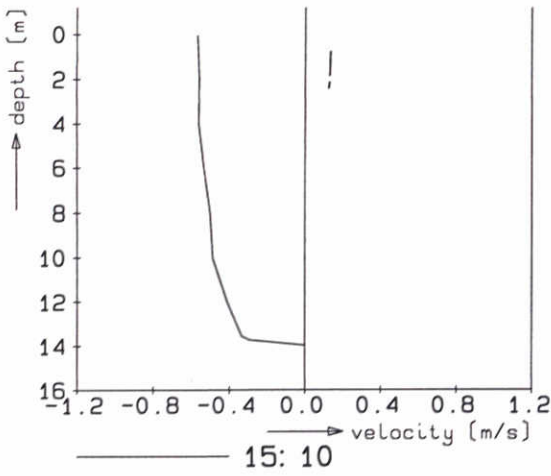
Dirksland

blz. 7257

DELFT HYDRAULICS

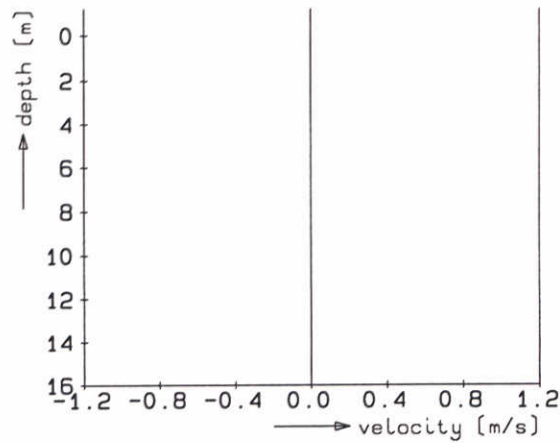
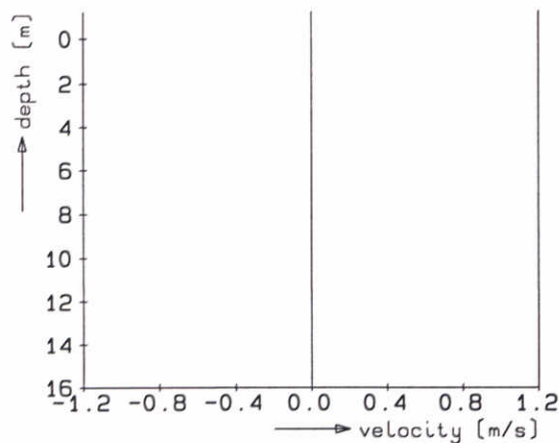
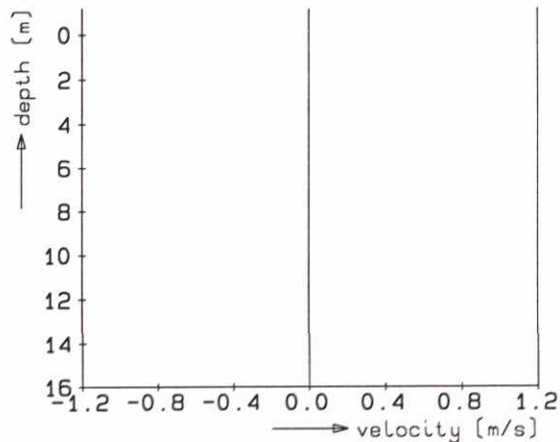
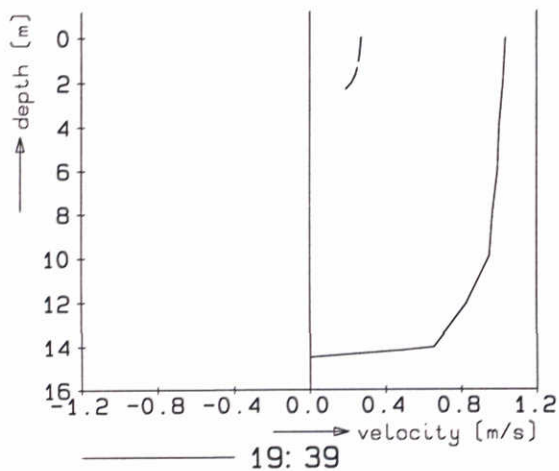
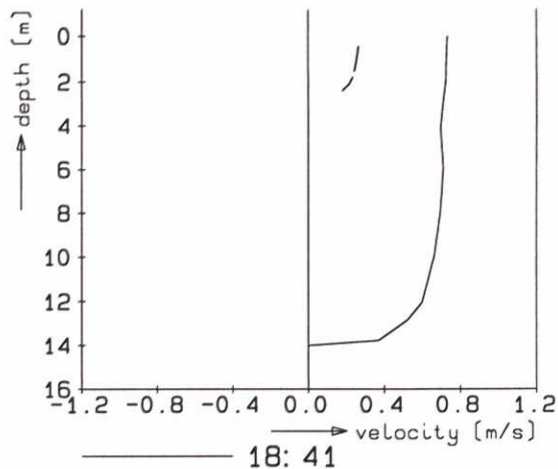
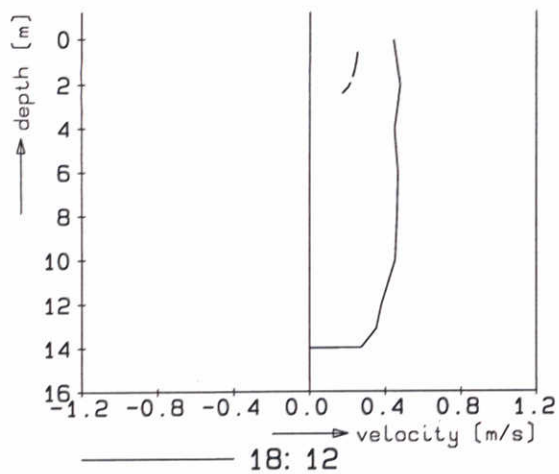
Z-986.20

Fig. 4.3.8b



----- computed U-velocity

Dirksland		
	blz. 7257	
DELFT HYDRAULICS	Z-986.20	Fig. 4.3.8c



----- computed U-velocity

Dirksland

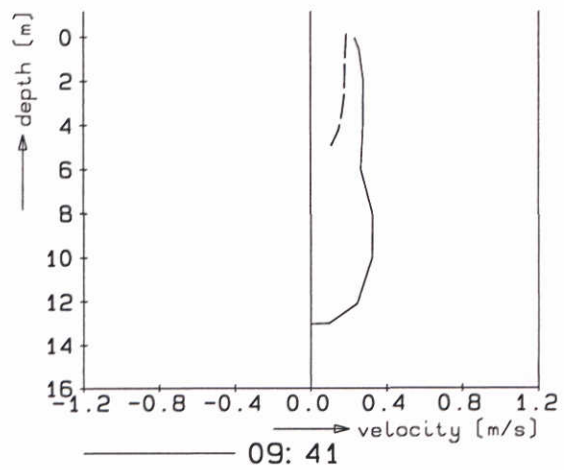
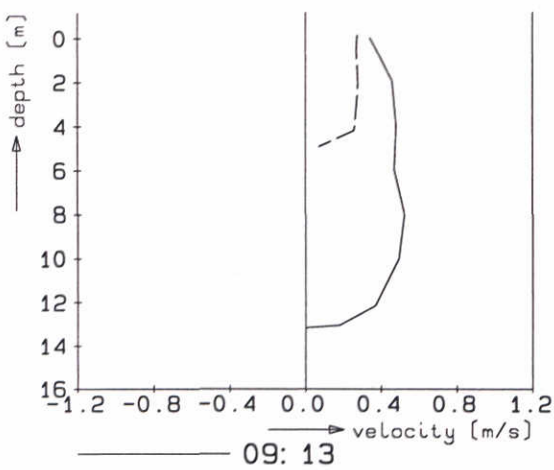
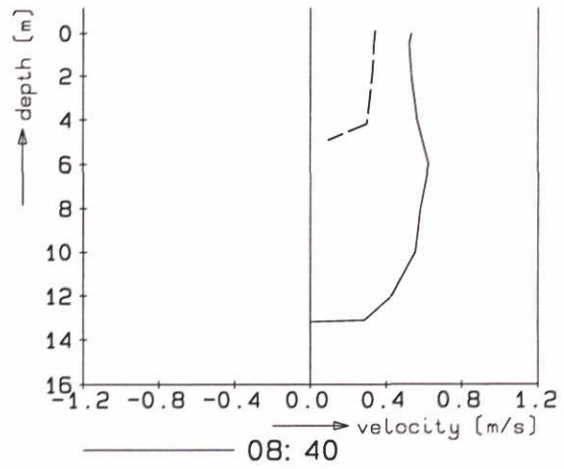
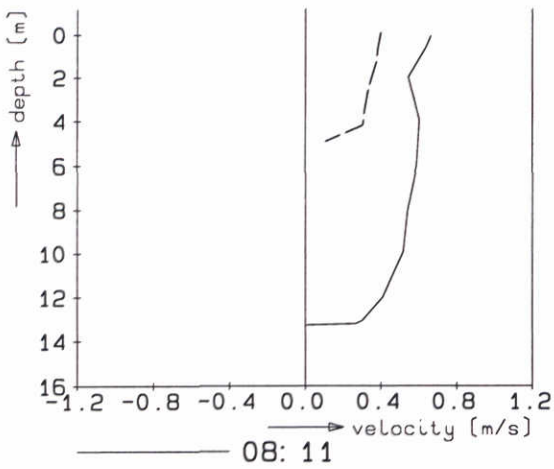
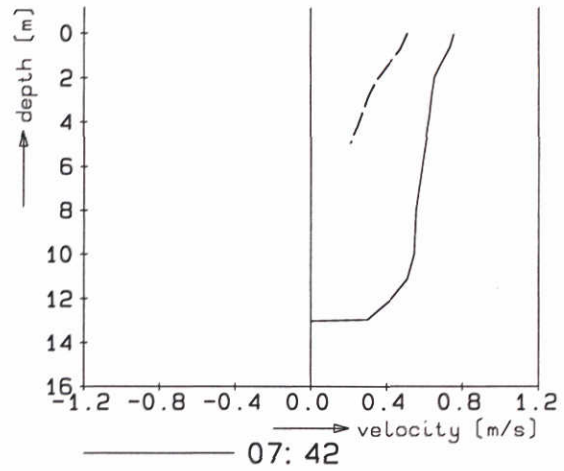
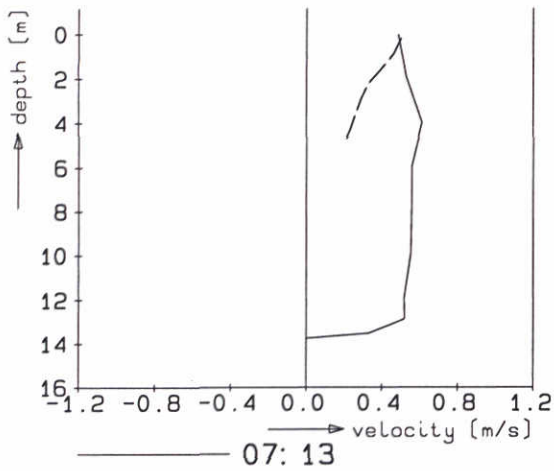
blz. 7257

DELFT HYDRAULICS

Z-986.20

Fig. 4.3.8d





----- computed U-velocity

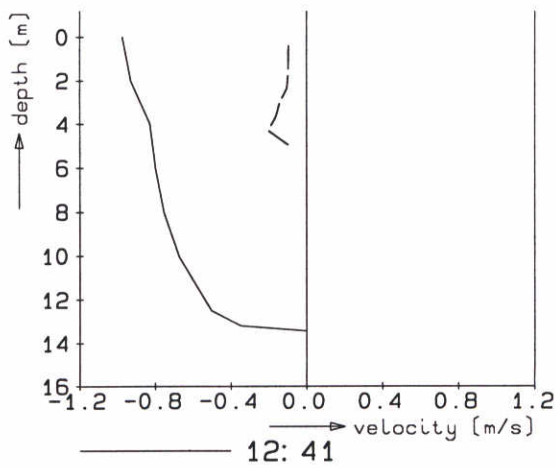
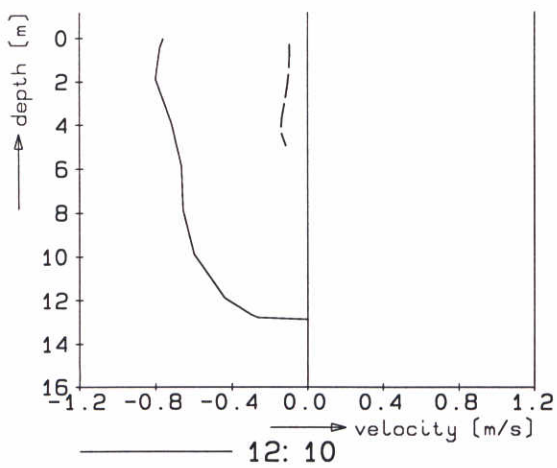
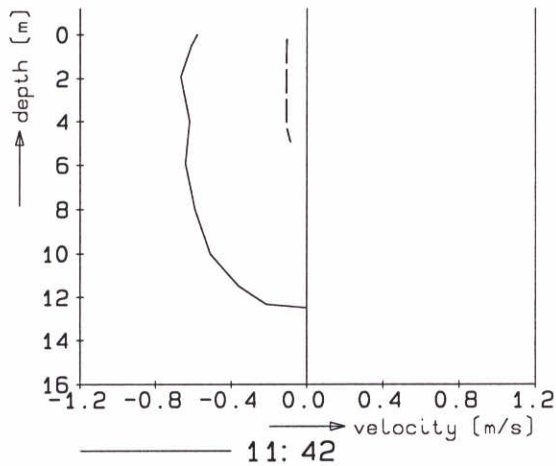
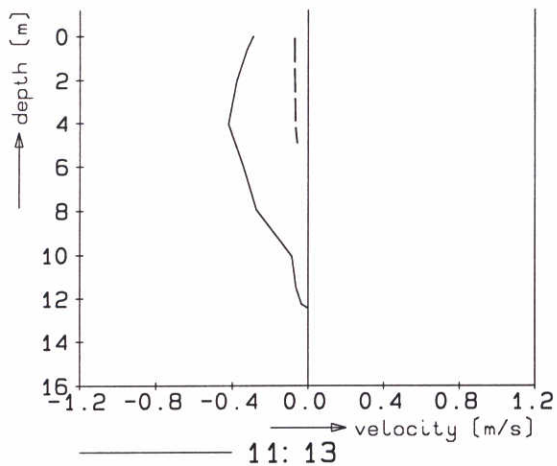
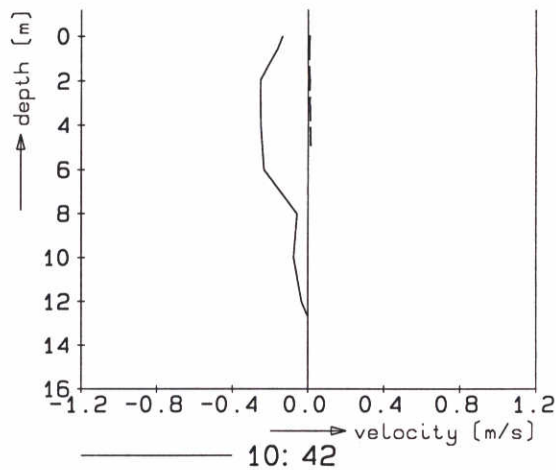
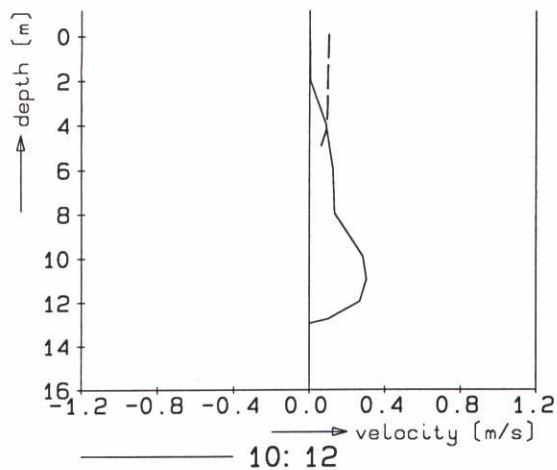
Hellevoetsluis

blz. 7258

DELFT HYDRAULICS

Z-986.20

Fig. 4.3.9a



----- computed U-velocity

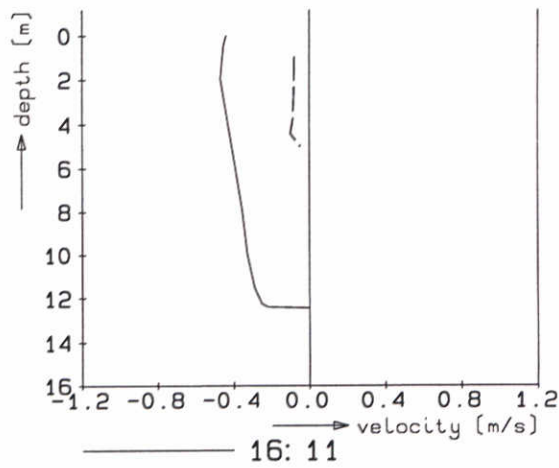
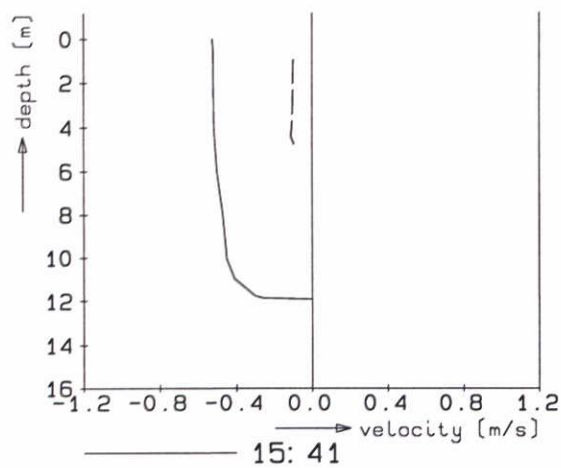
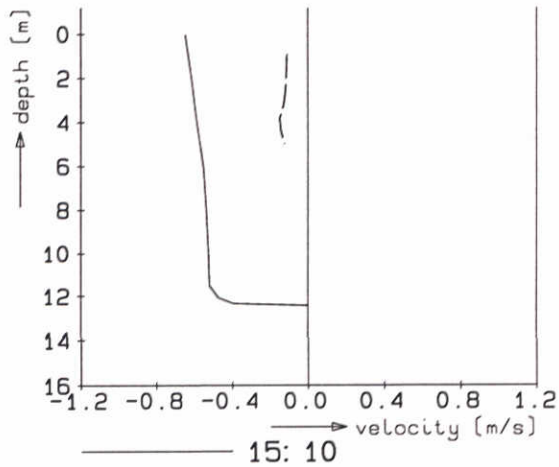
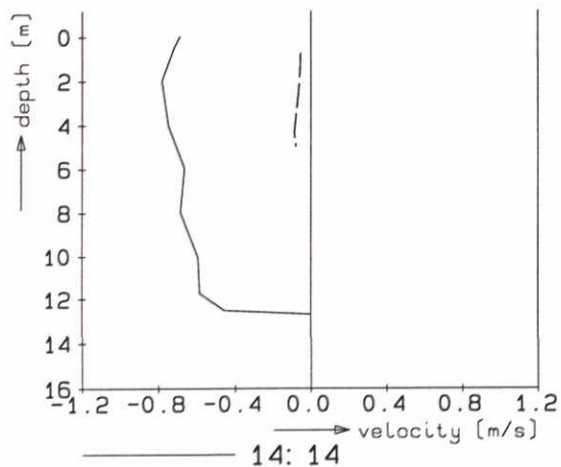
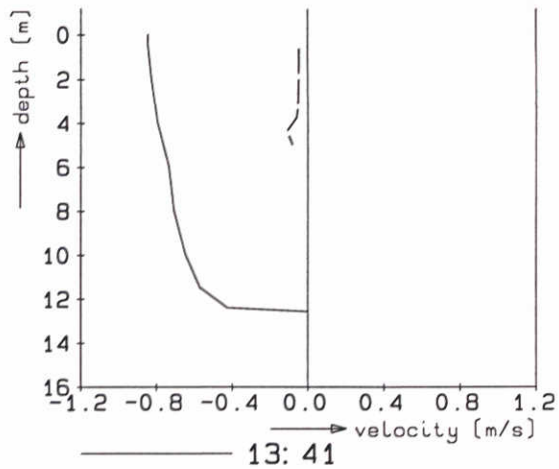
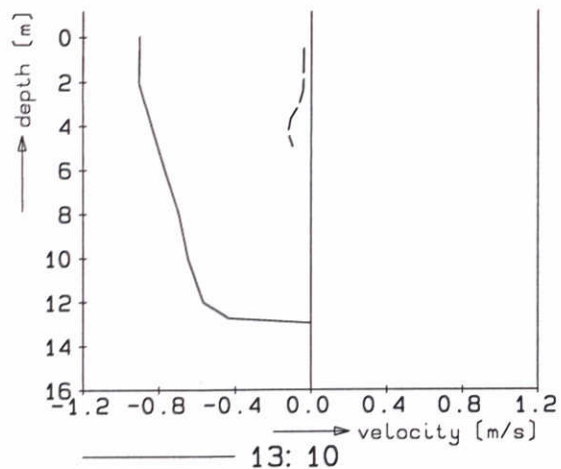
Hellevoetsluis

blz. 7258

DELFT HYDRAULICS

Z-986.20

Fig. 4.3.9b



----- computed U-velocity

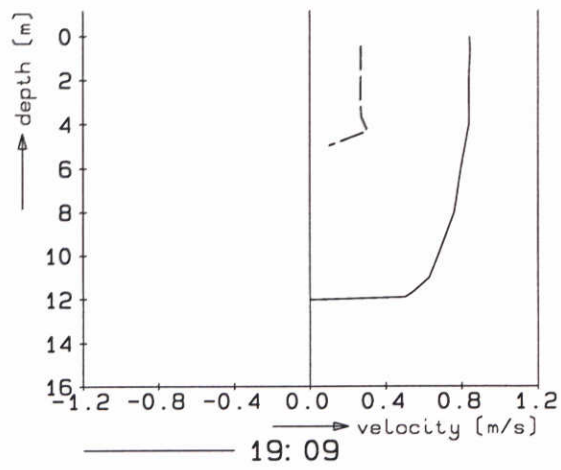
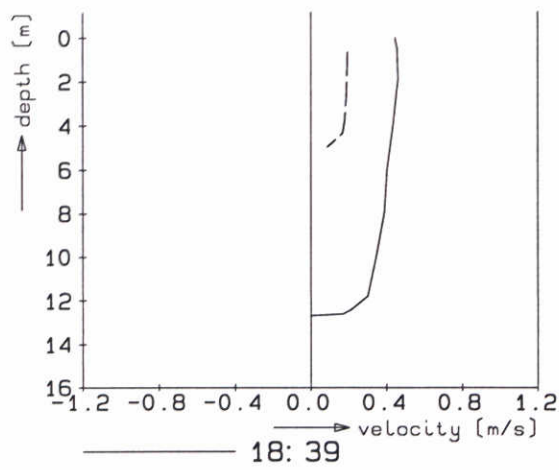
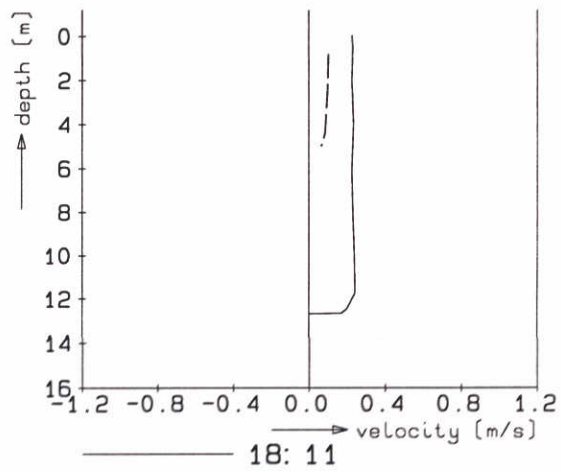
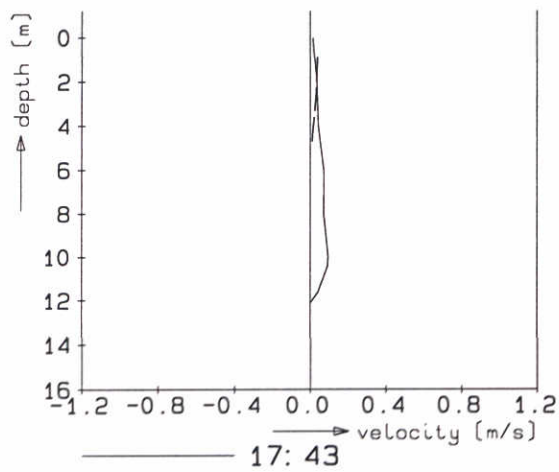
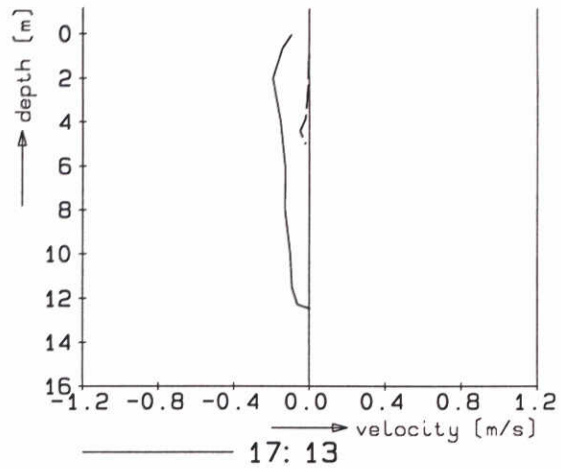
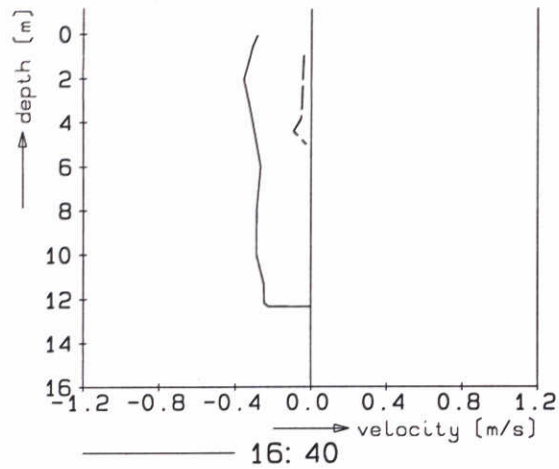
Hellevoetsluis

b1z. 7258

DELFT HYDRAULICS

Z-986.20

Fig. 4.3.9c



----- computed U-velocity

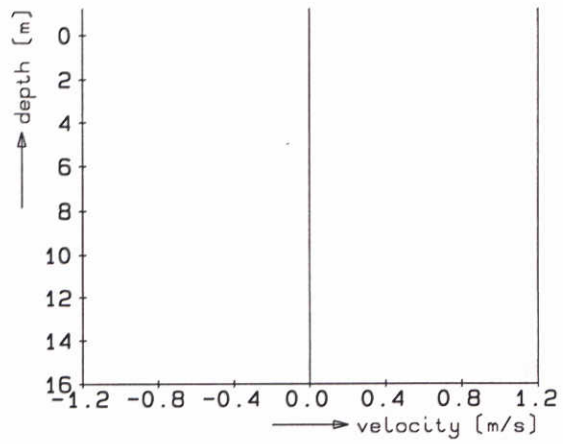
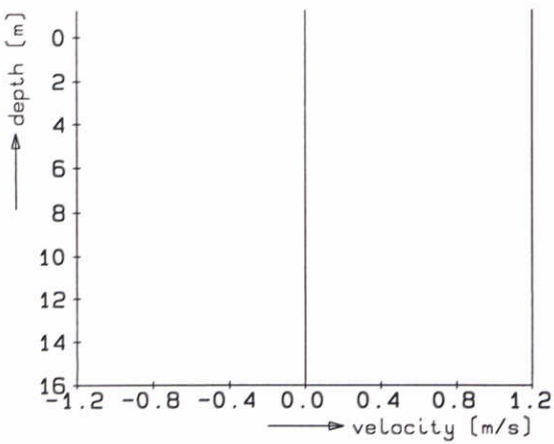
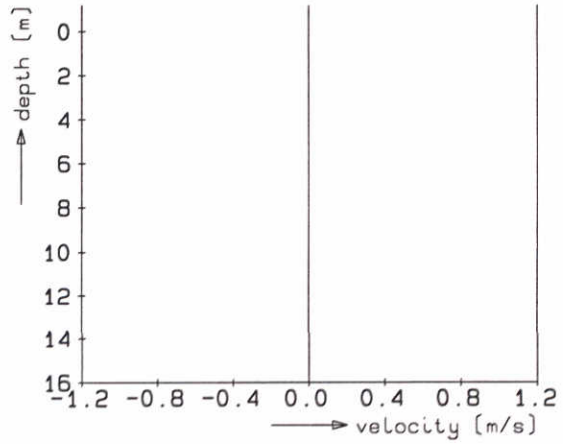
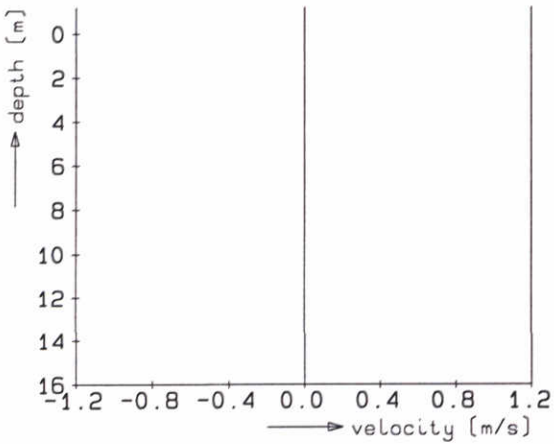
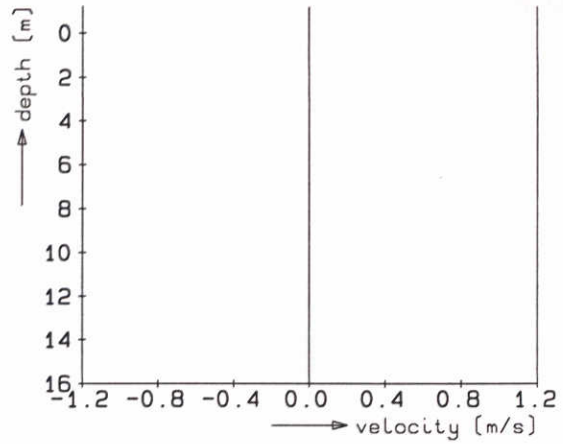
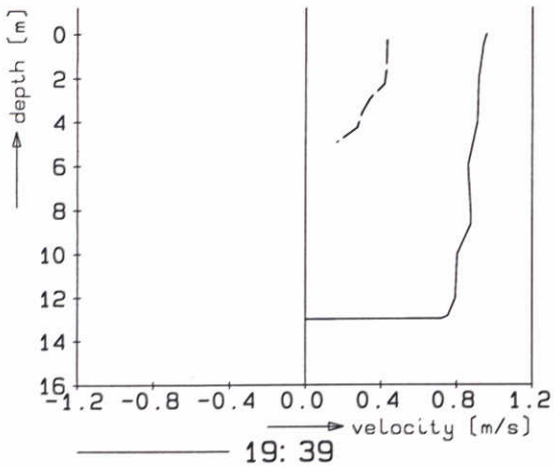
Hellevoetsluis

blz. 7258

DELFT HYDRAULICS

Z-986.20

Fig. 4.3.9d



----- computed U-velocity

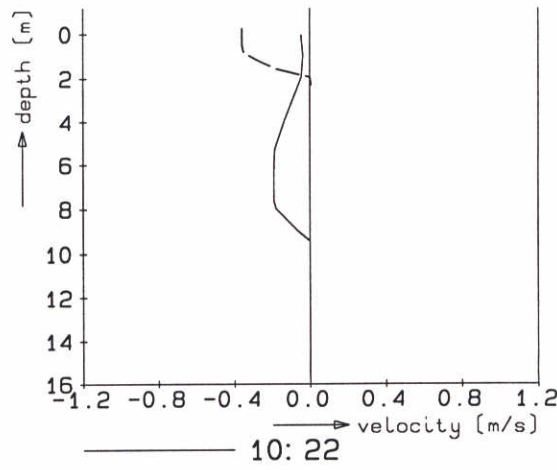
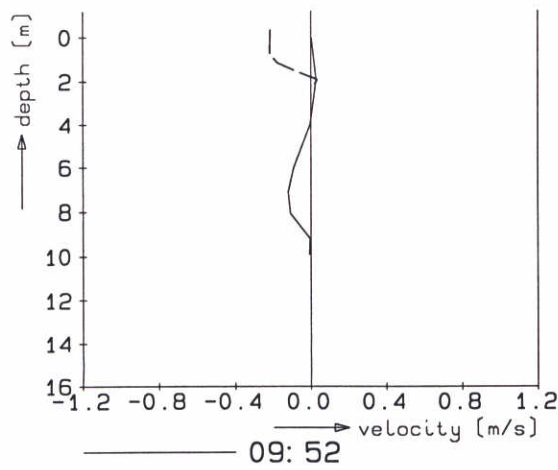
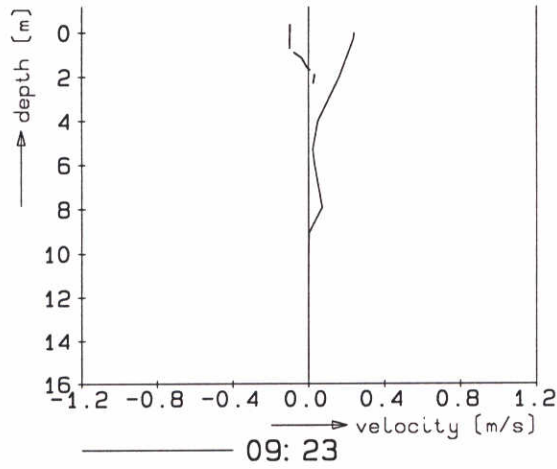
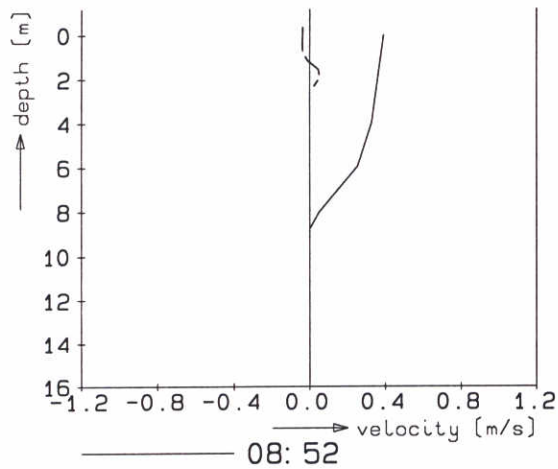
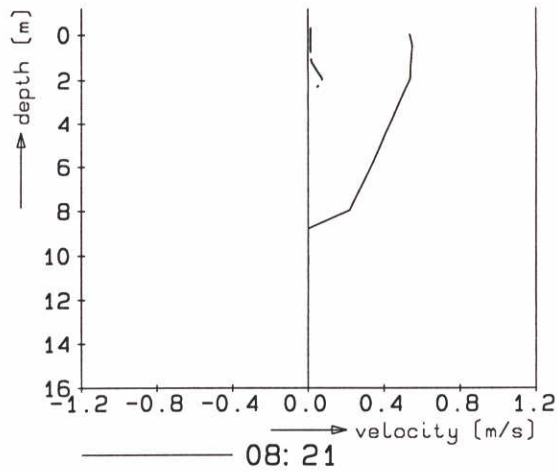
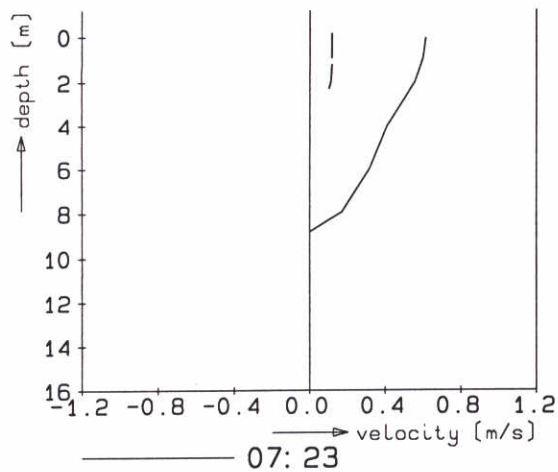
Hellevoetsluis

blz. 7258

DELFT HYDRAULICS

Z-986.20

Fig. 4.3.9e



----- computed U-velocity

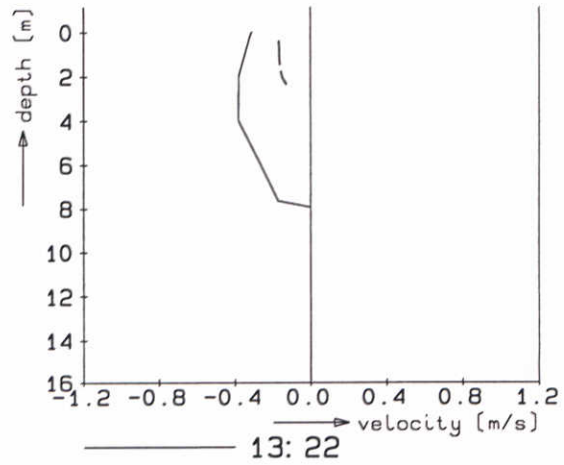
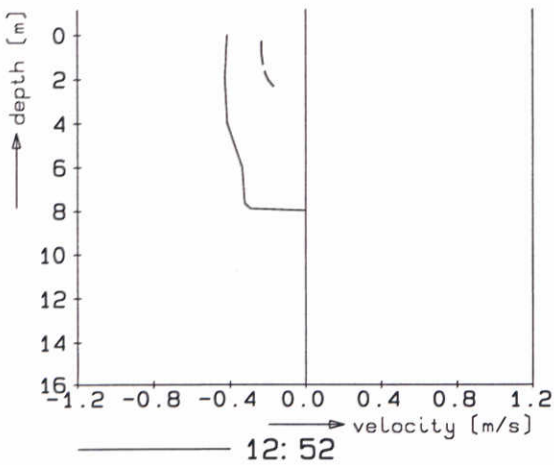
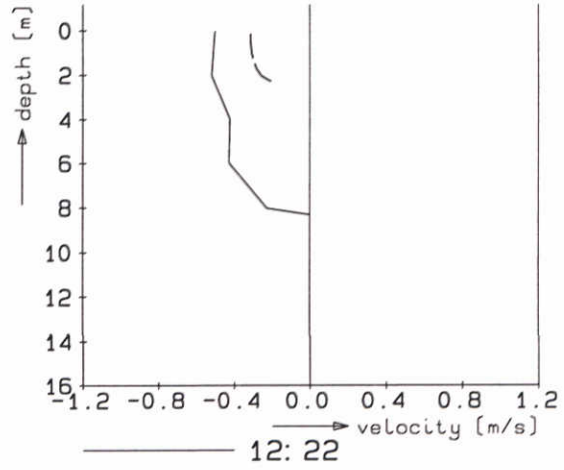
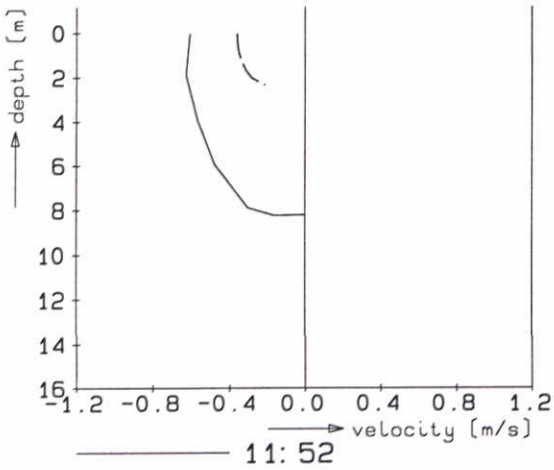
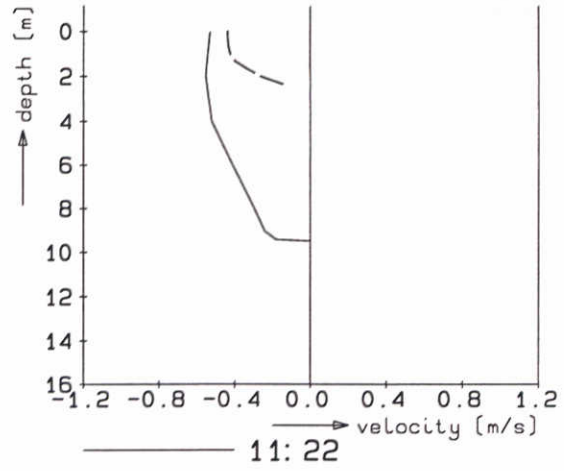
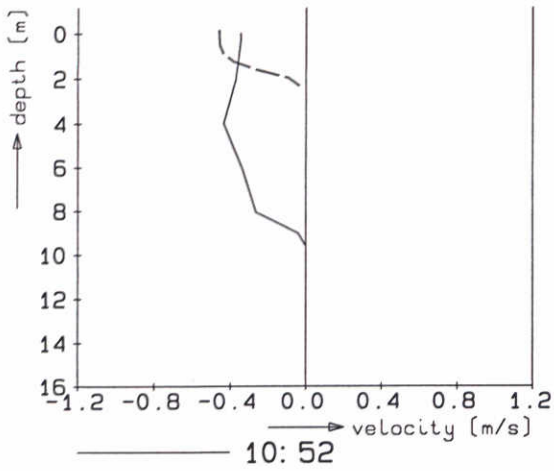
Spui

blz. 7259

DELFT HYDRAULICS

Z-986.20

Fig. 4.3.10a



----- computed U-velocity

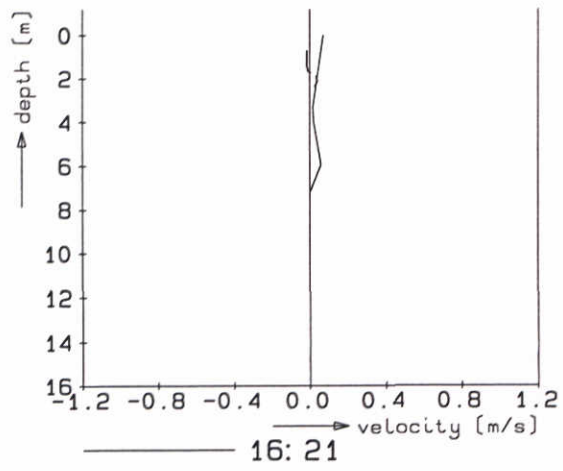
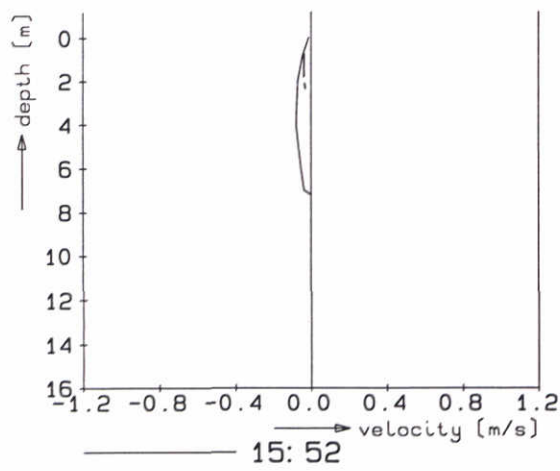
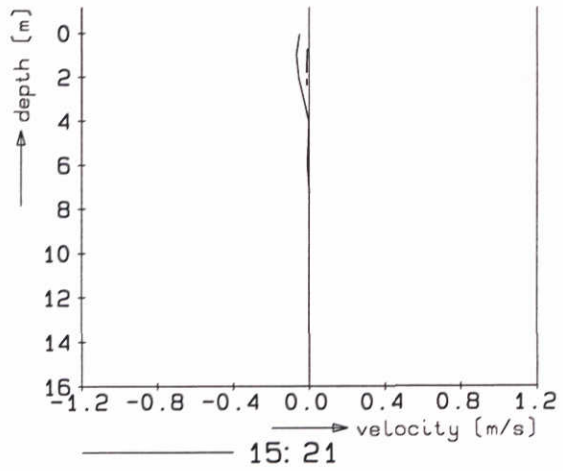
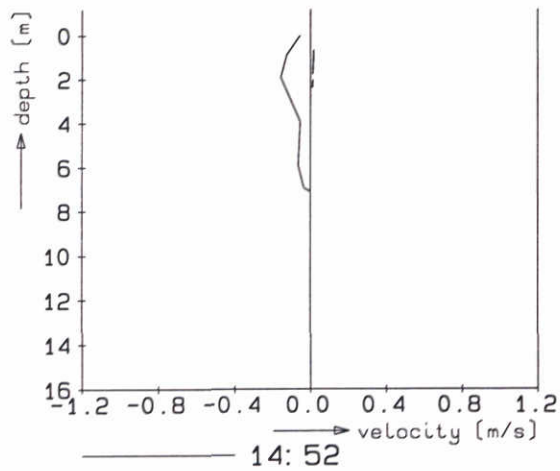
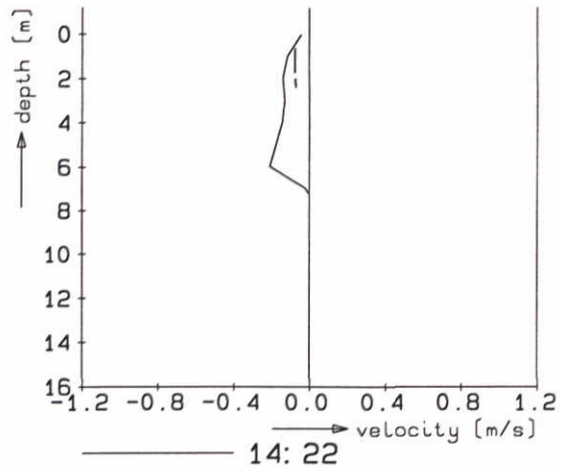
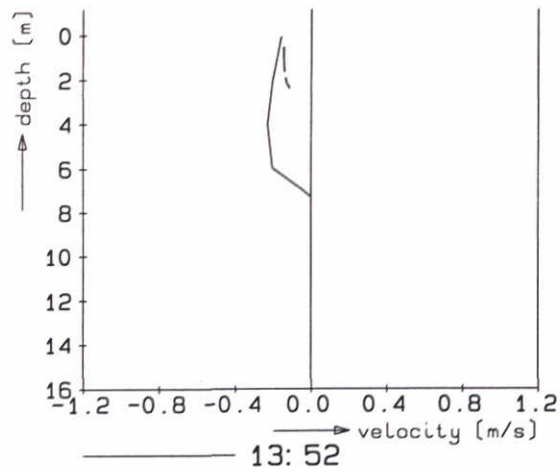
Spui

b1z. 7259

DELFT HYDRAULICS

Z-986.20

Fig. 4.3.10b



----- computed U-velocity

Spui

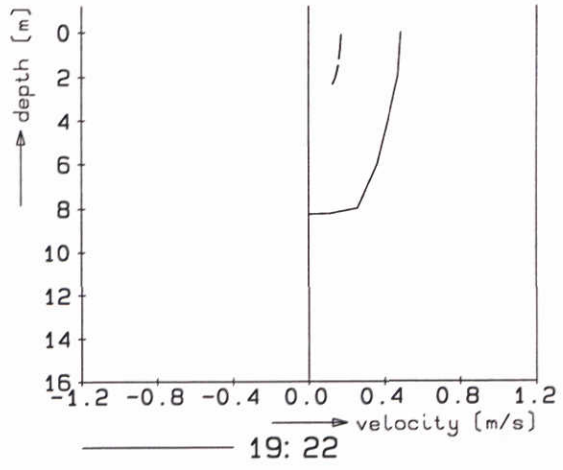
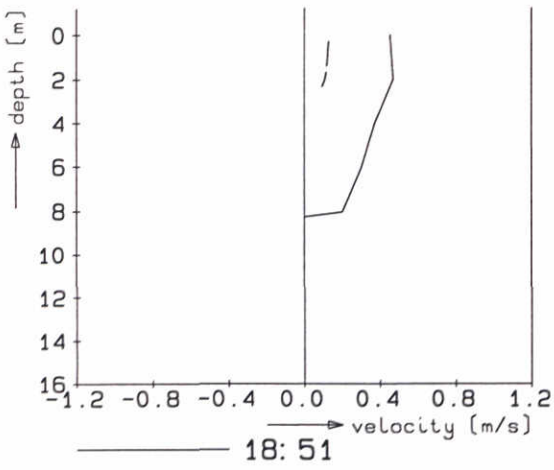
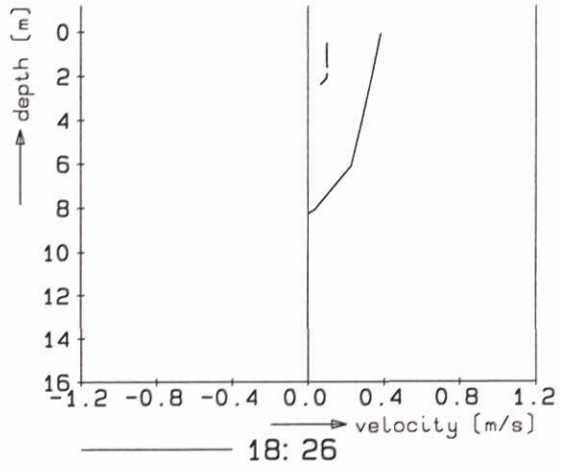
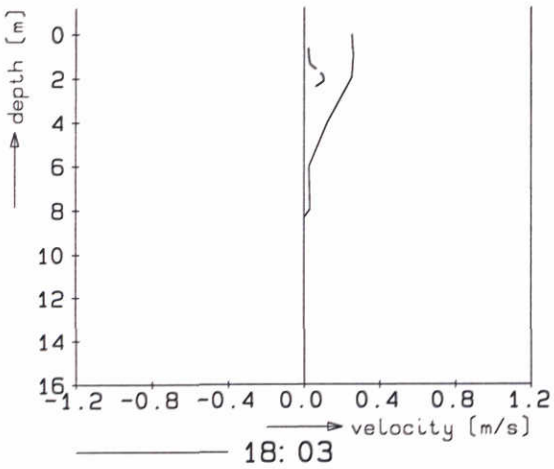
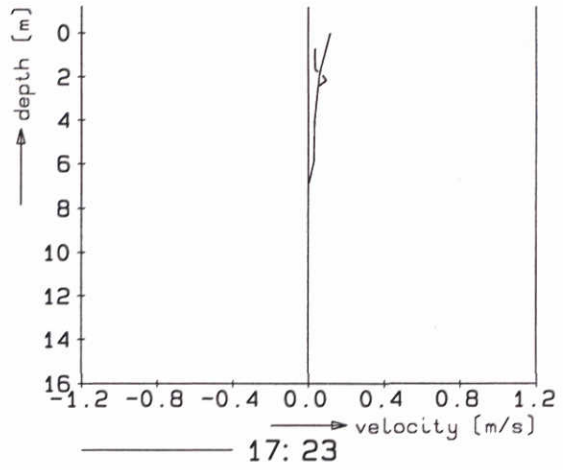
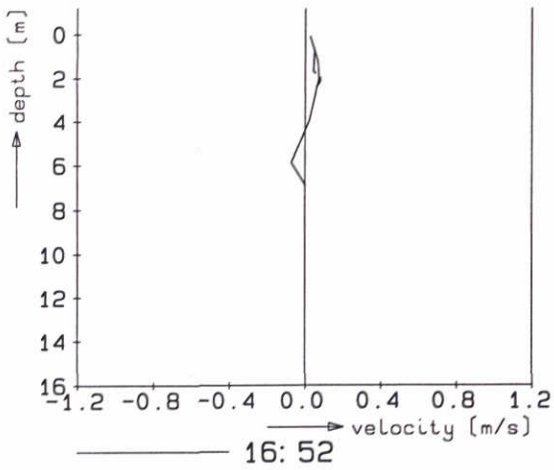
blz. 7259

DELFT HYDRAULICS

Z-986.20

Fig. 4.3.10c





----- computed U-velocity

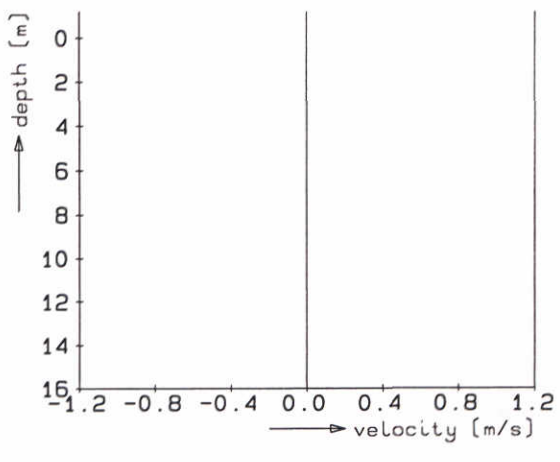
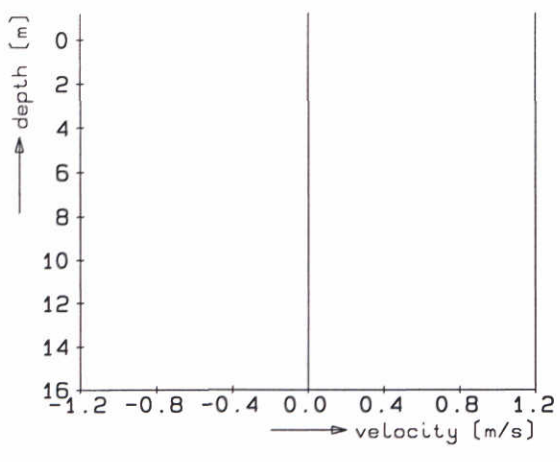
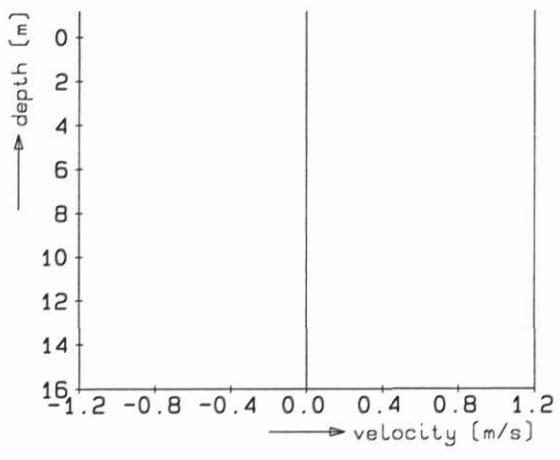
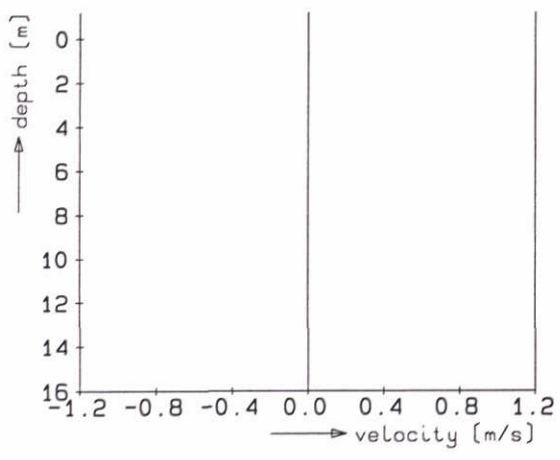
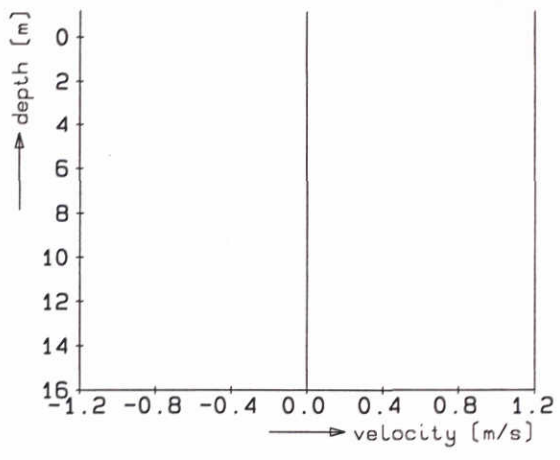
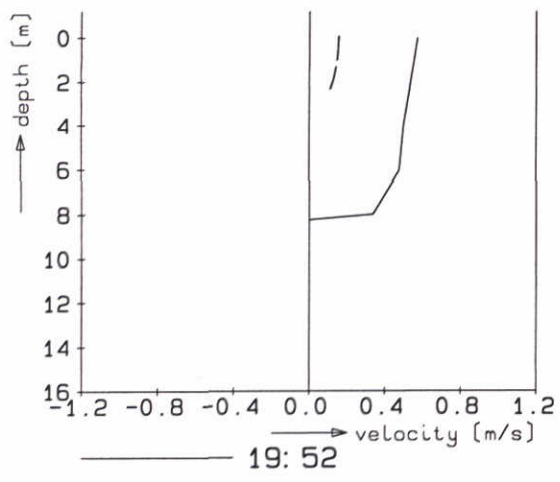
Spui

b1z. 7259

DELFT HYDRAULICS

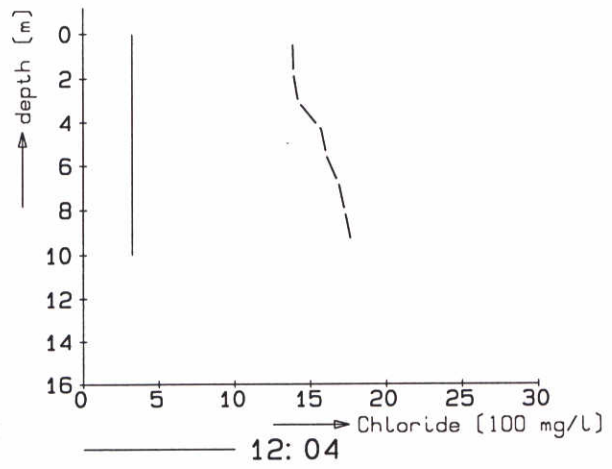
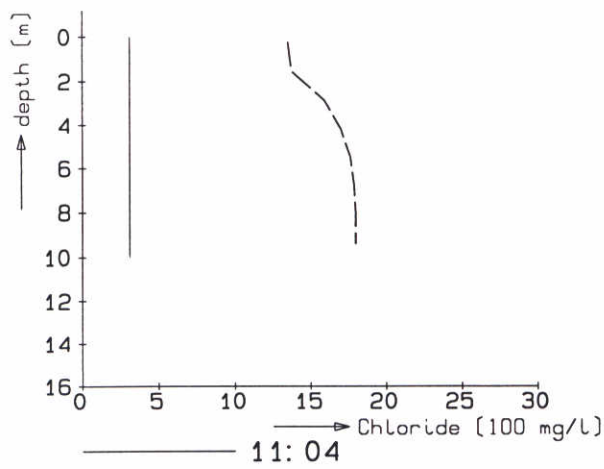
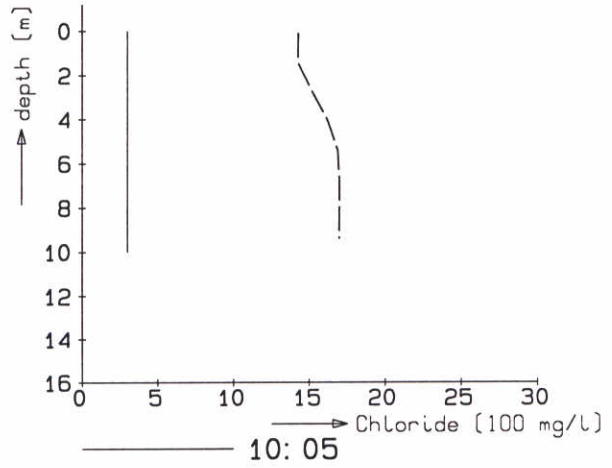
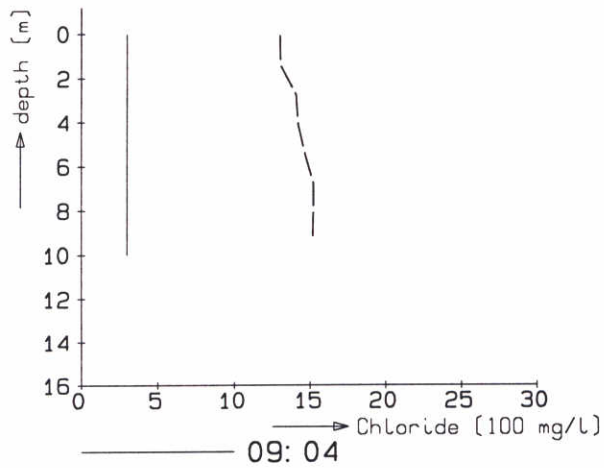
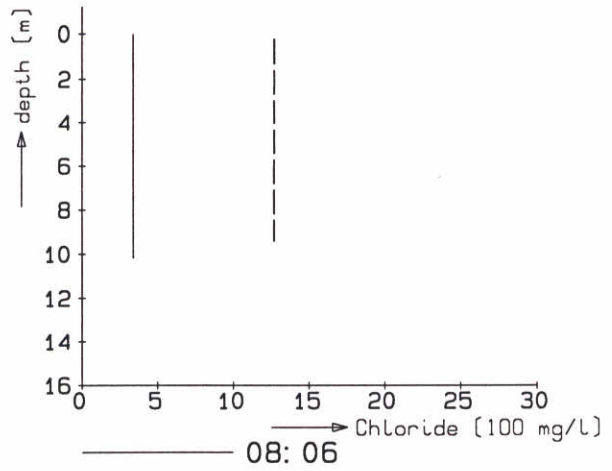
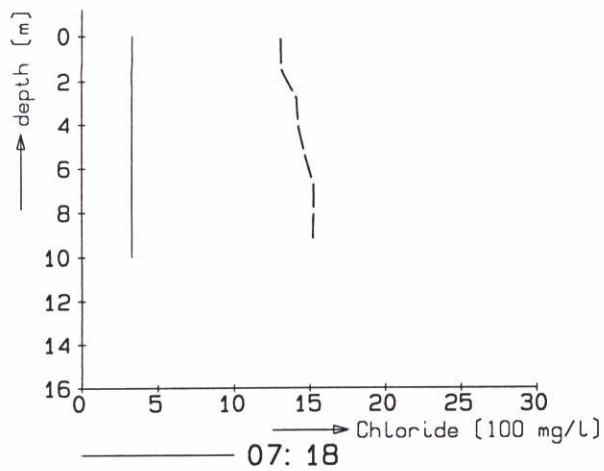
Z-986.20

Fig. 4.3.10d



----- computed U-velocity

Spui		
	blz. 7259	
DELFT HYDRAULICS	Z-986.20	Fig. 4.3.10e



----- computed Salinity

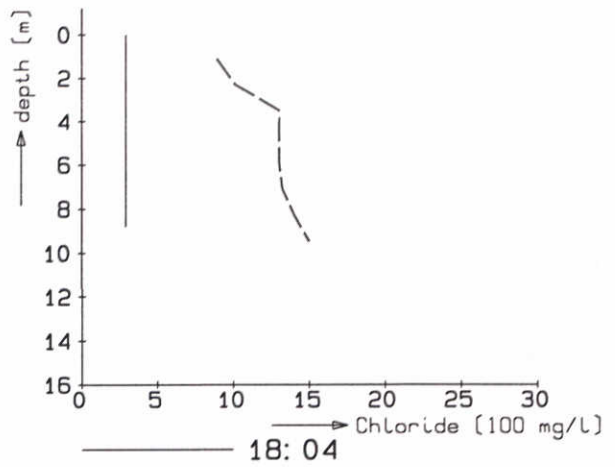
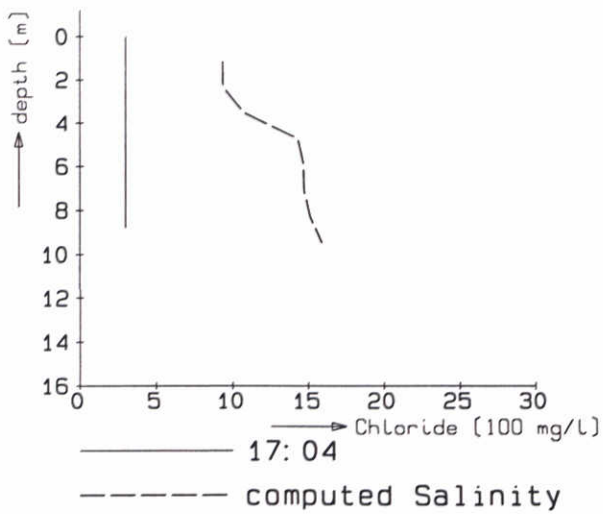
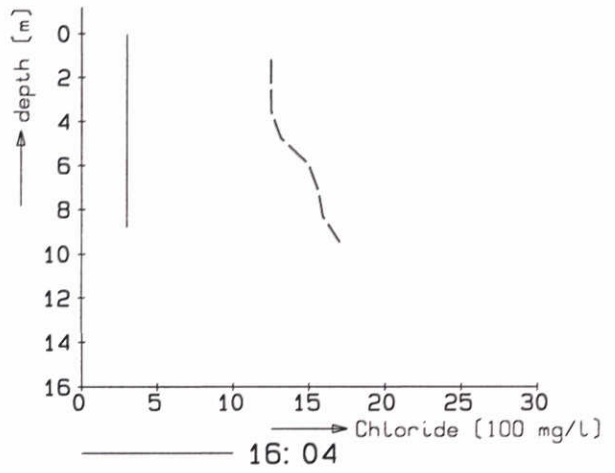
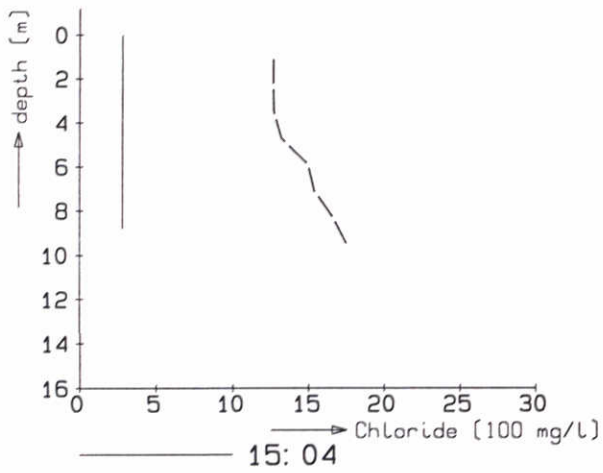
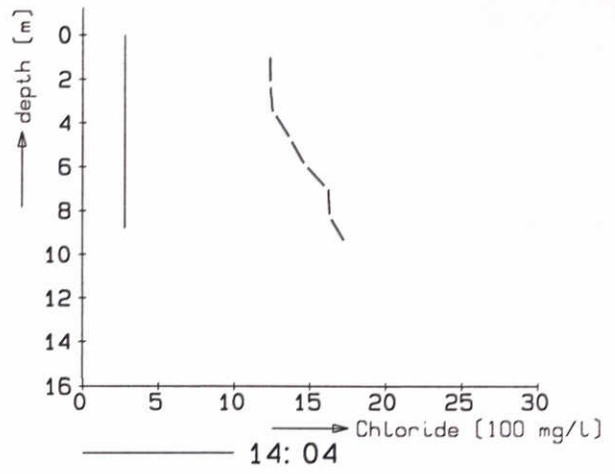
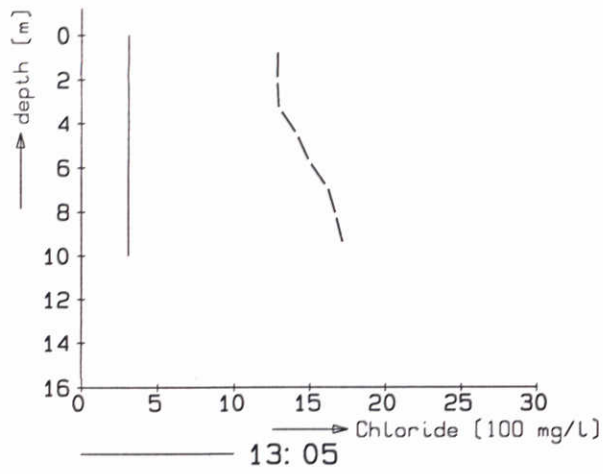
Tiengemeenten

blz. 7264

DELFT HYDRAULICS

Z-986.20

Fig. 4.3.11a



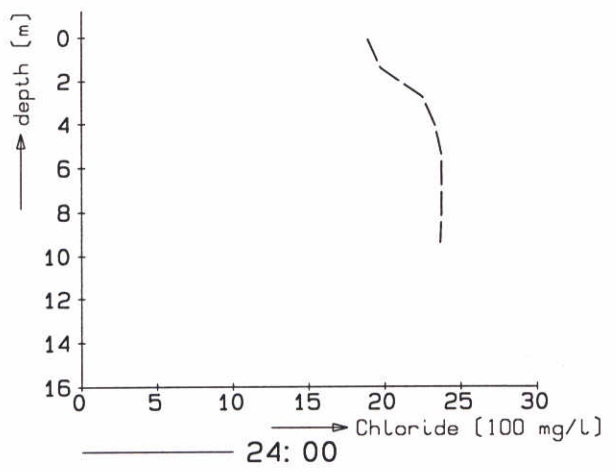
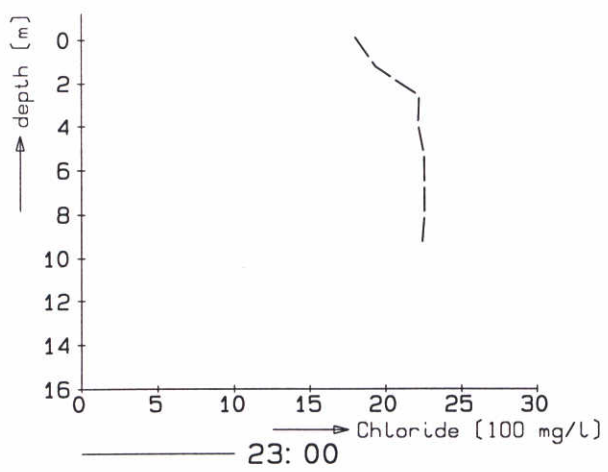
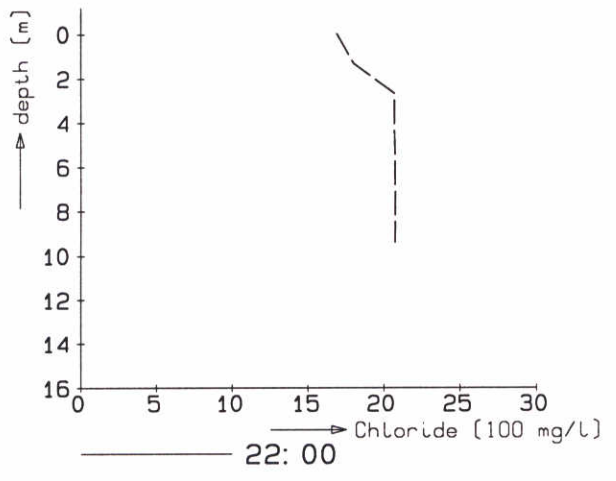
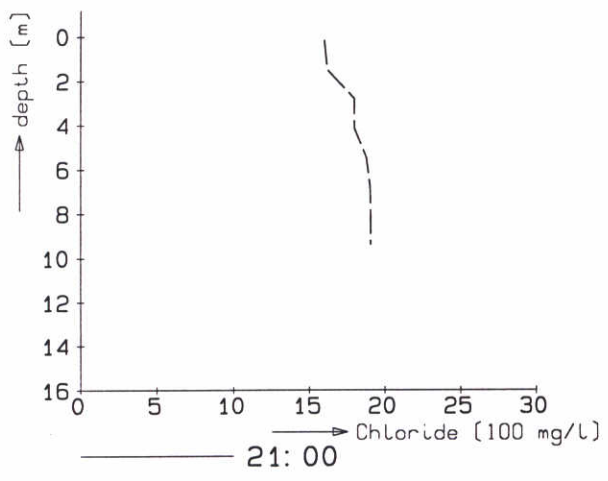
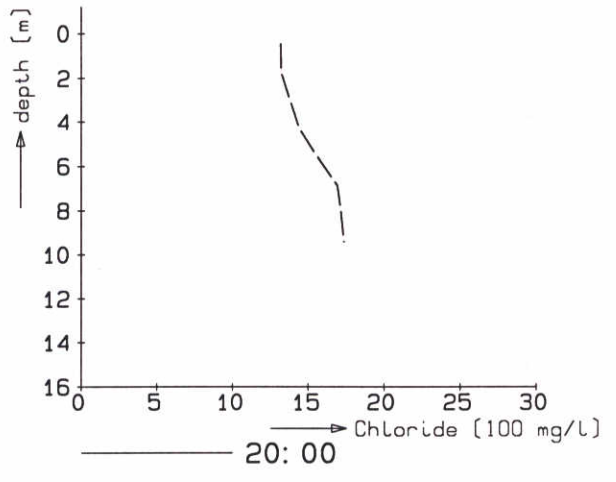
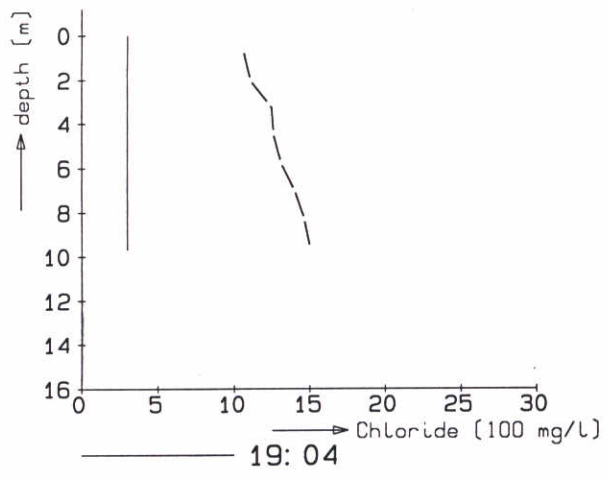
Tiengemeenten

blz. 7264

DELFT HYDRAULICS

Z-986.20

Fig. 4.3.11b



----- computed Salinity

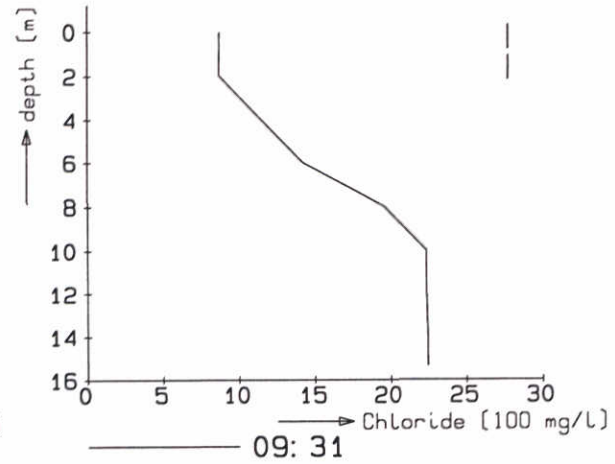
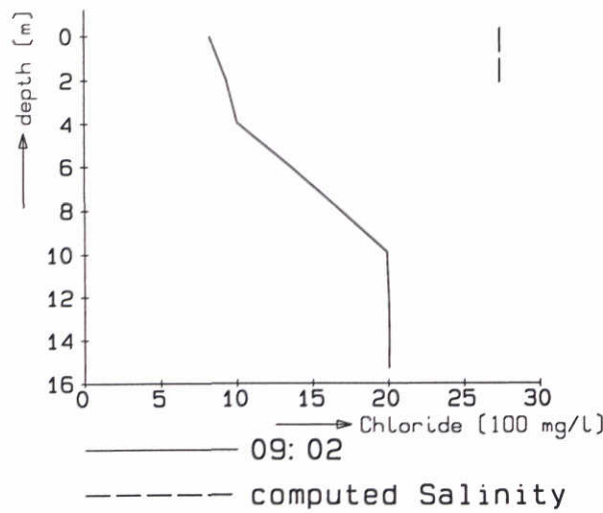
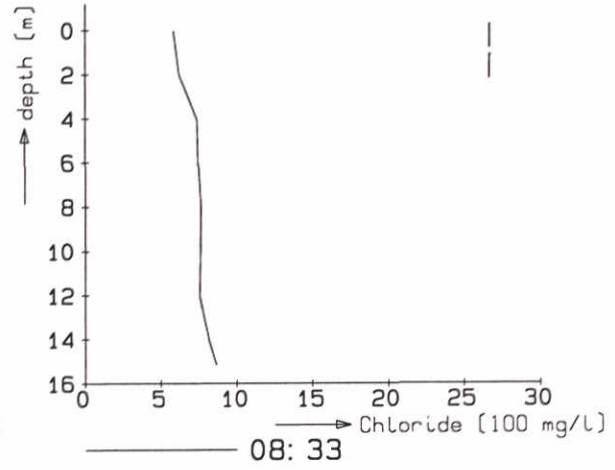
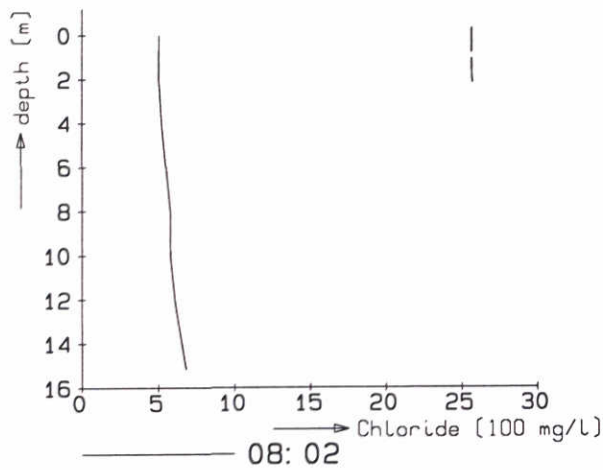
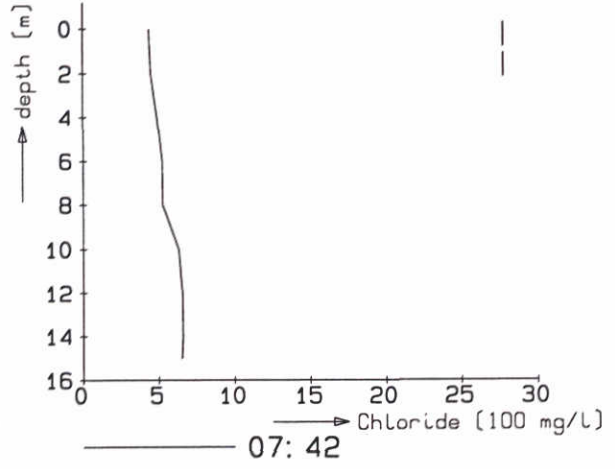
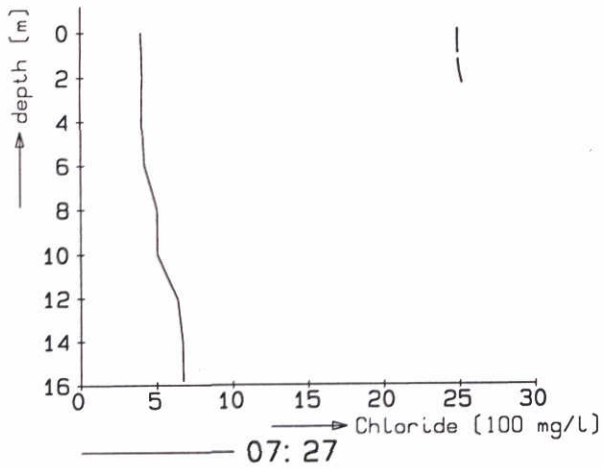
Tiengemeenten

blz. 7264

DELFT HYDRAULICS

Z-986.20

Fig. 4.3.11c



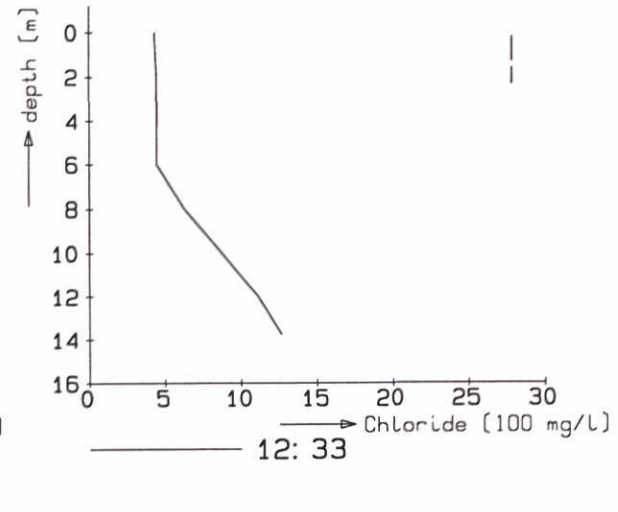
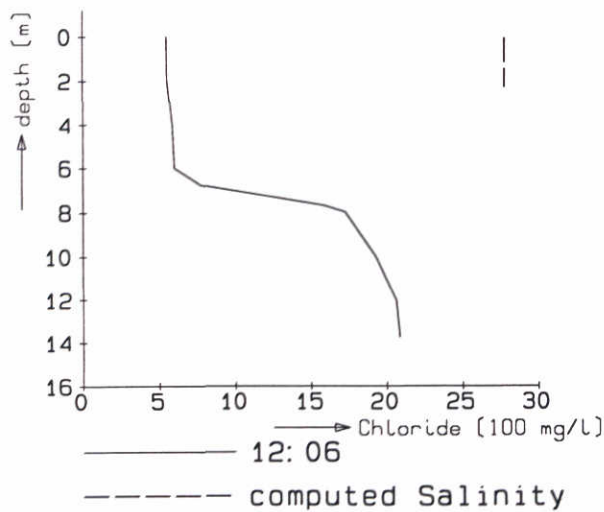
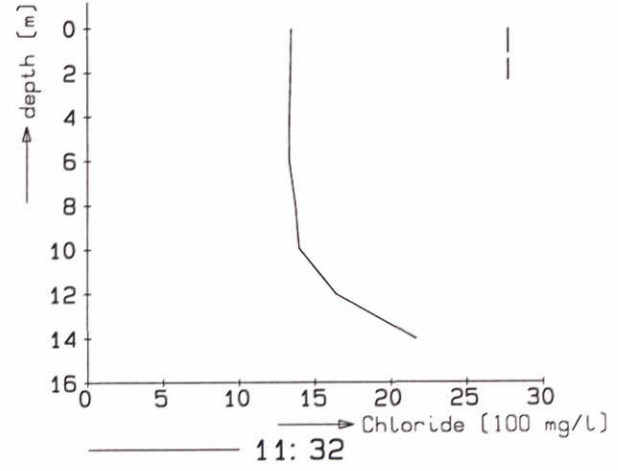
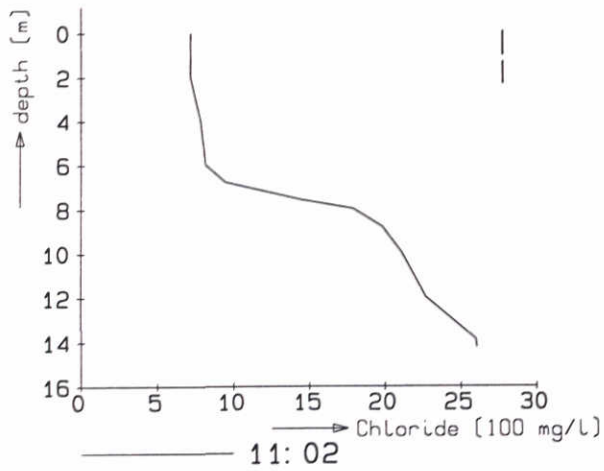
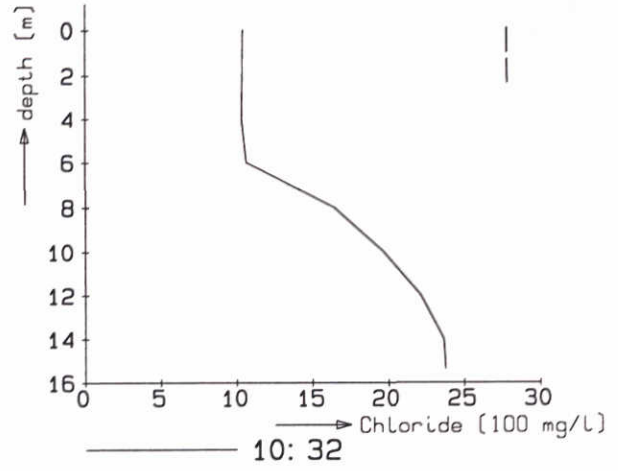
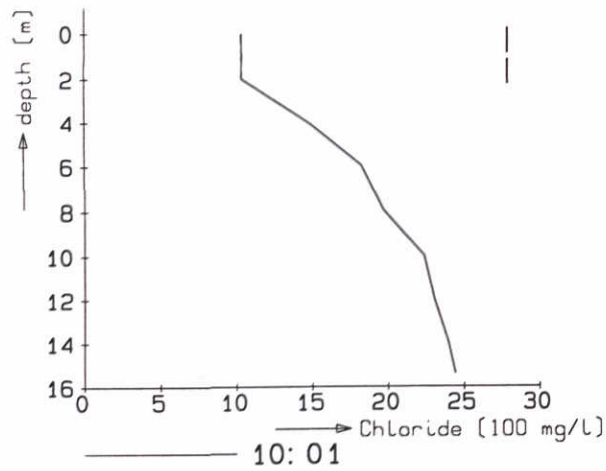
Dirksland

blz. 7265

DELFT HYDRAULICS

Z-986.20

Fig. 4.3.12a



----- computed Salinity

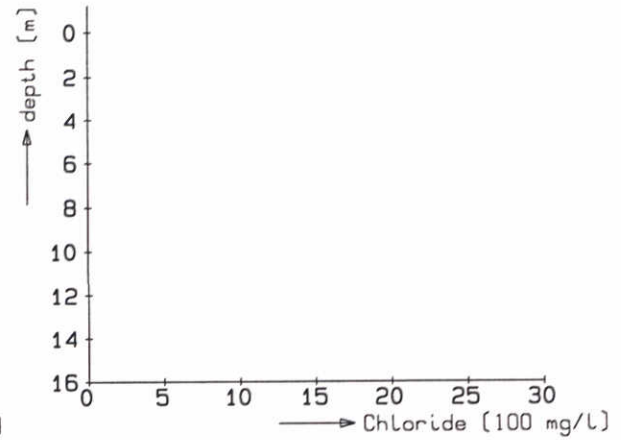
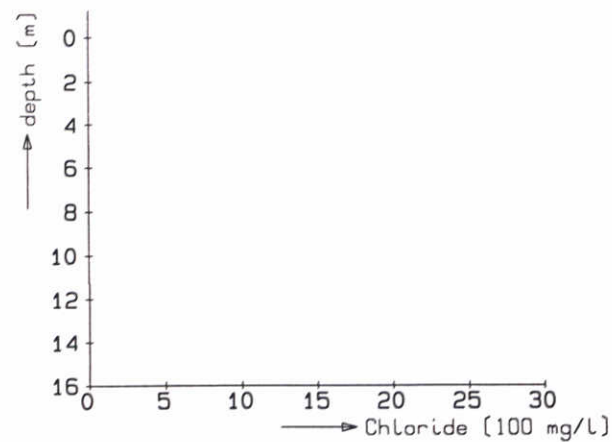
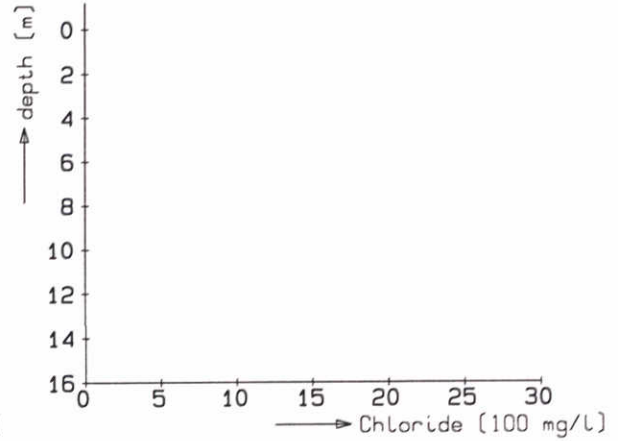
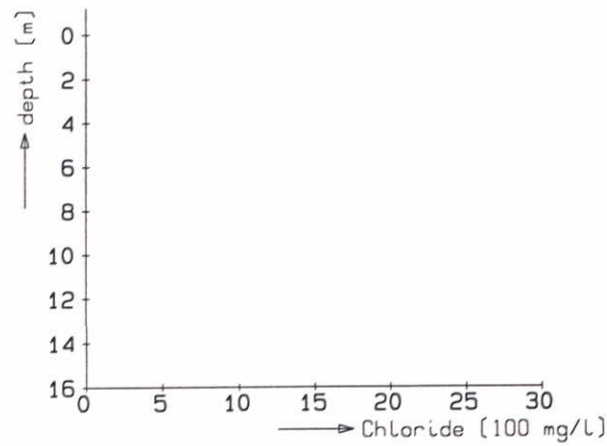
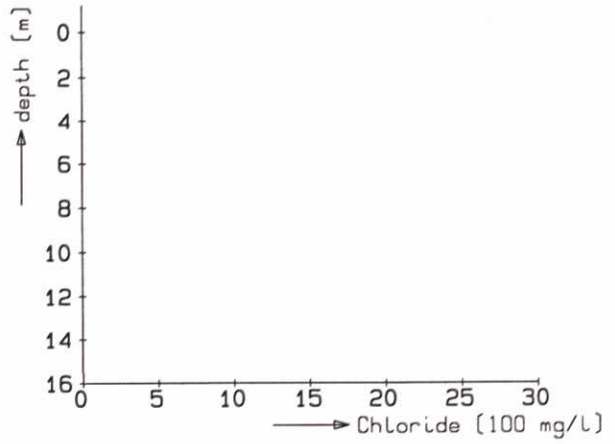
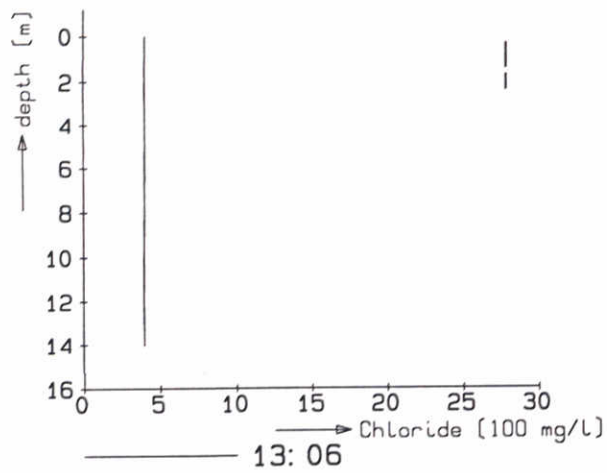
Dirksland

b1z. 7265

DELFT HYDRAULICS

Z-986.20

Fig. 4.3.12b



----- computed Salinity

Dirksland

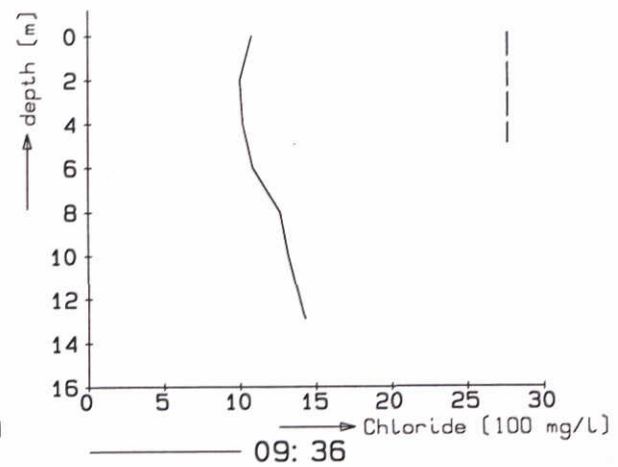
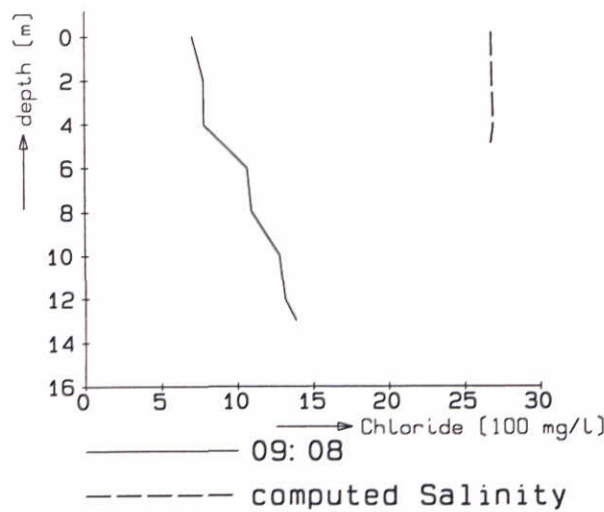
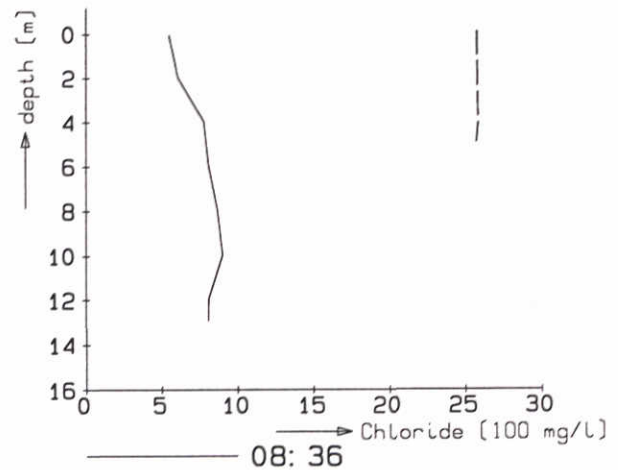
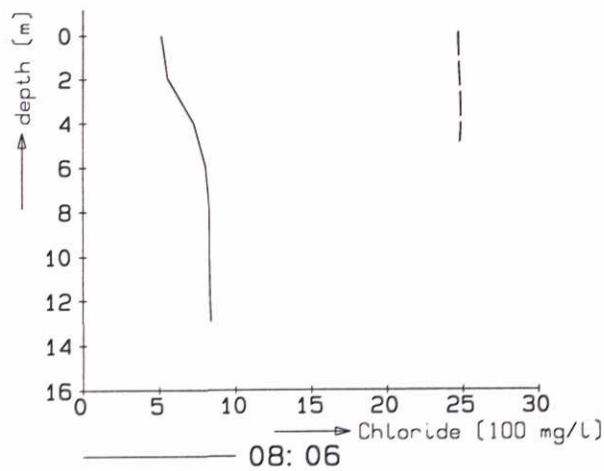
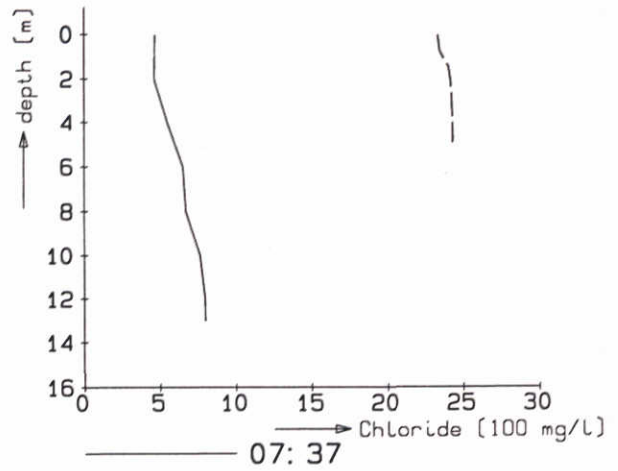
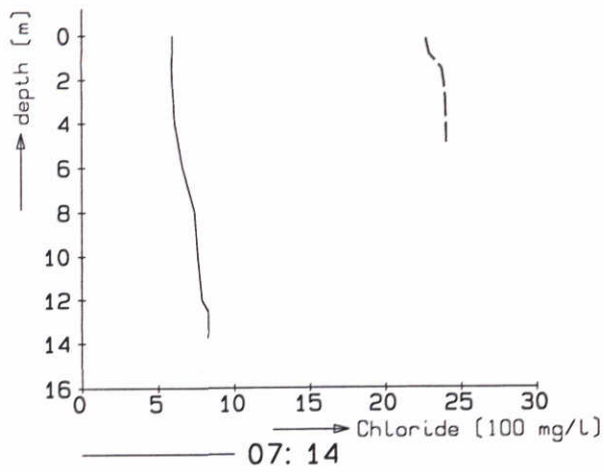
blz. 7265

DELFT HYDRAULICS

Z-986.20

Fig. 4.3.12c





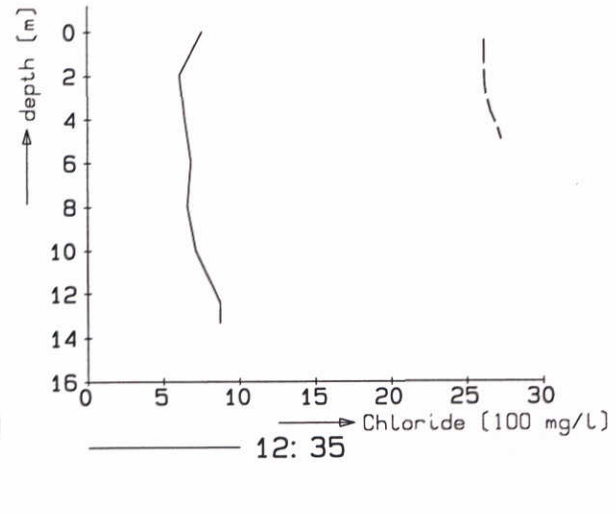
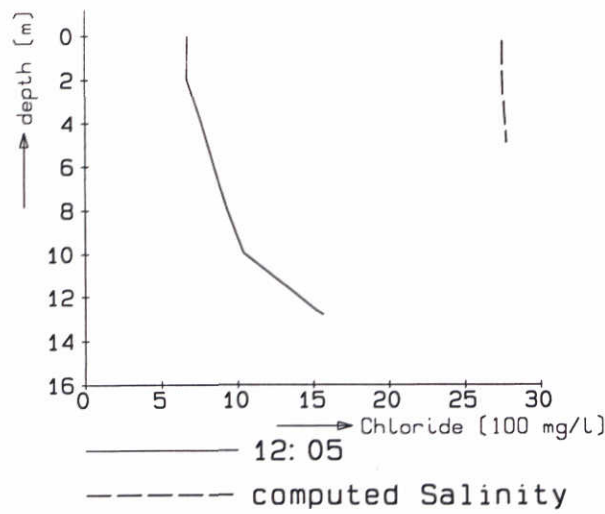
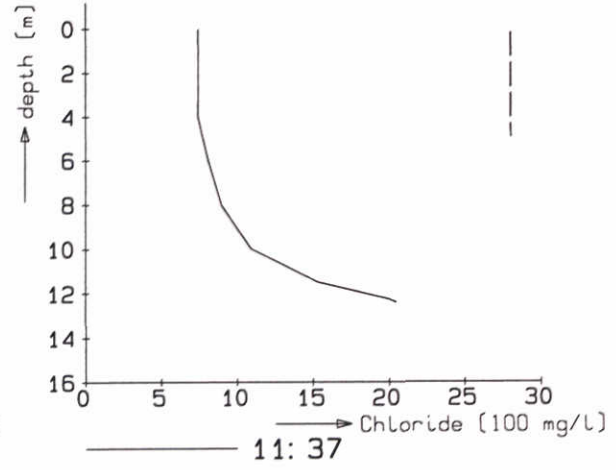
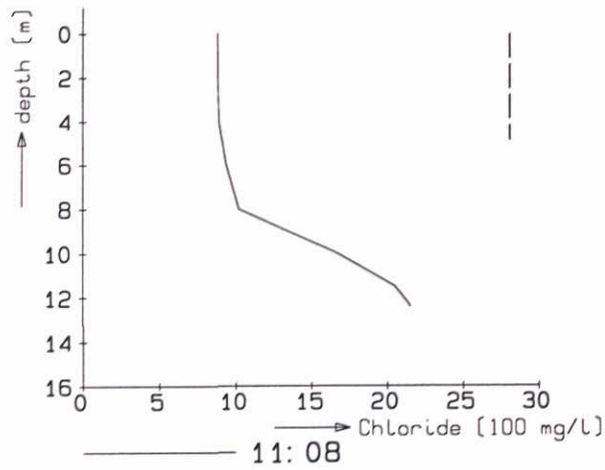
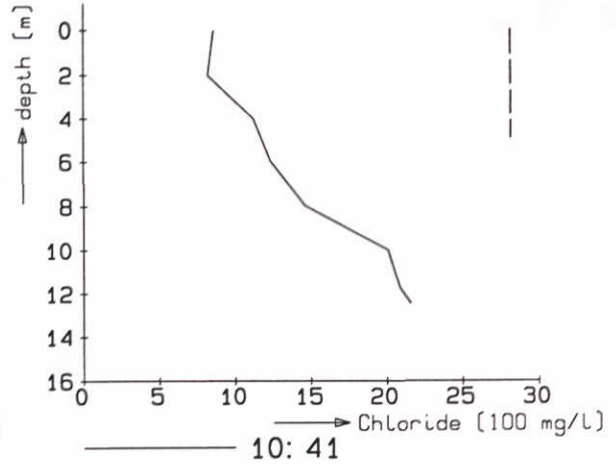
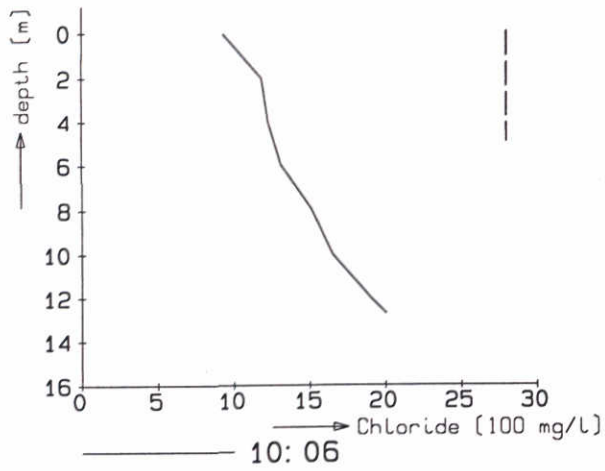
Hellevoetsluis

blz. 7267

DELFT HYDRAULICS

Z-986.20

Fig. 4.3.13a



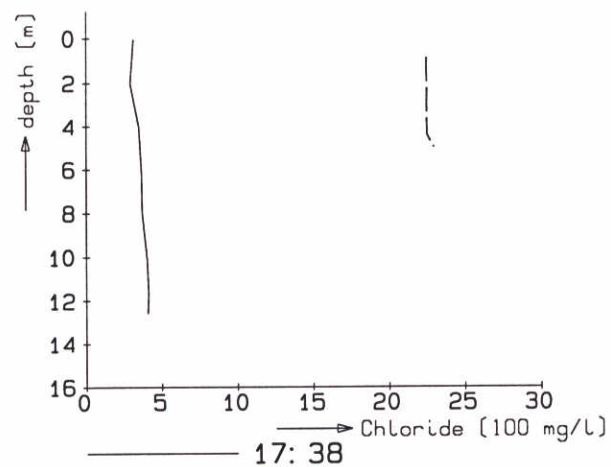
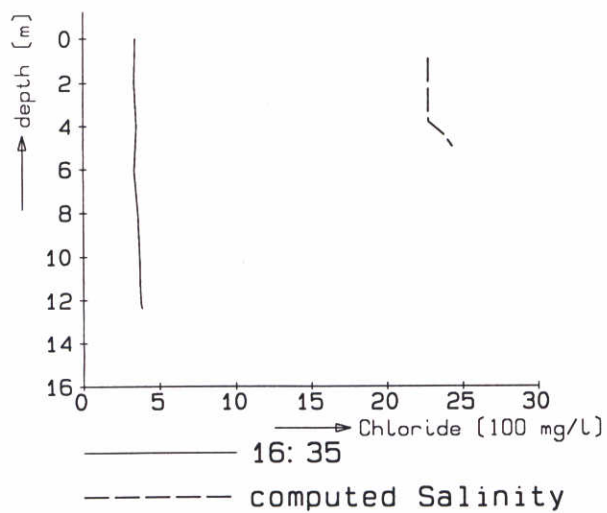
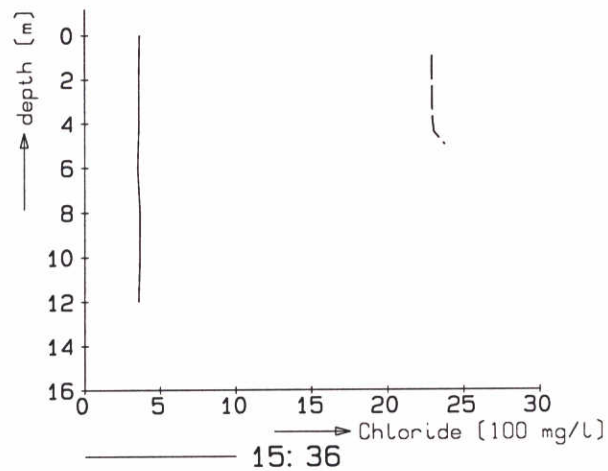
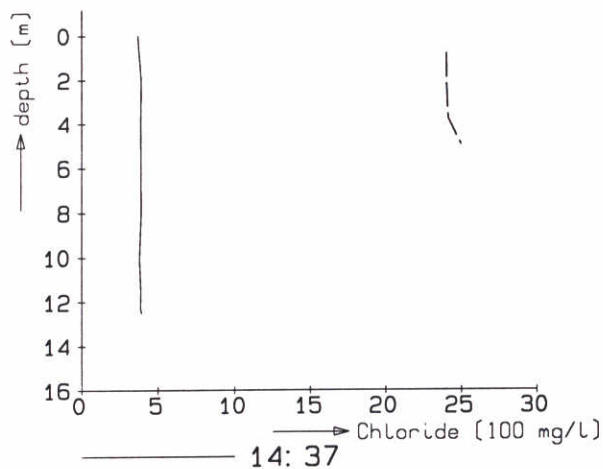
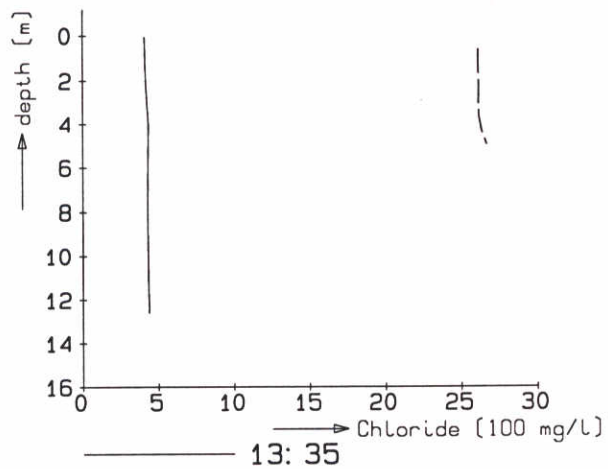
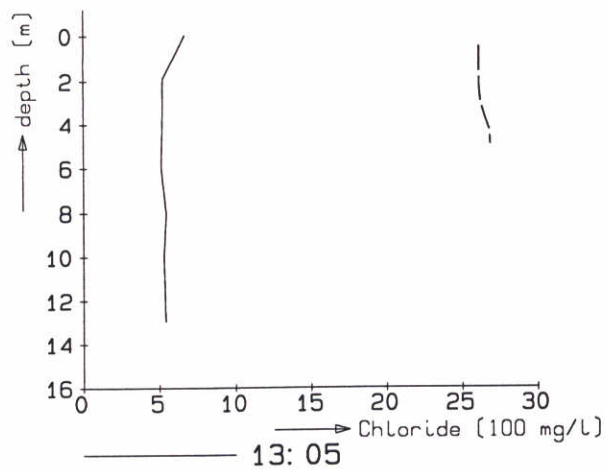
Hellevoetsluis

blz. 7267

DELFT HYDRAULICS

Z-986.20

Fig. 4.3.13b



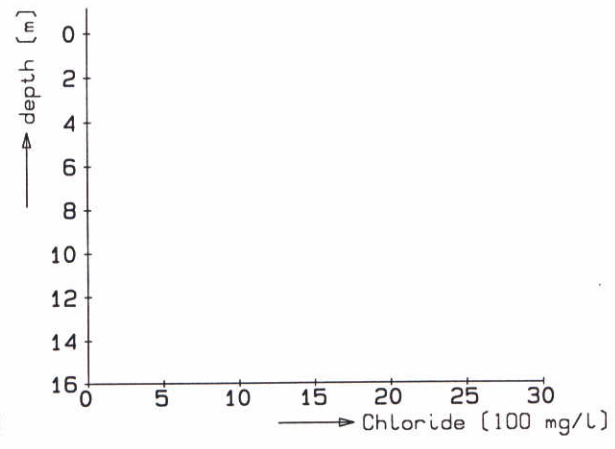
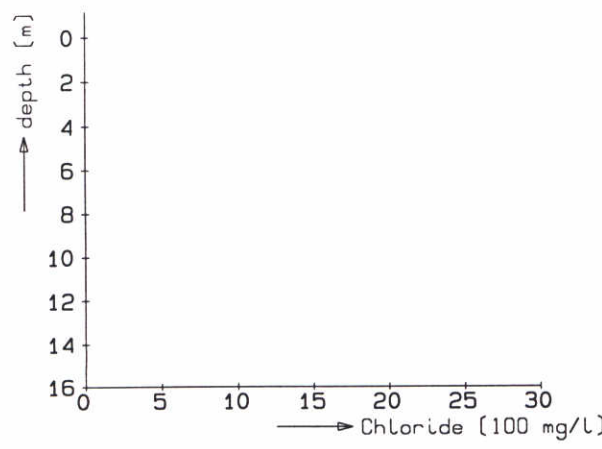
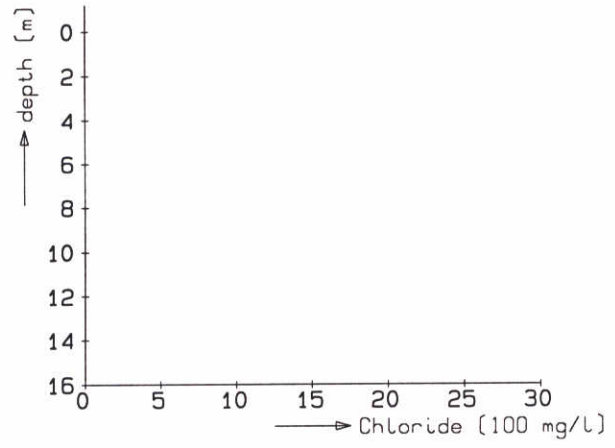
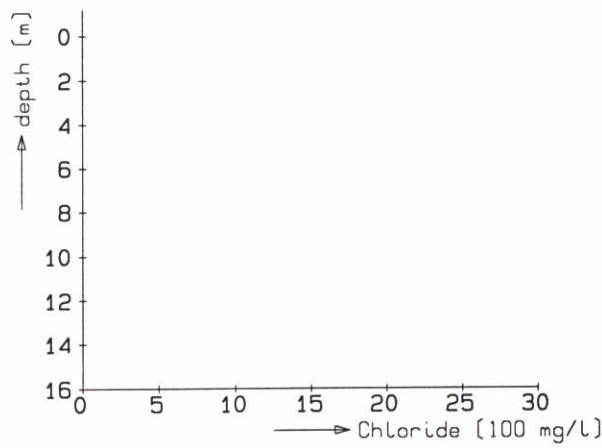
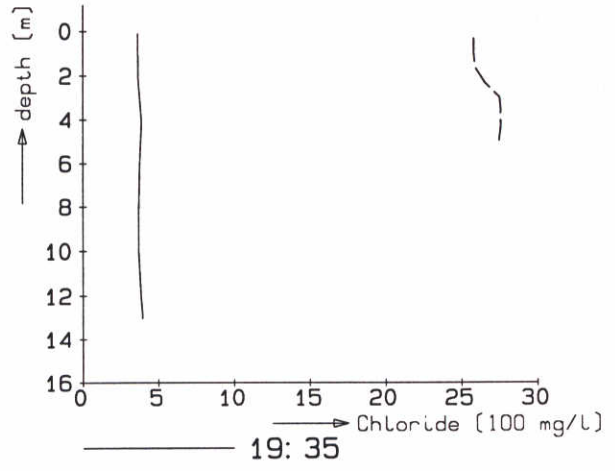
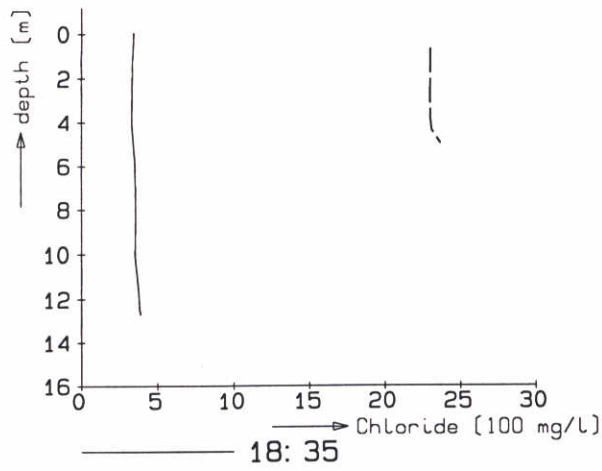
Hellevoetsluis

blz. 7267

DELFT HYDRAULICS

Z-986.20

Fig. 4.3.13c



----- computed Salinity

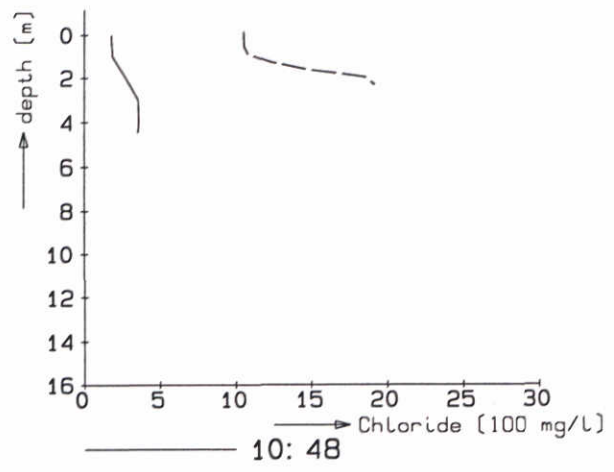
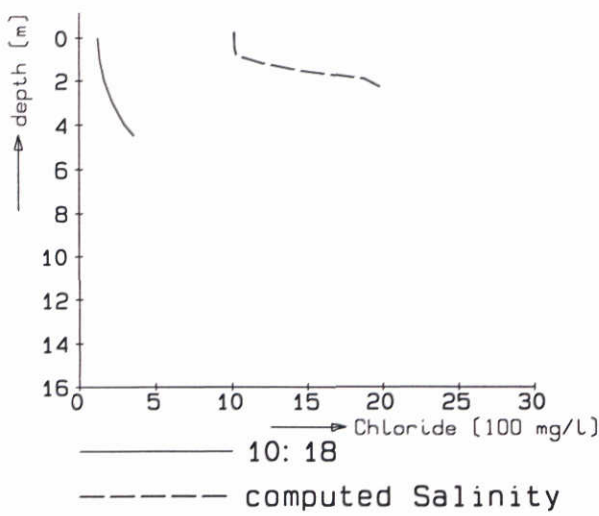
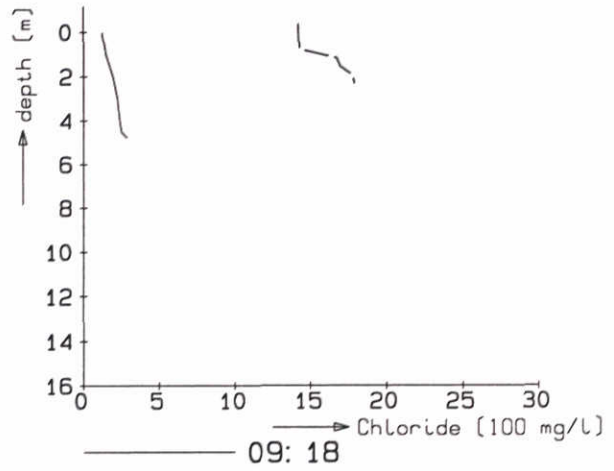
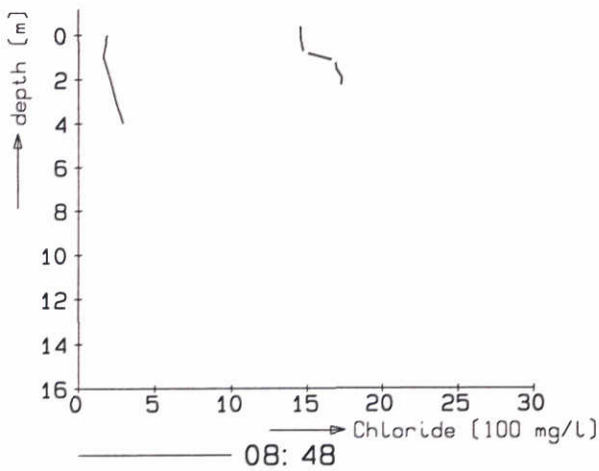
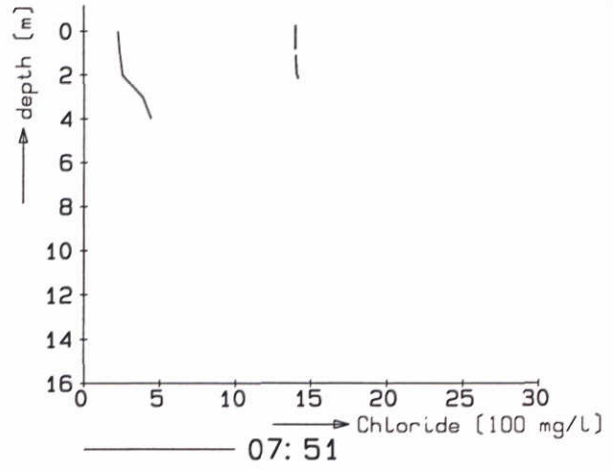
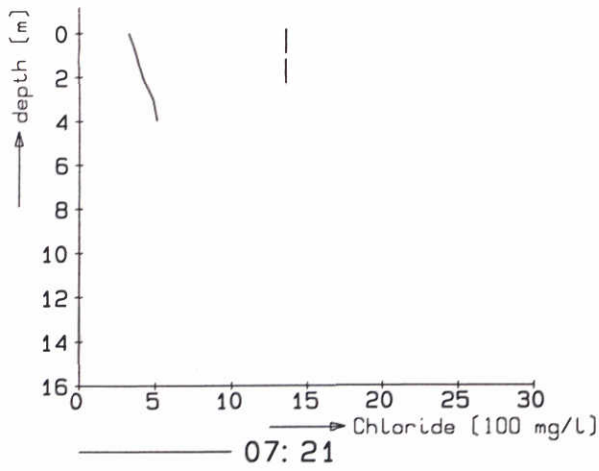
Hellevoetsluis

blz. 7267

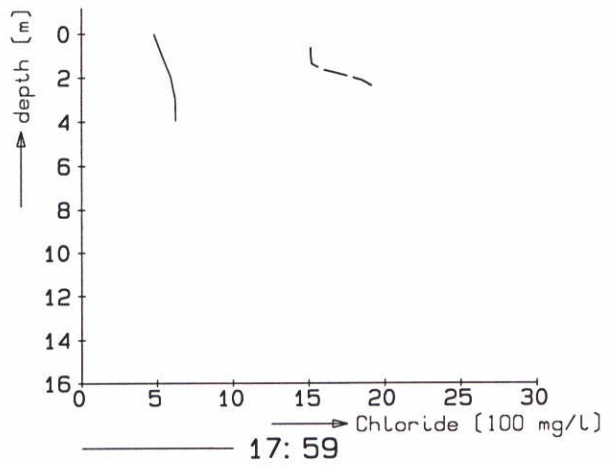
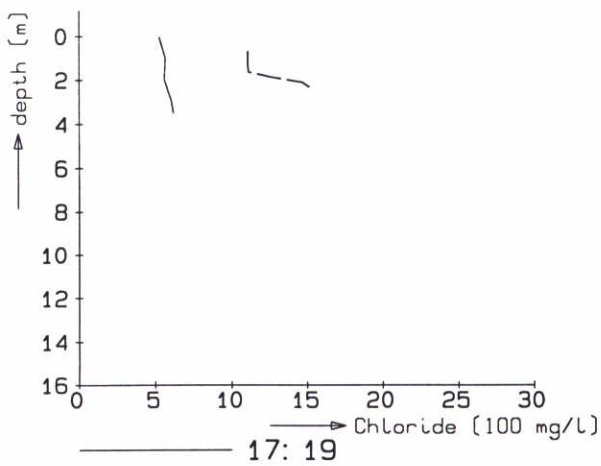
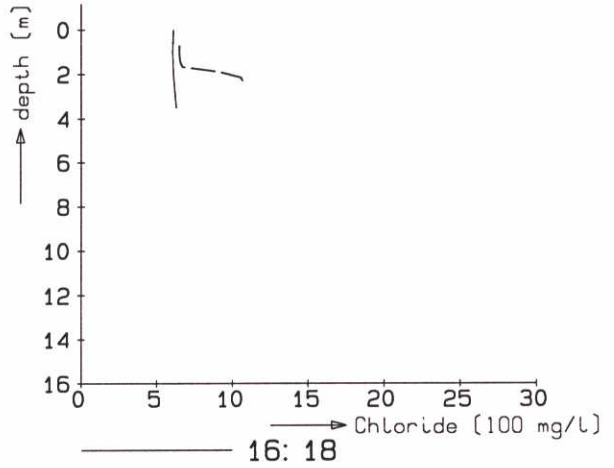
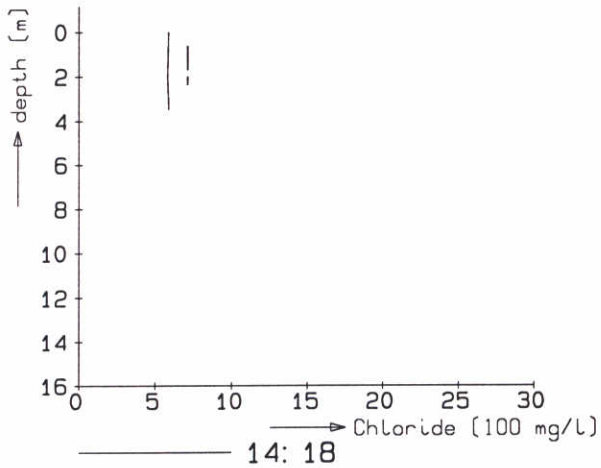
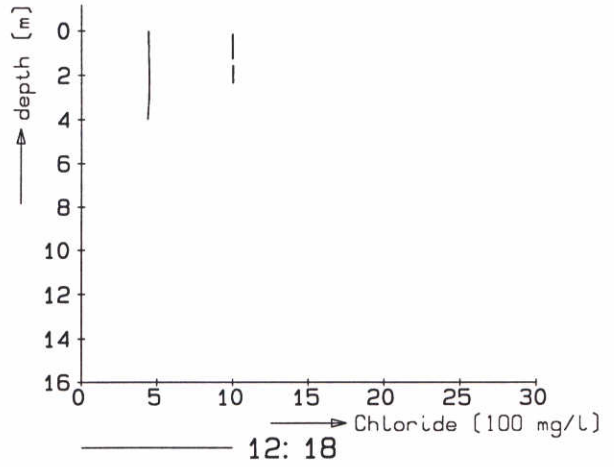
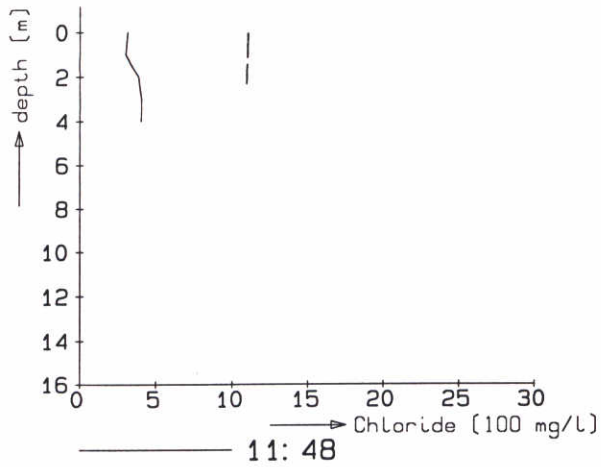
DELFT HYDRAULICS

Z-986.20

Fig. 4.3.13d



Spui		
	blz. 7268	
DELFT HYDRAULICS	Z-986.20	Fig. 4.3.14a



----- computed Salinity

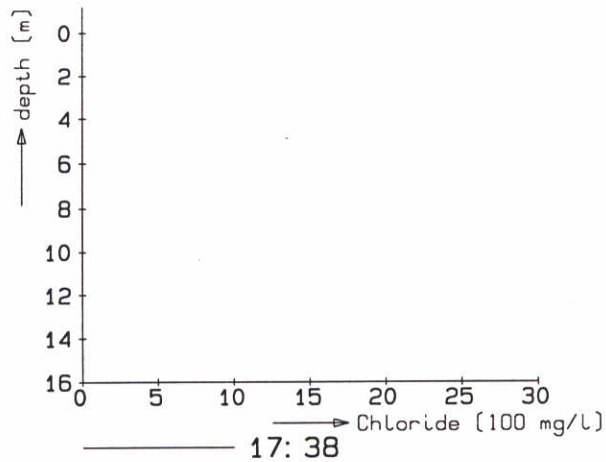
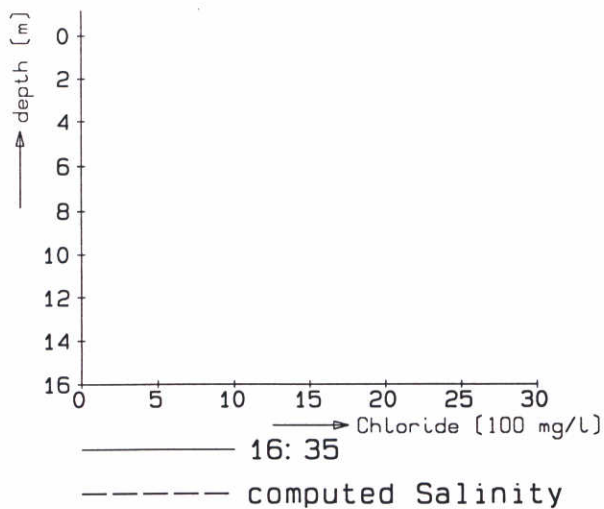
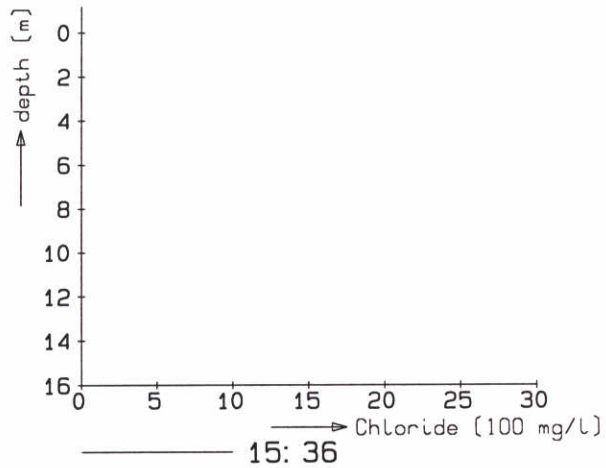
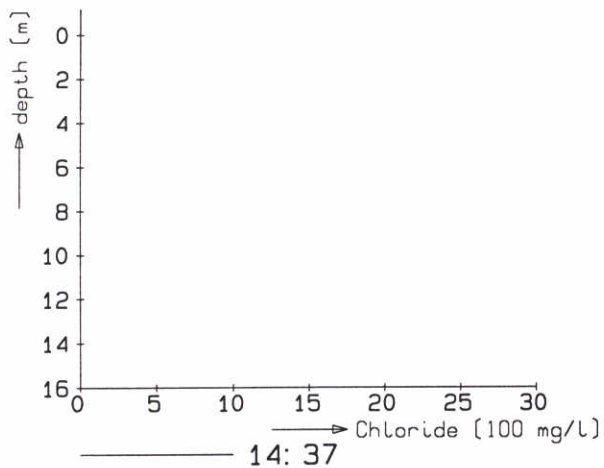
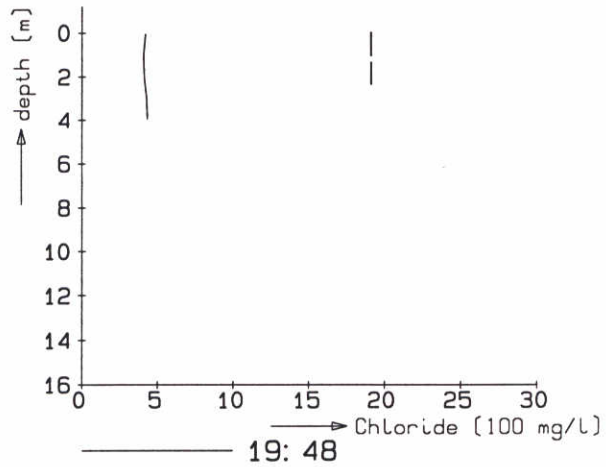
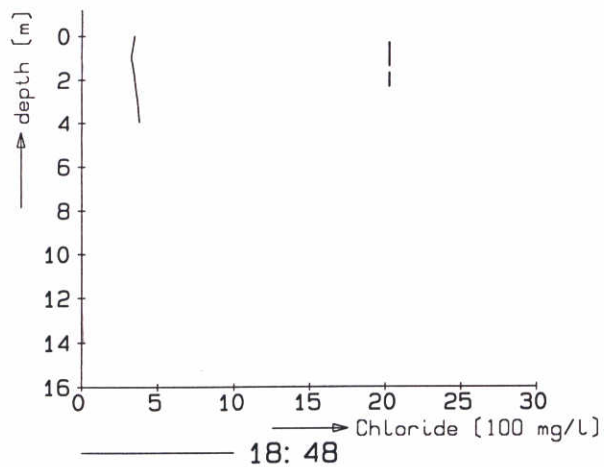
Spui

blz. 7268

DELFT HYDRAULICS

Z-986.20

Fig. 4.3.14b



Spui

blz. 7268

DELFT HYDRAULICS

Z-986.20

Fig. 4.3.14c