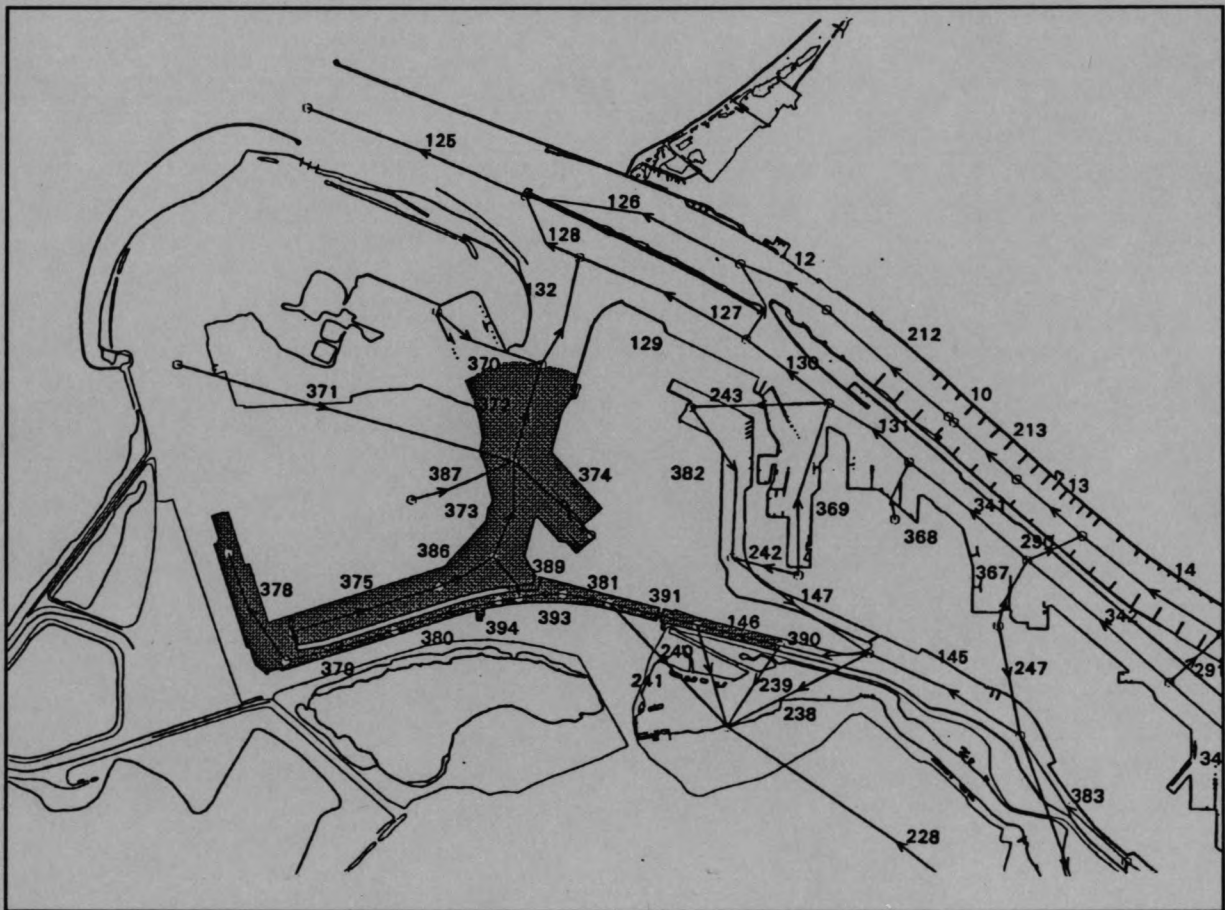


Hydraulische modellering

Open Beerdam



Bijlagen

Uitgeleend aan:

Naam:

Datum:

Tel.nr:

M.H. Marell

Bibl. UTM 277

Hydraulische modellering

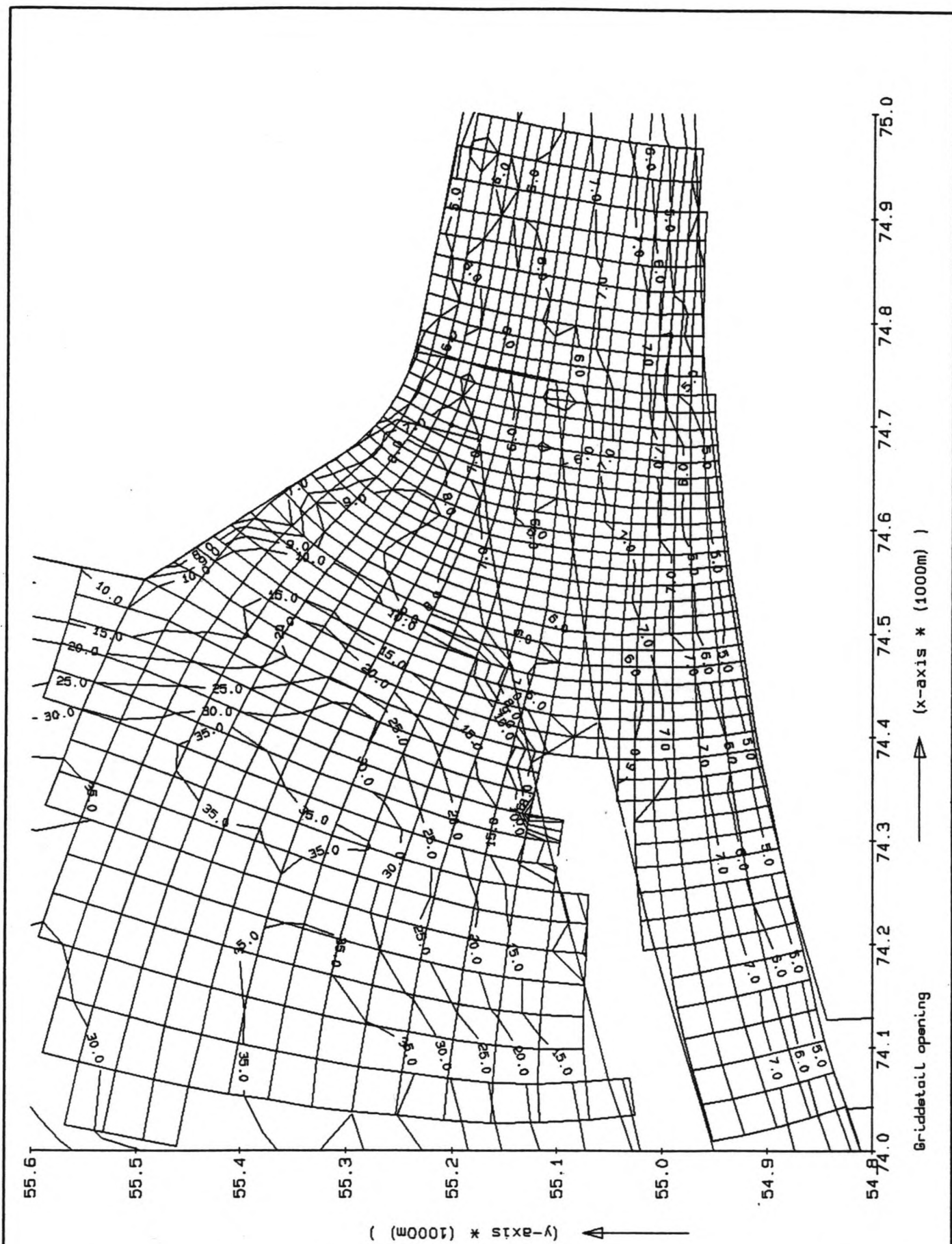
Open Beerdam

Bylagen afst. verslag.

Bibl. Sectie Ulm
CT-42.77

Bijlage I

Afbeeldingen

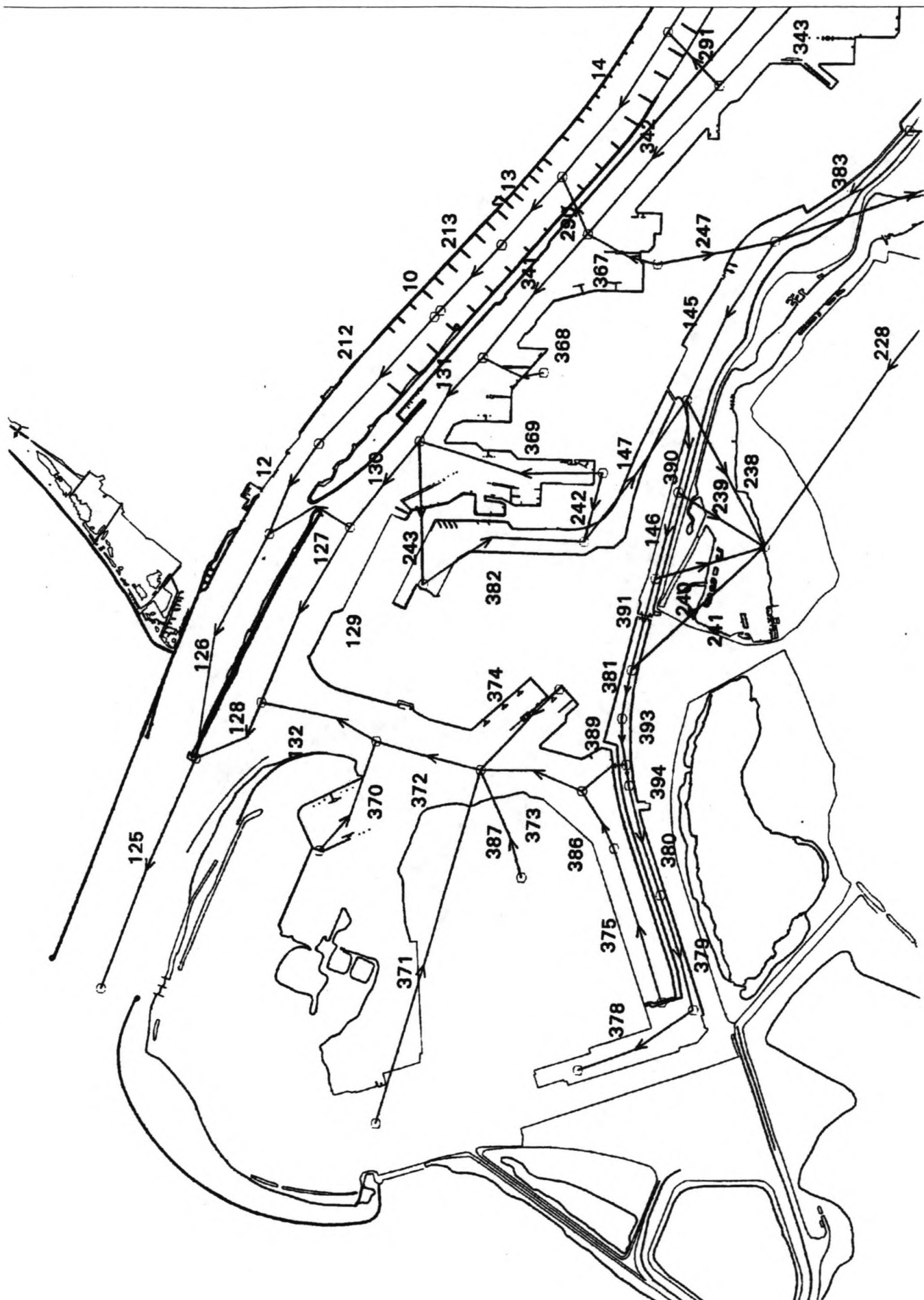


DETAILMODEL OPEN BEERDAM

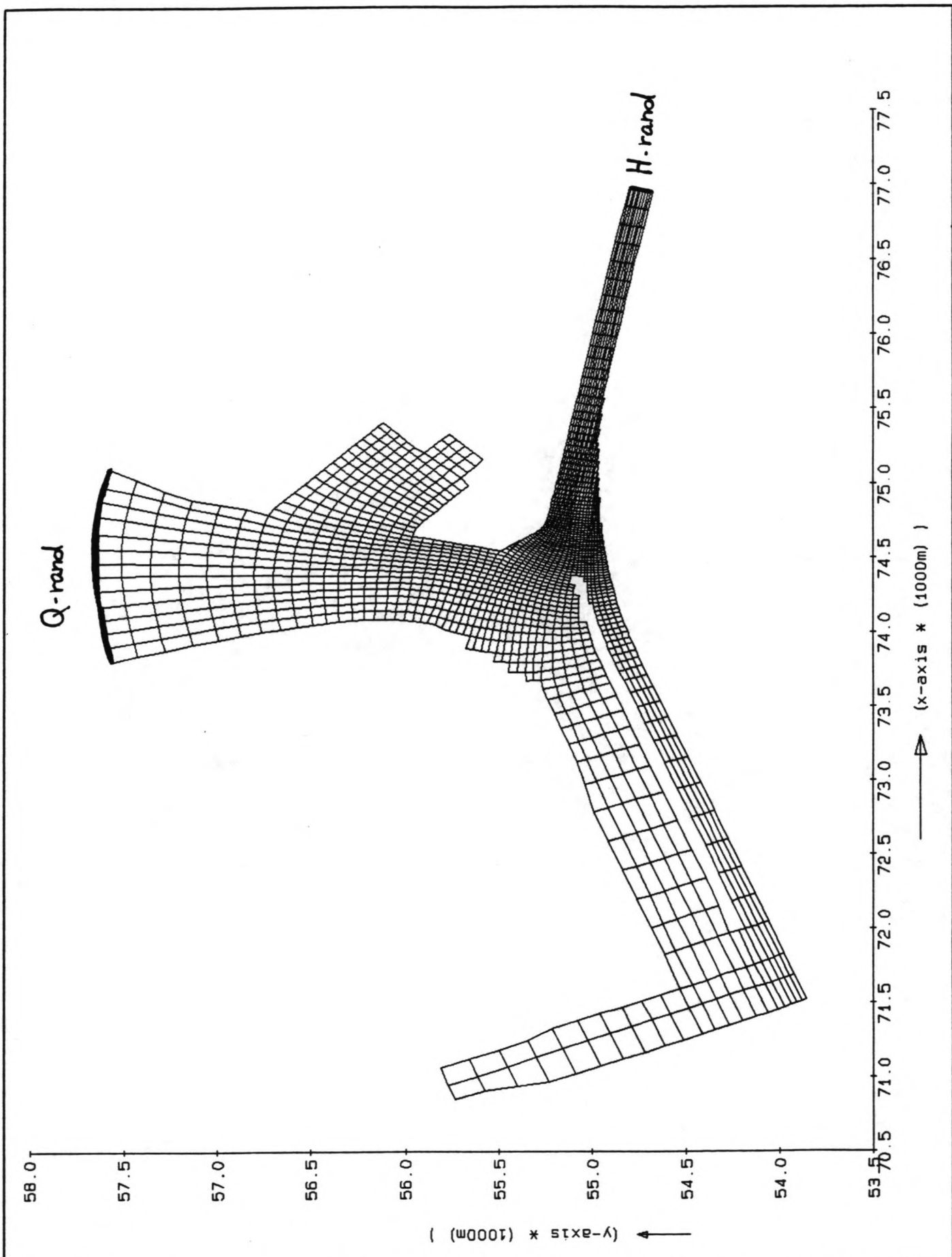
Grid/Landgrenzen/Dieptelijnen

400 m opening; nieuw grid

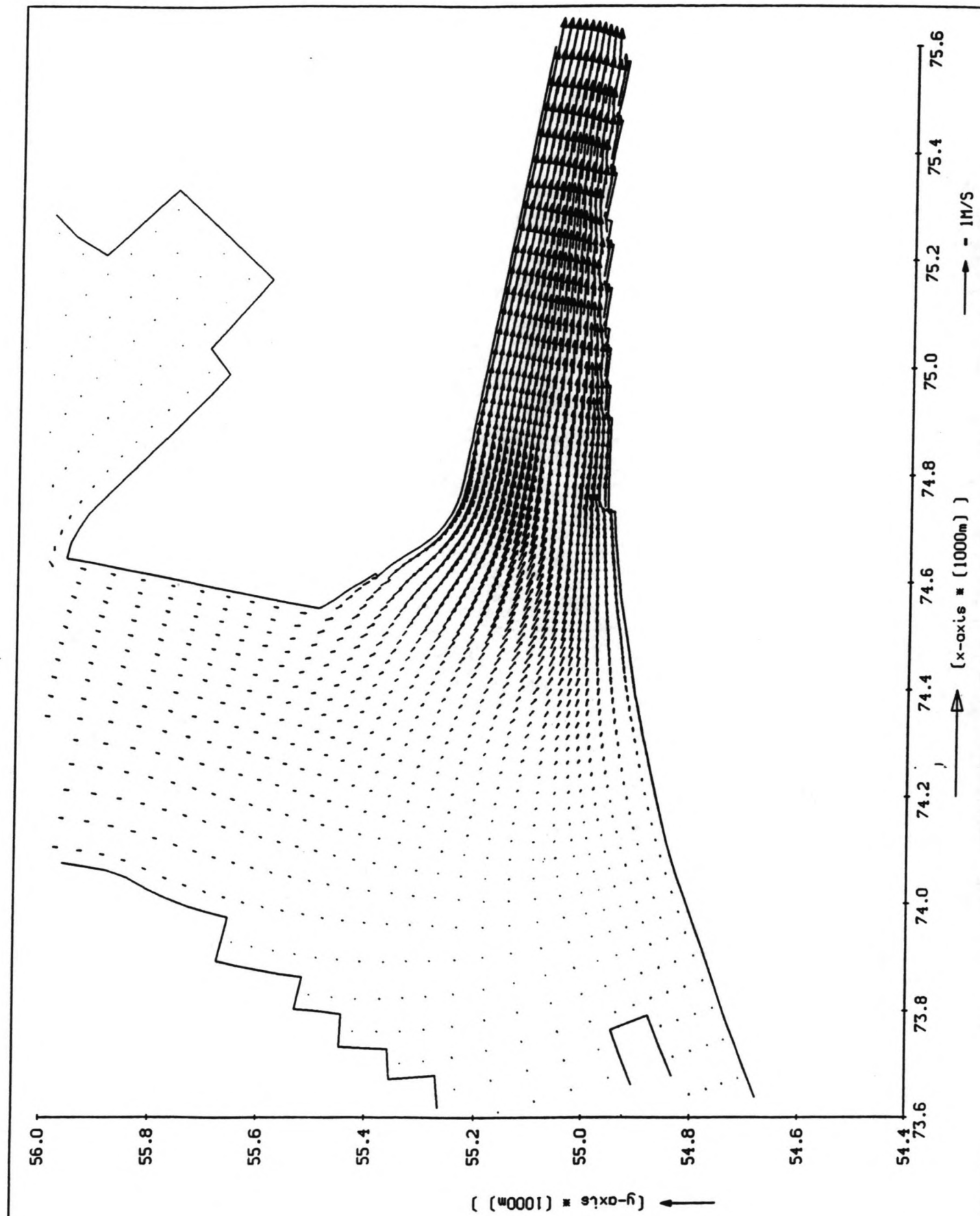
Afbeelding 4.1



Afbeelding 4.2

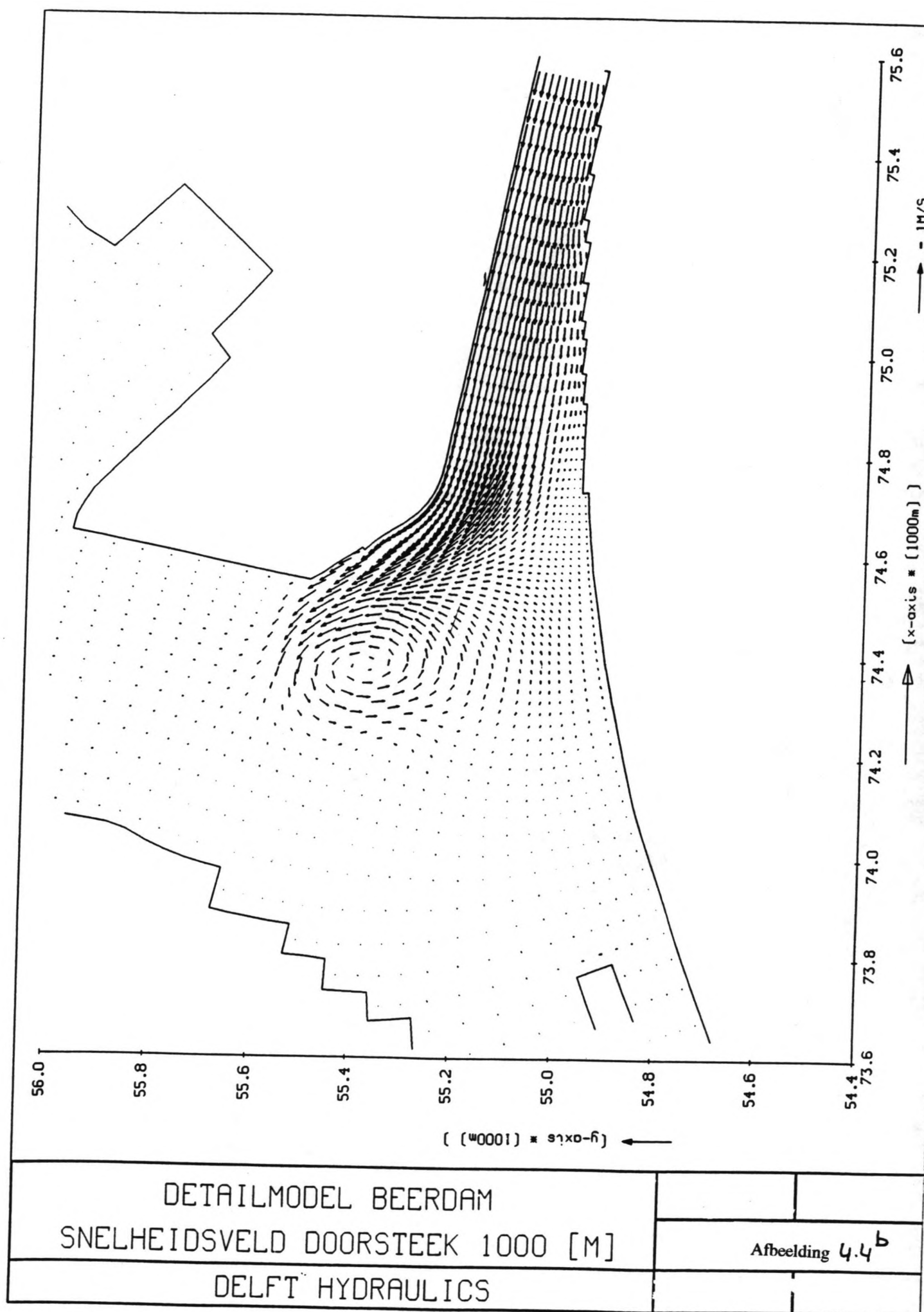


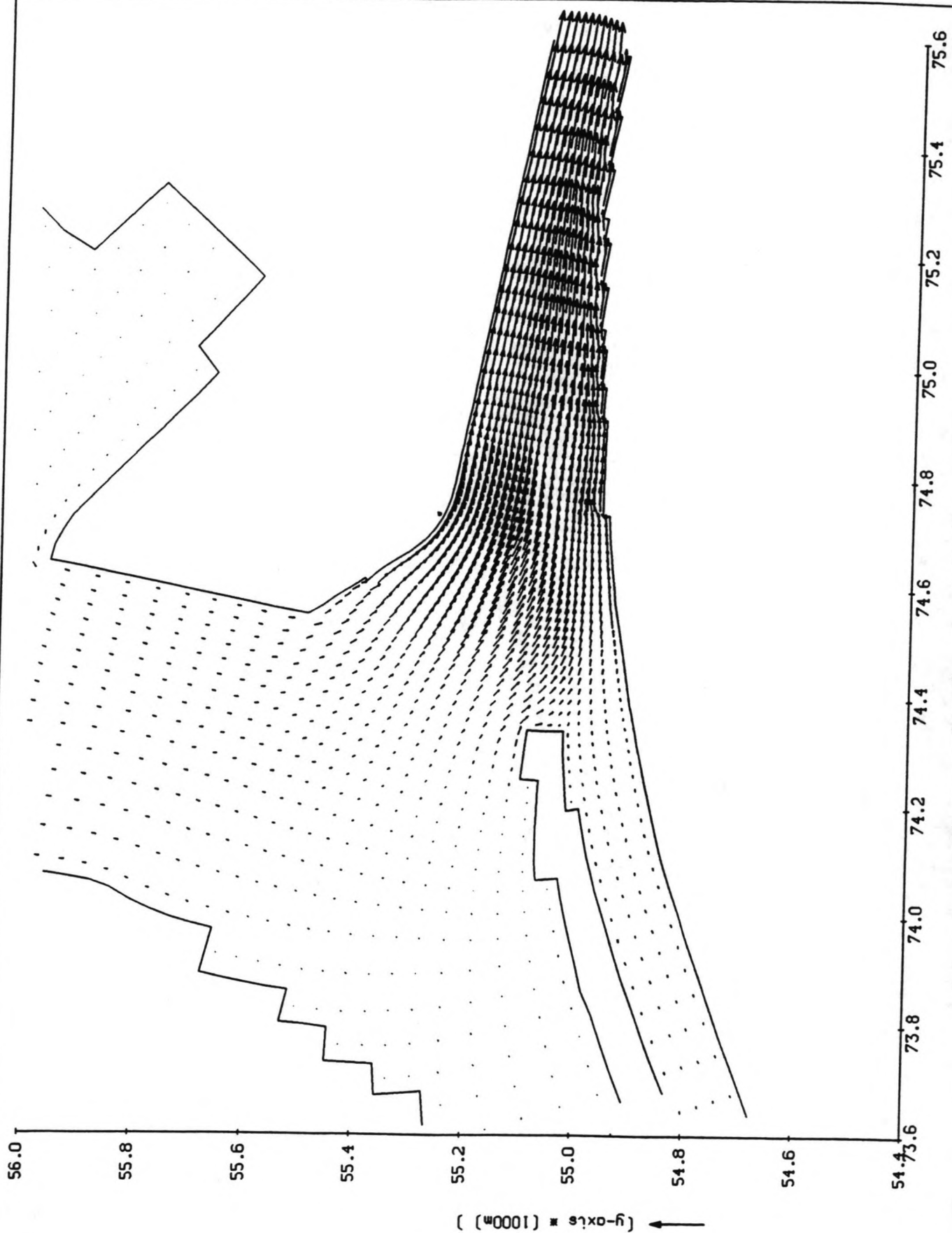
MODEL OPEN BEERDAM Trisula-grid 400 meter opening		
	Afbeelding 4.3	



DETAILMODEL BEERDAM
 SNELHEIDSVELD DOORSTEEK 1000 [M]
 DELFT HYDRAULICS

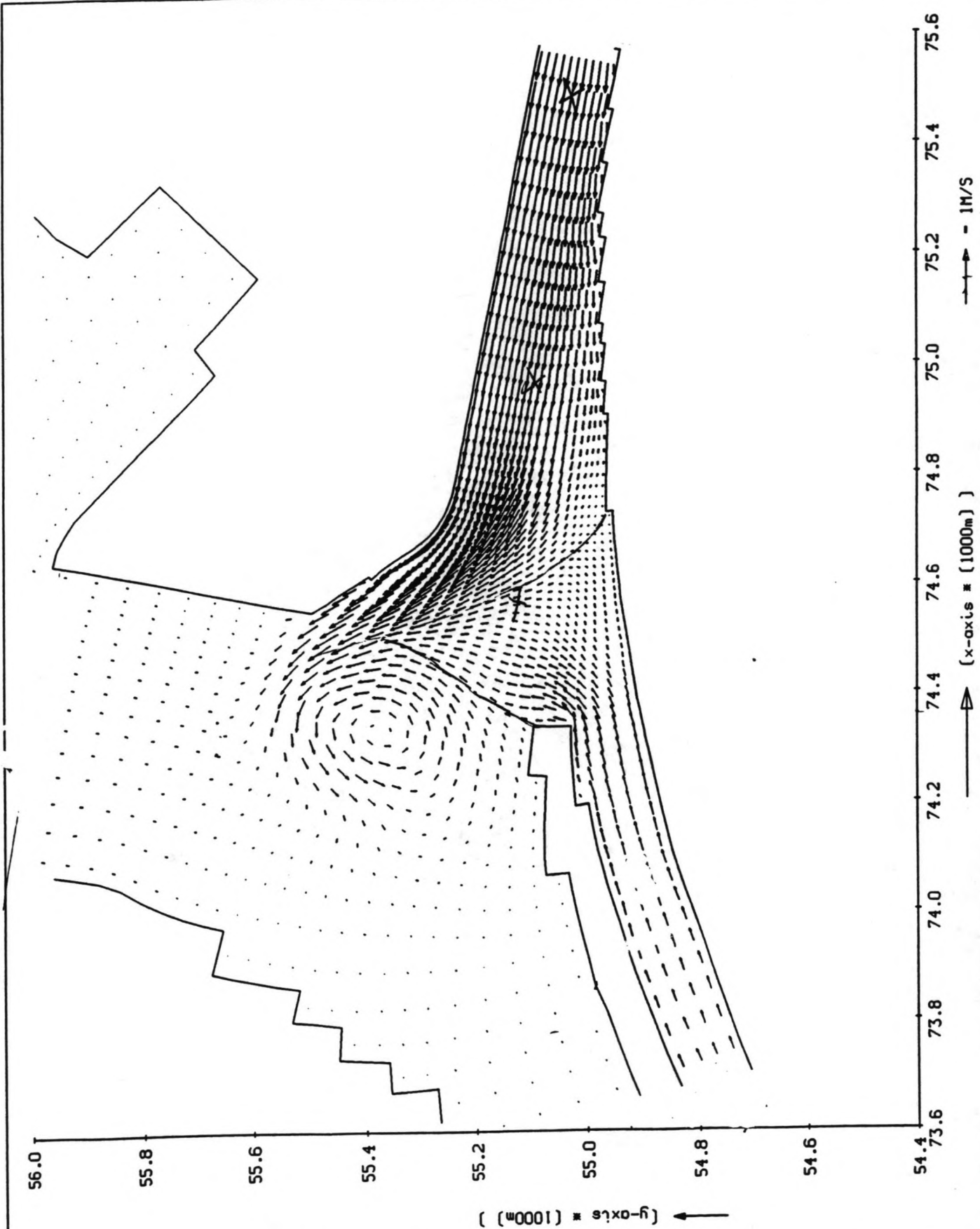
Afbeelding 4.4 ^a



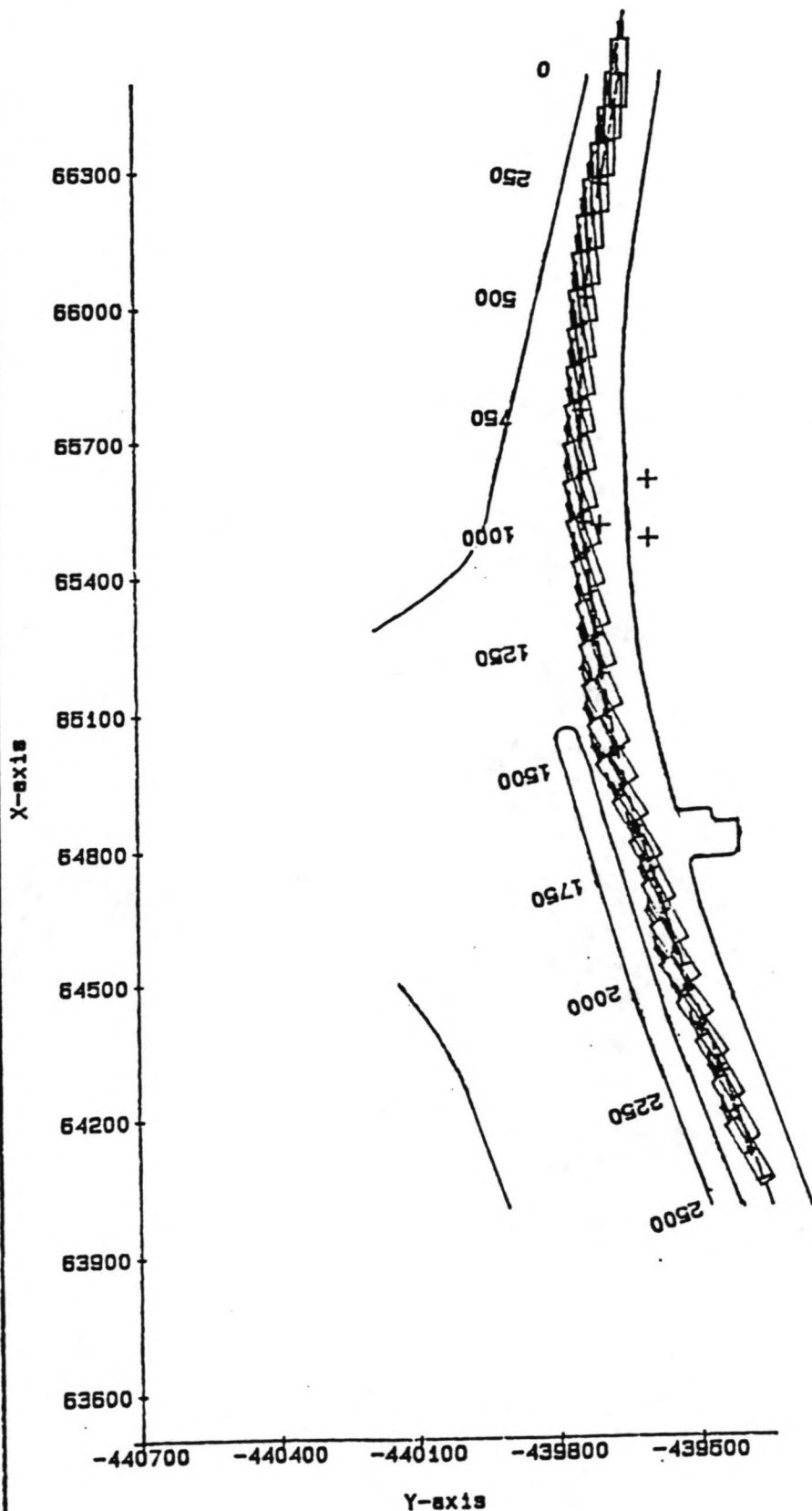


DETAILMODEL BEERDAM
 SNELHEIDSVELD DOORSTEEK 400 [M]
 DELFT HYDRAULICS

Afbeelding 4.5 9



DETAILMODEL BEERDAM		
SNELHEIDSVELD DOORSTEEK 400 [M]	Afbeelding 45b	
DELFT HYDRAULICS		

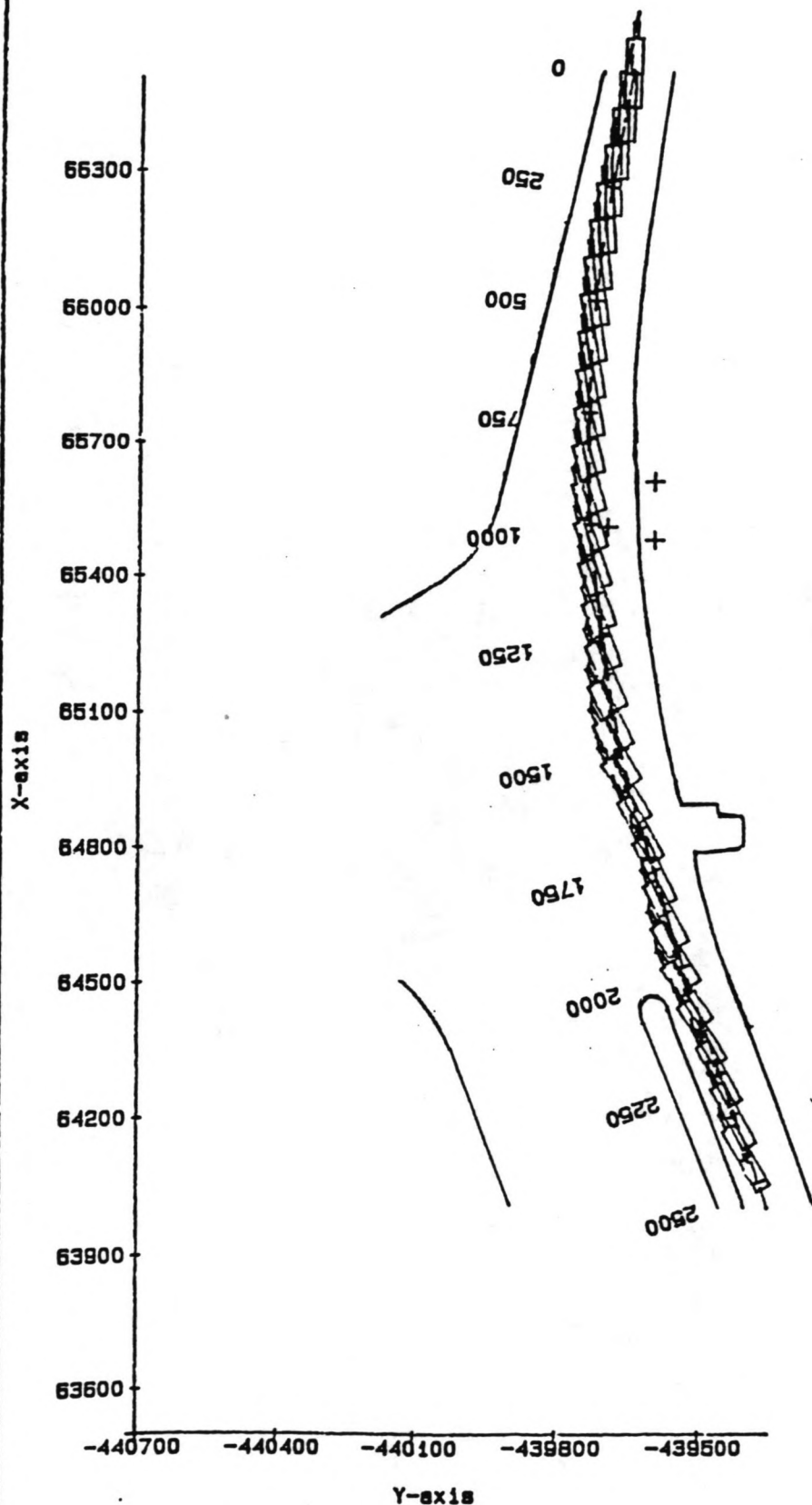


HARTELKERING, OPEN BEERDAM (400m)
WESTGAAND, 2X3, VLOED

GEMEENTELIJK HAVENBEDRIJF ROTTERDAM

Scale 1: 15000
Plotinterval: 20.0 s

Afbeelding 4.6 a

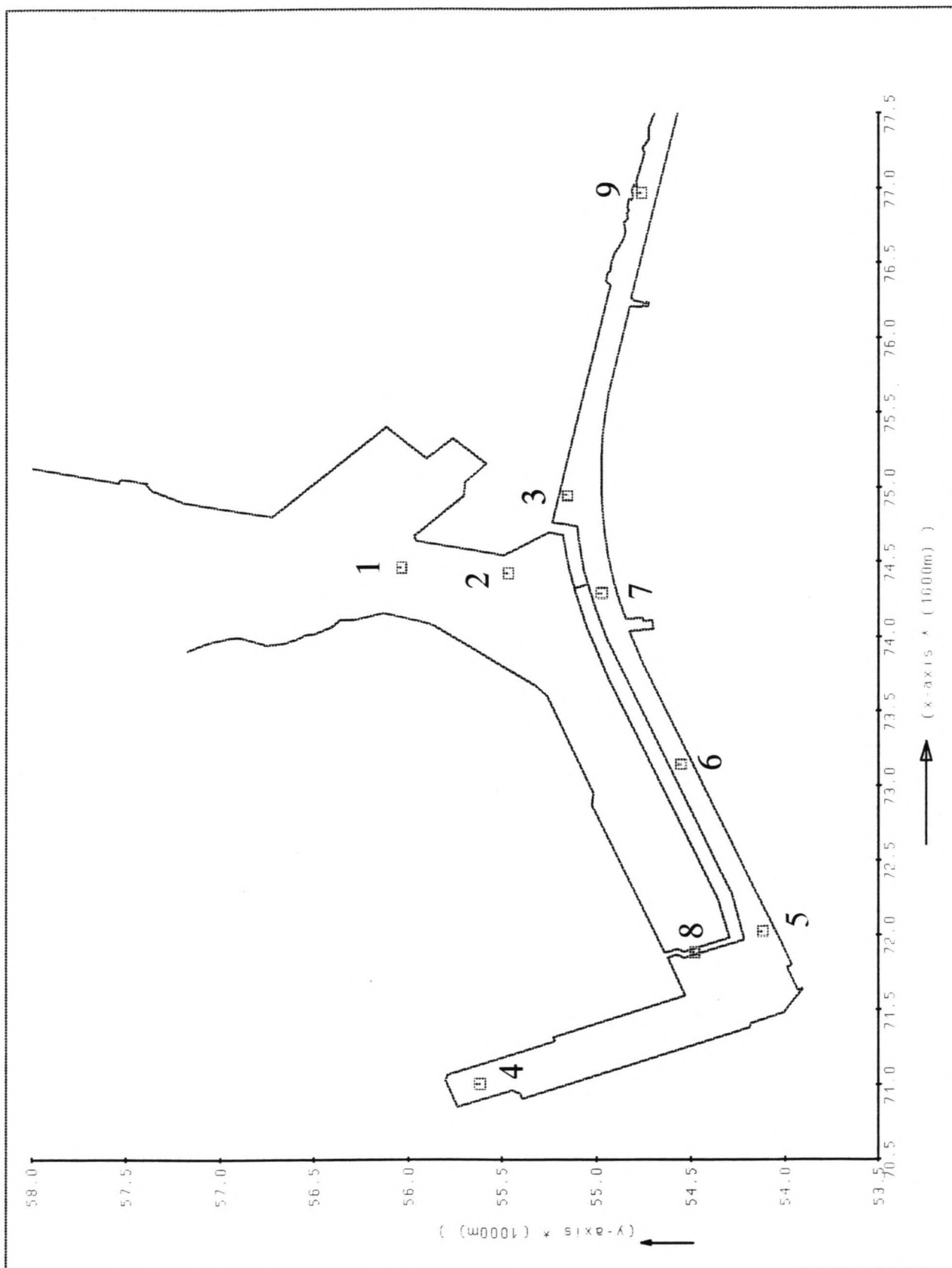


HARTELKERING, OPEN BEERDAM (1000m)
WESTGAAND, 2X3, VLOED

Scale 1: 15000
Plotinterval: 20.0 s

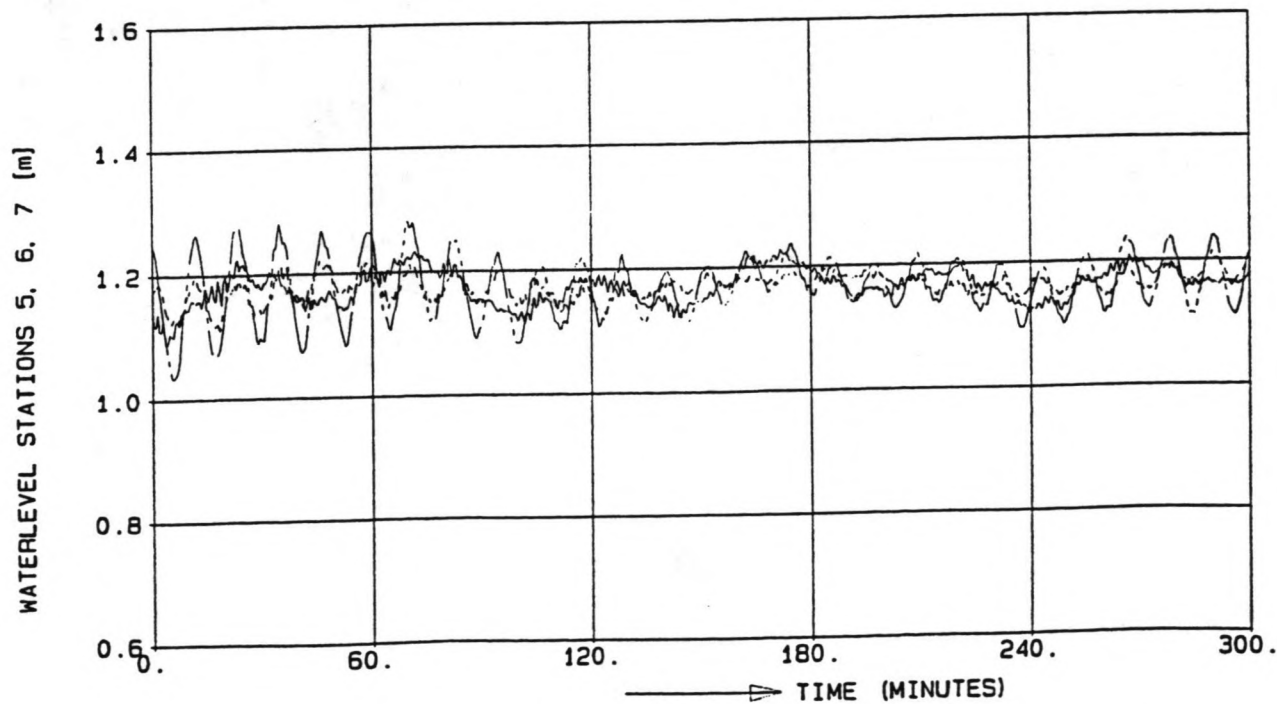
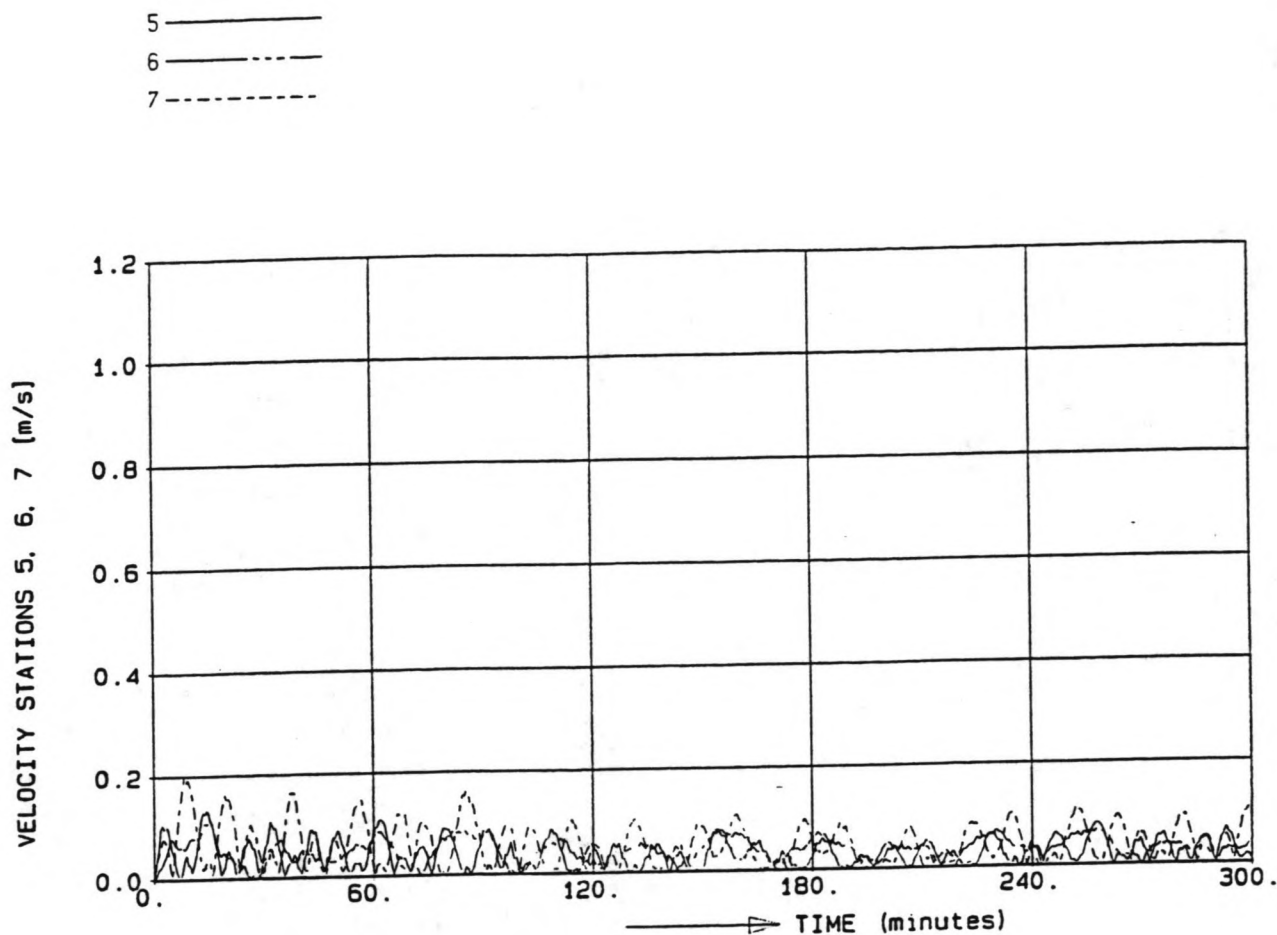
GEMEENTELIJK HAVENBEDRIJF ROTTERDAM

Afbeelding 4.6b



DETAILMODEL OPEN BEERDAM
Trisula-stations / Landgrenzen

Afbeelding 4.7

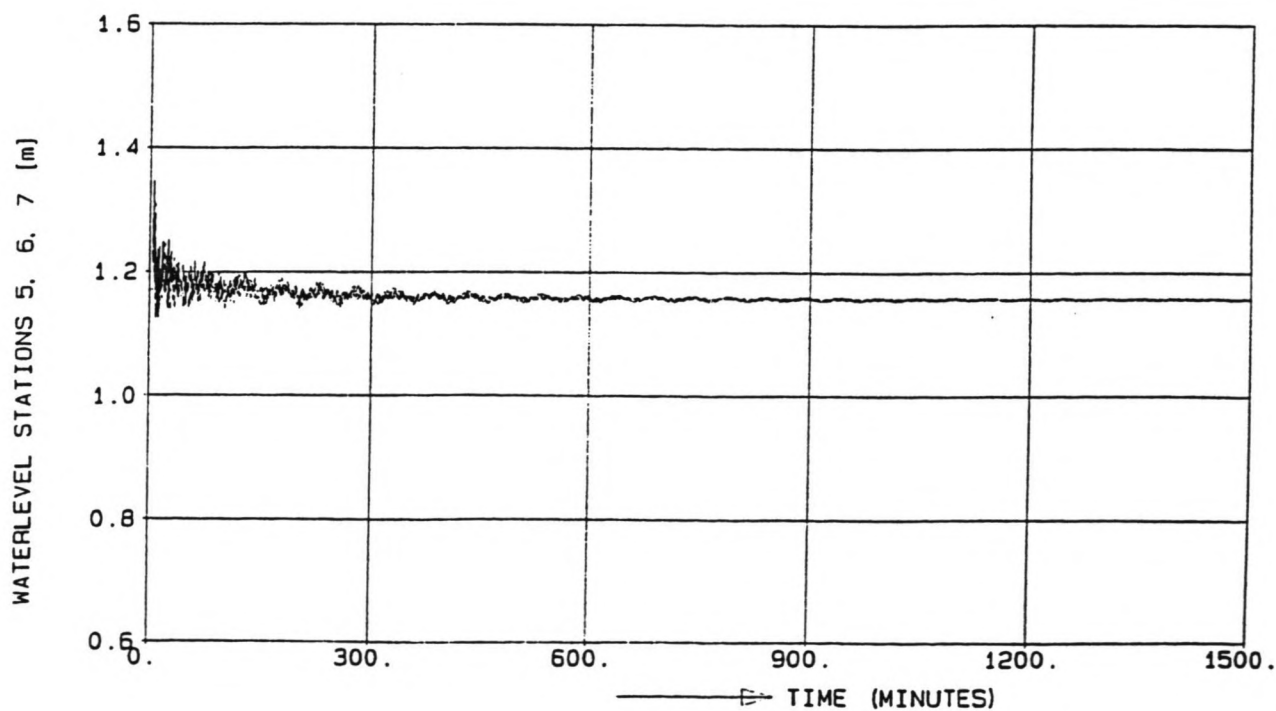
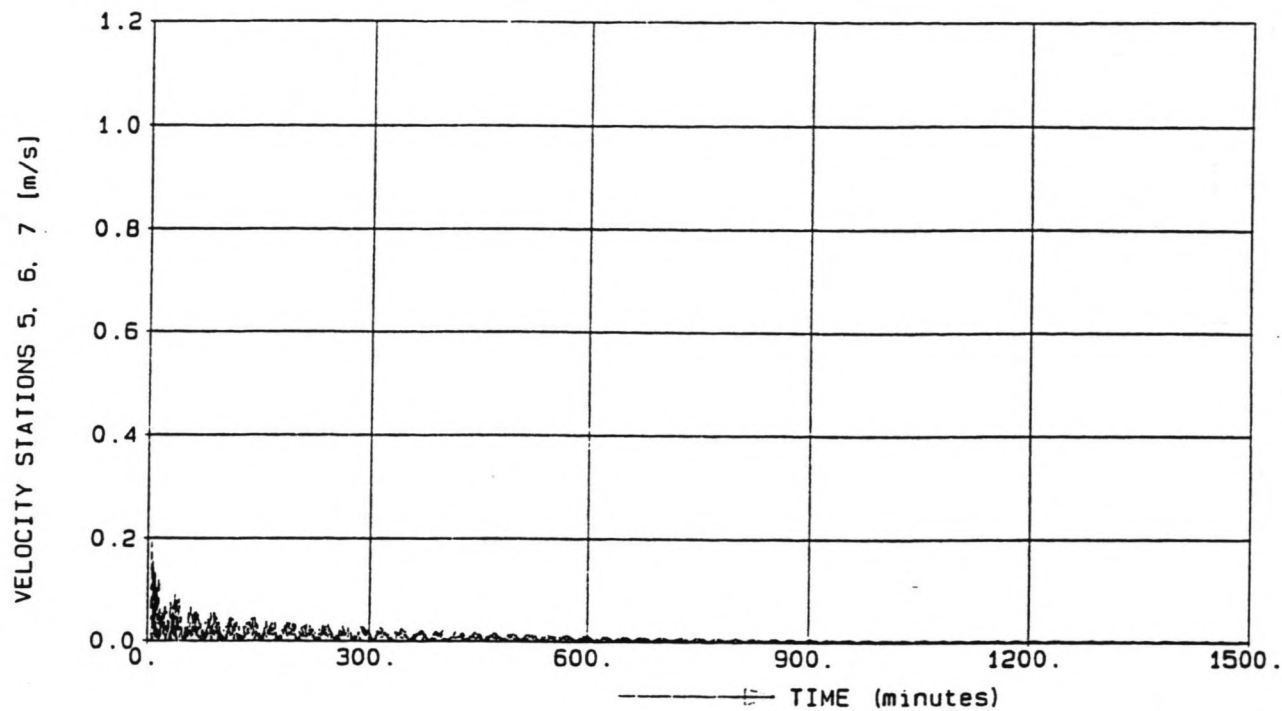


DETAILMODEL BEERDAM
WATERSTANDEN EN SNELHEDEN STATIONS 5, 6, 7

DELFT HYDRAULICS

Afbeelding 4.8

5 —————
 6 - - - - -
 7 - - - - -

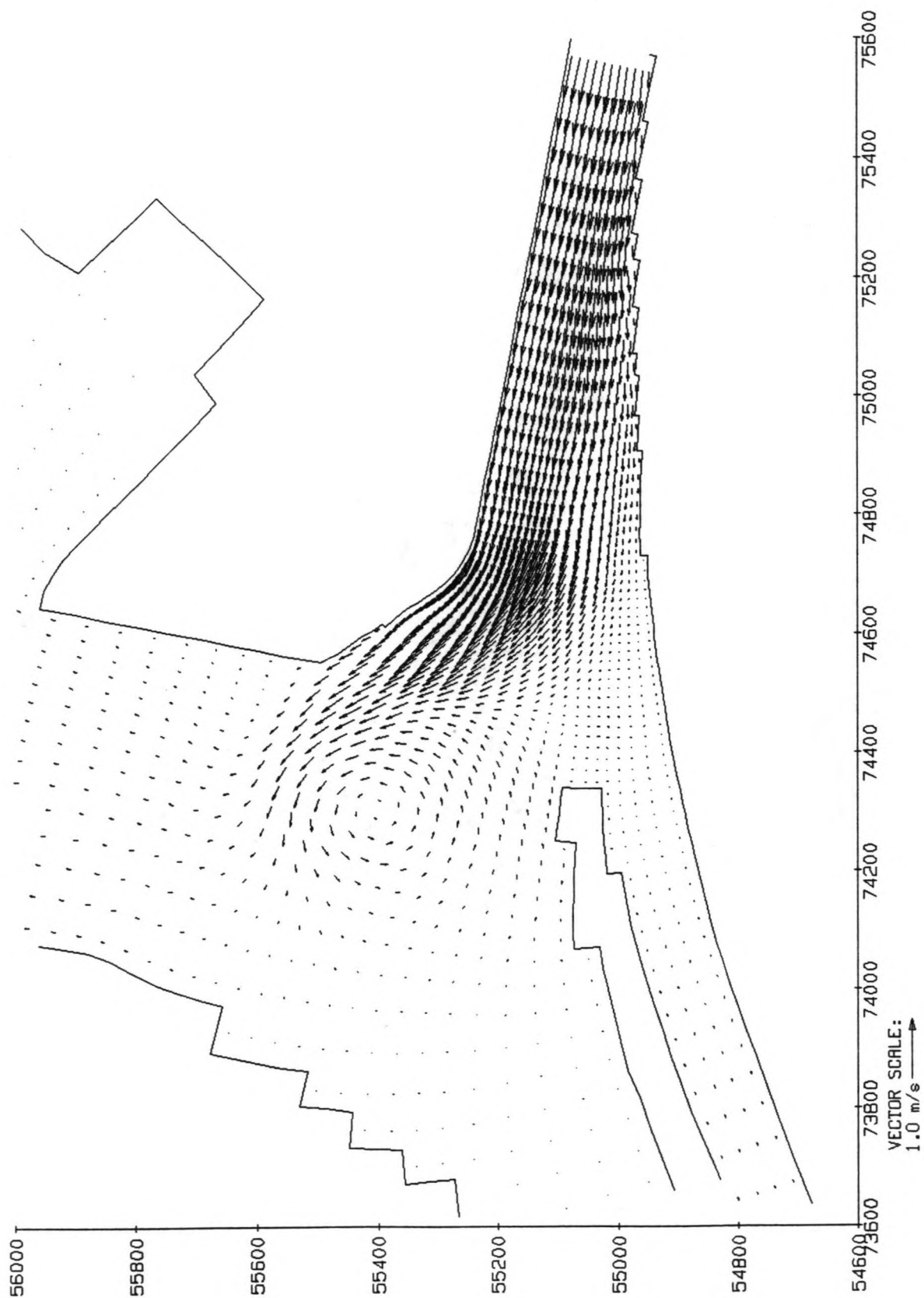


DETAILMODEL BEERDAM

WATERSTANDEN EN SNELHEDEN STATIONS 5, 6, 7

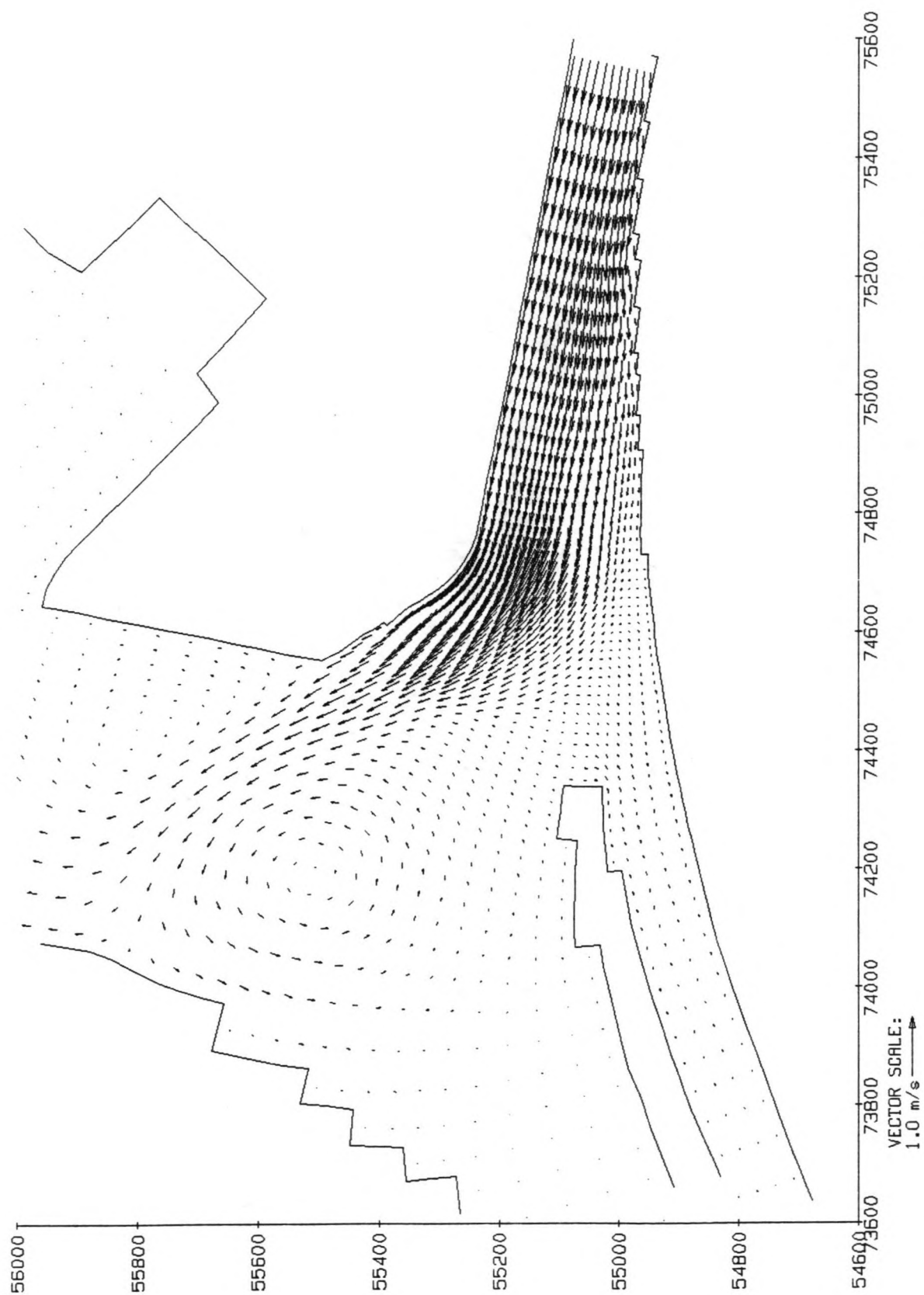
DELFT HYDRAULICS

Afbeelding 4.9



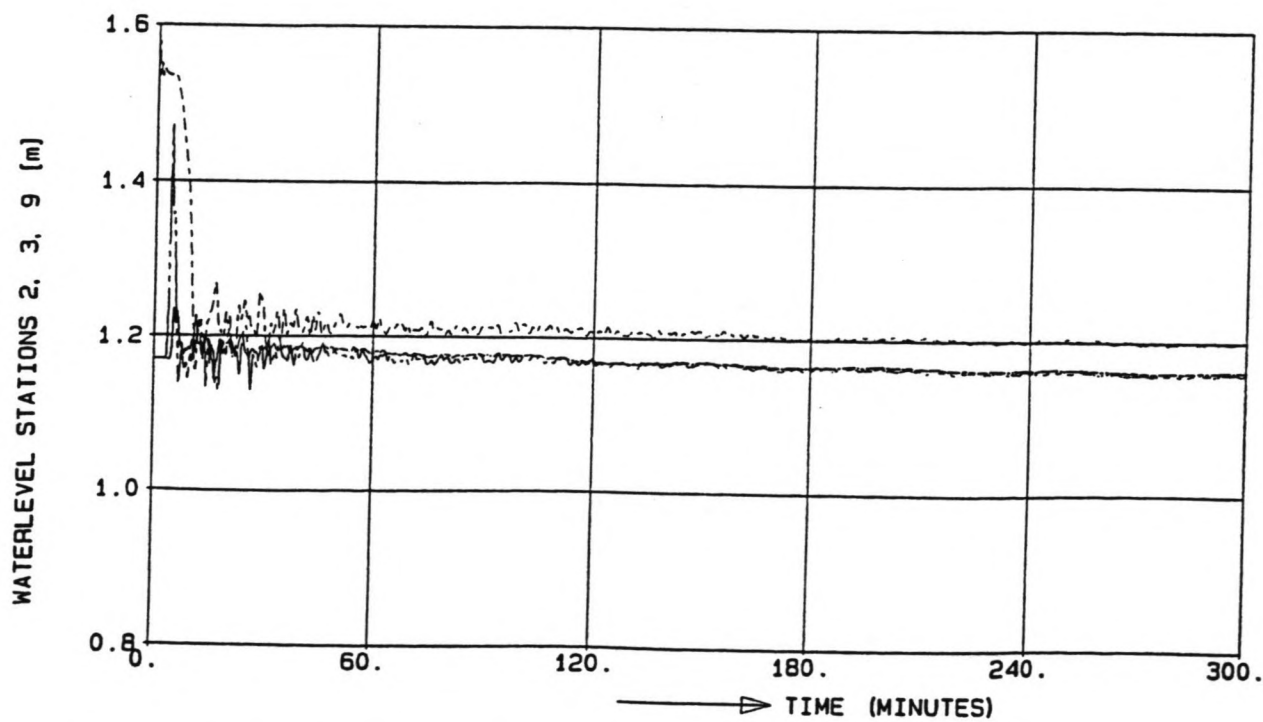
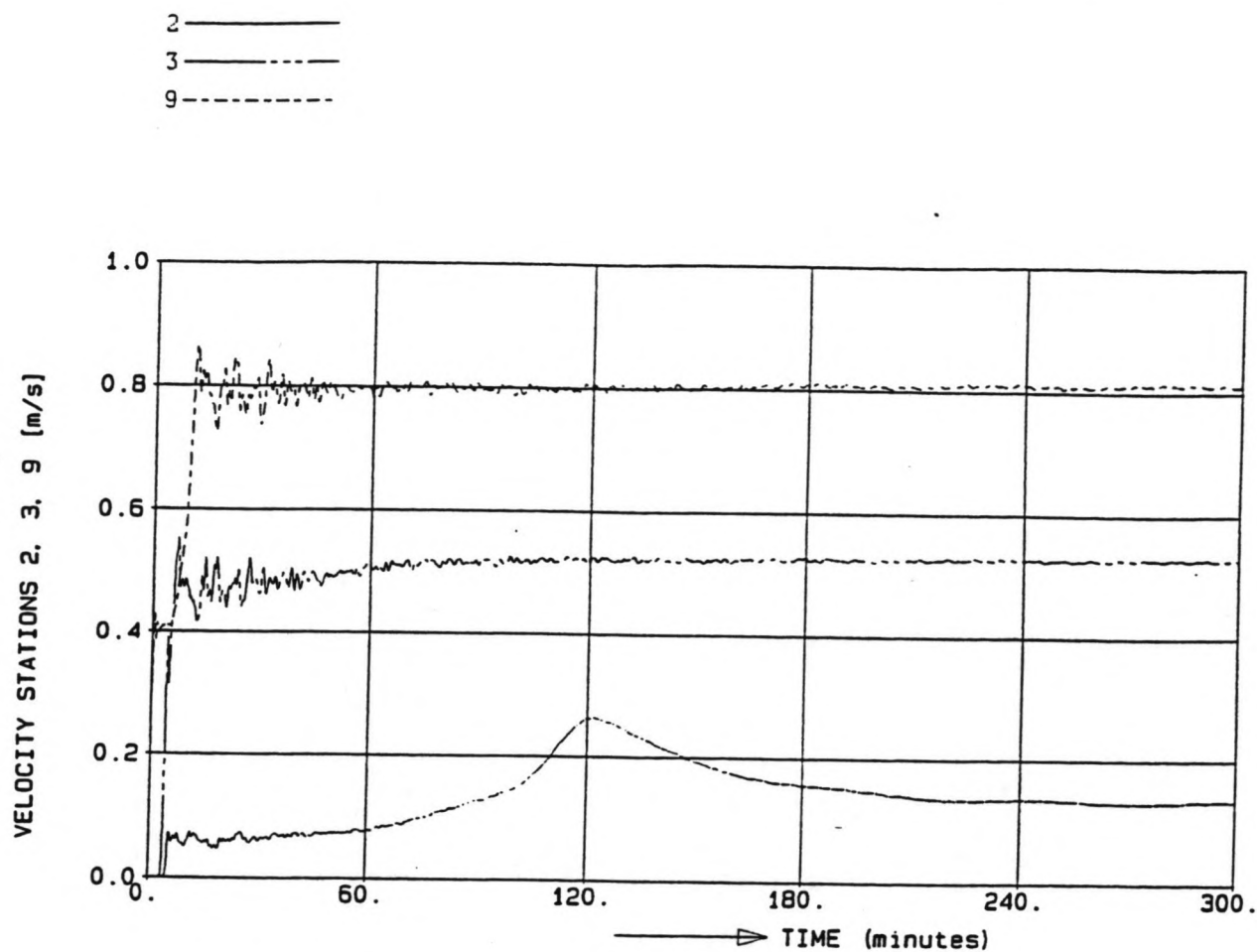
Detailmodel Beerdam
Oorspronkelijke berekening
400 m; snelheidsveld eb t=120 min.

Afbeelding 4.10^a



Detailmodel Beerdam
 Oorspronkelijke berekening
 400m; snelheidsveld $t=180$ min.

Afbeelding 4.10 b

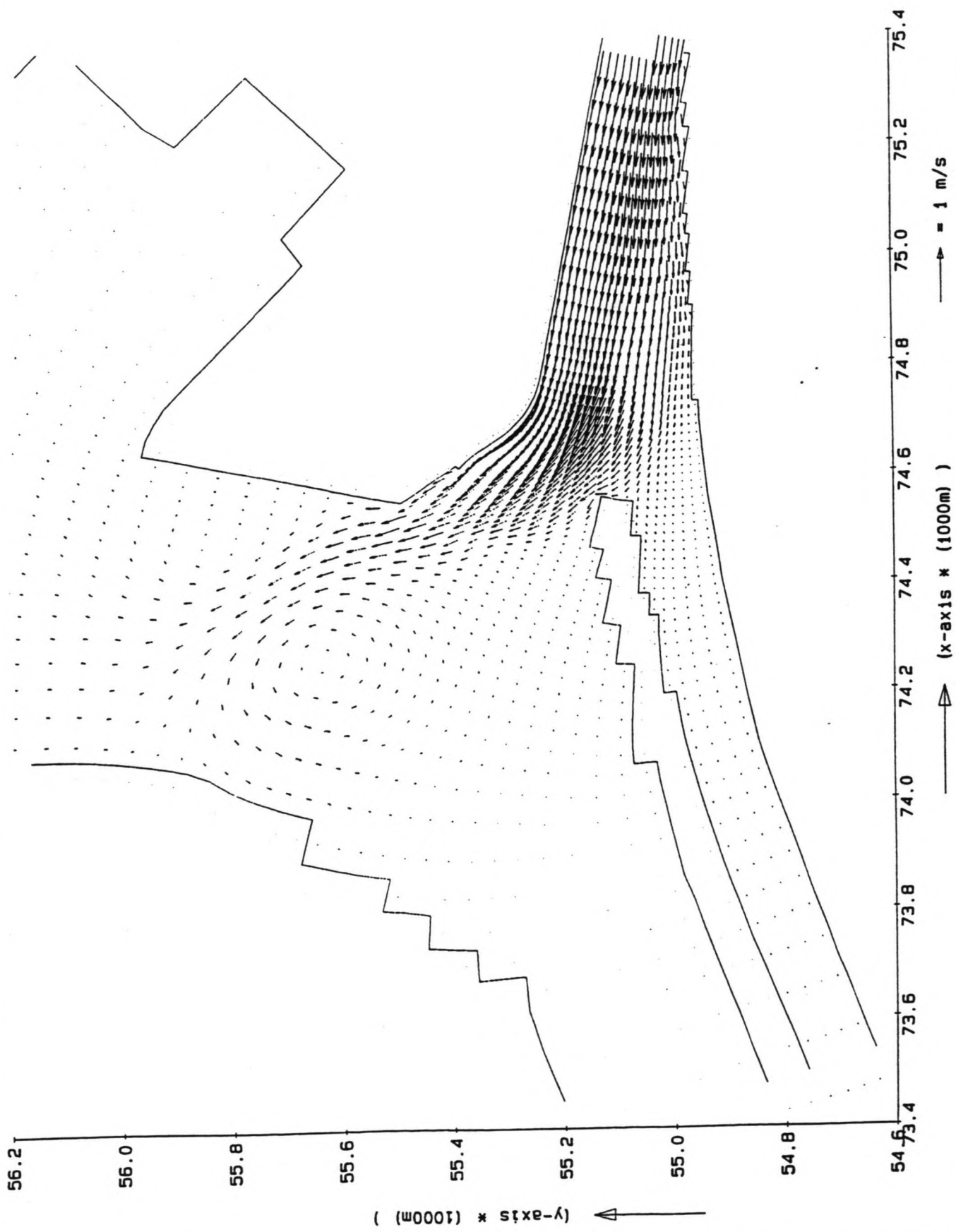


DETAILMODEL BEERDAM

WATERSTANDEN EN SNELHEDEN STATIONS 2, 3, 9

DELFT HYDRAULICS

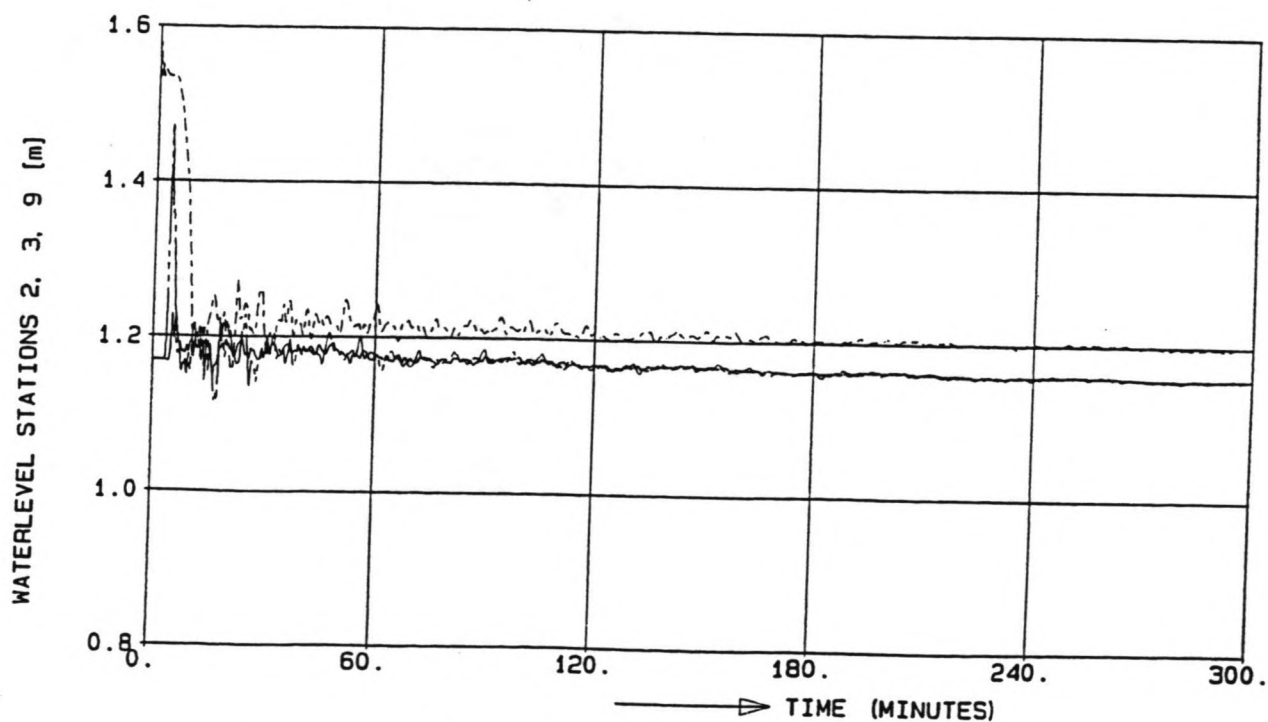
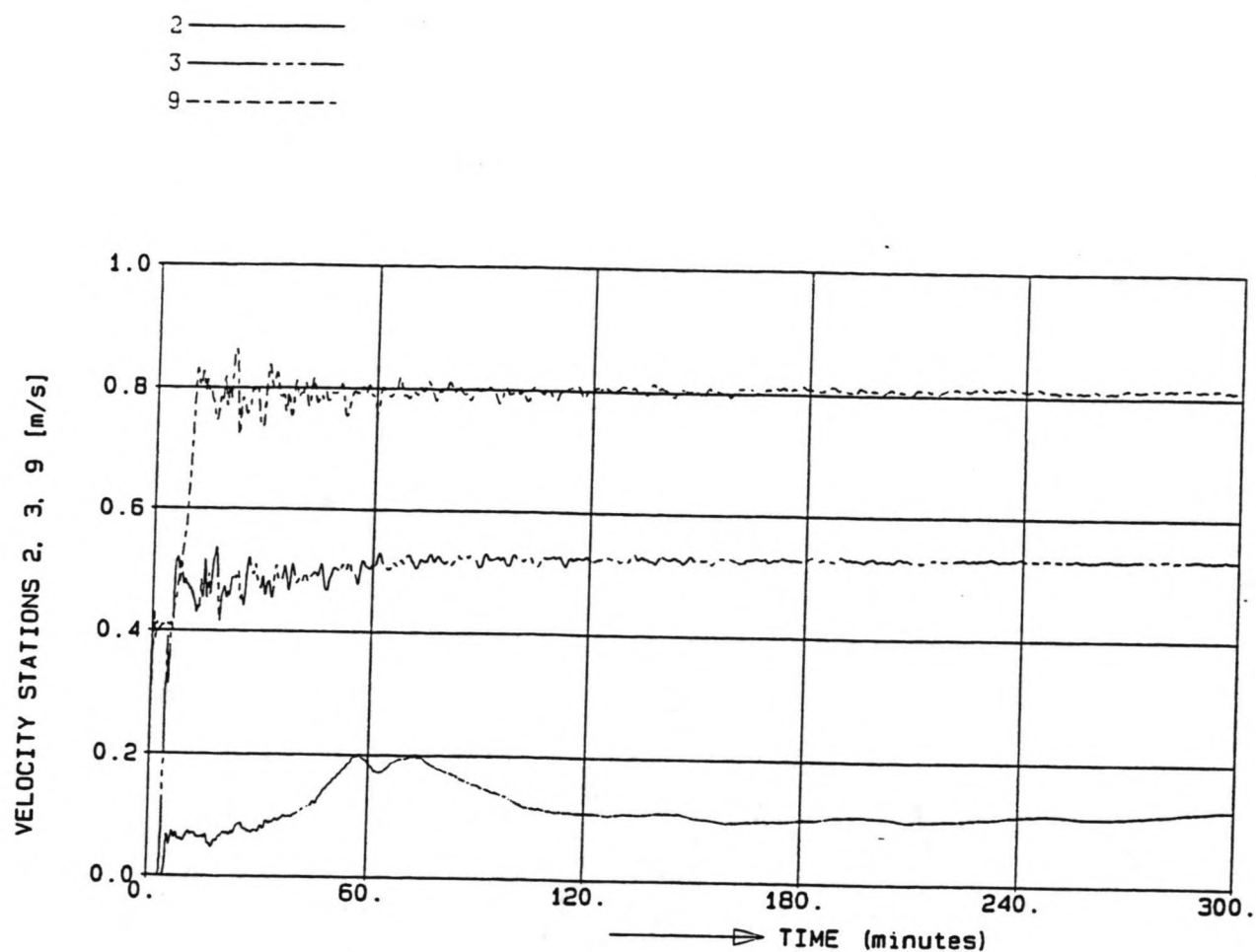
Afbeelding 4.11



Detailmodel BEERDAM, fase II
snelheidsveld, tijd = 120 m.

NFI FT HYDRAULICS

Afbeelding 4.12

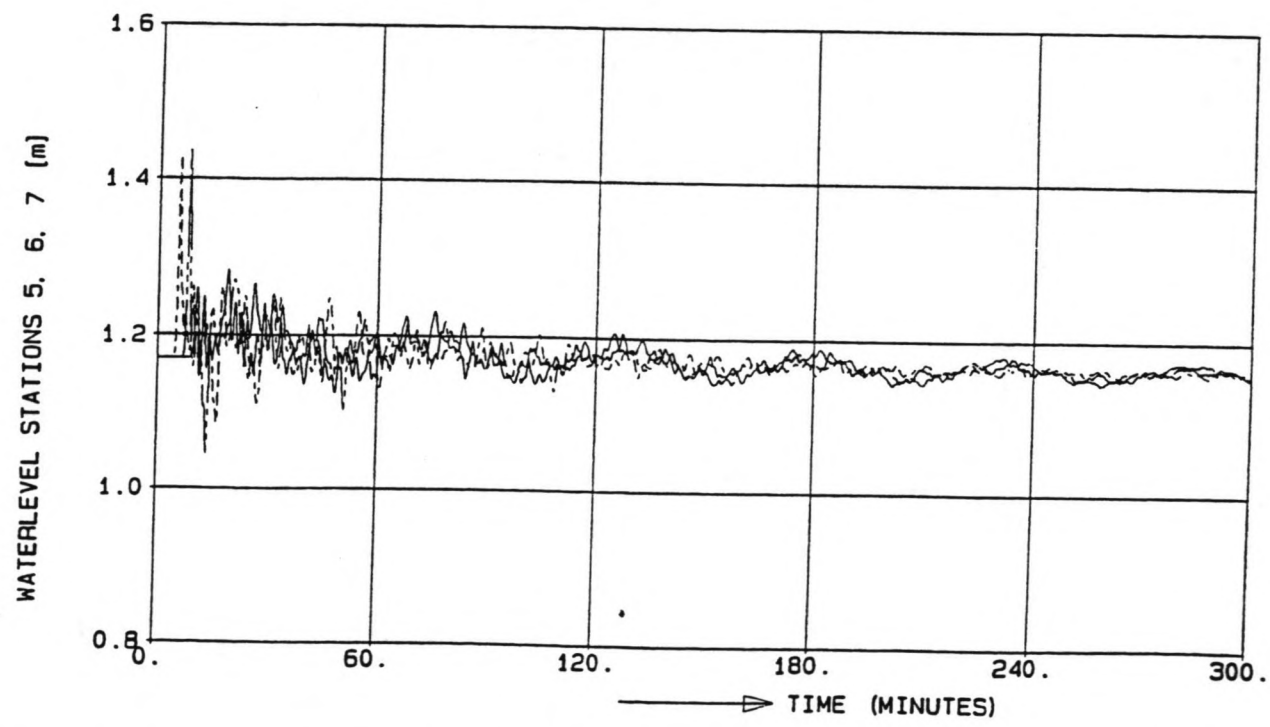
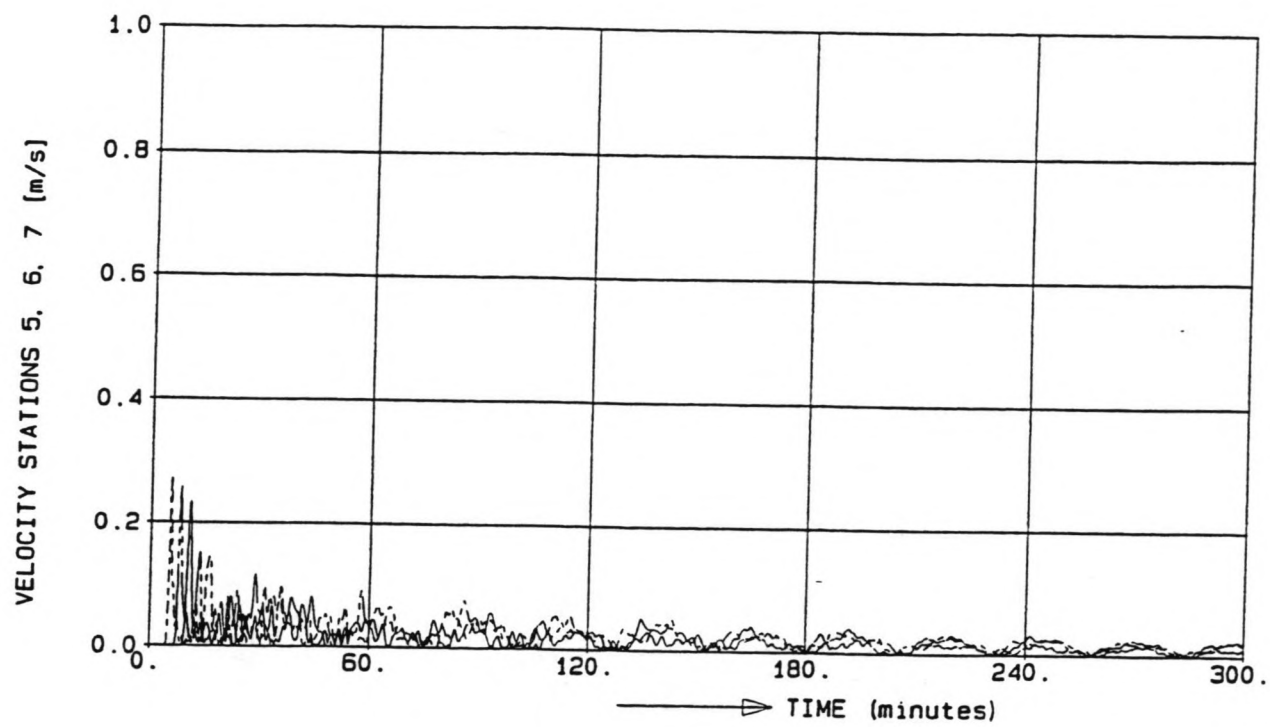


DETAILMODEL BEERDAM
WATERSTANDEN EN SNELHEDEN STATIONS 2, 3, 9

DELFT HYDRAULICS

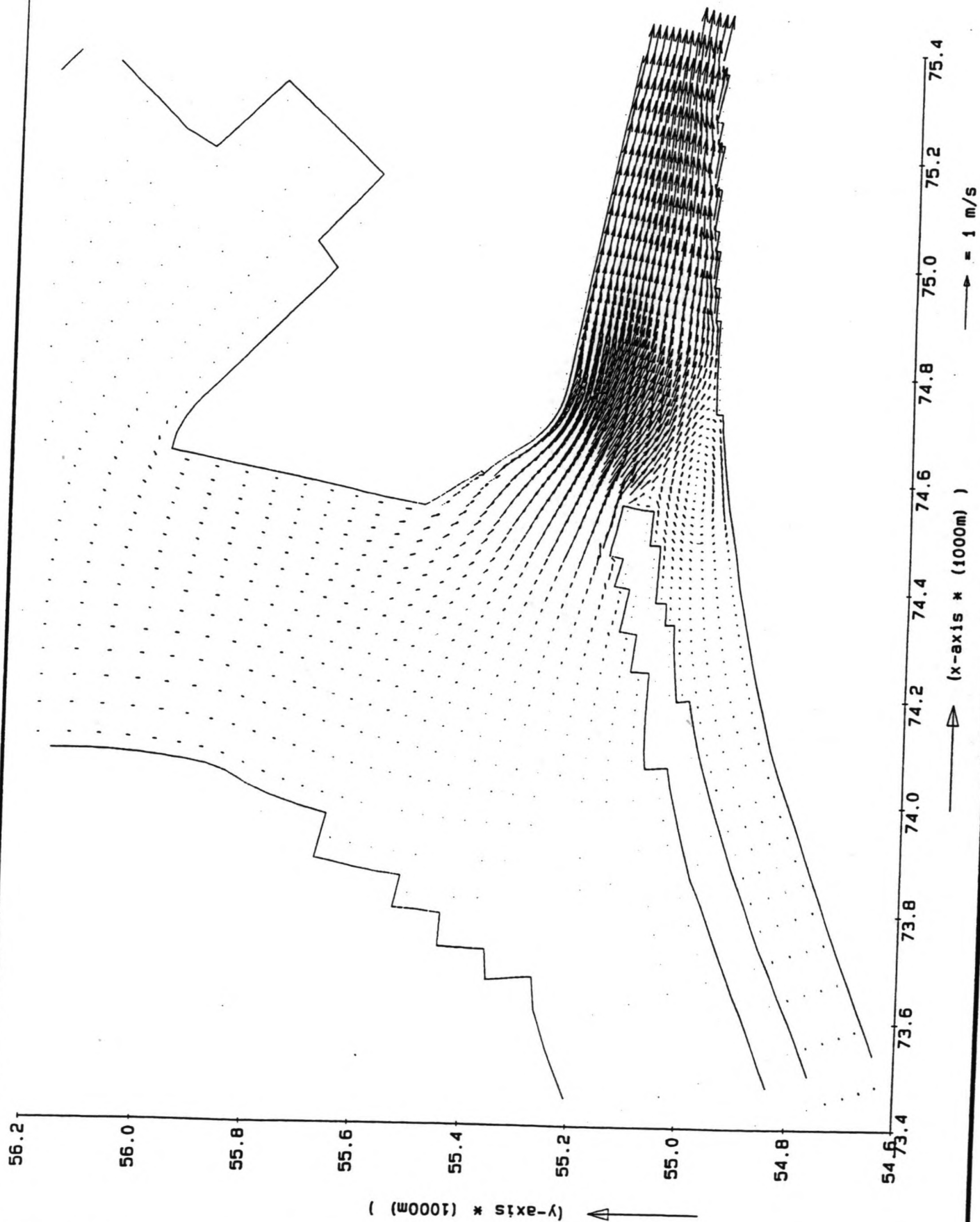
Afbeelding 4.13

5 —————
6 - - - - -
7



DETAILMODEL BEERDAM
WATERSTANDEN EN SNELHEDEN STATIONS 5, 6, 7
DELFT HYDRAULICS

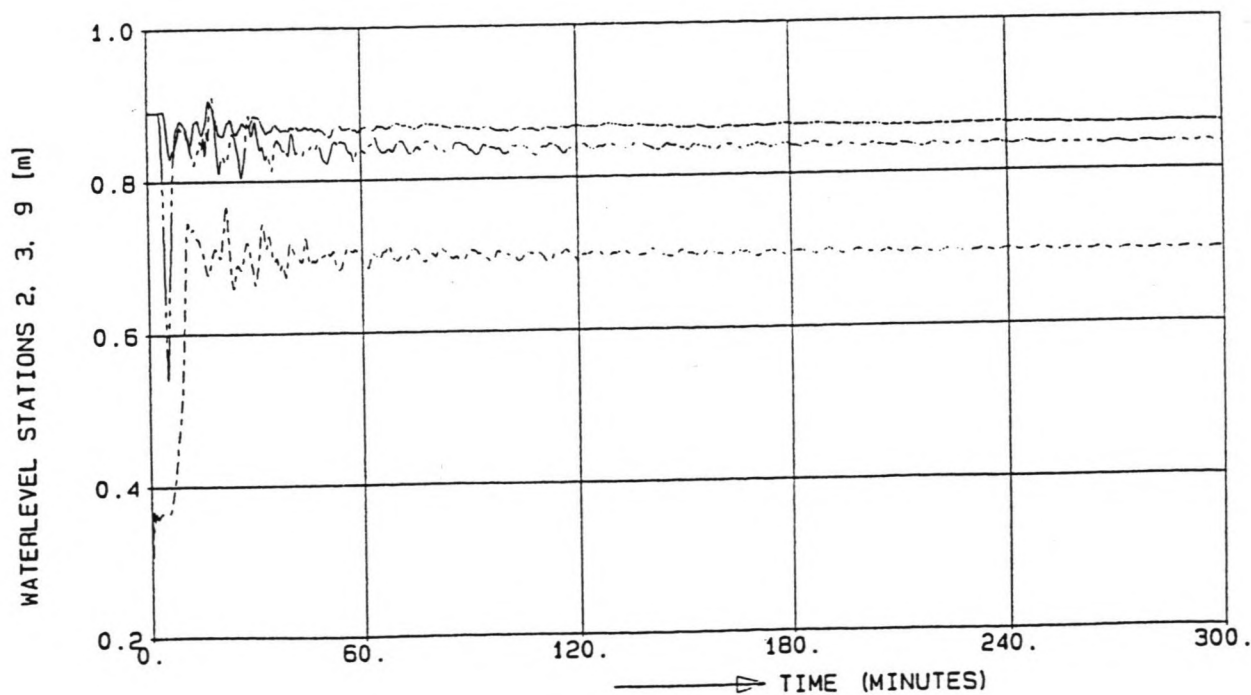
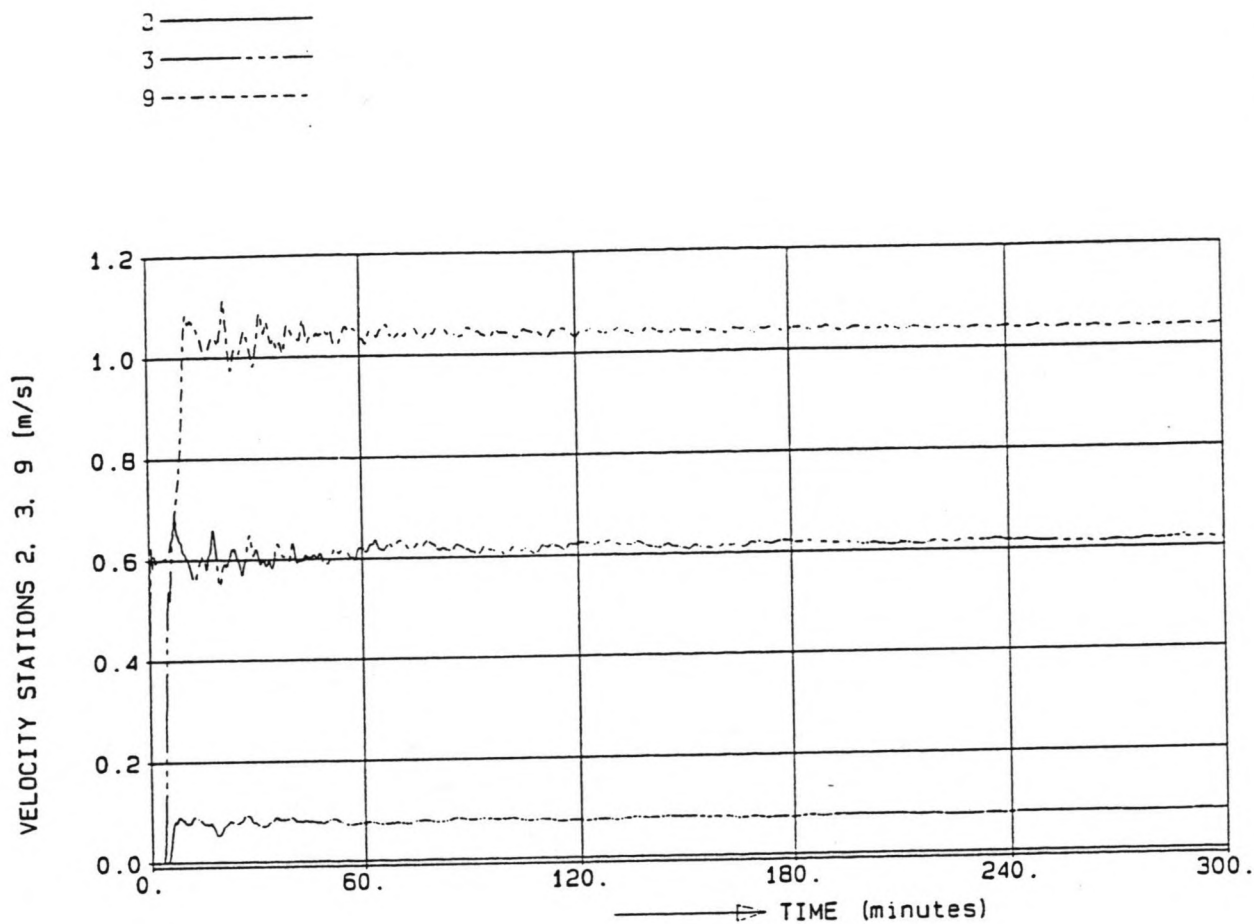
Afbeelding 4.14



Detailmodel BEERDAM, fase II
snelheidsveld, tijd = 120 m.

DELFT HYDRAULICS

Afbeelding 4.15

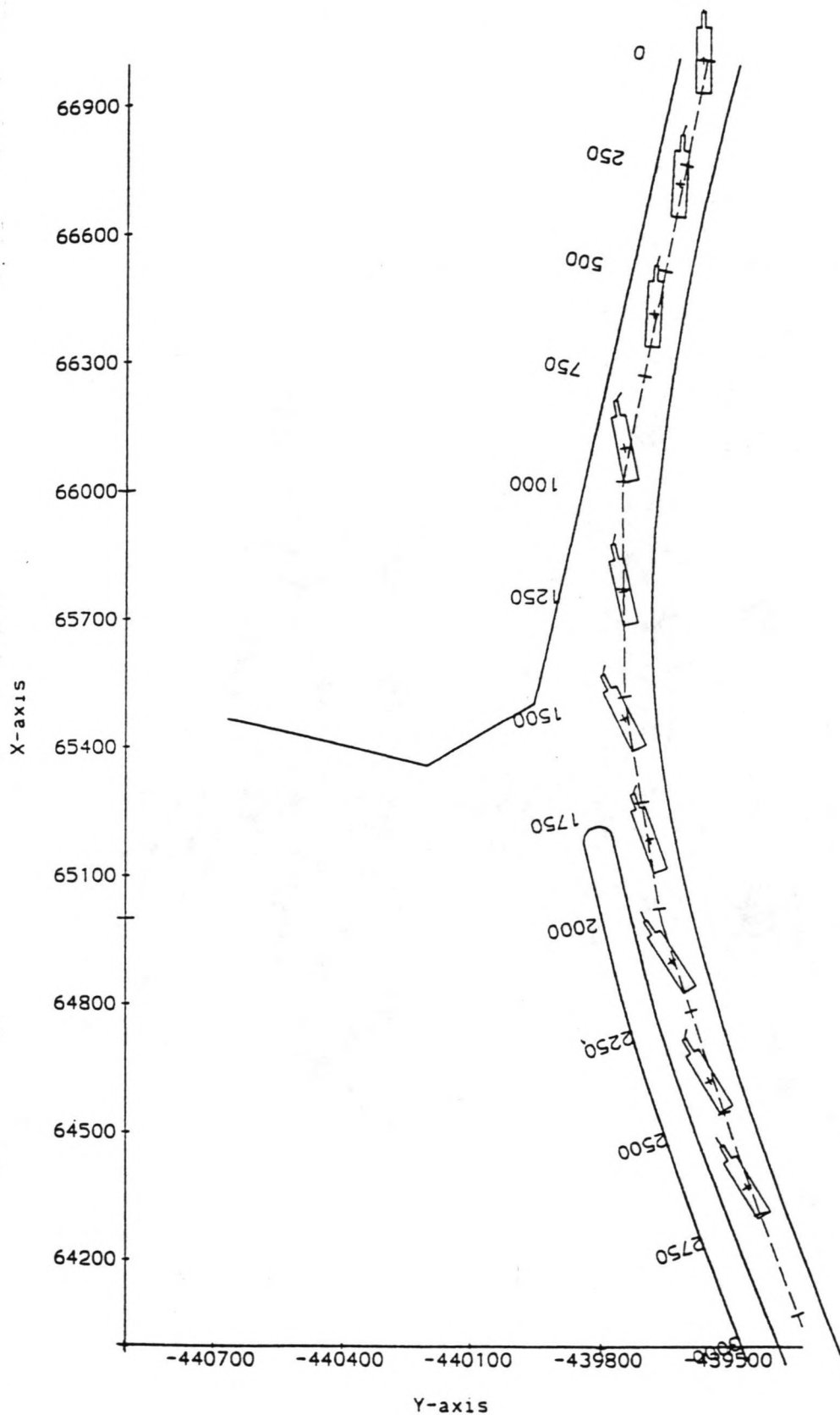


DETAILMODEL BEERDAM

WATERSTANDEN EN SNELHEDEN STATIONS 2, 3, 9

DELFT HYDRAULICS

Afbeelding 4.16

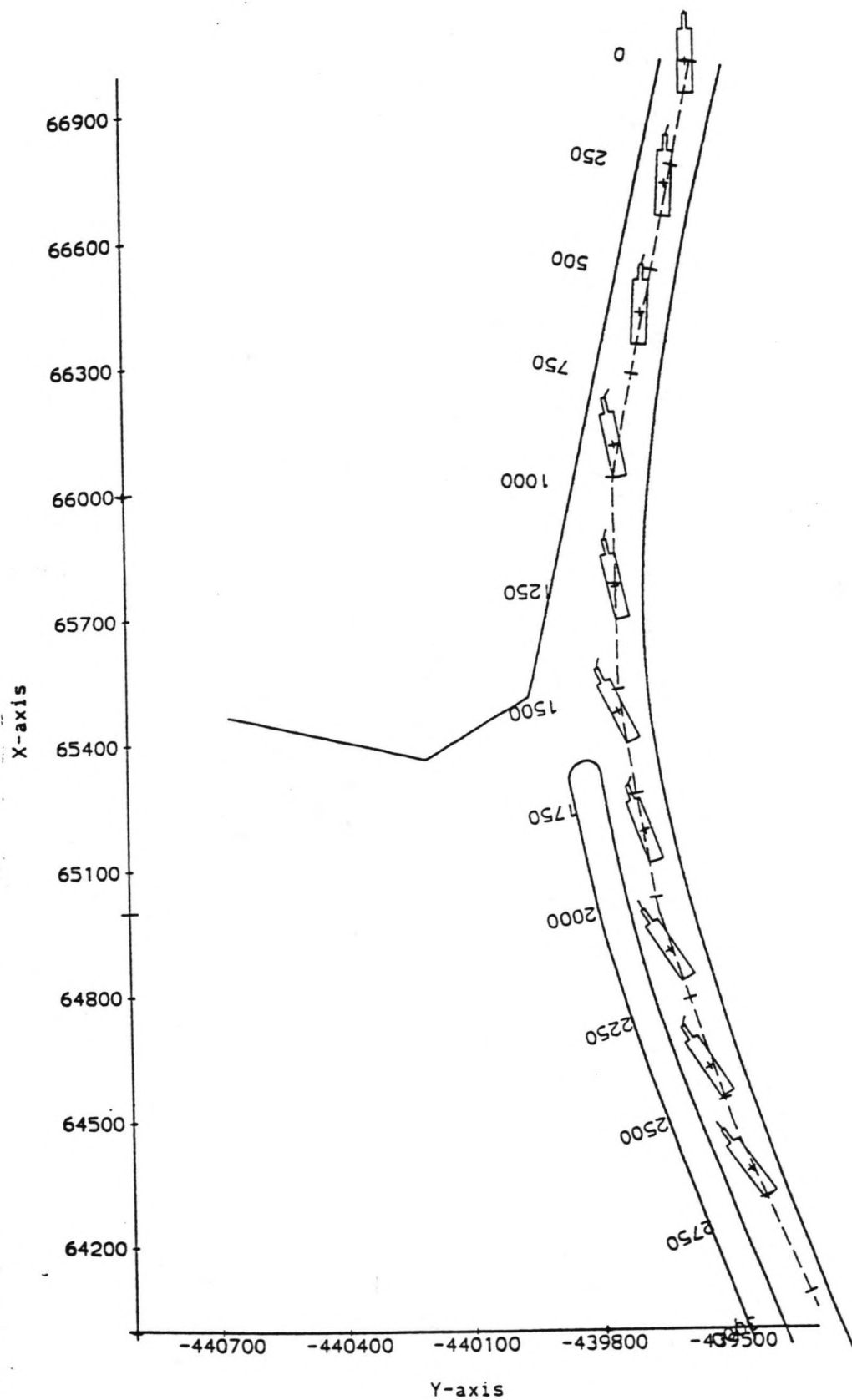


OPEN BEERDAM
LEGE ZESBAKKER, EB, 400M, ZW6

KLUYTENAAR nautisch adviesburo

Scale 1: 15000
Plotinterval: 60.0

Afbeelding 4.17^a

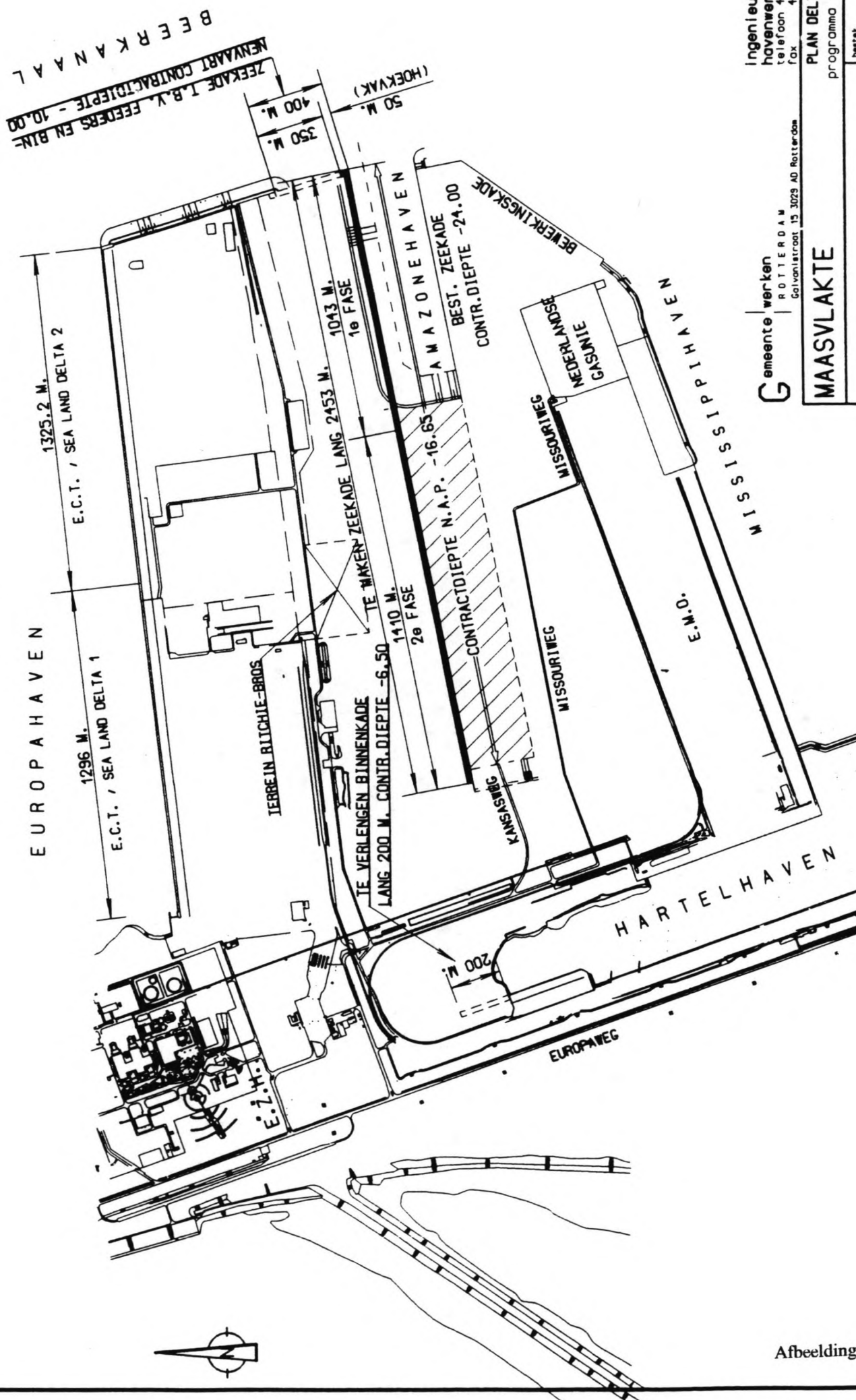


OPEN BEERDAM
LEGE ZESBAKKER, EB, 200M, ZW6

Scale 1: 15000
Plotinterval: 60.0 s

KLUYTENAAR nautisch adviesburo

Afbeelding 4.17^b



Ingenieursbureau
havenwerken
telefoon 489 45 85
fax 489 61 59

Gemeente werken
ROTTERDAM
Galvanistraat 15, 3029 AD Rotterdam

PLAN DELTA 2000-8
programma van eisen

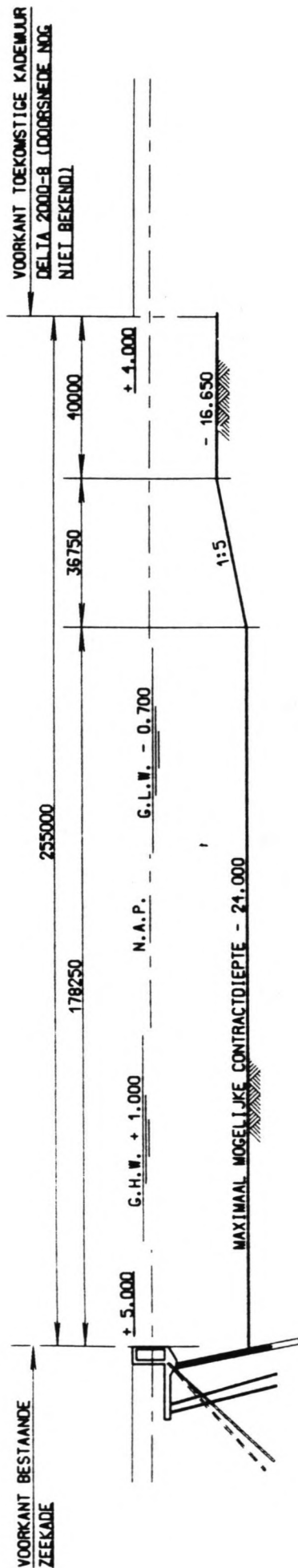
MAASVLAKTE

bestek
formaat A4
school 1:20.000
datum 18-11-1991

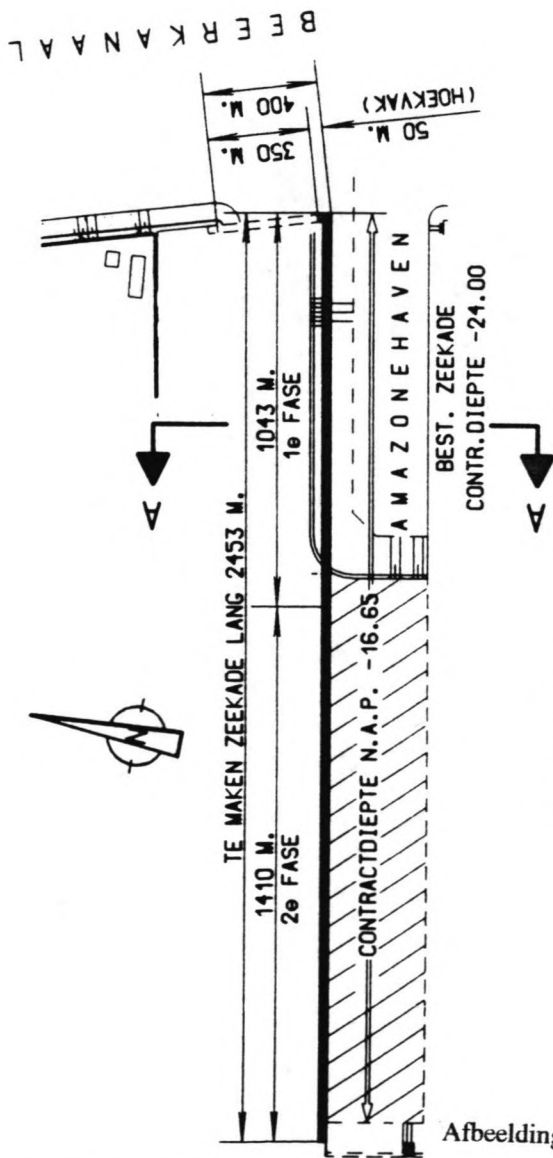
LAYOUT PLAN DELTA 2000-8

getekend gezien BIJLAGE 1

- HOOGTEMATEN IN METERS T.O.V. N.A.P.
- MATEN IN MM. TENZIJ ANDERS AANGEGEVEN



DOORSNEDE A - A HAVENBREEDTE 255 METER 1:1500



- HOOGTEMATEN IN METERS T.O.V. N.A.P.
- MATEN IN MM.

Gemeente werken
ROTTERDAM
Calvanistraat 15 3029 AD Rotterdam

ingenieursburo
havenwerken
telefoon 189 45 85
fax 189 61 55

PLAN DELTA 2000
programma van eigenaars

MAASVLAKTE

(A)

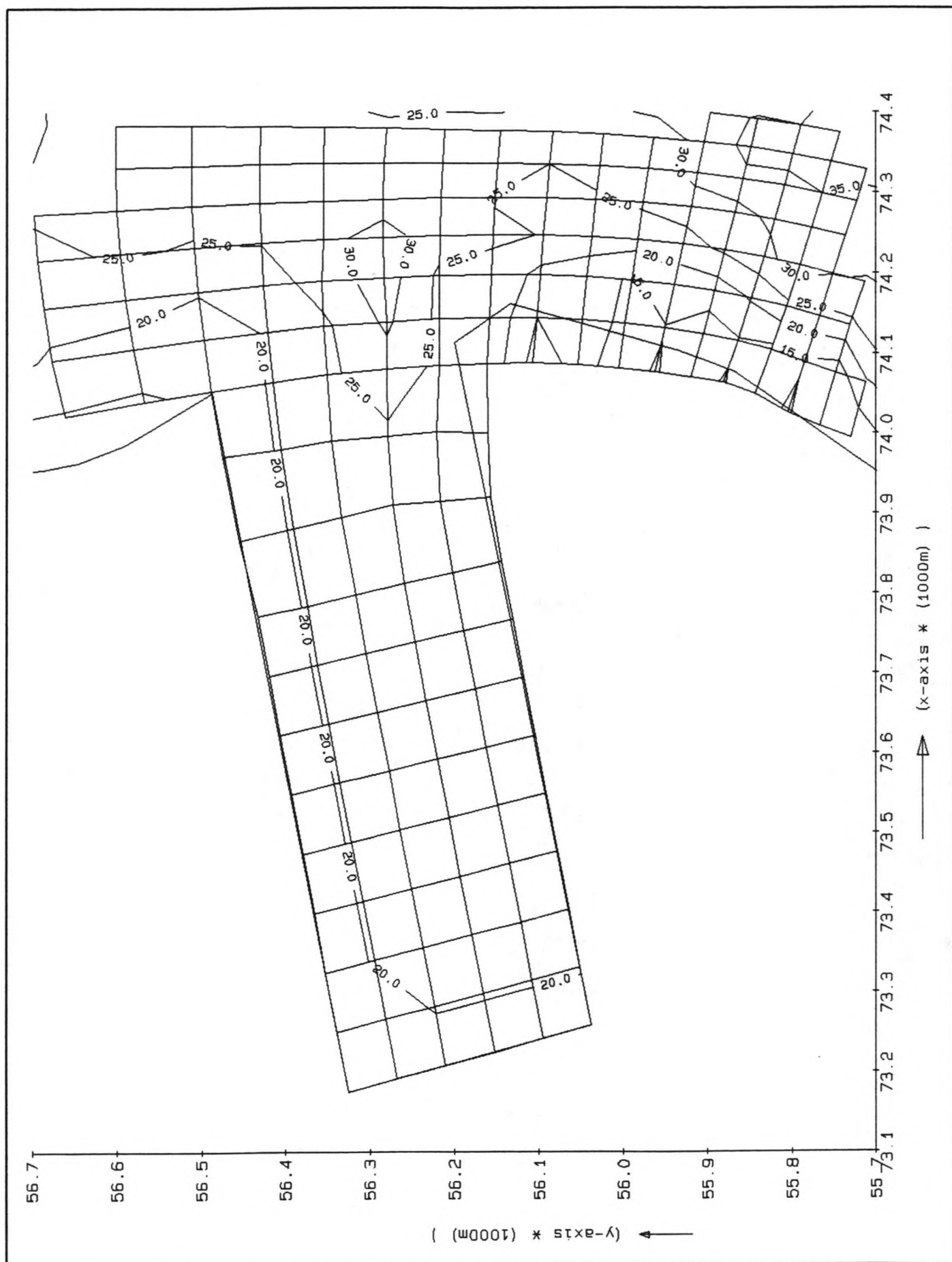
DOORSNEDE AMAZONEHAVEN

getekend A. KLOOTWIJK

gezien

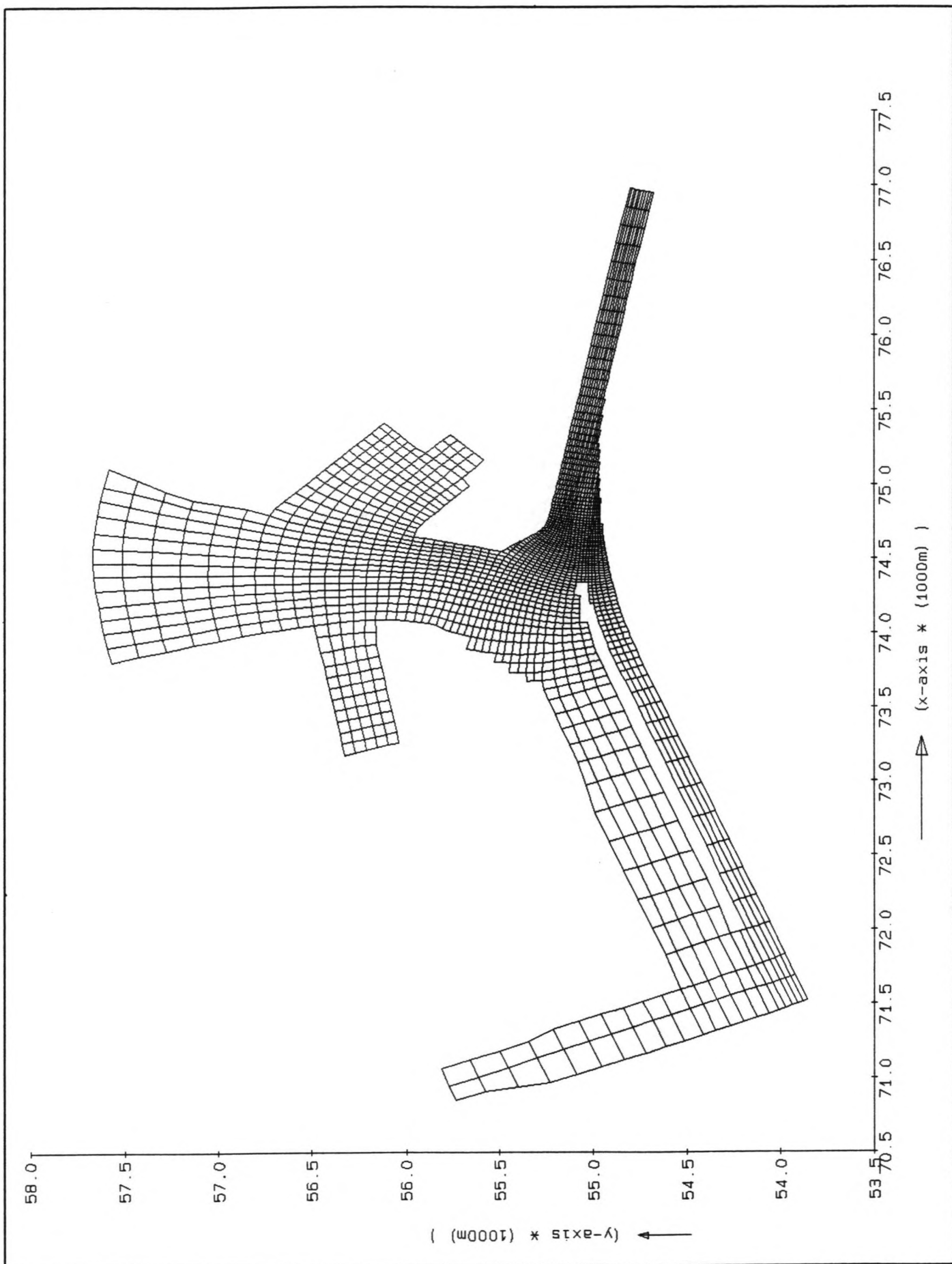
BIJLAGE 2

bestek
formaat A4
school ZIE TEKENING
datum 18-11-1991



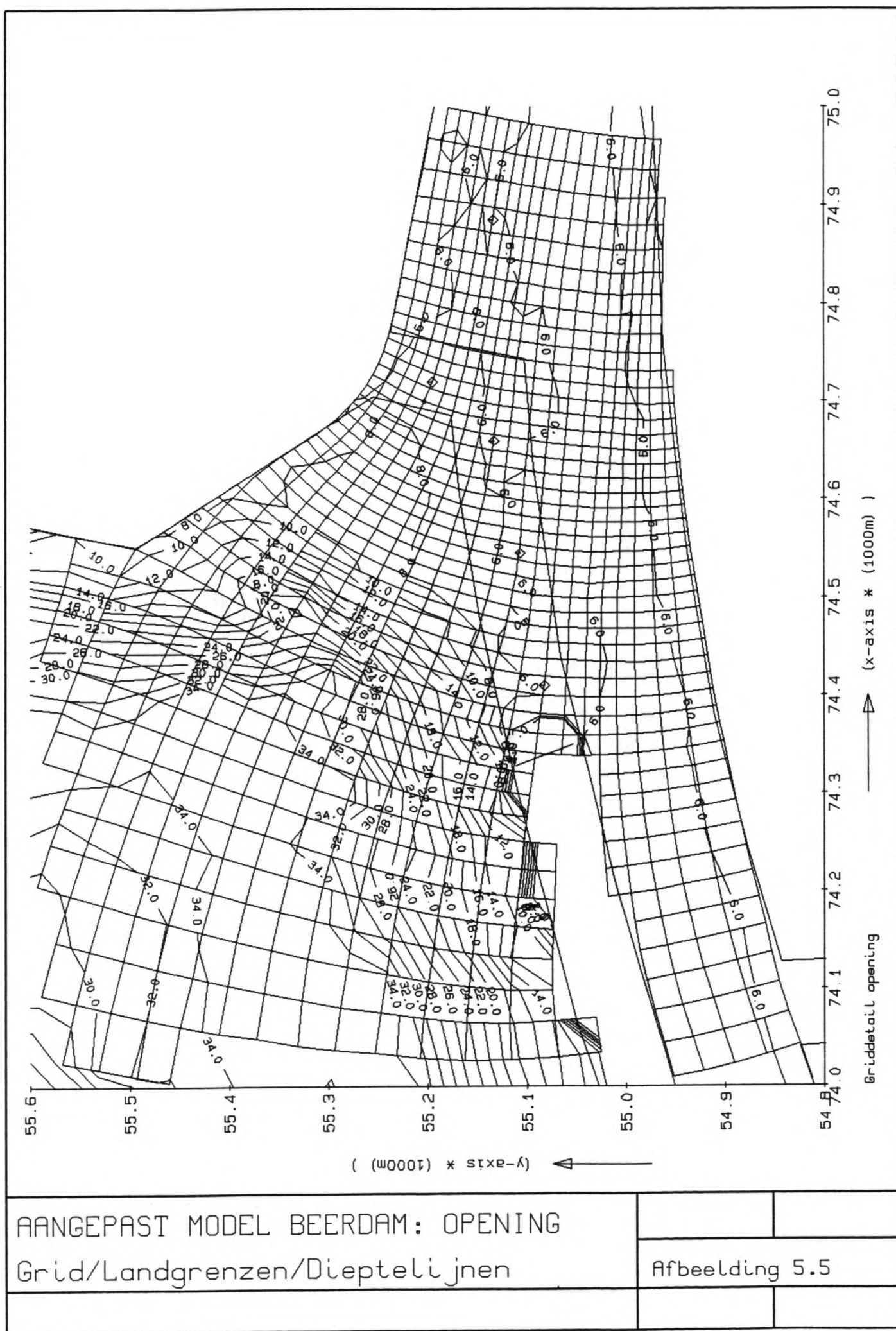
DETAIL OPEN BEERDAM: AMAZONEHAVEN
Grid/Landgrenzen/Dieptelijnen

Afbeelding 5.3



AANGEPAST MODEL OPEN BEERDAM
 TRISULA-grid 400 meter opening

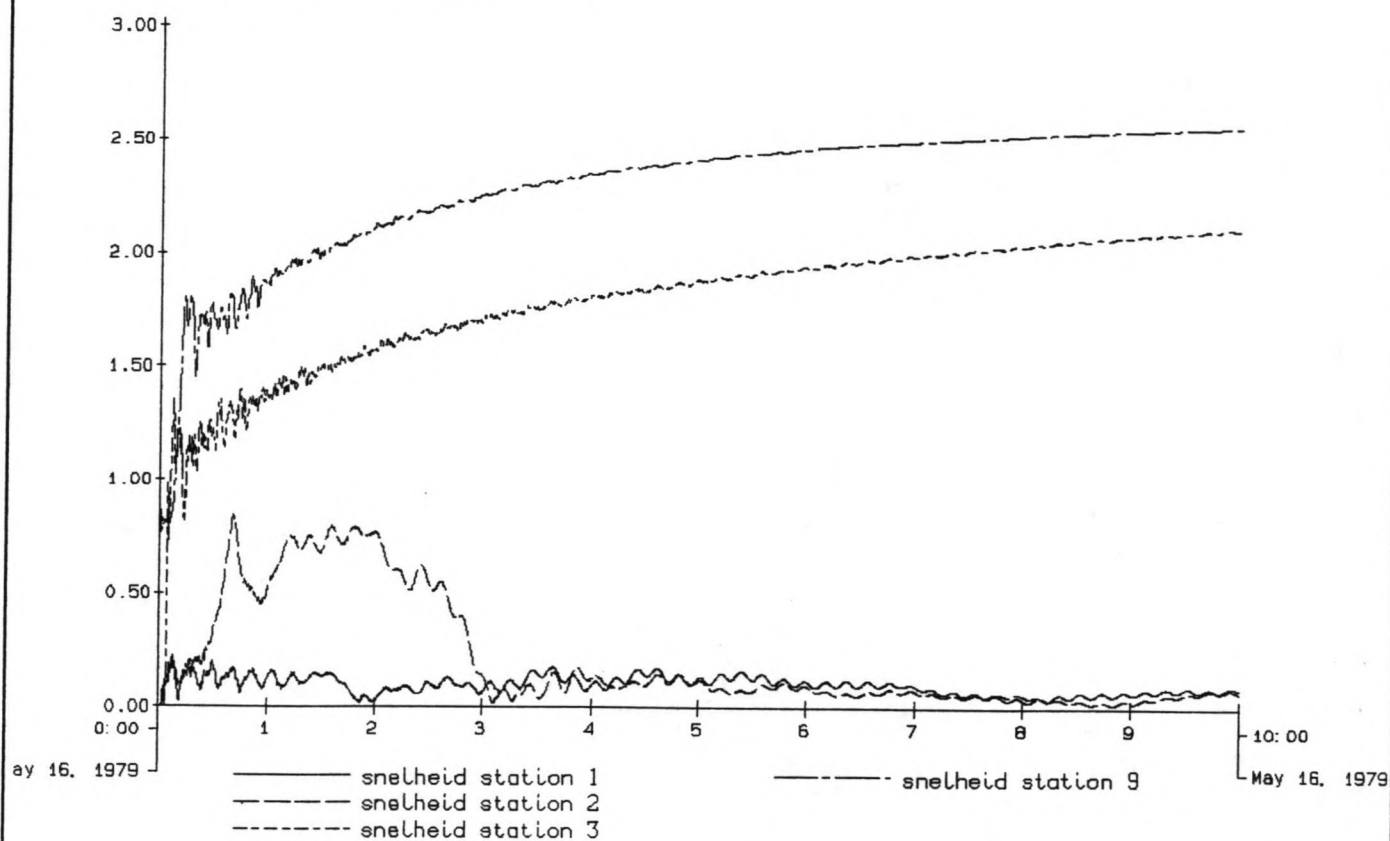
Afbeelding 5.4



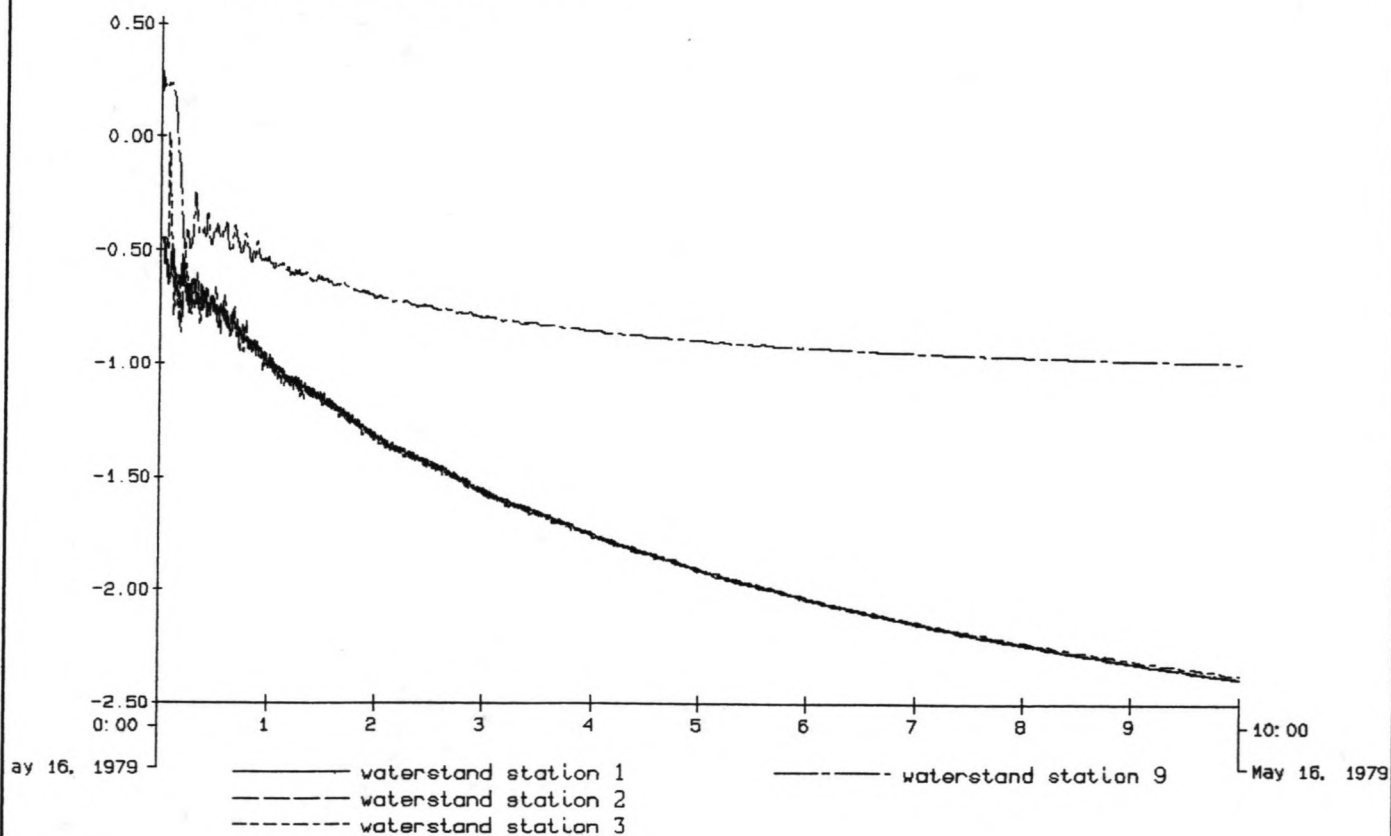
AANGEPAST MODEL BEERDAM: OPENING
Grid/Landgrenzen/Dieptelijnen

Afbeelding 5.5

trih-mr1.dat mr1 931202 190241



trih-mr1.dat mr1 931202 190241

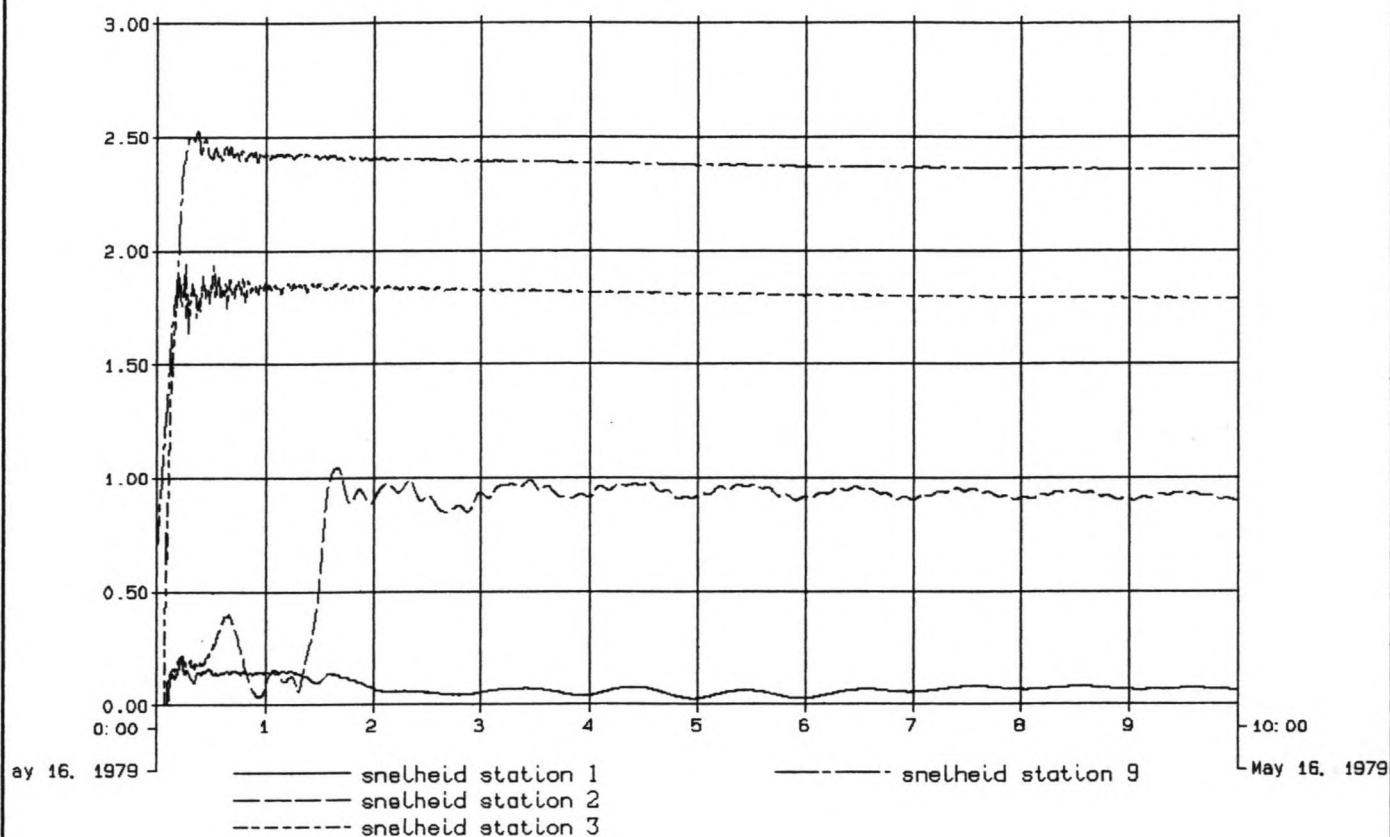


GEVOELIGHEIDSONDERZOEK OPEN BEERDAM
400m opening; riemanrand
R=-1.00; alfa=0 (run mr1)

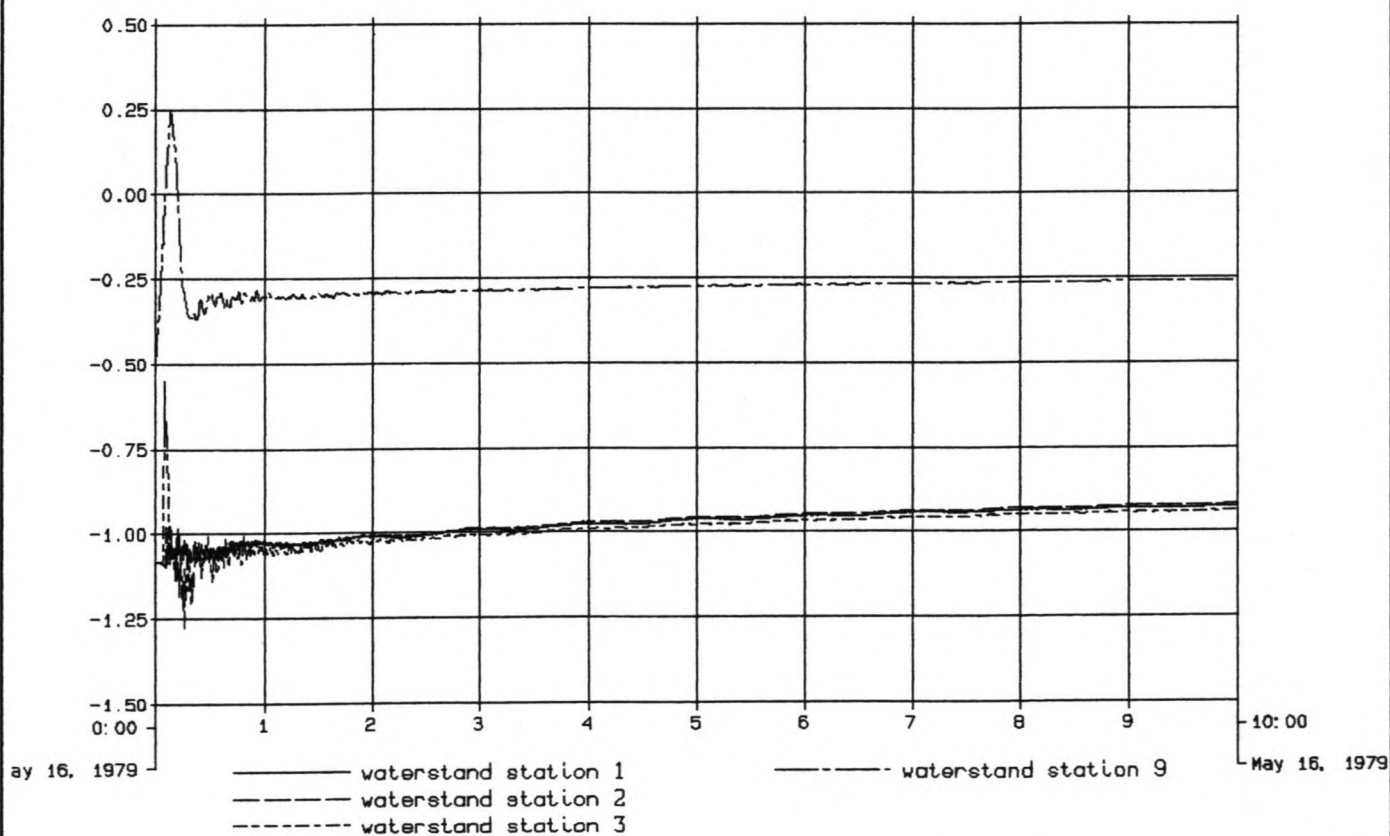
Afbeelding 5.6

DELFT HYDRAULICS

trih-mr6.dat mr6 931207 212813



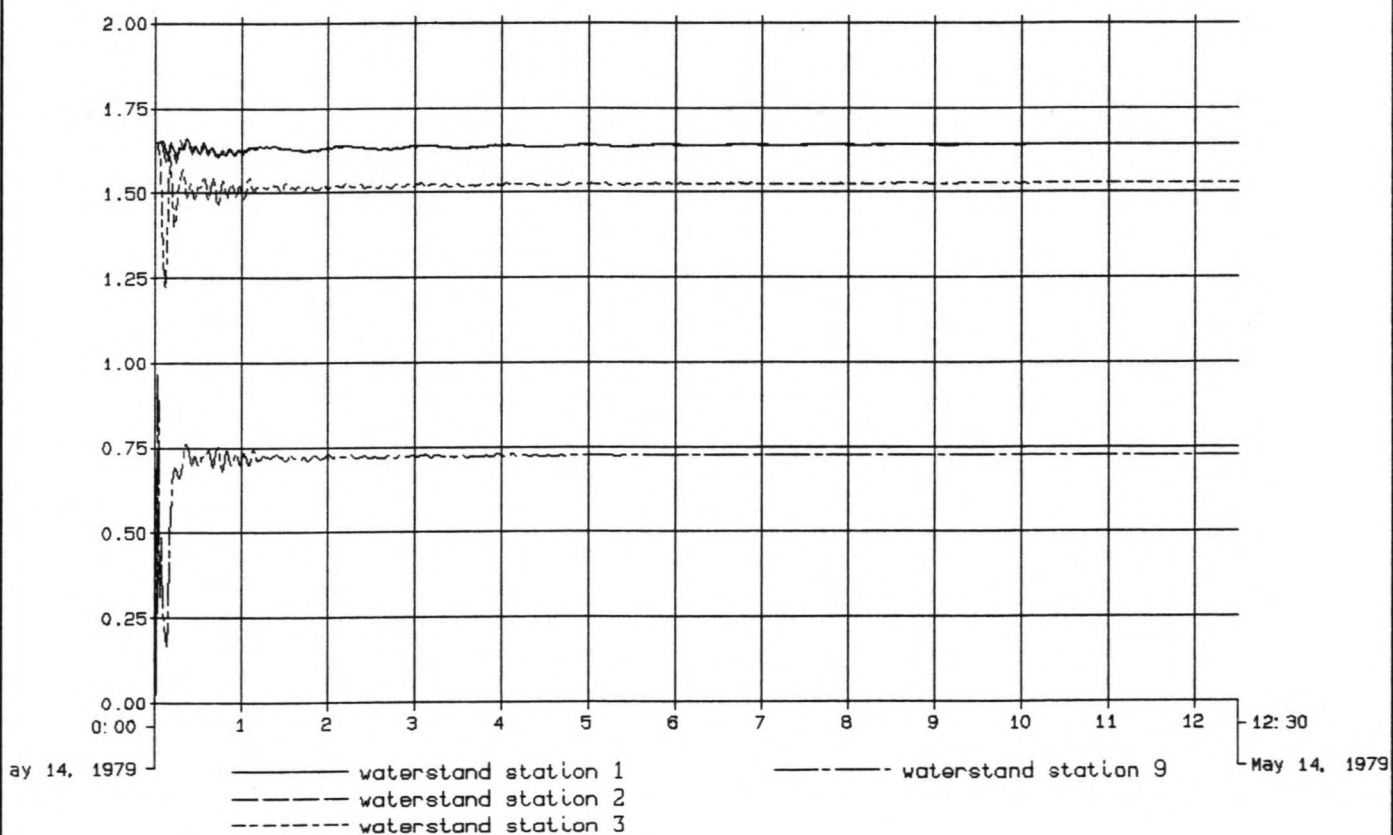
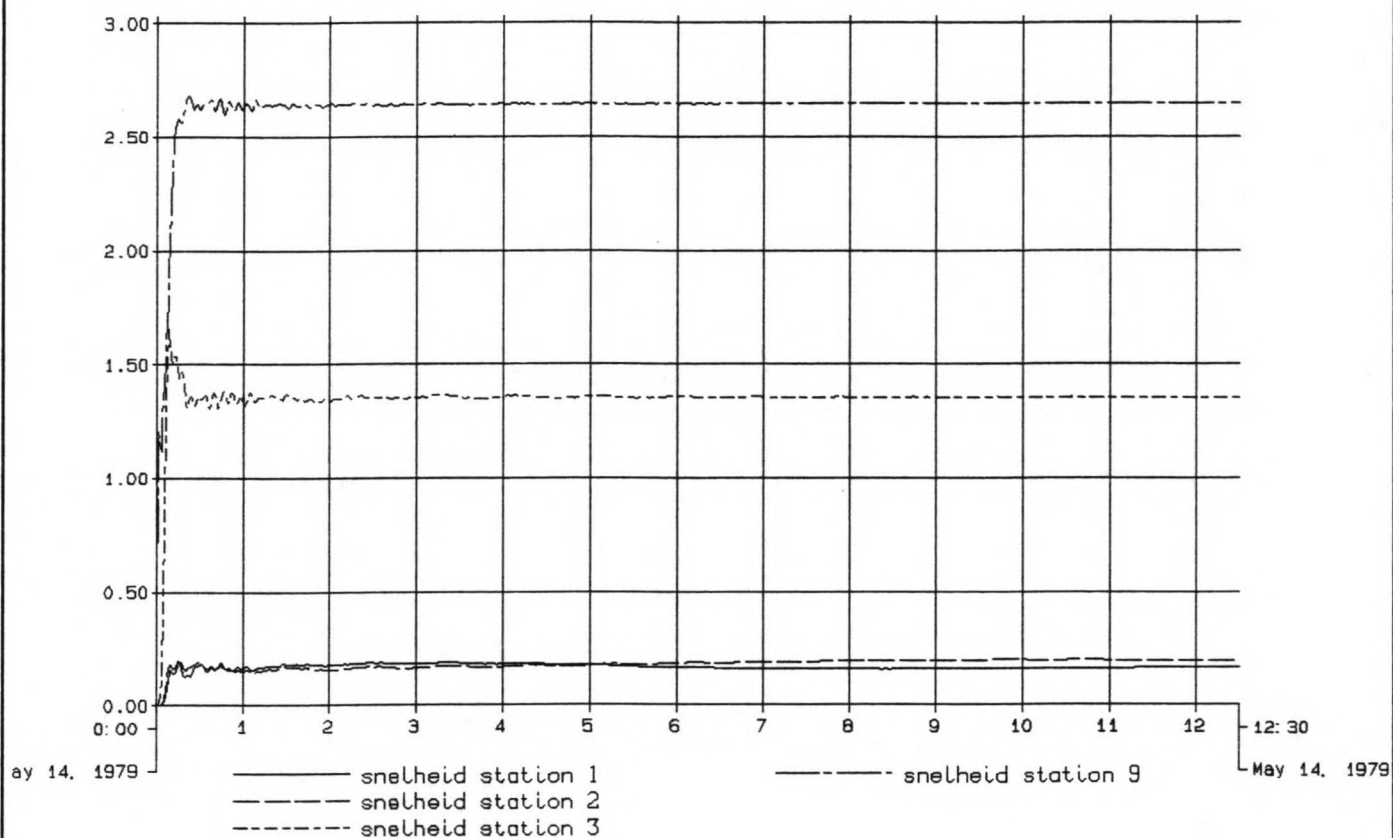
trih-mr6.dat mr6 931207 212813



GEVOELIGHEIDSONDERZOEK OPEN BEERDAM
 400m opening; riemanrand; zeta0=-1.084
 R=-1.77; V=0.058; alfa=50-200 (run mr6)

DELFT HYDRAULICS

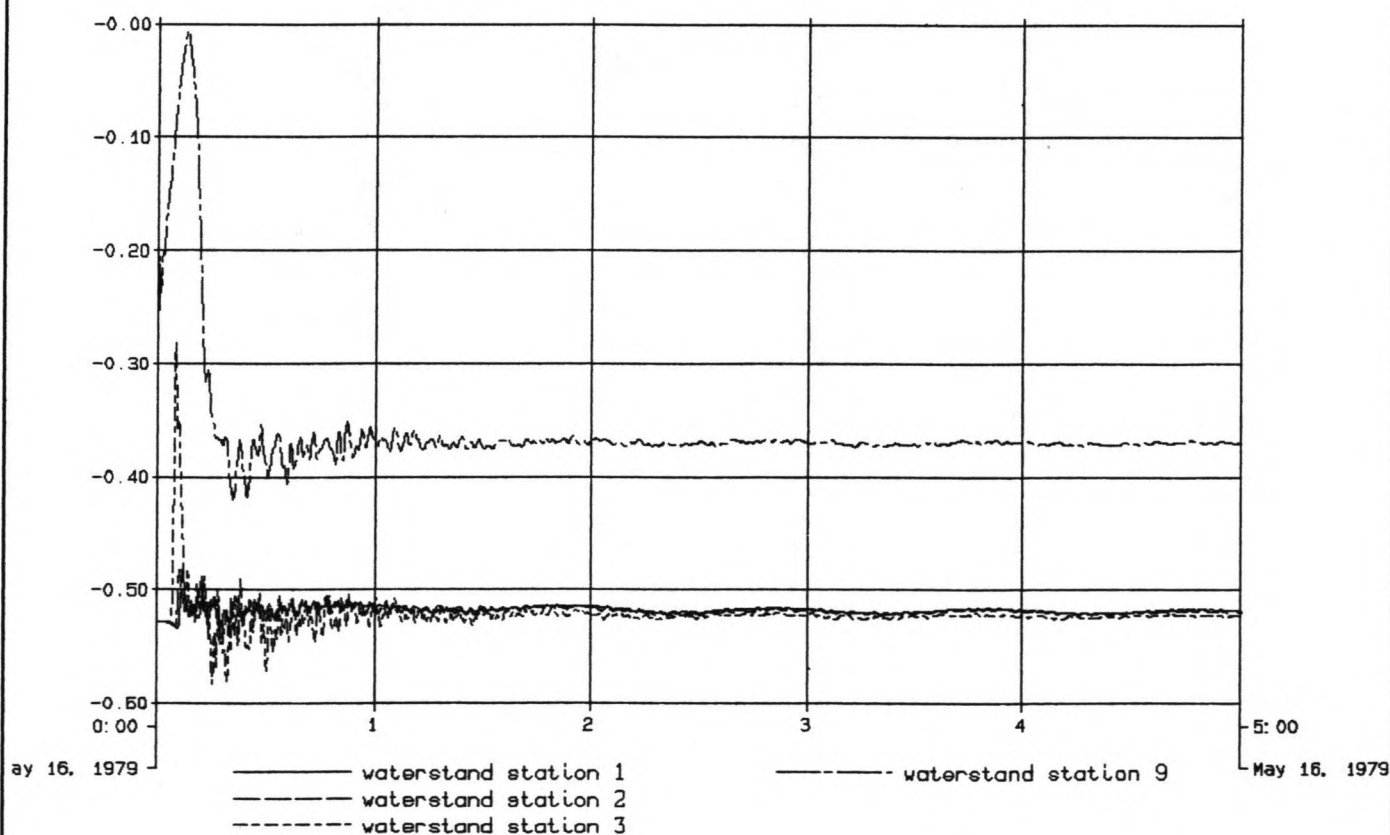
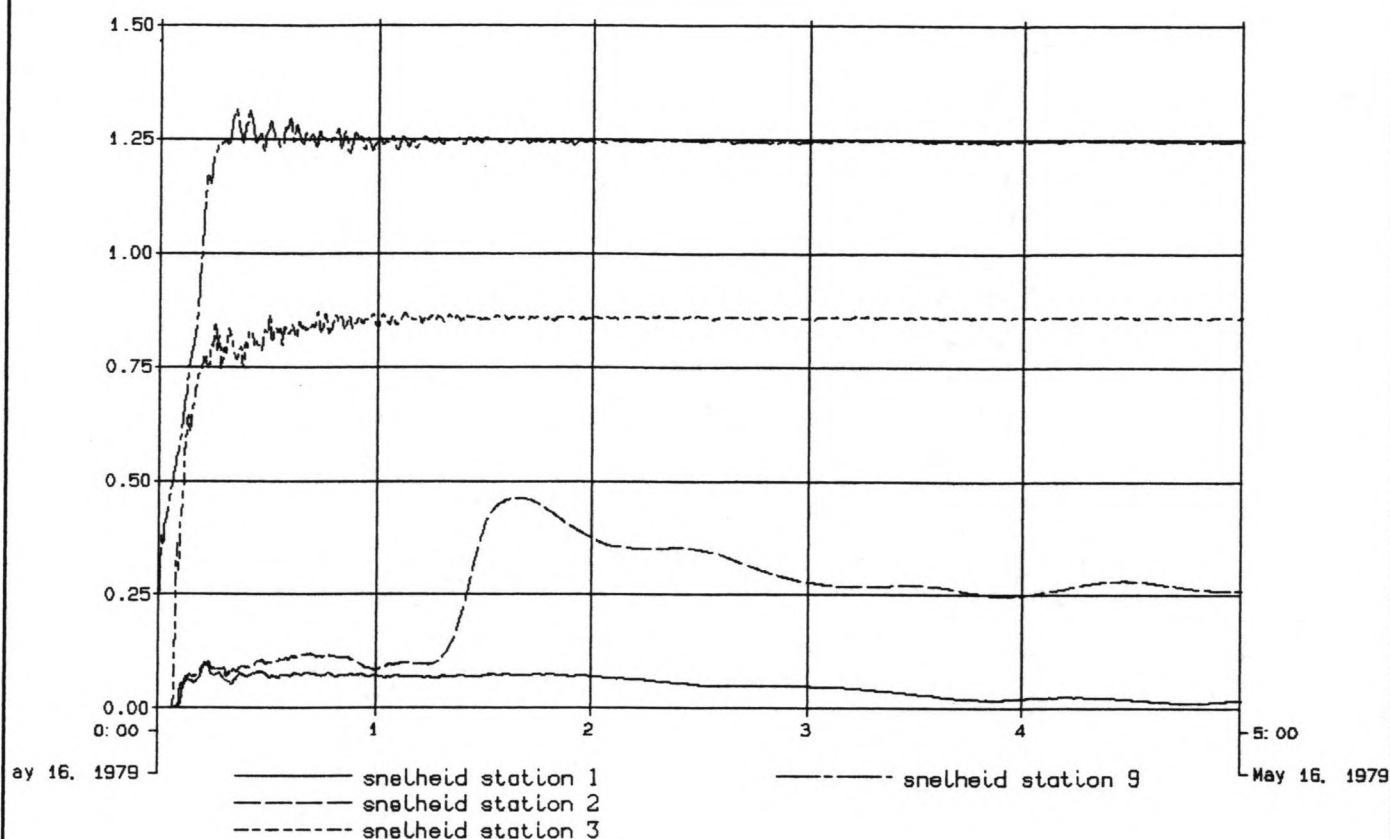
Afbeelding 5.7



OPZET NIEUWE VLOEDBEREKENINGEN

$v = -0,0648 \text{ m/s}$; $Ri = 1,52$

Afbeelding 5.8

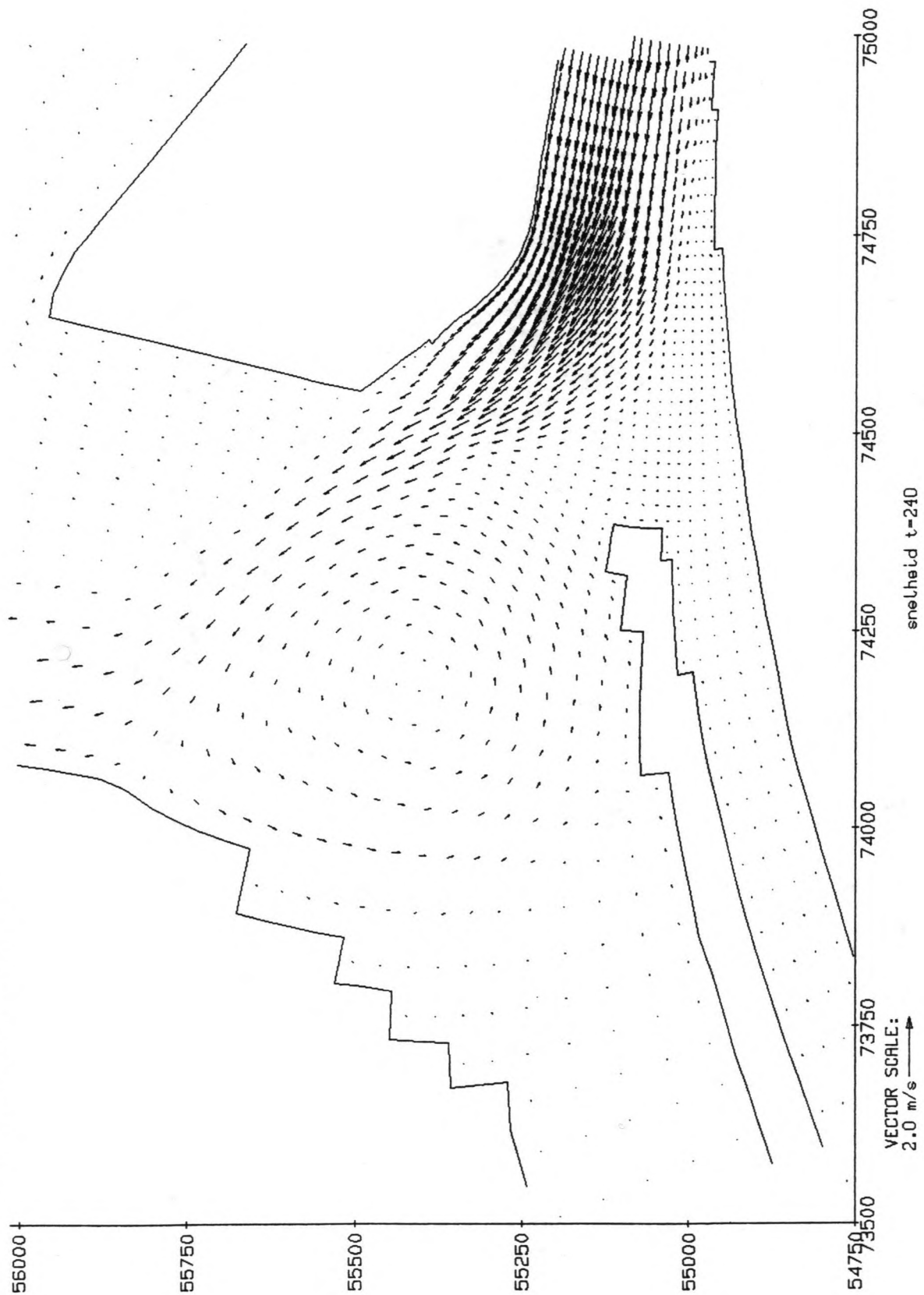


GEVOELIGHEIDSONDERZOEK OPEN BEERDAM
 400m opening; nieuwe ebconditie ; riemanrand
 $R = -0.6$; $V = 0.030$; $\zeta_0 = -0.52$ (run ne2)

Afbeelding 5.9

DELFT HYDRAULICS

trim-ne5.dat ne5 931212 174006

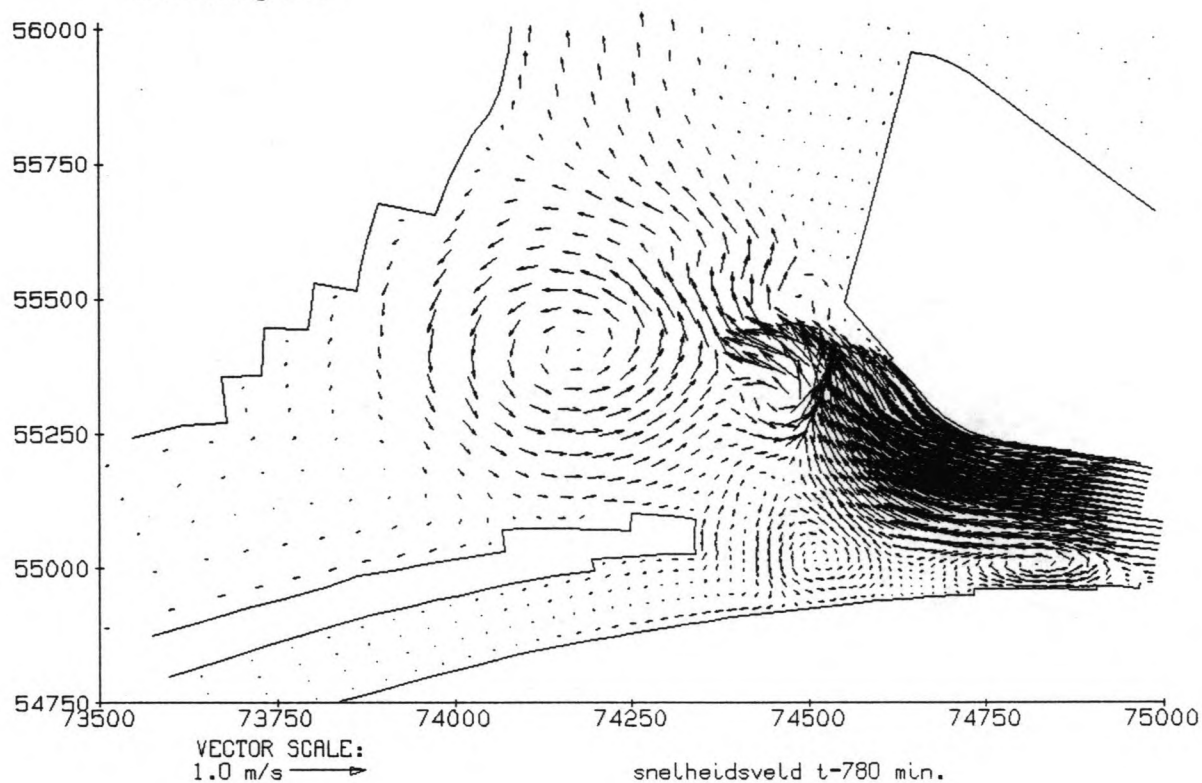


GEVOELIGHEIDSONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=240 min. bij eb
400m opening; visc.= 0.3 (run ne5)

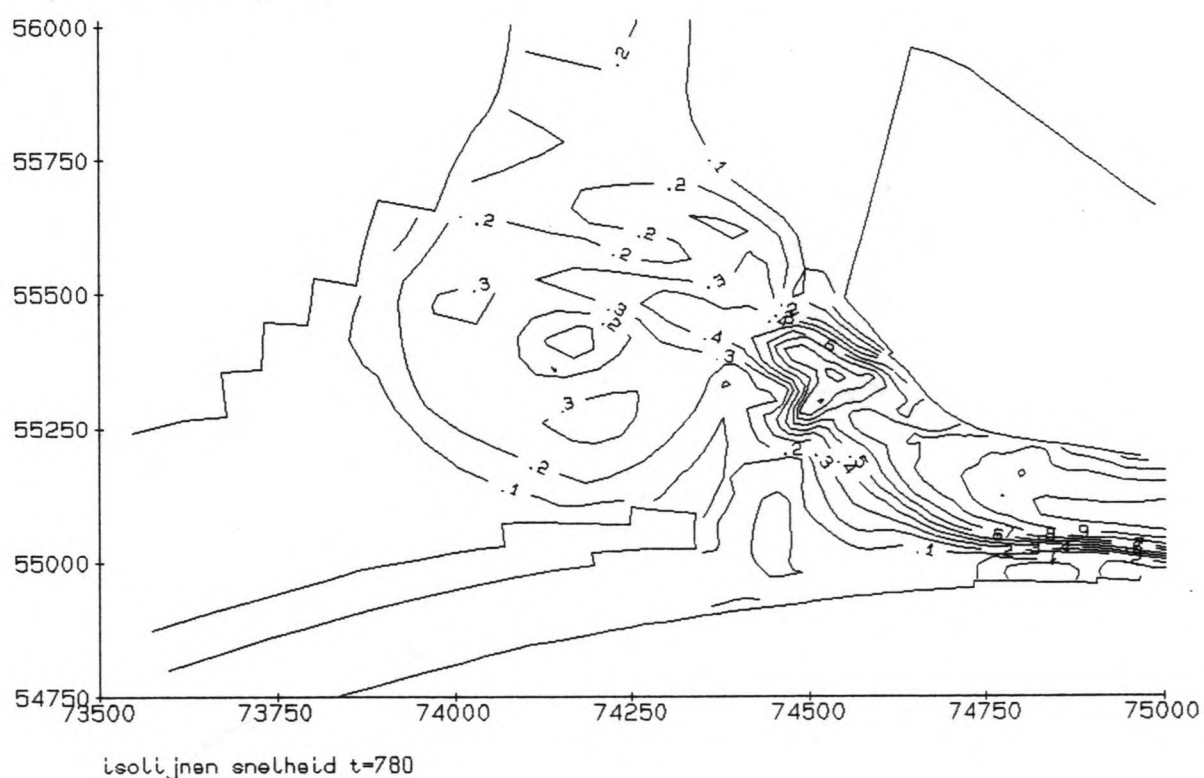
Afbeelding 5.10

DELFT HYDRAULICS

afbeelding 6.1a



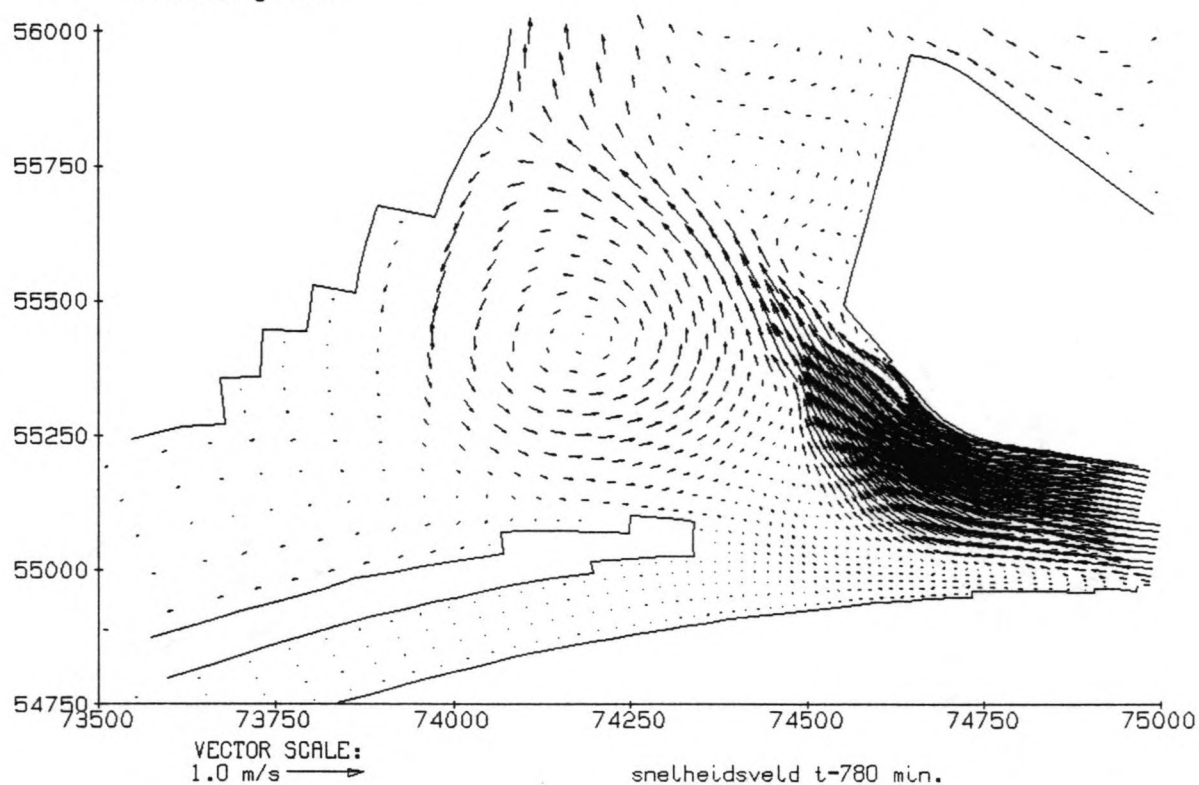
afbeelding 6.1b



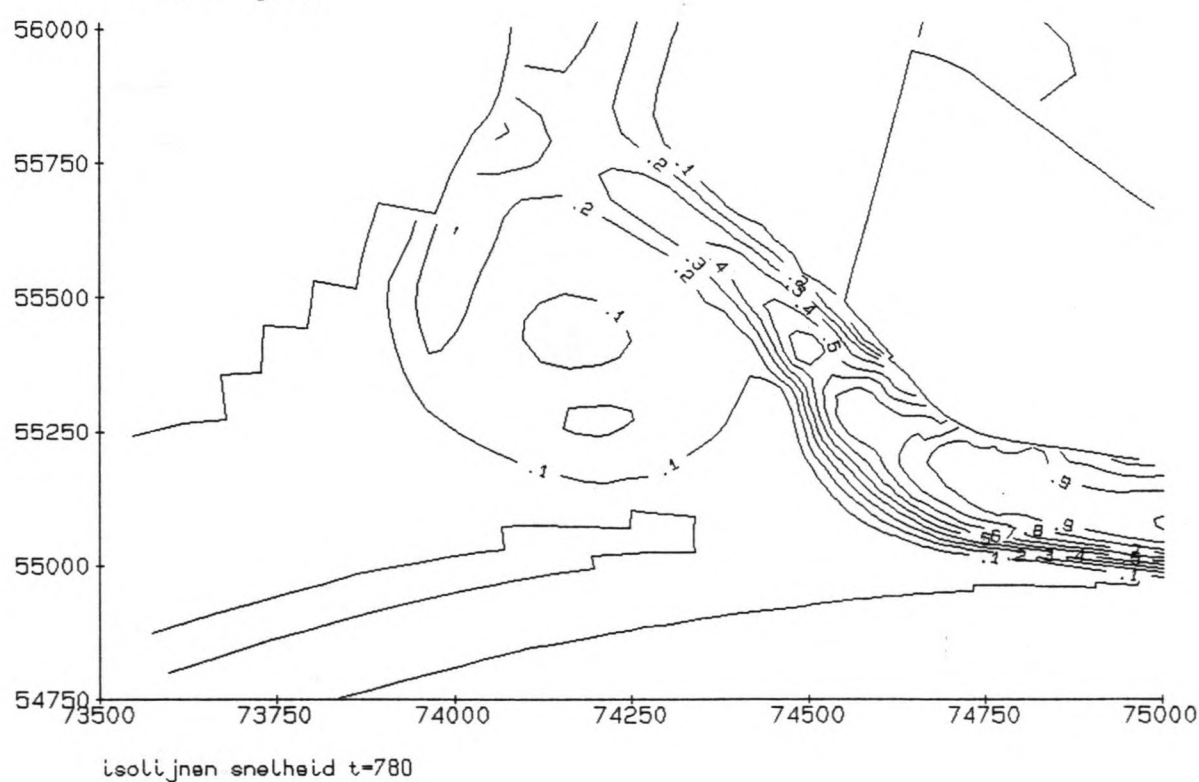
GEVOELIGHEIDSONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=780 min. bij eb
400m opening; visc.= 0.06

Afbeelding 6.1a-b

afbeelding 6.2a



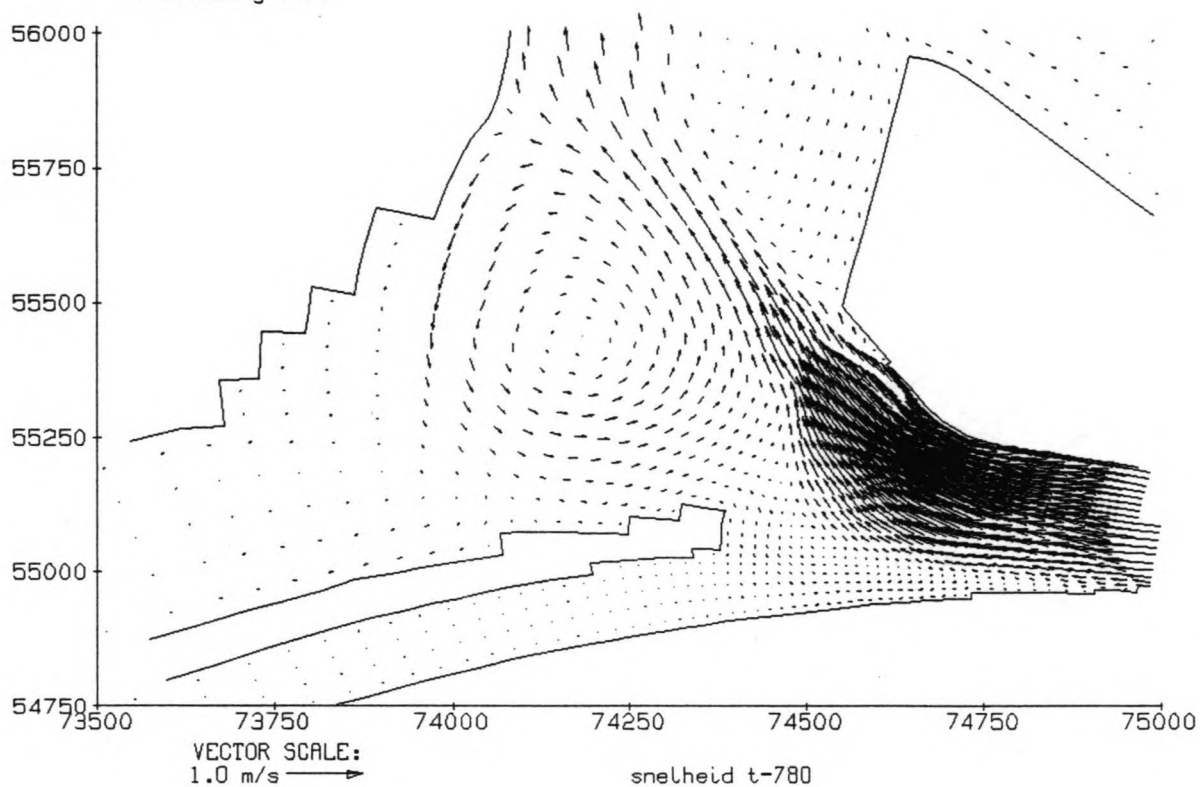
afbeelding 6.2b



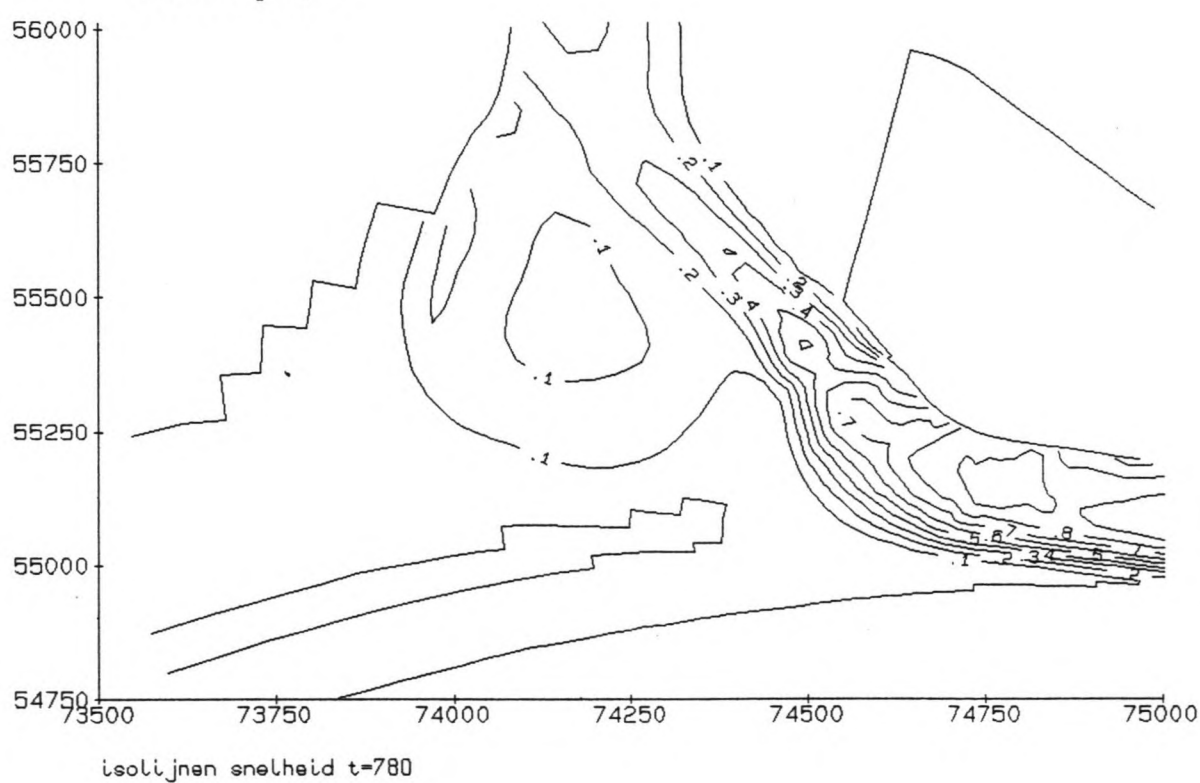
GEVOELIGHEIDSONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=780 min. bij max. eb
400m opening; visc.= 0.15

Afbeelding 6.2a-b

afbeelding 6.3a



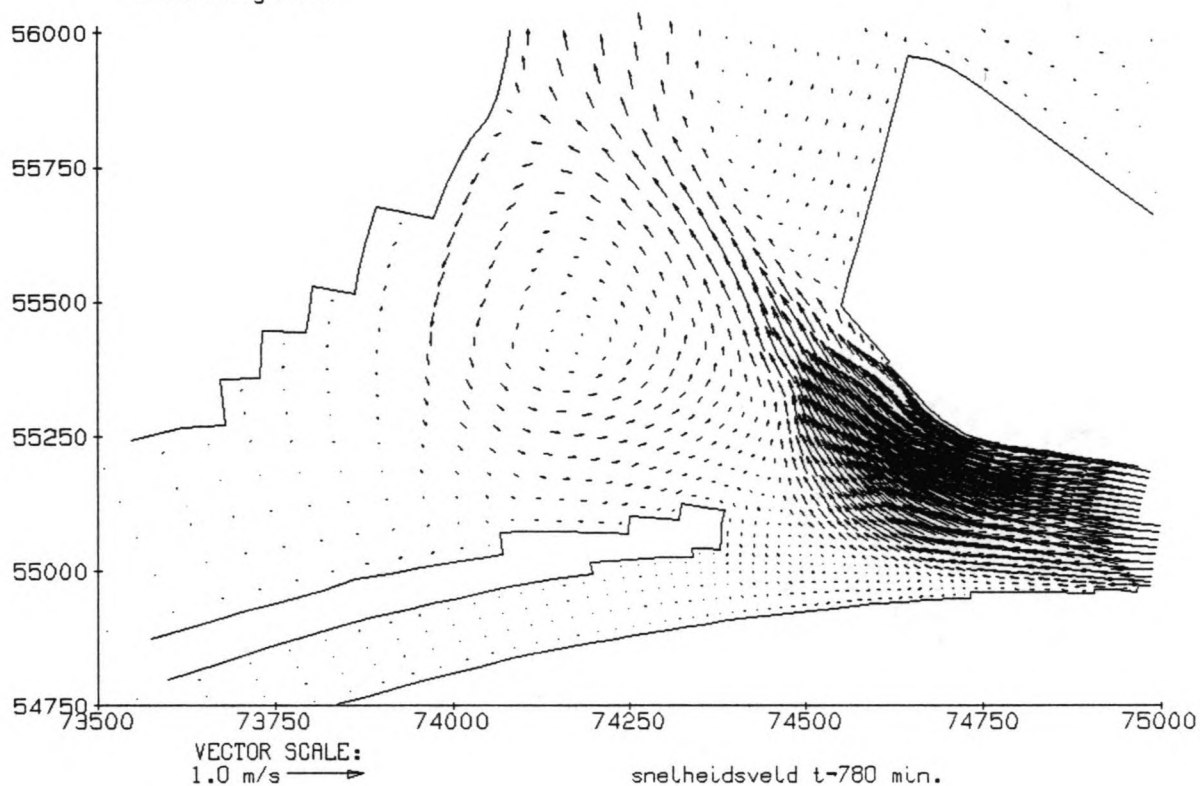
afbeelding 6.3b



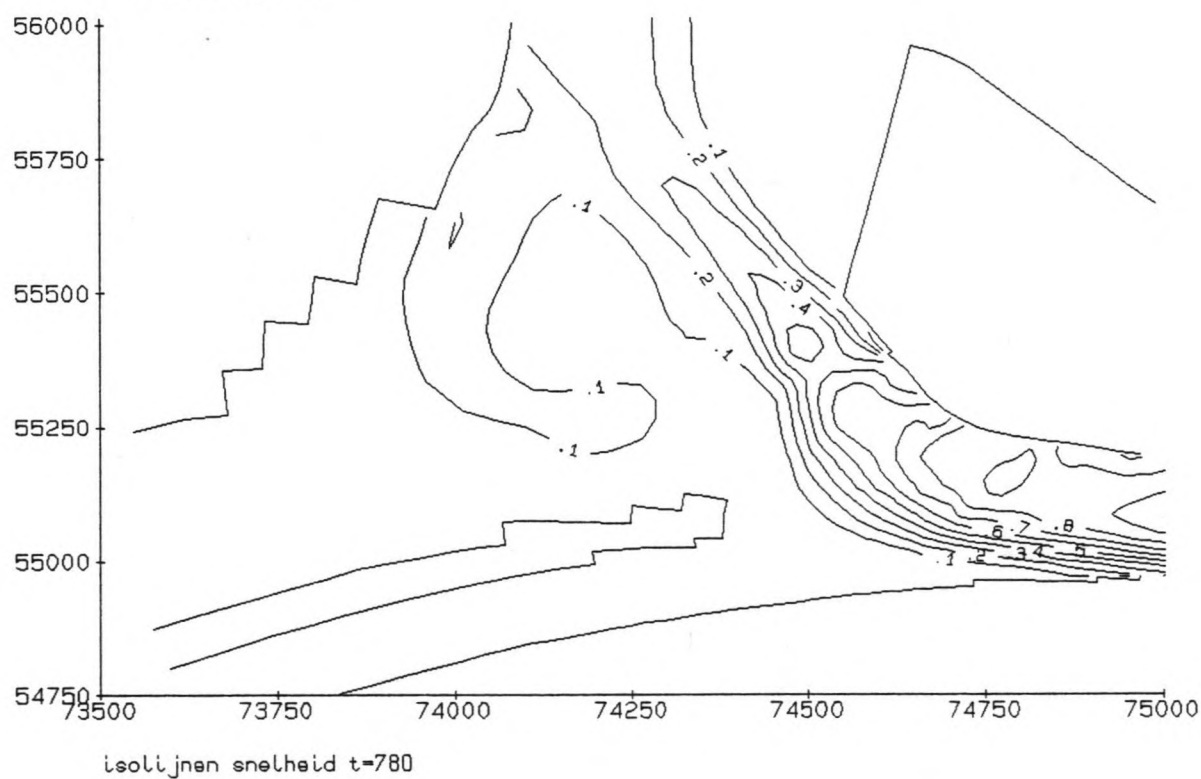
GEVOELIGHEIDSONDERZOEK OPEN BEERDAM
 snelheidsveld $t=780$ min. bij eb
 400m opening; visc.= 0.3

Afbeelding 6.3a-b

afbeelding 6.4a



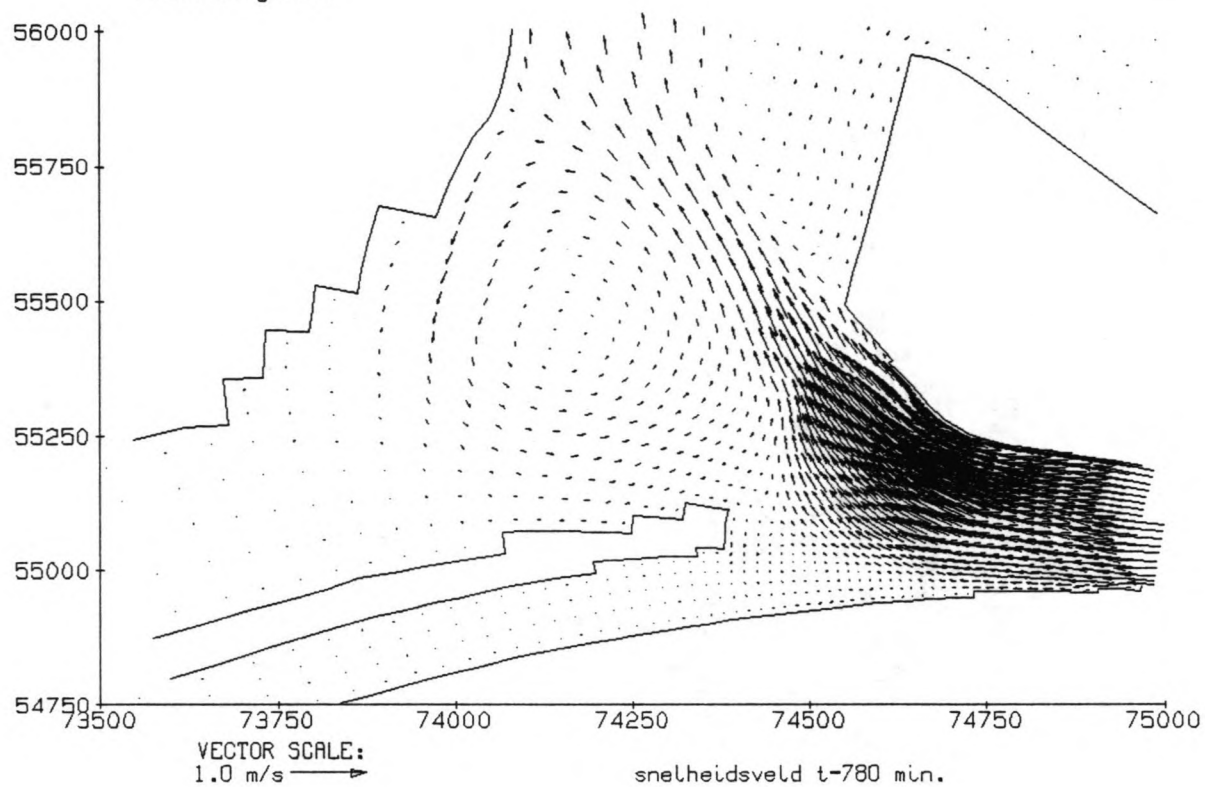
afbeelding 6.4b



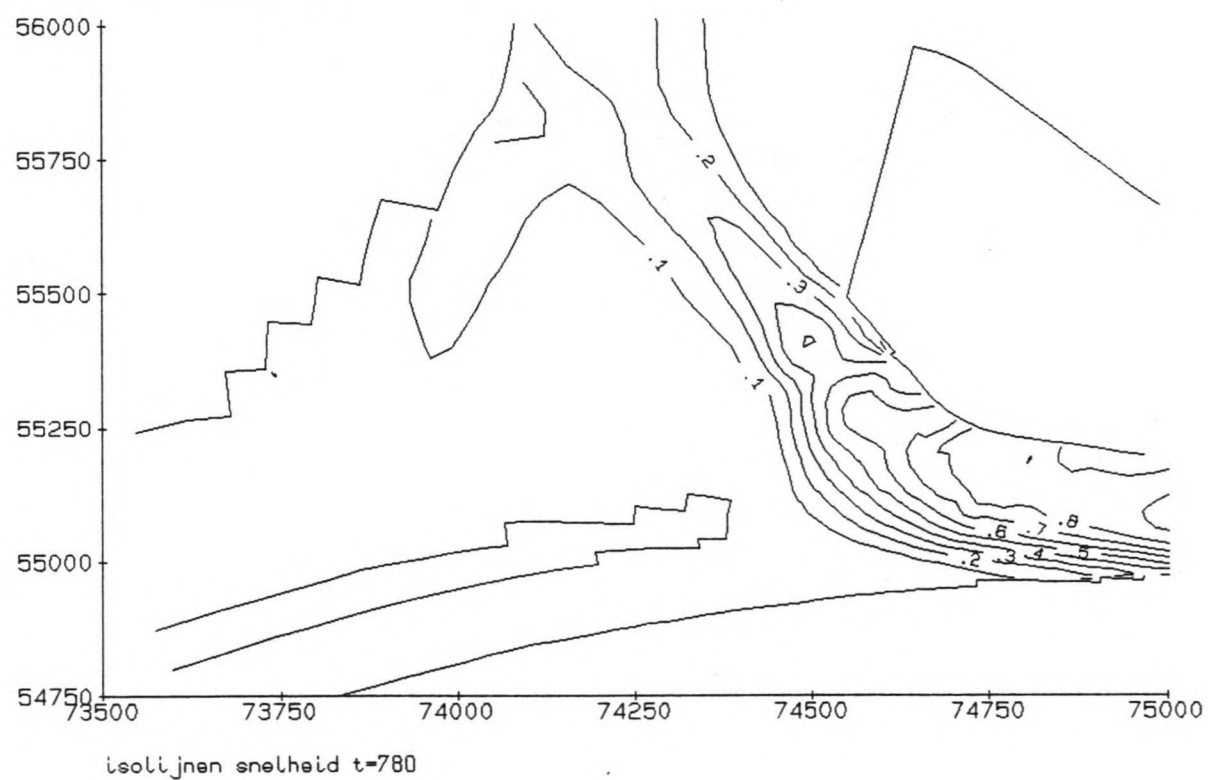
GEVOELIGHEIDSONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=780 min. bij max. eb
400m opening; visc.= 0.5

Afbeelding 6.4a-b

afbeelding 6.5a



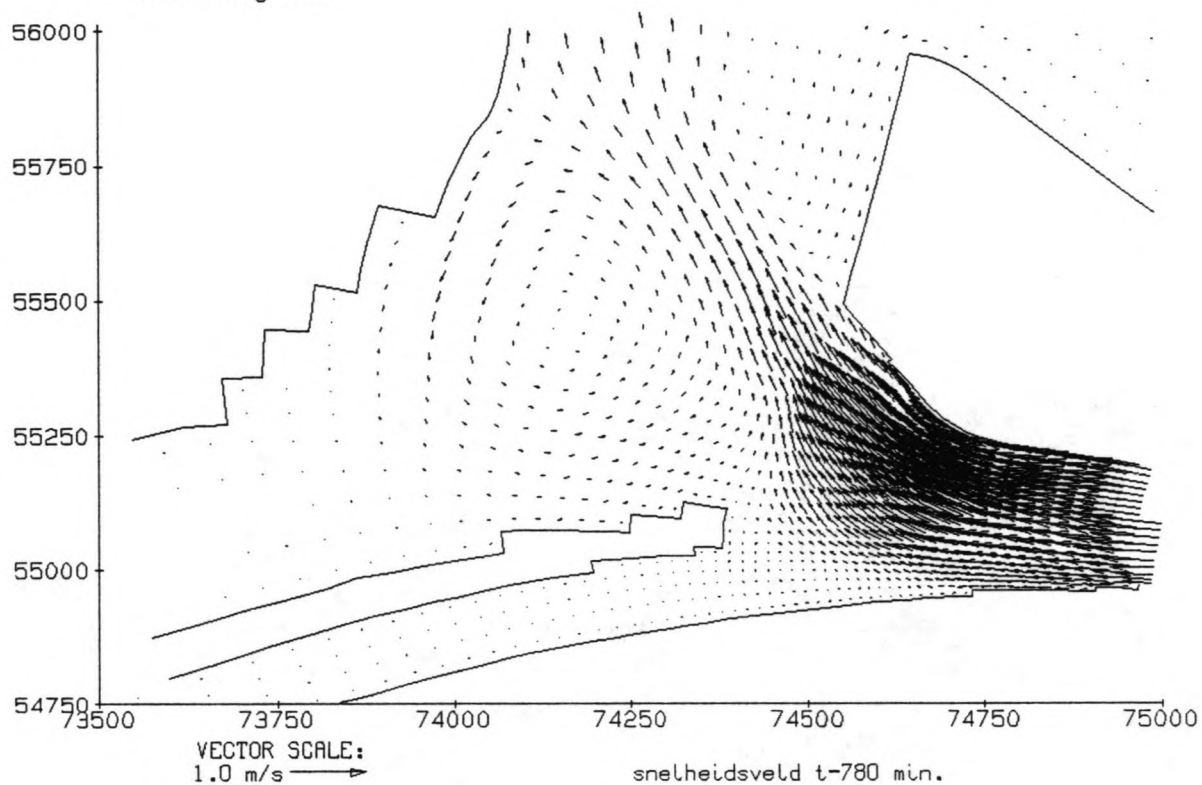
afbeelding 6.5b



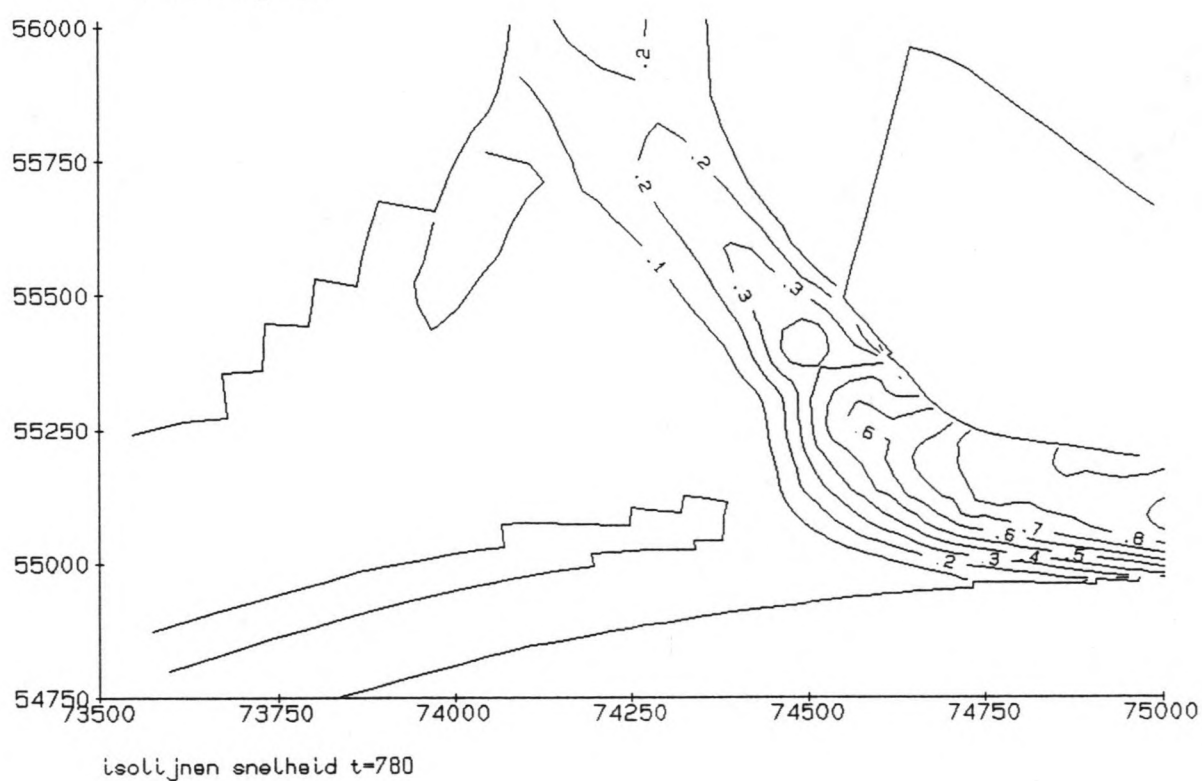
GEVOELIGHEIDSONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=780 min. bij max. eb
400m opening; visc.= 0.75

Afbeelding 6.5a-b

afbeelding 6.6a



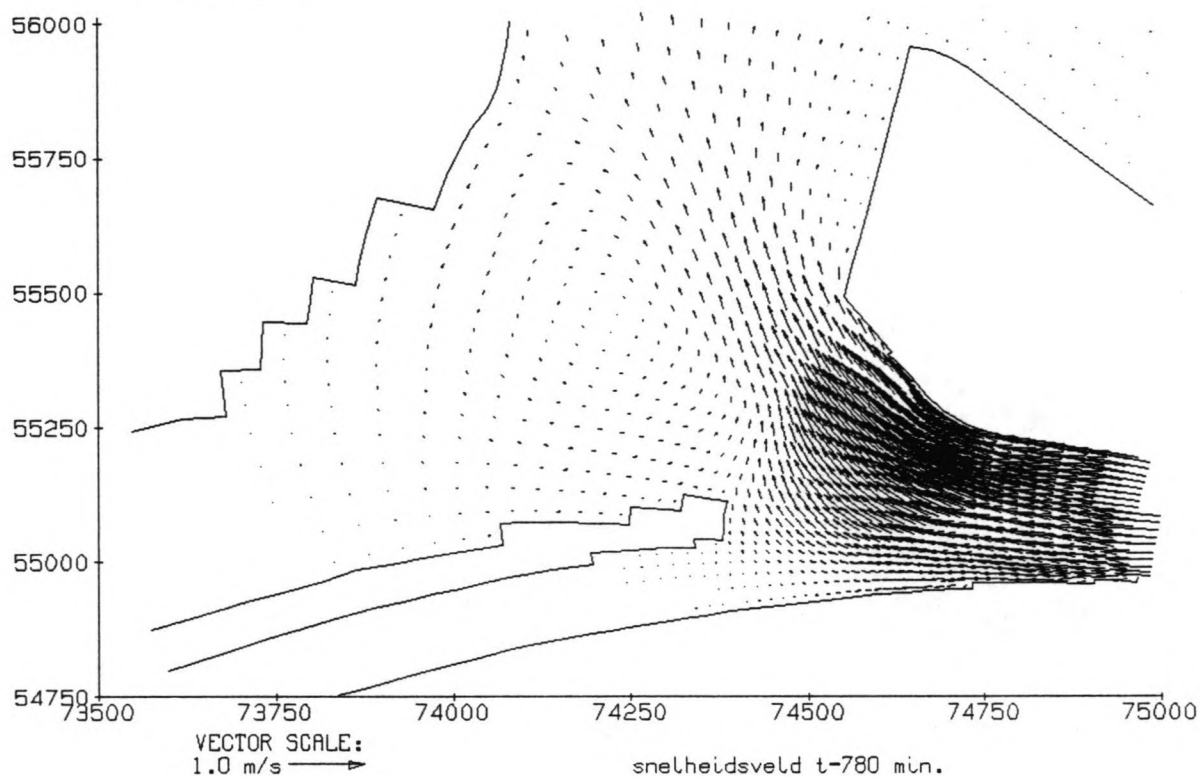
afbeelding 6.6b



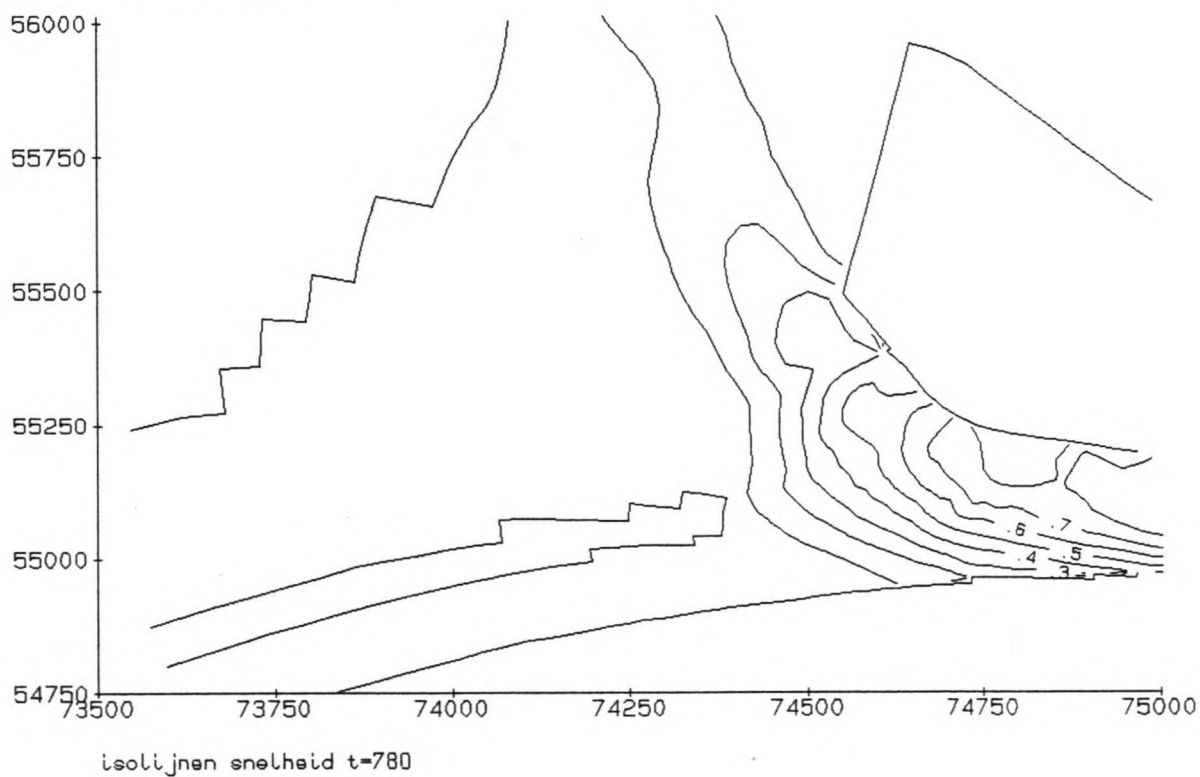
GEVOELIGHEIDSONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=780 min. bij max. eb
400m opening;

Afbeelding 6.6a-b

afbeelding 6.7a



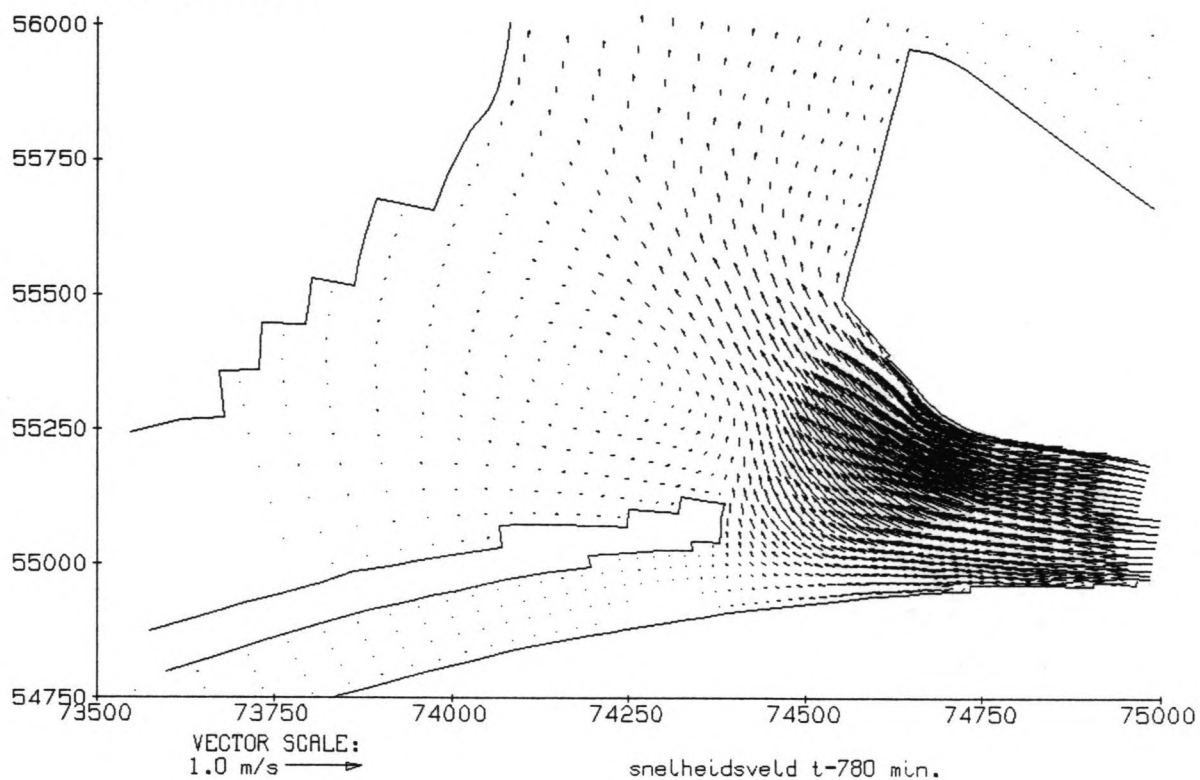
afbeelding 6.7b



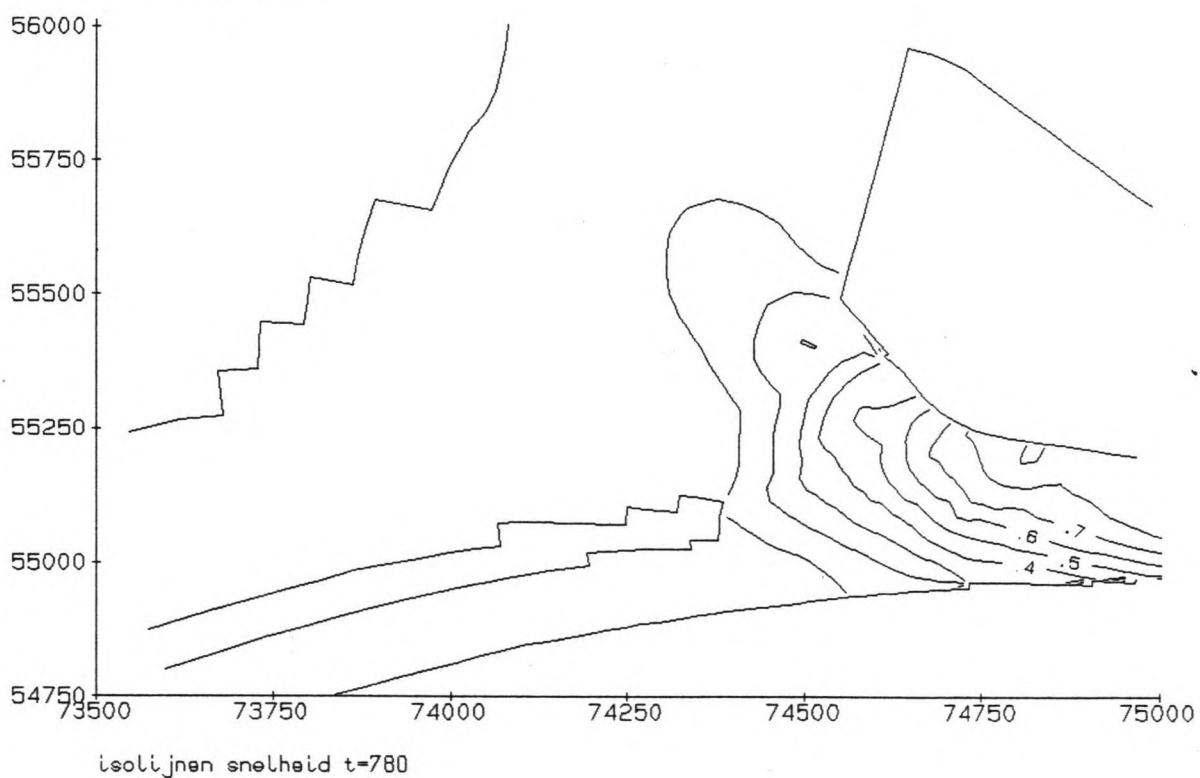
GEVOELIGHEIDSONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=780 min. bij max. eb
400m opening; visc.= 2.5

Afbeelding 6.7a-b

afbeelding 6.8a

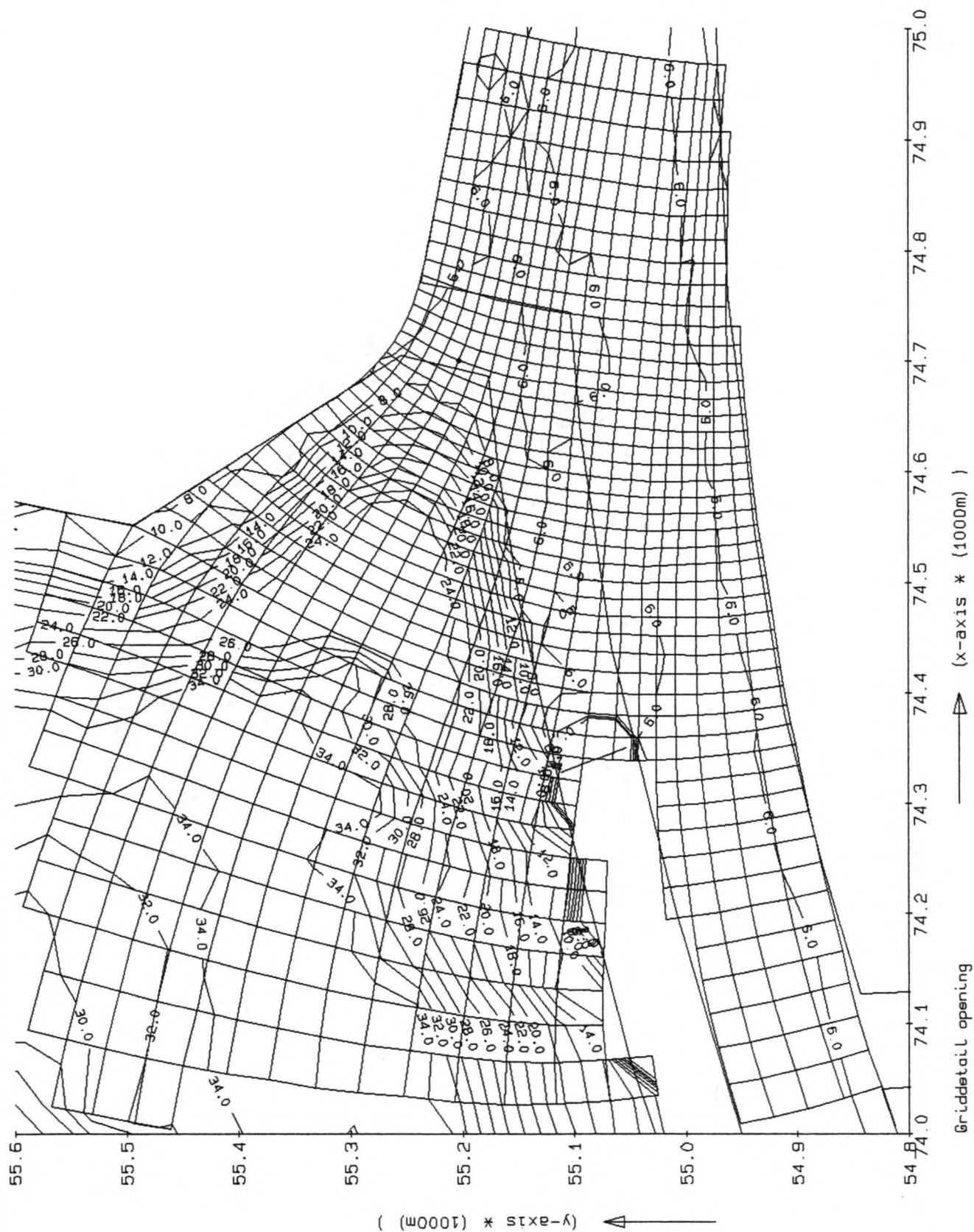


afbeelding 6.8b



GEVOELIGHEIDSONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=780 min. bij max. eb
400m opening; visc.= 5.0

Afbeelding 6.8a-b

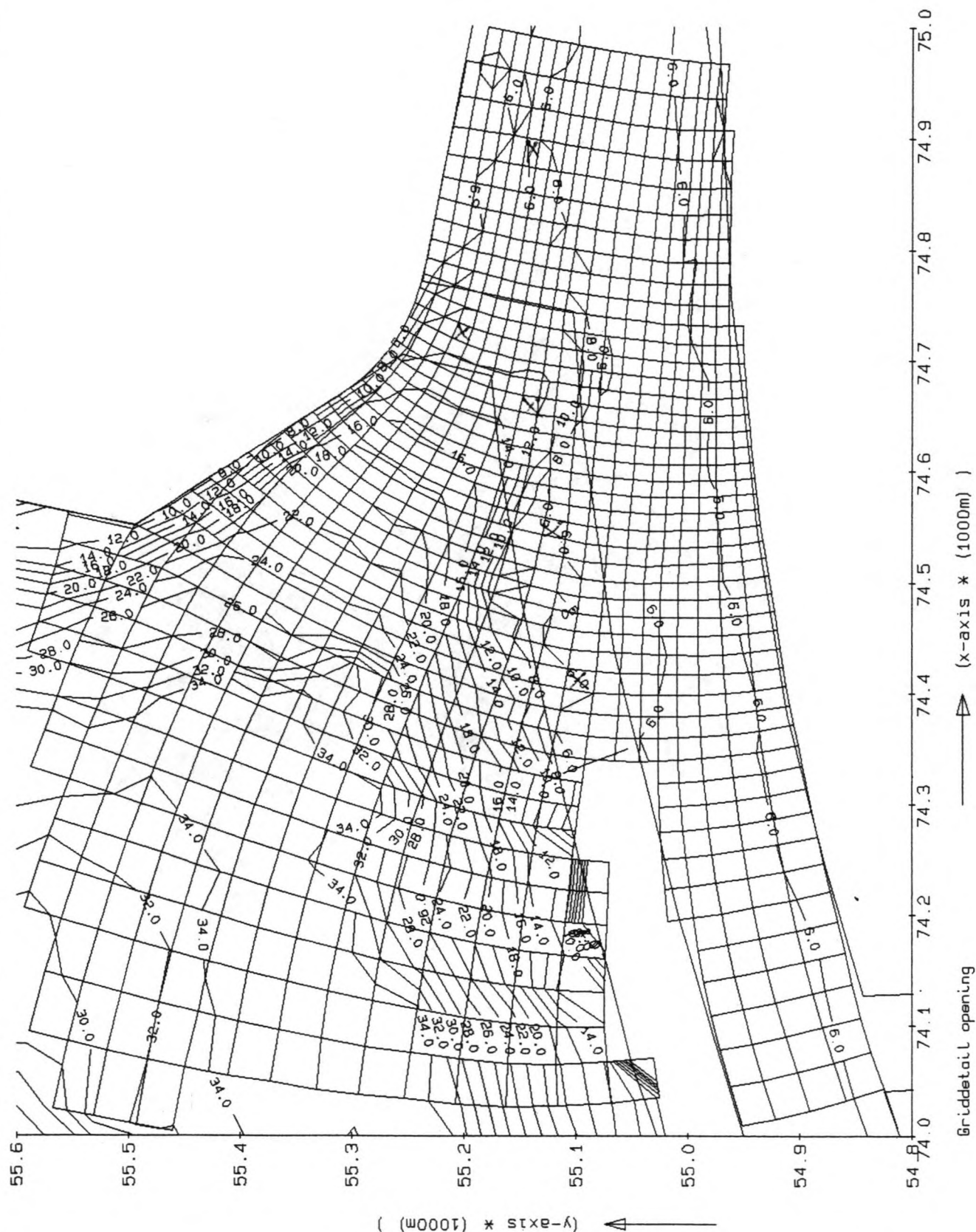


DETAILMODEL OPEN BEERDAM

Grid/Landgrenzen/Dieptelijnen

400 m opening; nieuw grid

Afbeelding 7.1

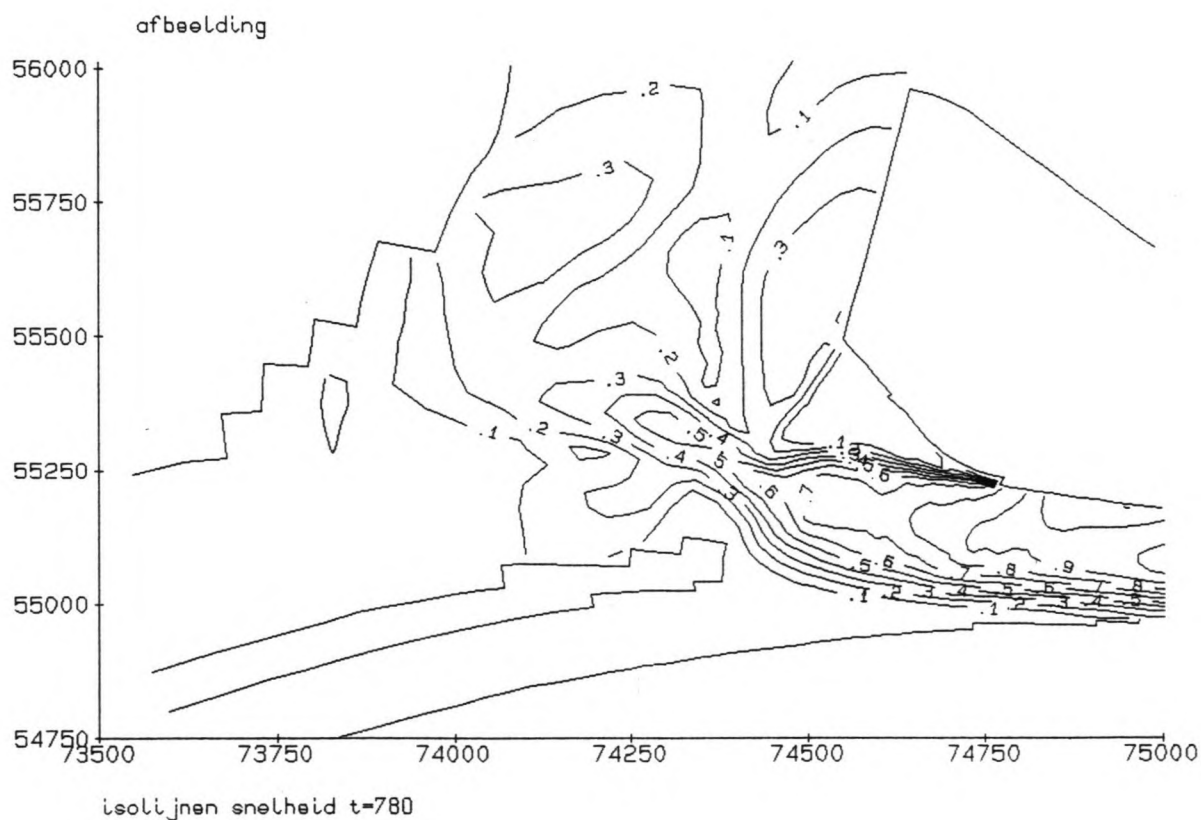
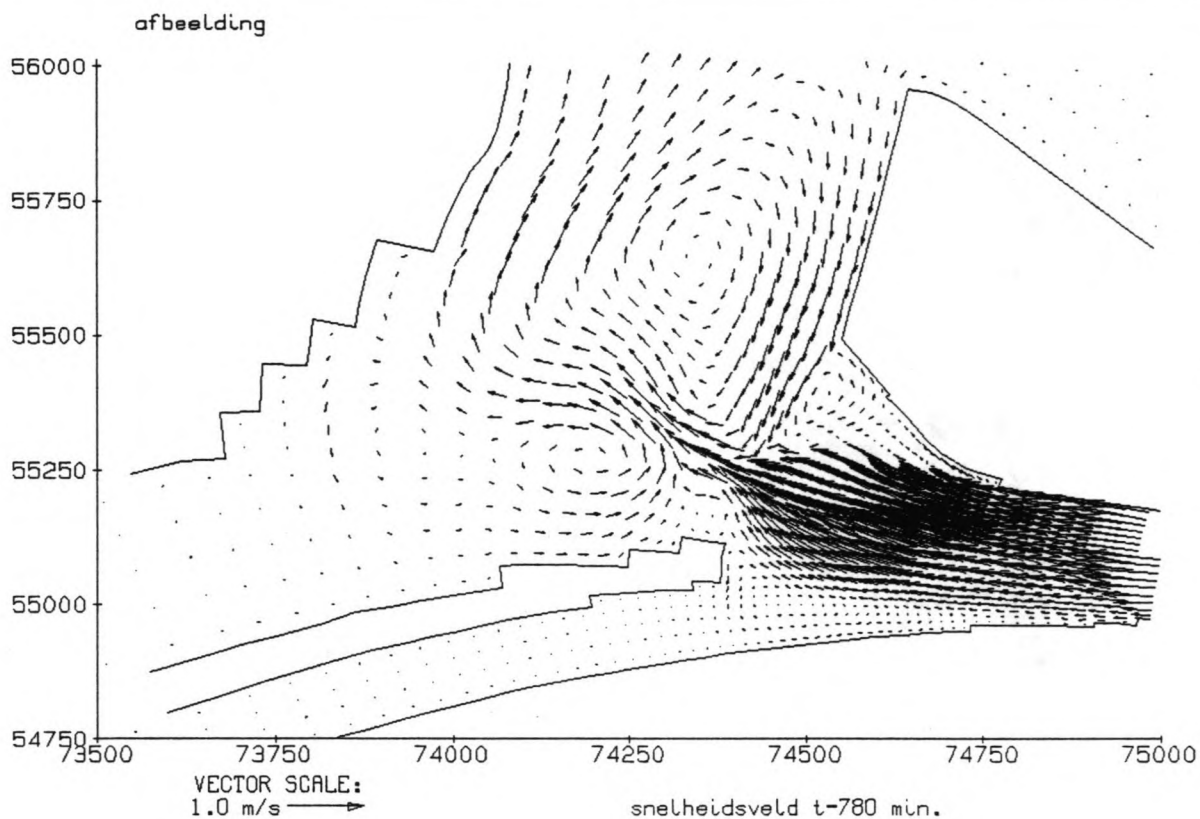


DETAILMODEL OPEN BEERDAM

Grid/Landgrenzen/Dieptelijnen

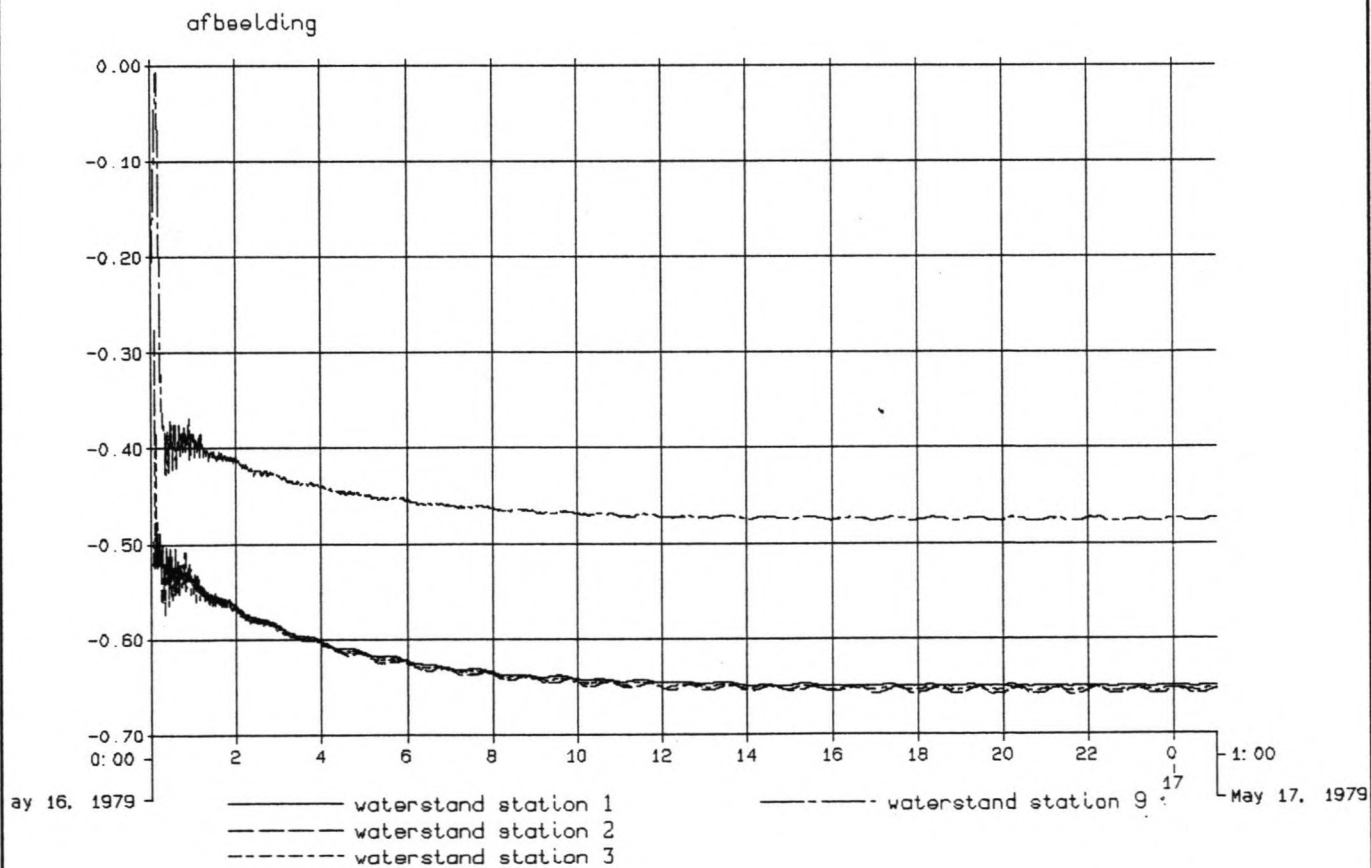
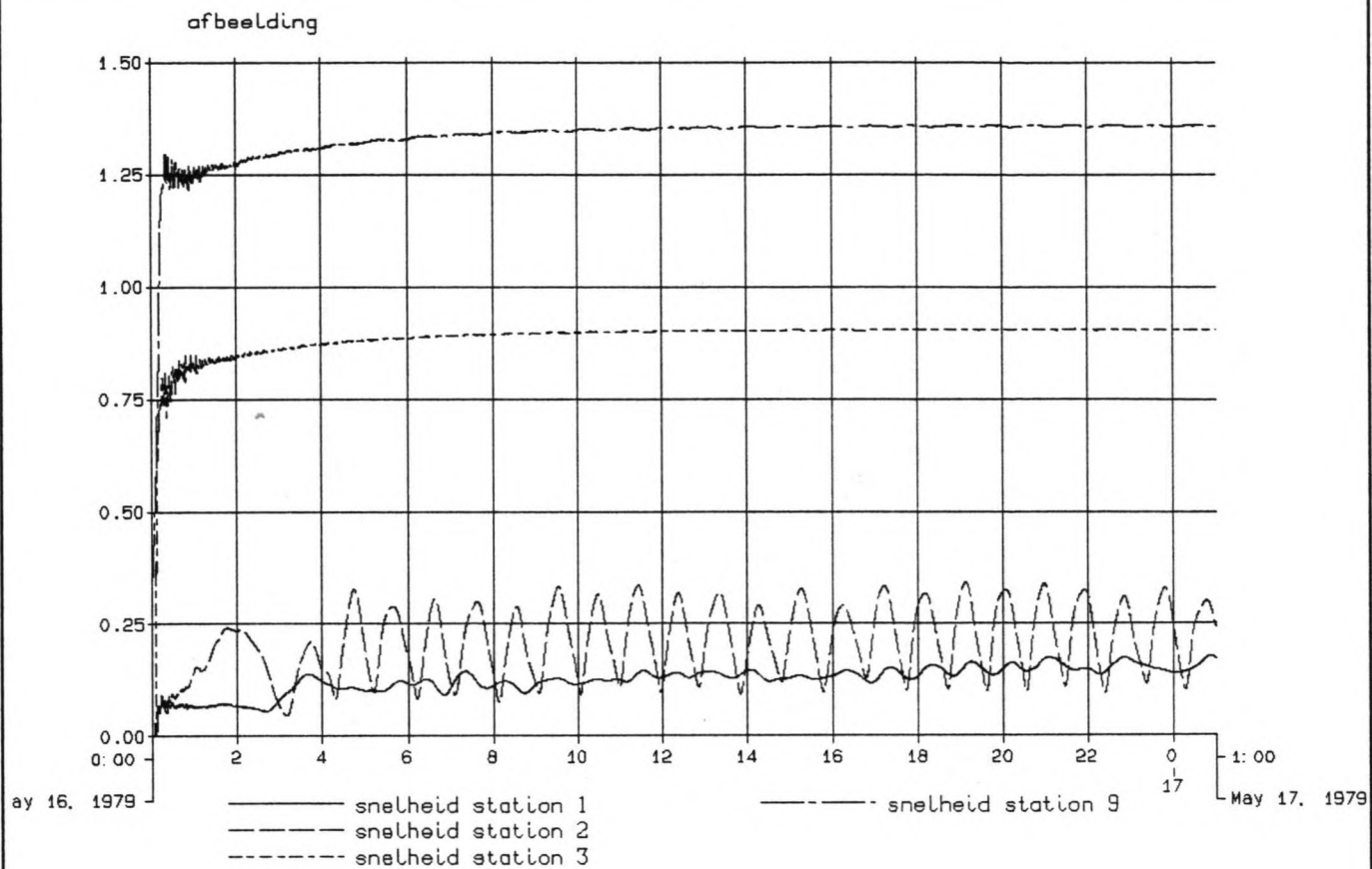
400 m opening; nieuw grid

Afbeelding 7.2



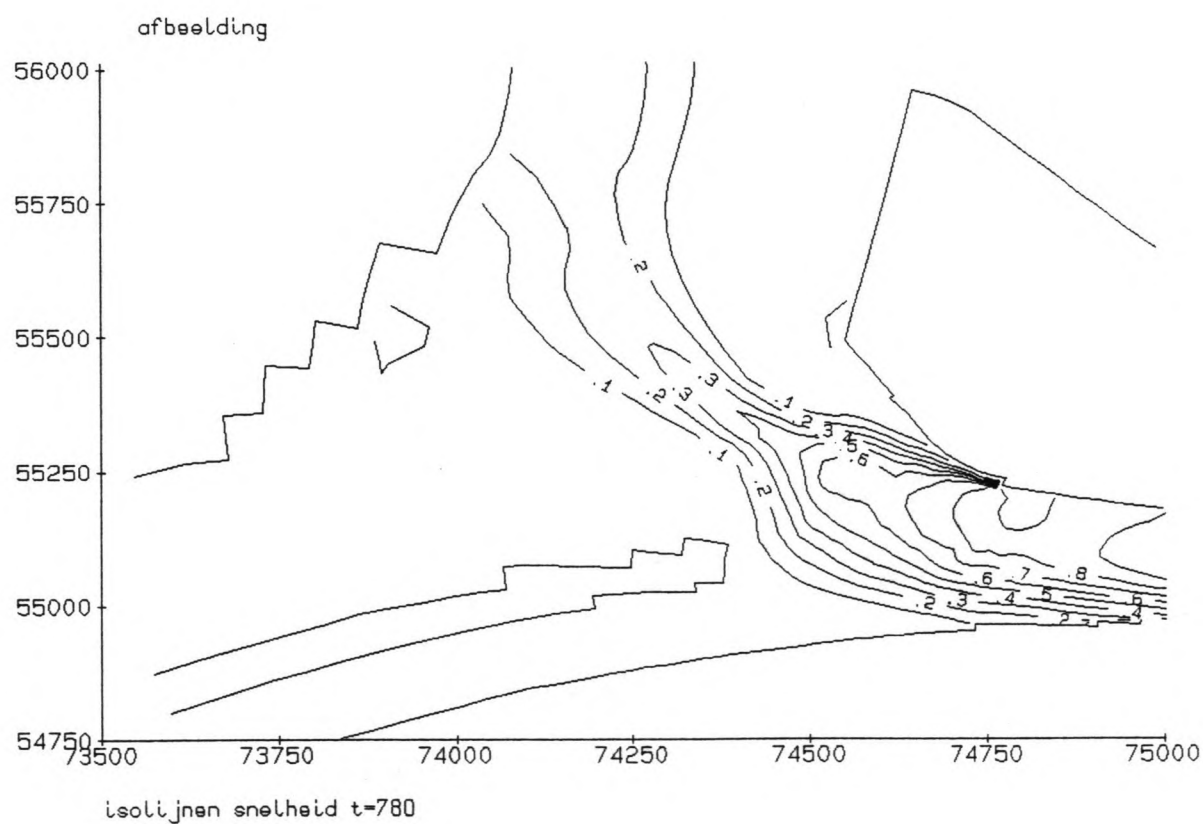
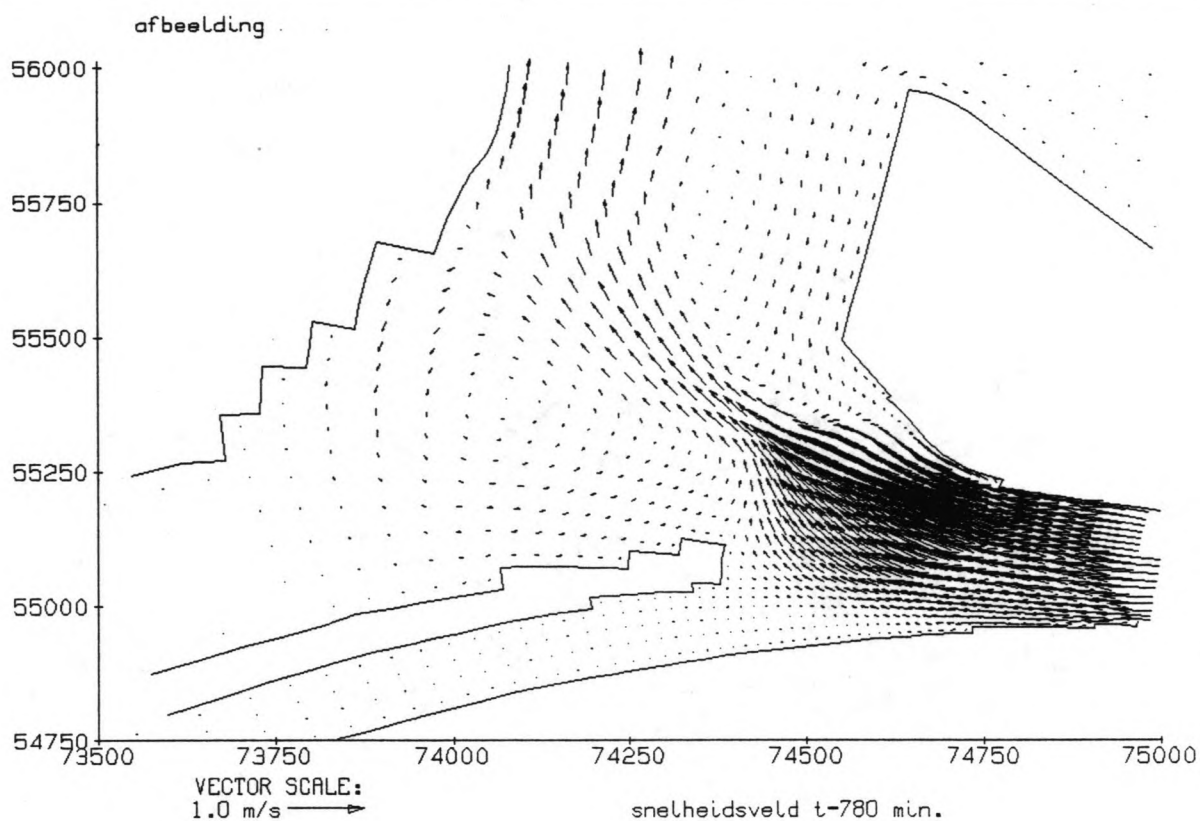
GEVOELIGHEIDSONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=780 min. bij max. eb
gridstrookverwijdering; visc.=0.3

Afbeelding 7.3 a-b



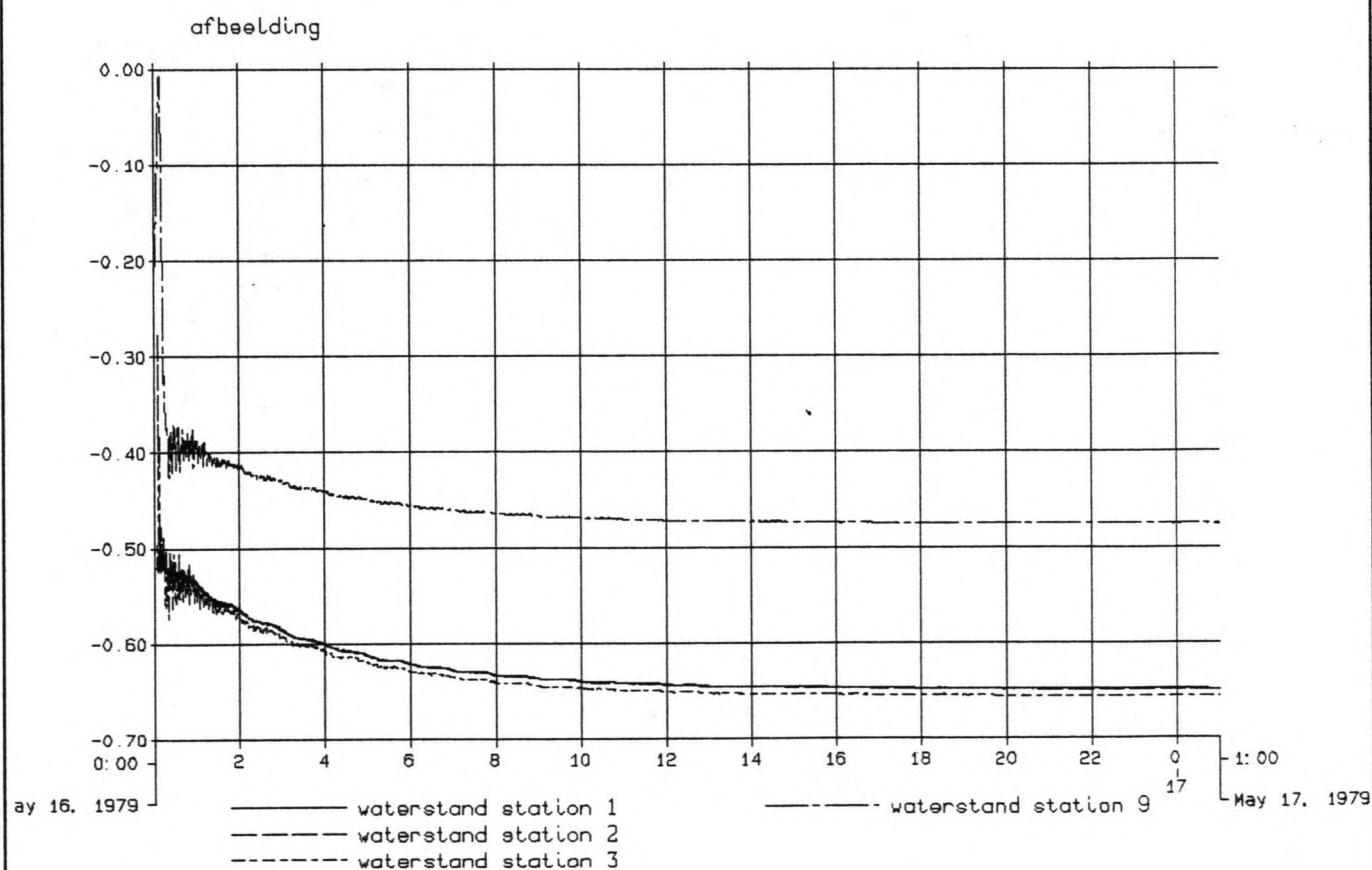
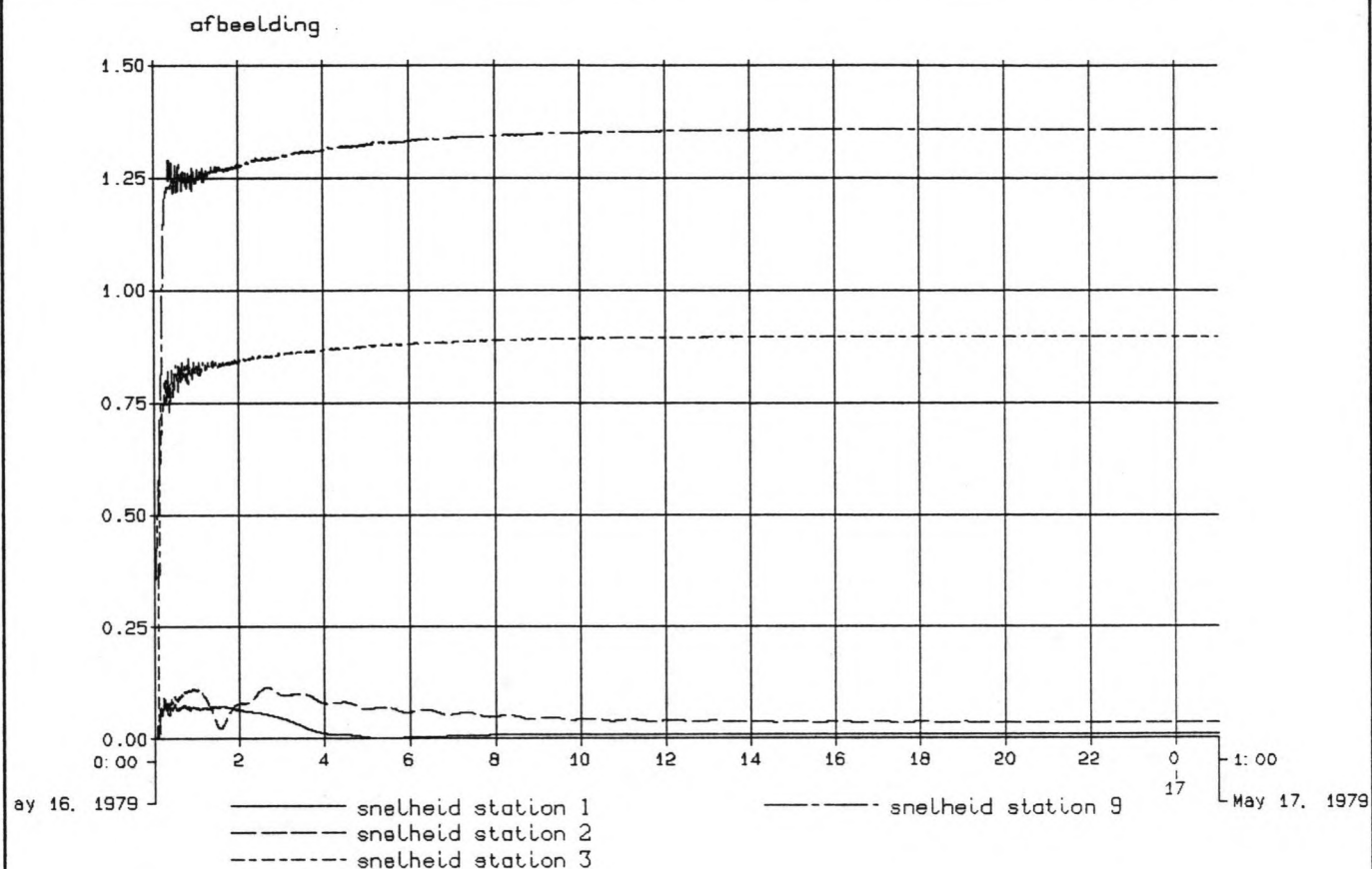
GEVOELIGHEIDSONDERZOEK OPEN BEERDAM
 visc=0.3; gridstrookverwijdering
 snelheden en waterstanden in hoofdstroom

Afbeelding 7.3_{C-d}



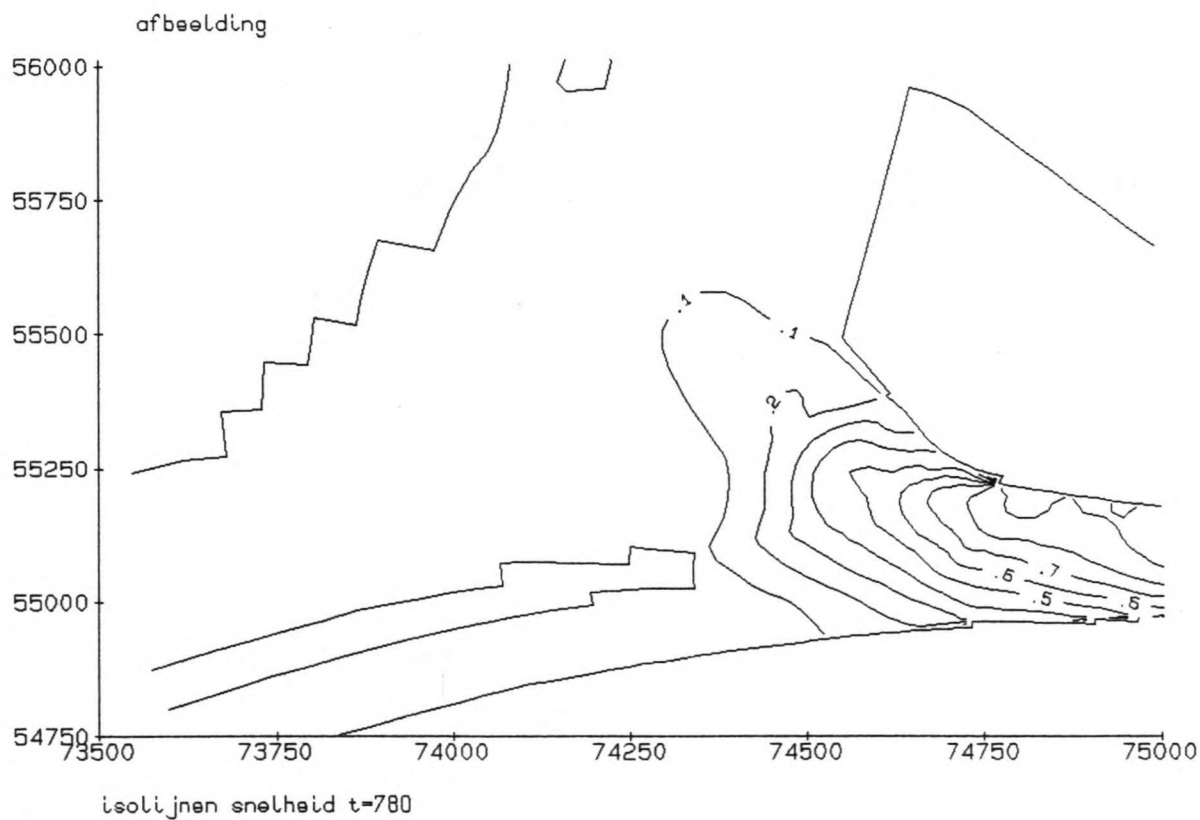
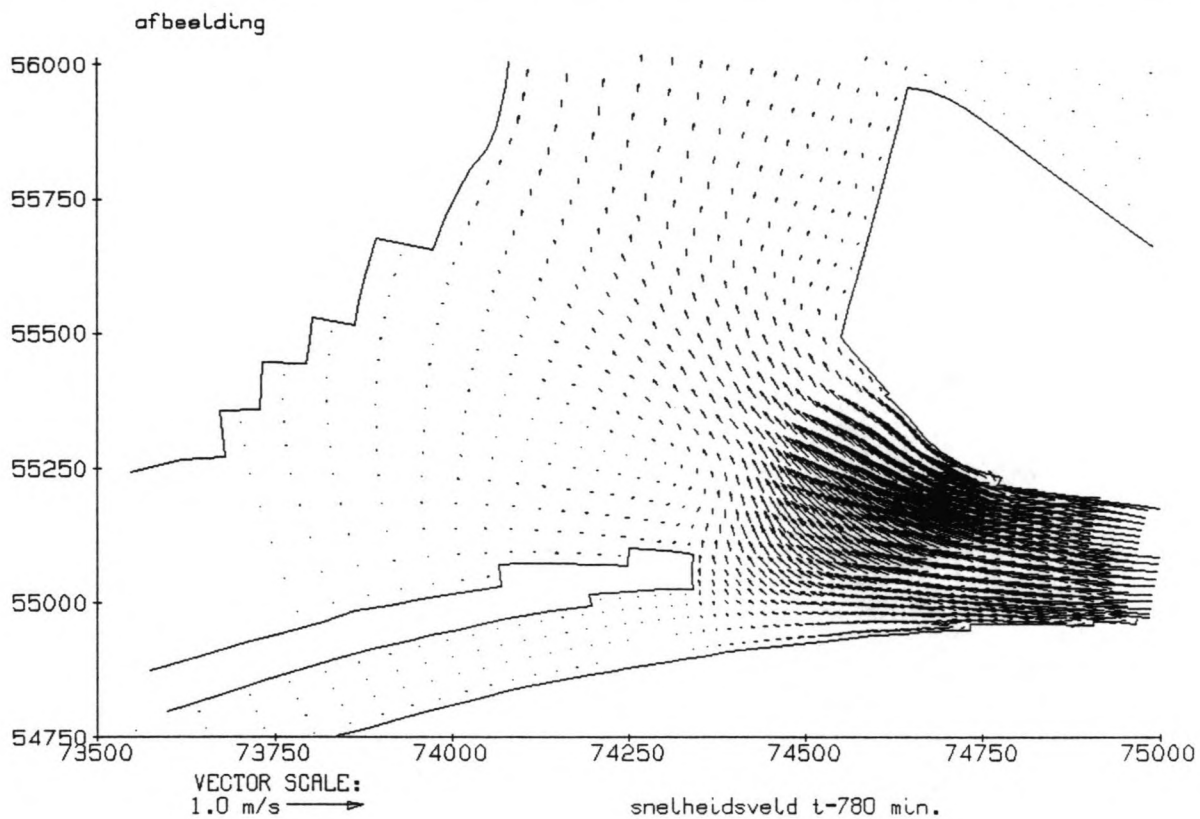
GEVOELIGHEIDSONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=780 min. bij max. eb
gridstrookverwijdering; visc.=1.0

Afbeelding 7.4_{a-b}



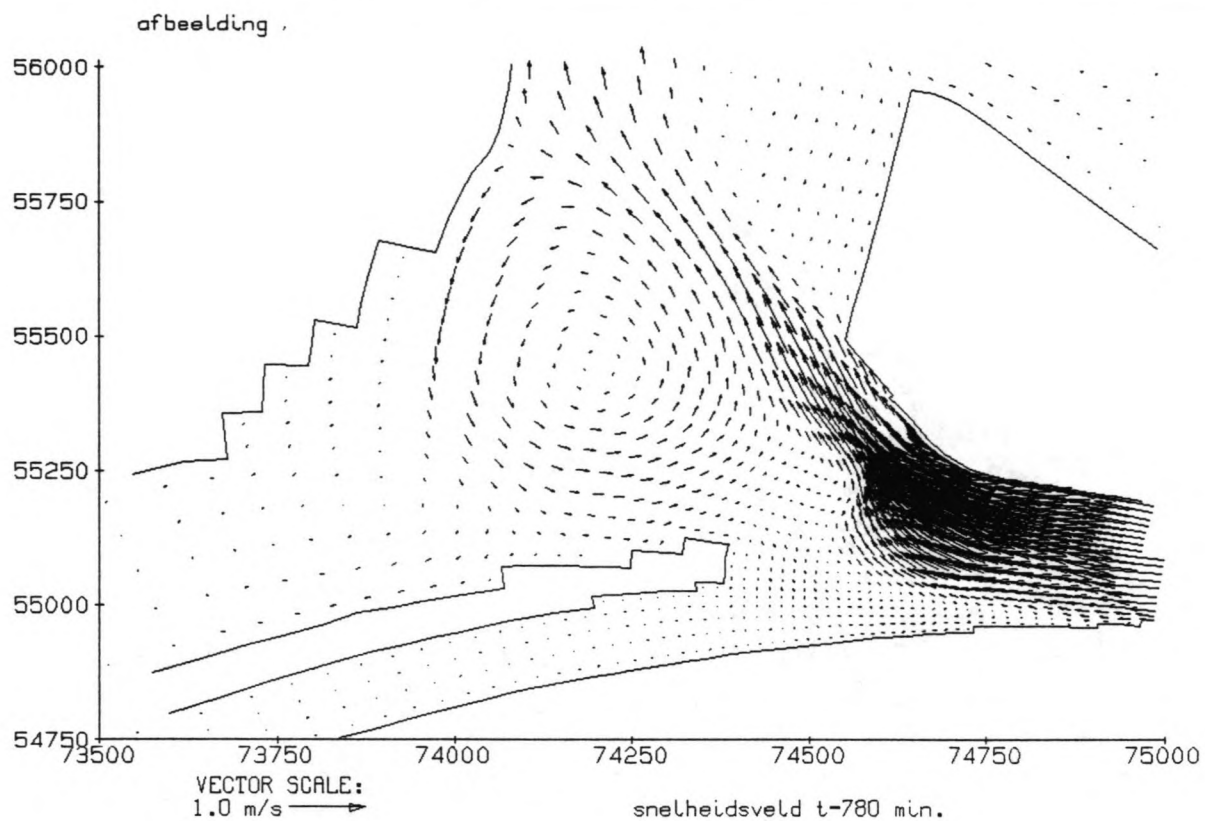
GEVOELIGHEIDSONDERZOEK OPEN BEERDAM
 visc=1.0; gridstrookverwijdering
 snelheden en waterstanden in hoofdstroom

Afbeelding 7.4c-d



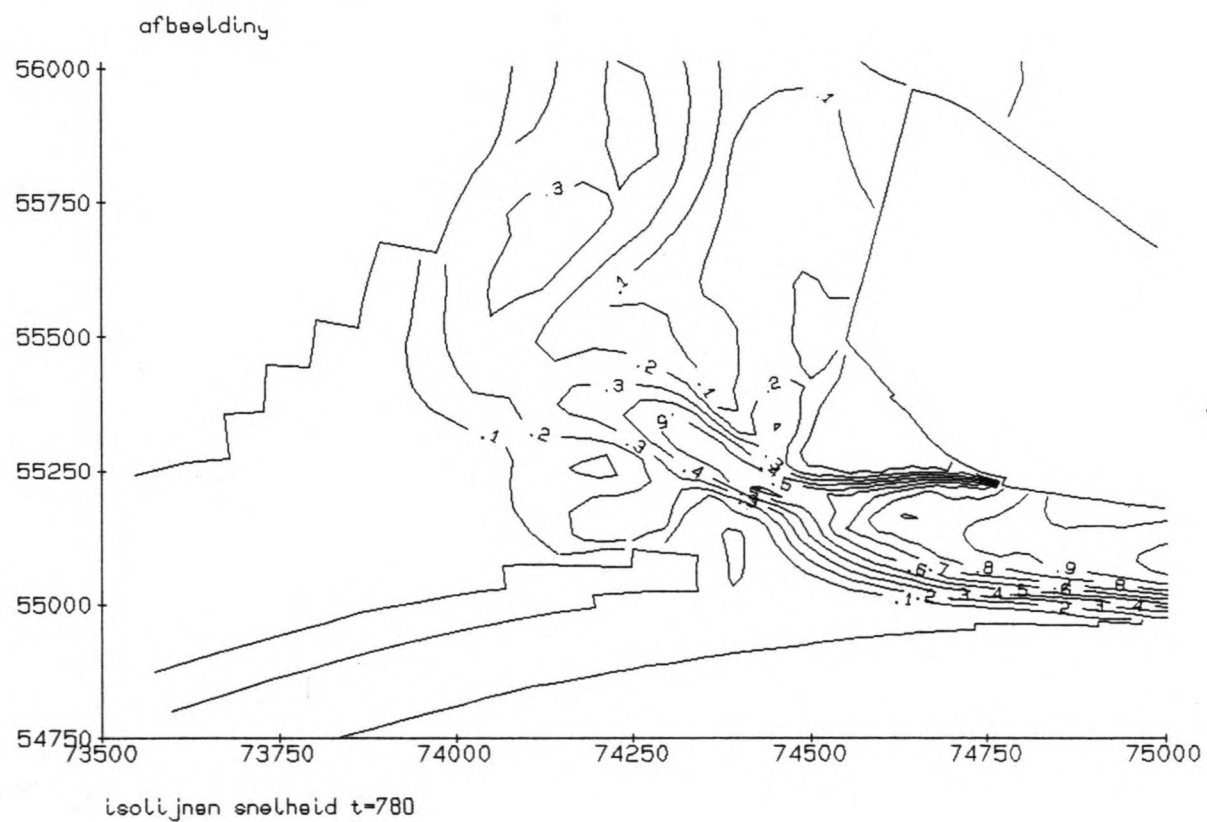
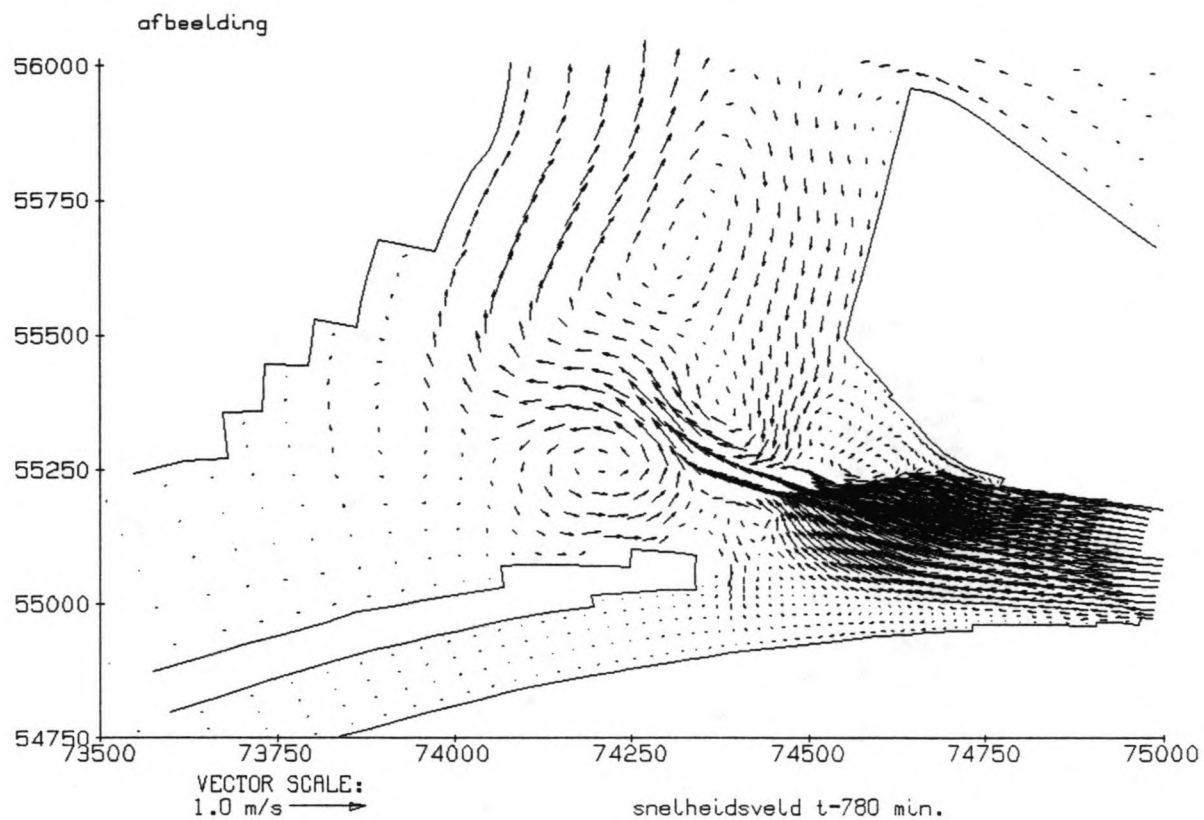
GEVOELIGHEIDSONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=780 min. bij max. eb
visc.=5.0; gridstrookverwijdering

Afbeelding 7.5



GEVOELIGHEIDSONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=780; eb; helling 1:4
visc.=0.3

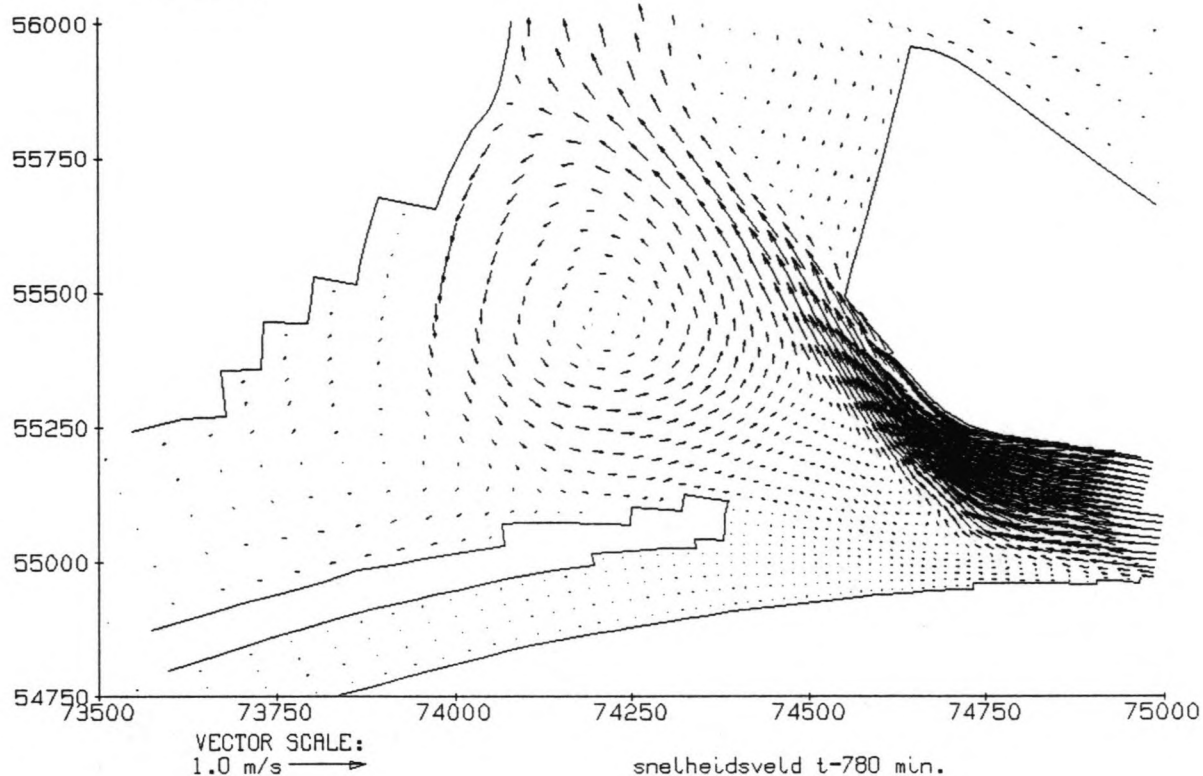
Afbeelding 7.6a-b



GEVOELIGHEIDSONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=780; eb; helling 1:4
visc.=0.3; gridstrookverwijdering

Afbeelding **7.7**a-b

afbeelding



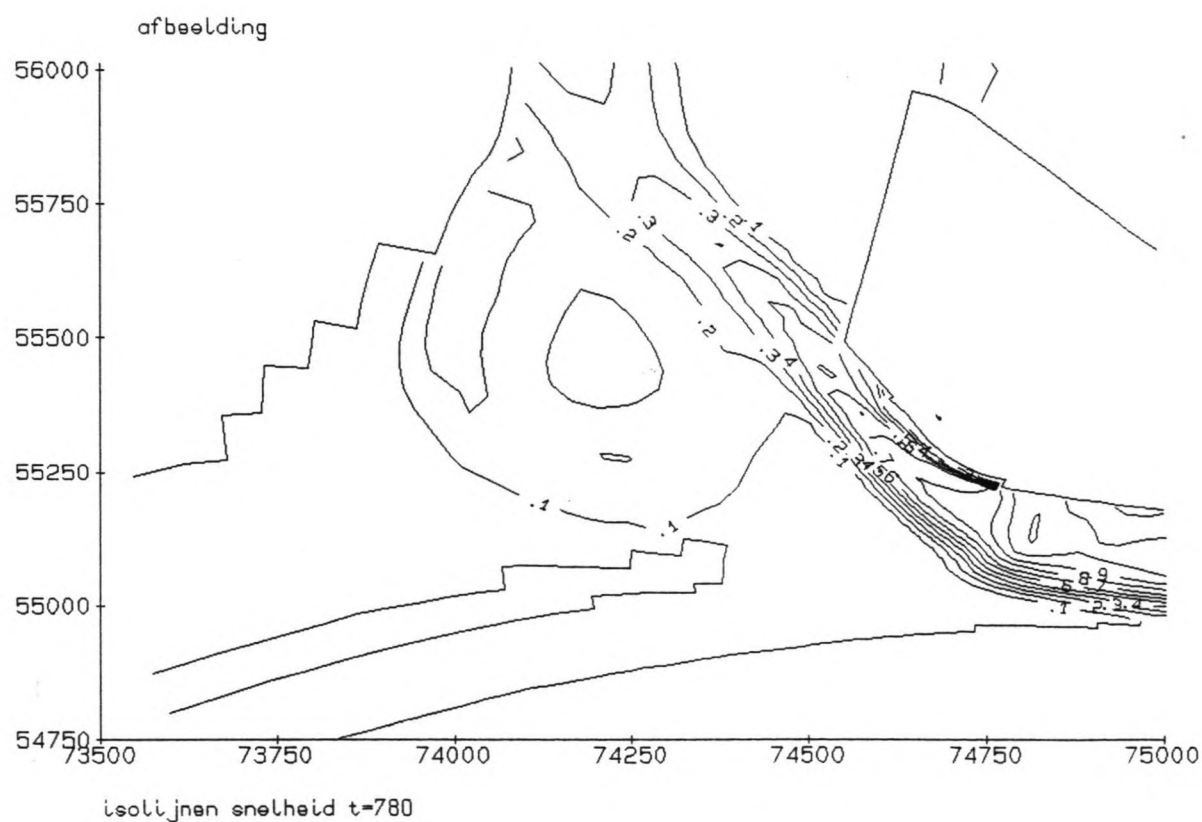
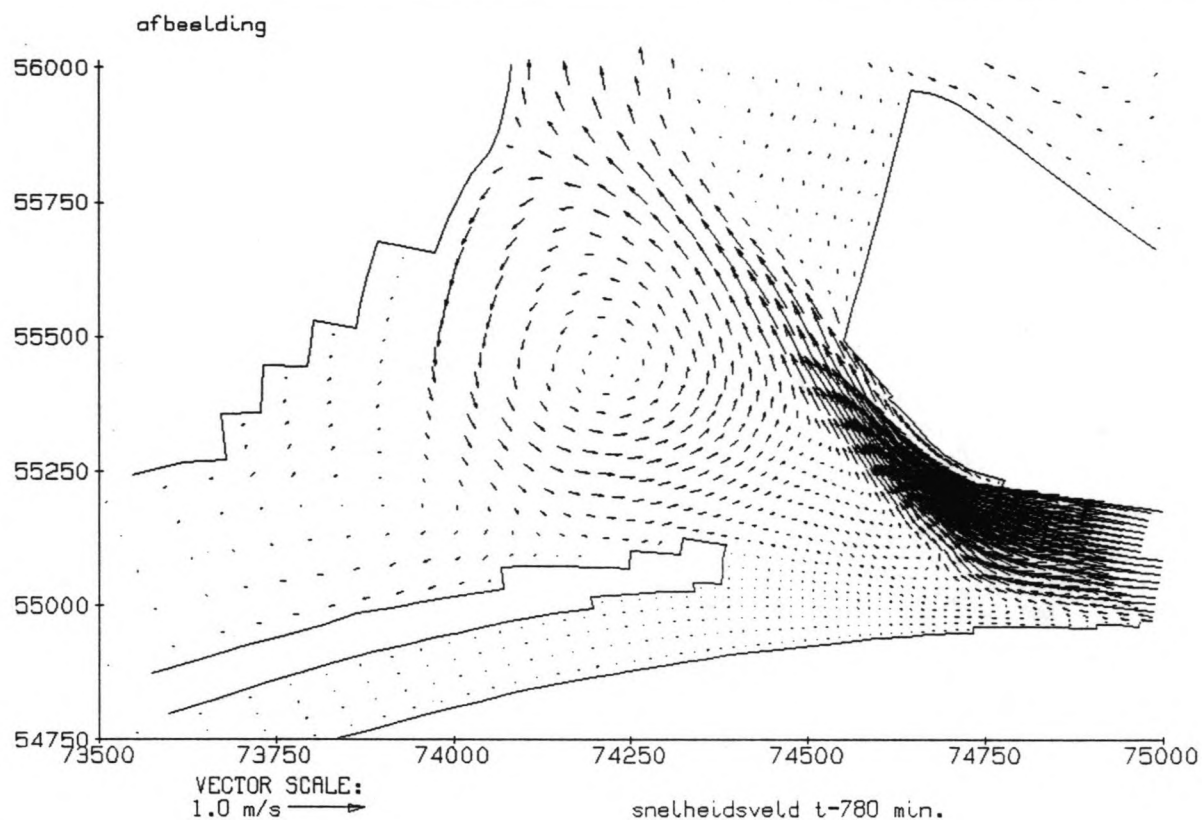
afbeelding



GEVOELIGHEIDSONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=780; eb; geul 1:20
visc.=0.3

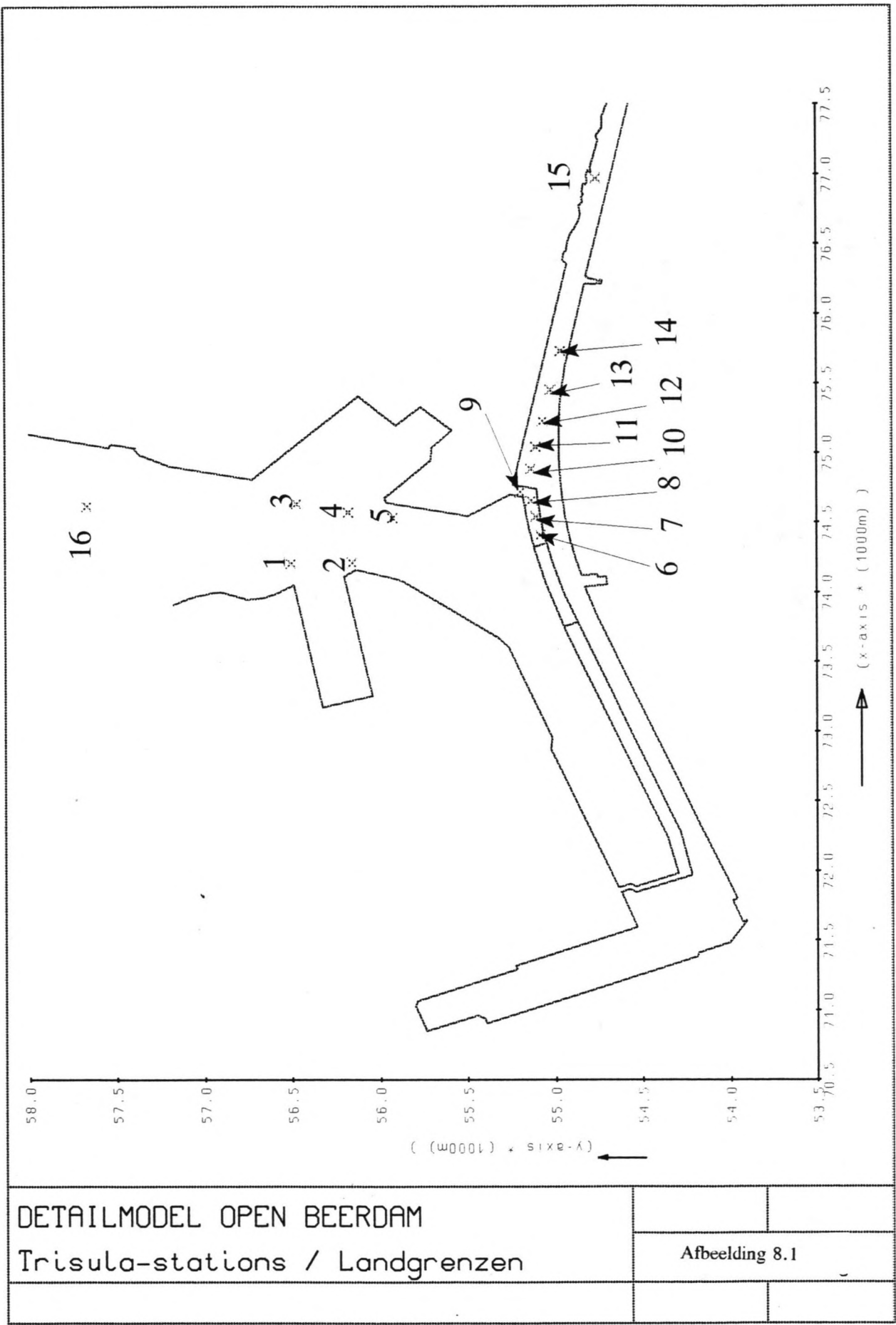
Afbeelding 7.8a-b

DELFT HYDRAULICS



GEVOELIGHEIDSONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=780; eb; geul 1:20
visc.=0.3; gridstrookverwijdering

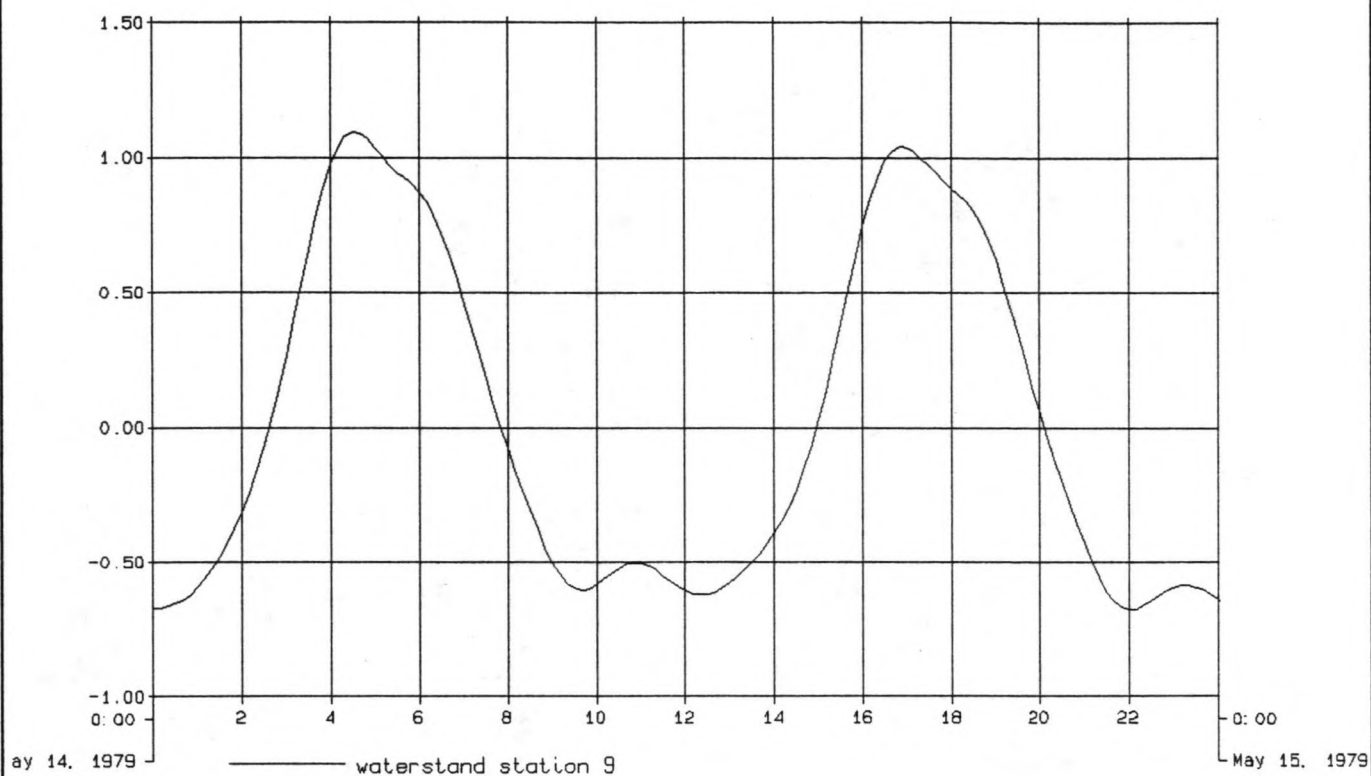
Afbeelding 7.9 a-b



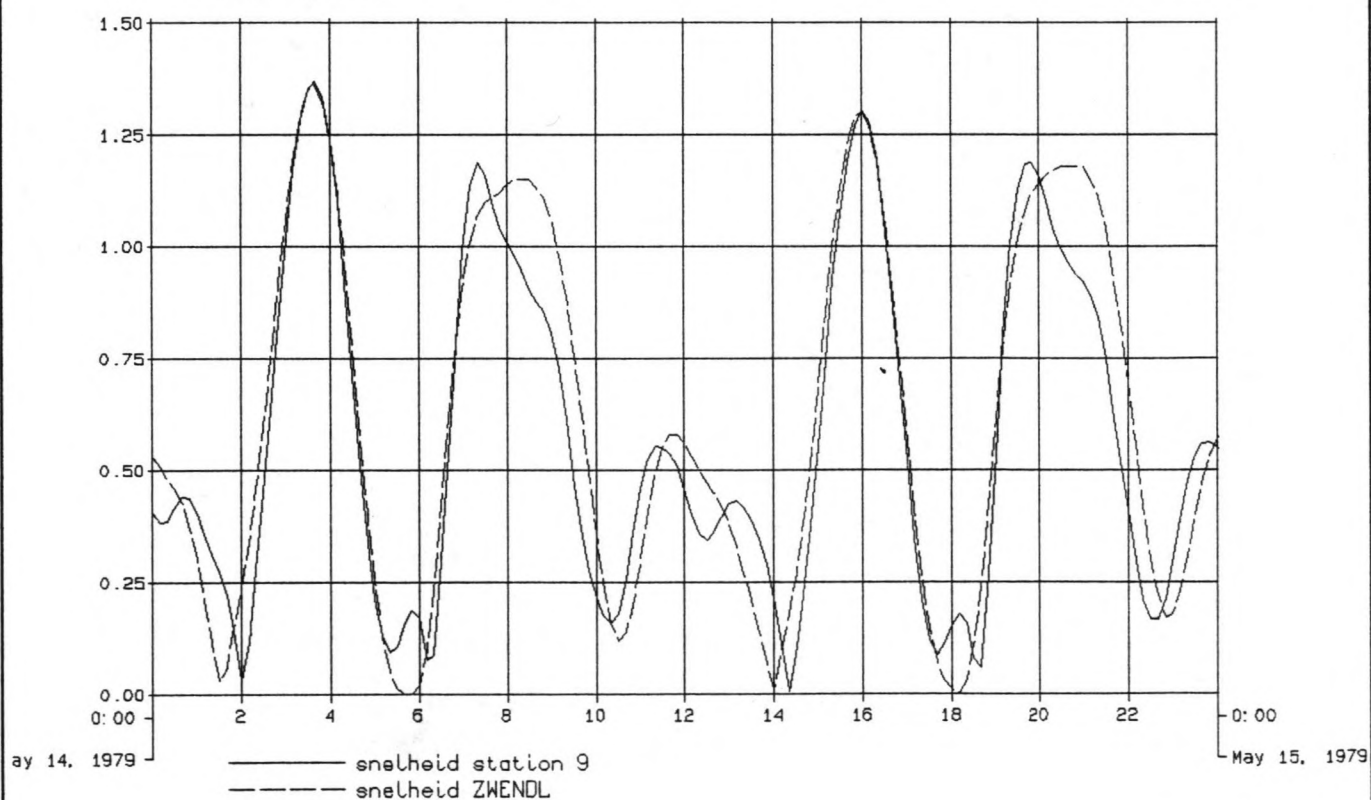
DETAILMODEL OPEN BEERDAM
Trisula-stations / Landgrenzen

Afbeelding 8.1

afbeelding 8.2a

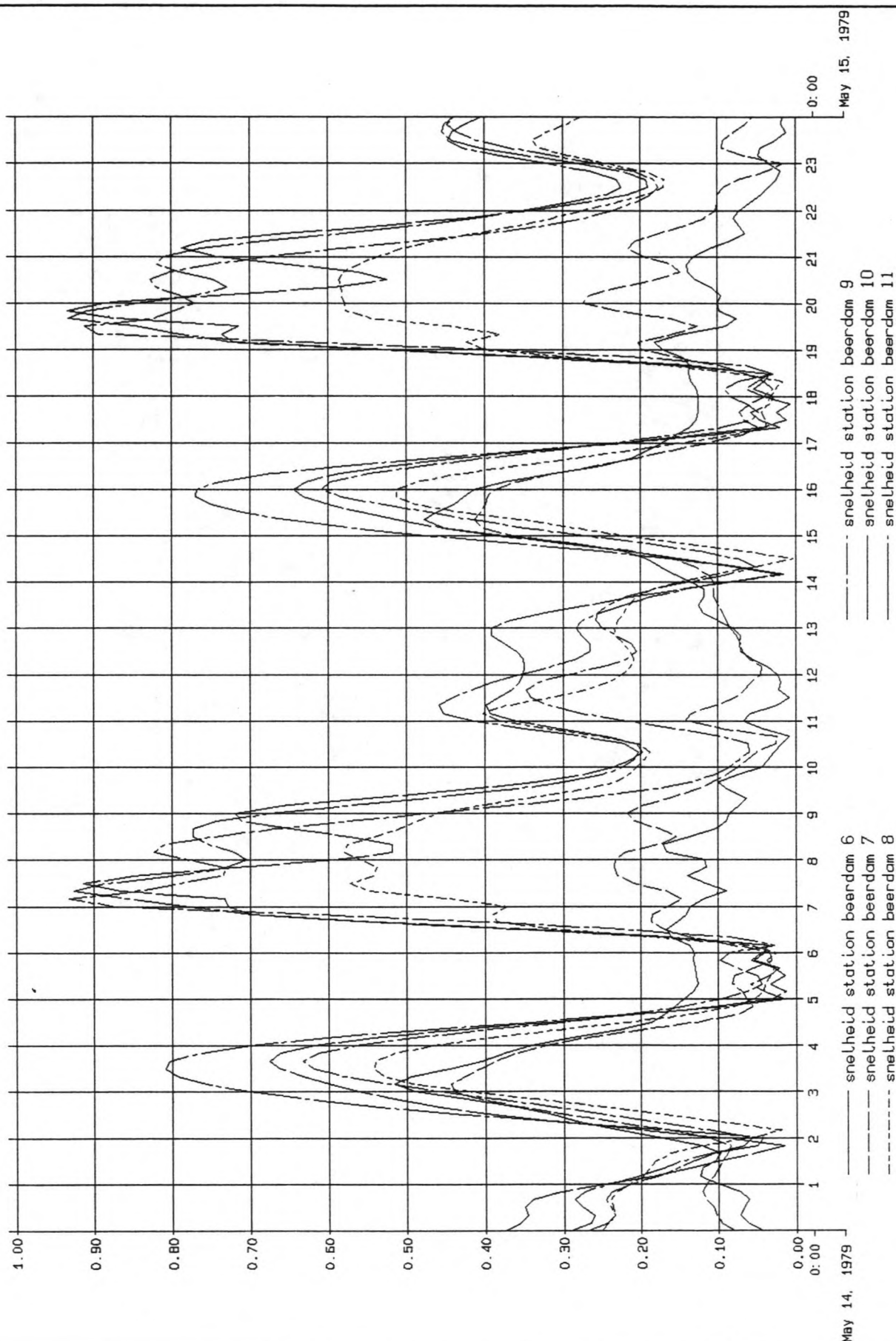


afbeelding 8.2b



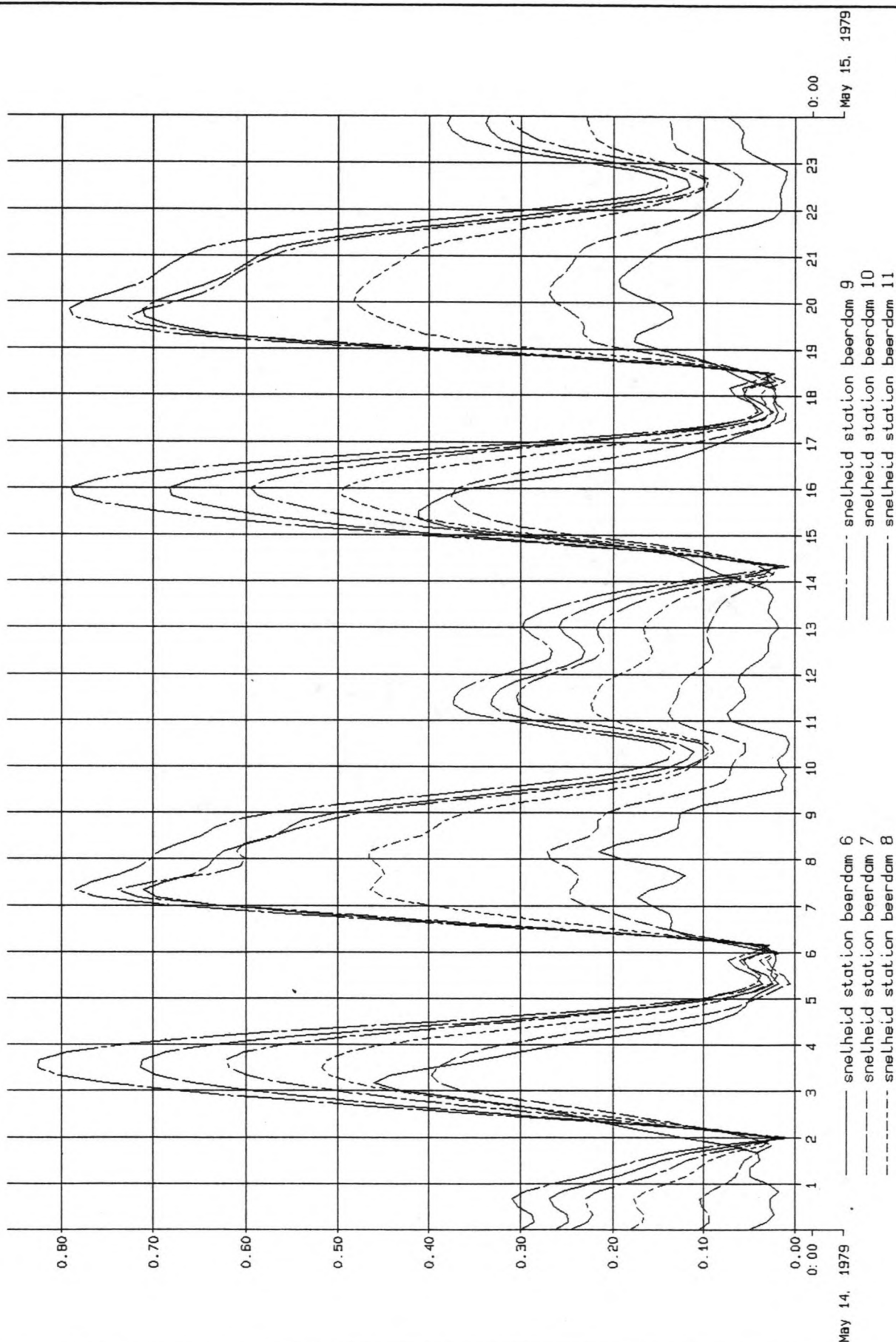
TIJDSAFHANKELIJK ONDERZOEK OPEN BEERDAM
14/05/79 - 15/05/79

Afbeelding 8.2a-b



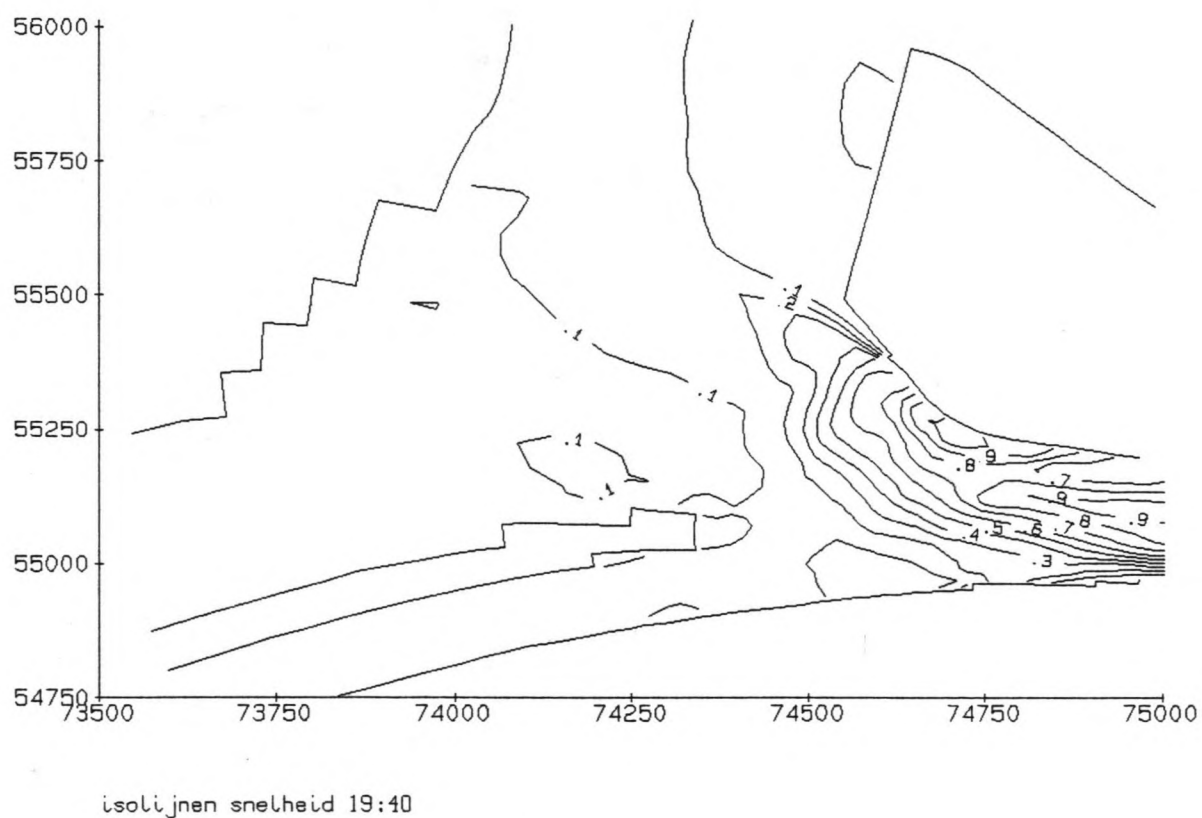
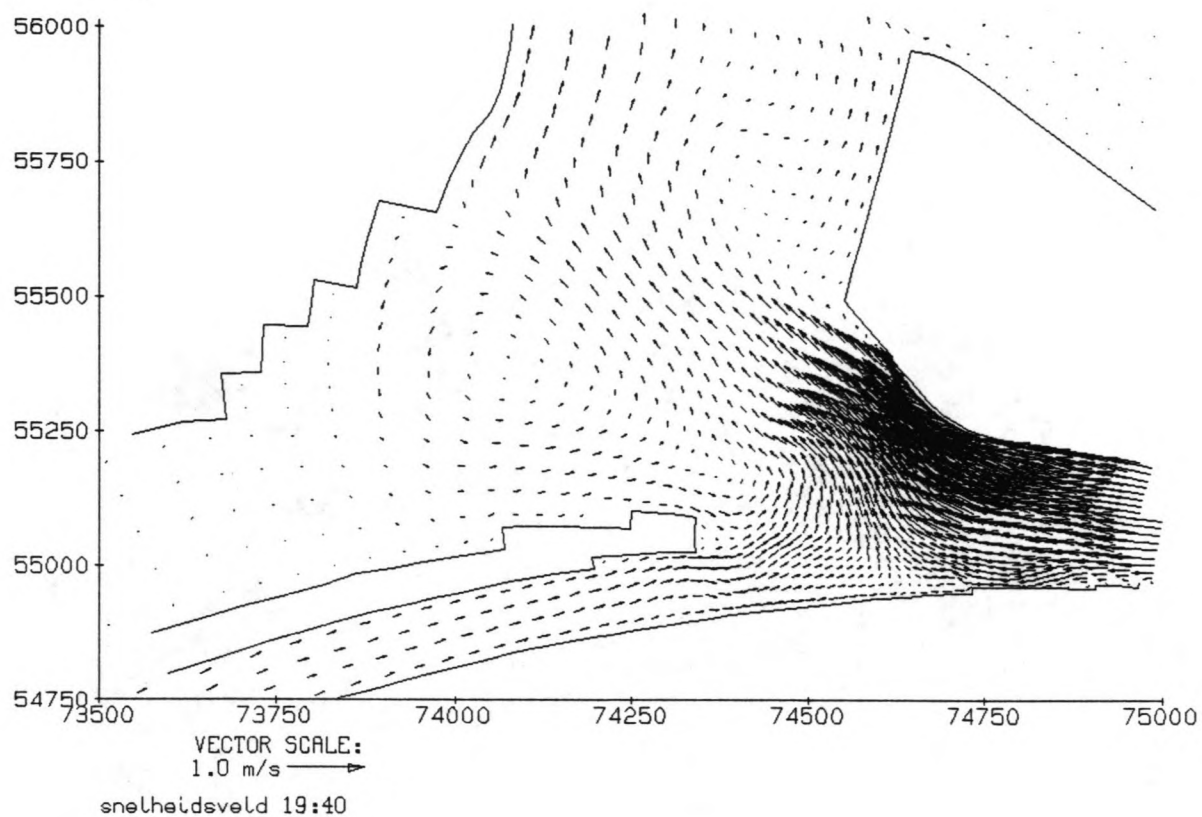
TIJDSAFHANKELIJK ONDERZOEK OPEN BEERDAM
 14/05/79 - 15/05/79
 snelheden opening

Afbeelding 8.3 A



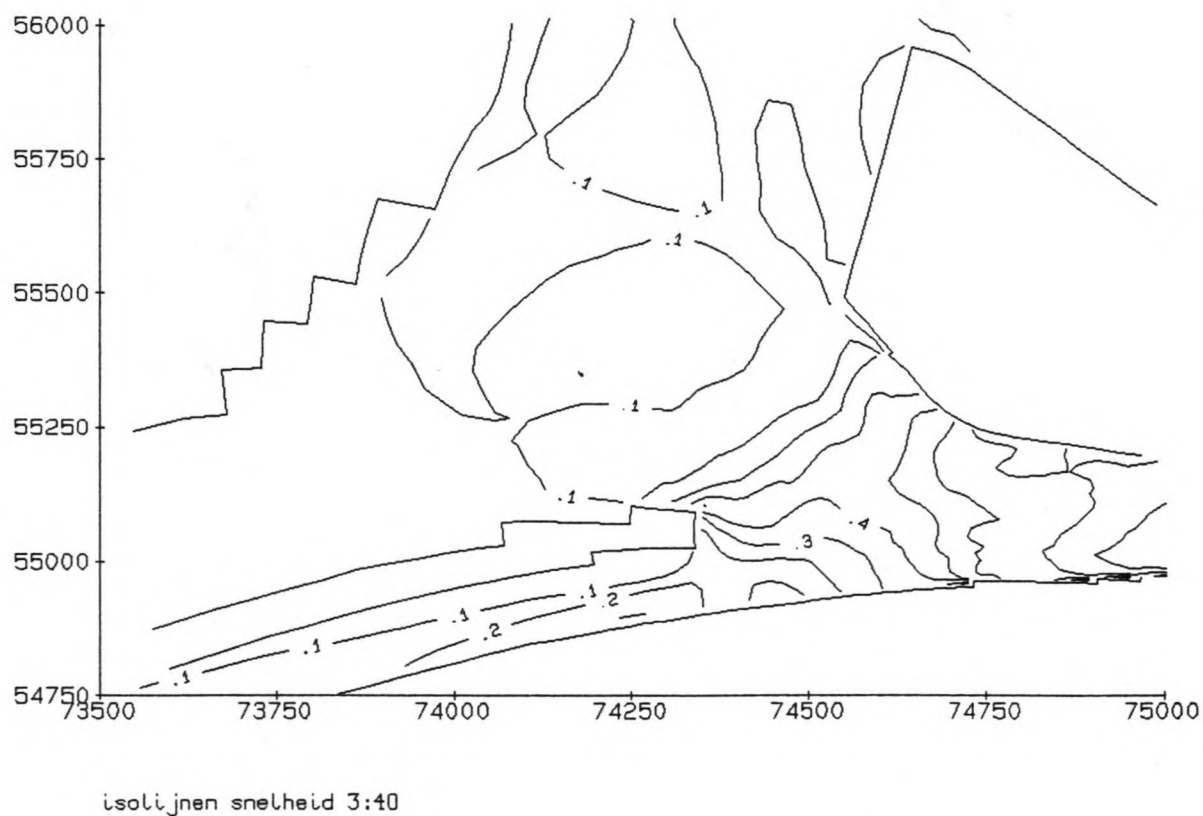
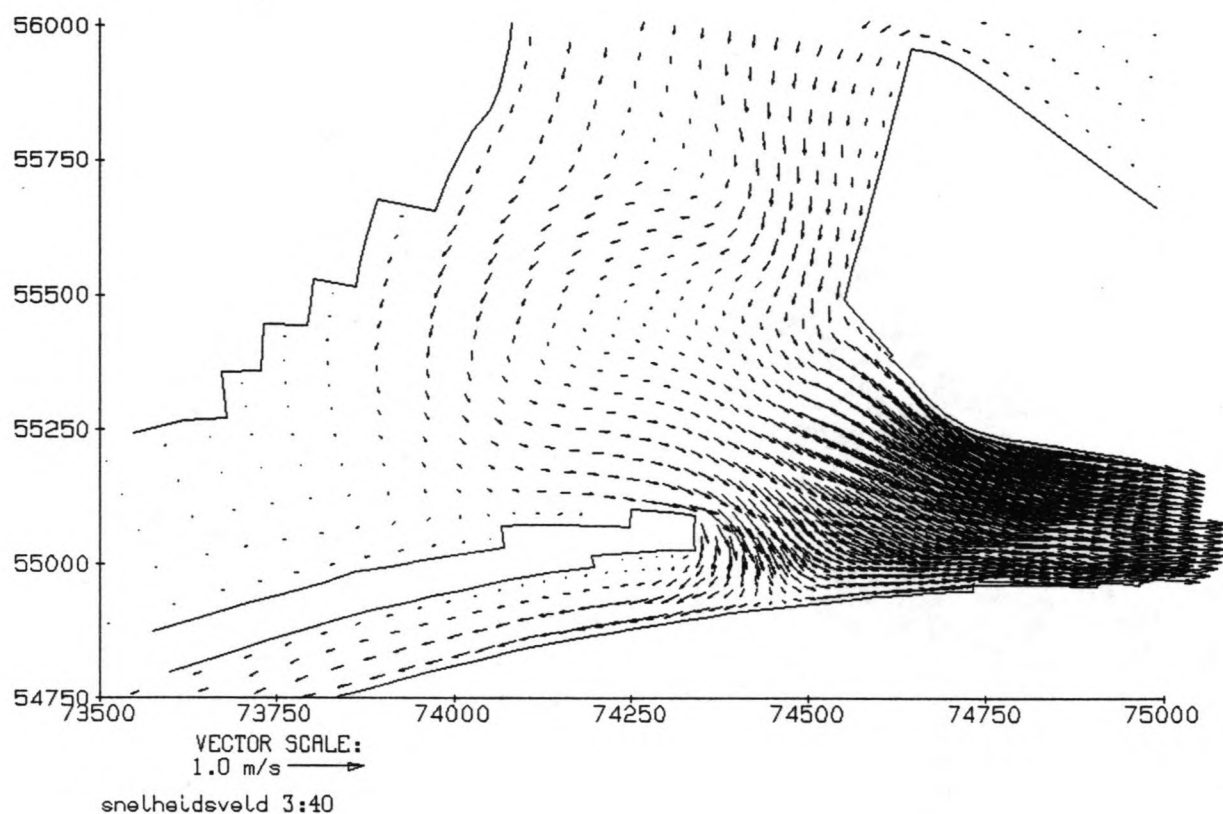
TIJDSAFHANKELIJKONDERZOEK OPEN BEERDAM
14/05/79 - 15/05/79
snelheden opening; visc.=5.0

Afbeelding 8.3b



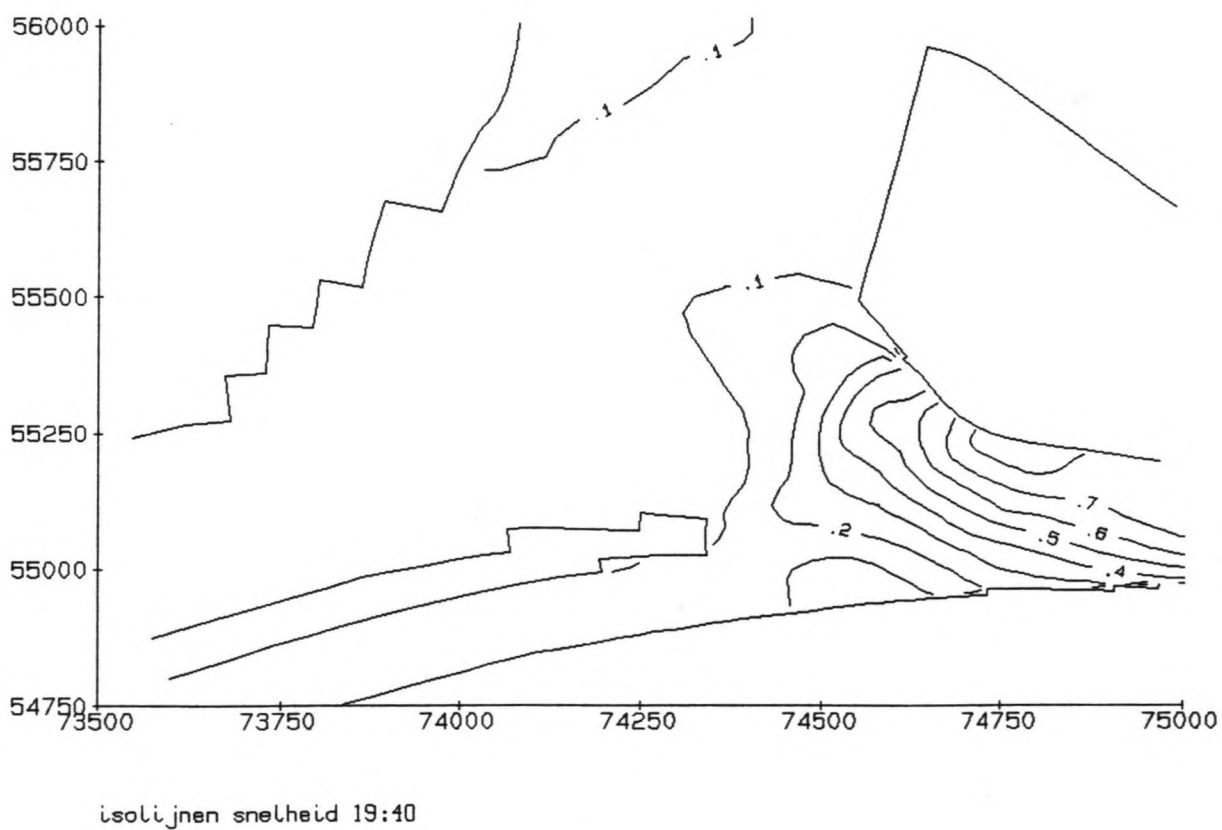
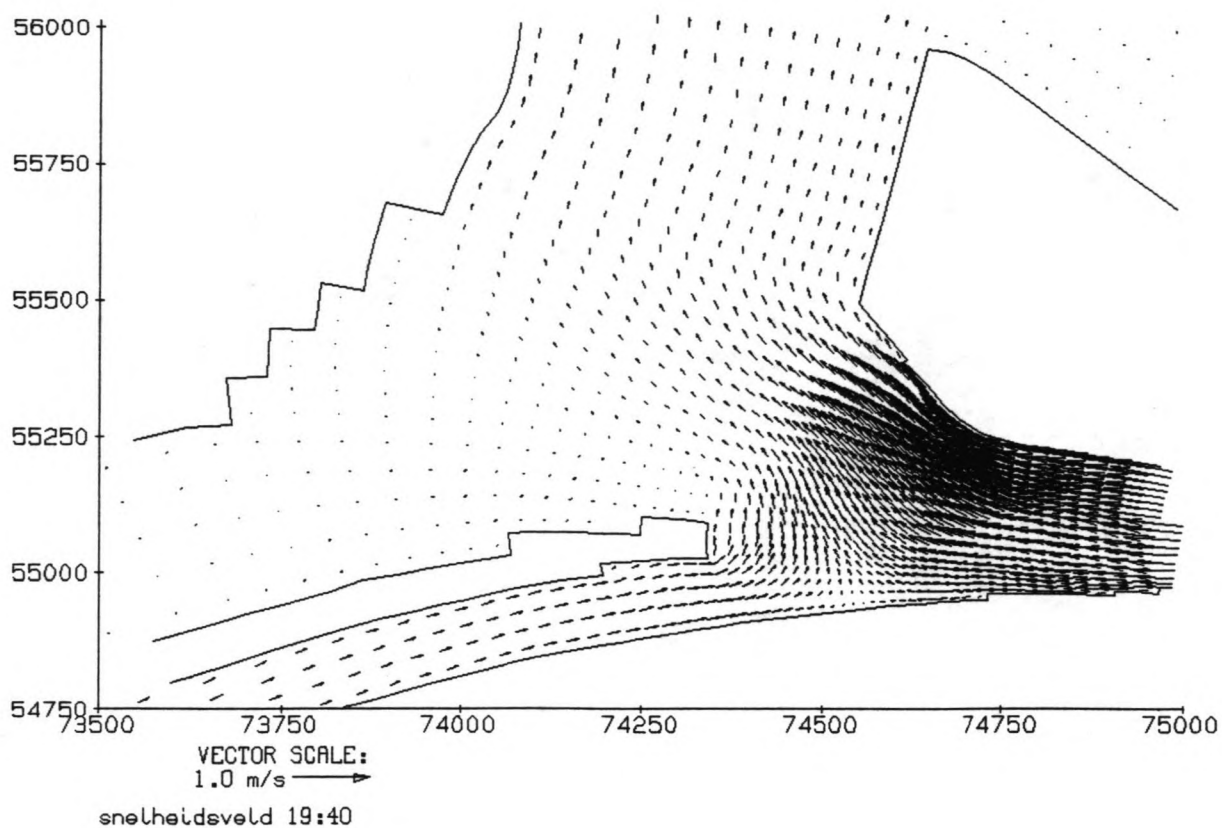
GEVOELIGHEIDSONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld 19:40 14/5/79 bij max. eb
400m opening; visc.= 0.3 (run ta3)

Afbeelding 8.4a-b



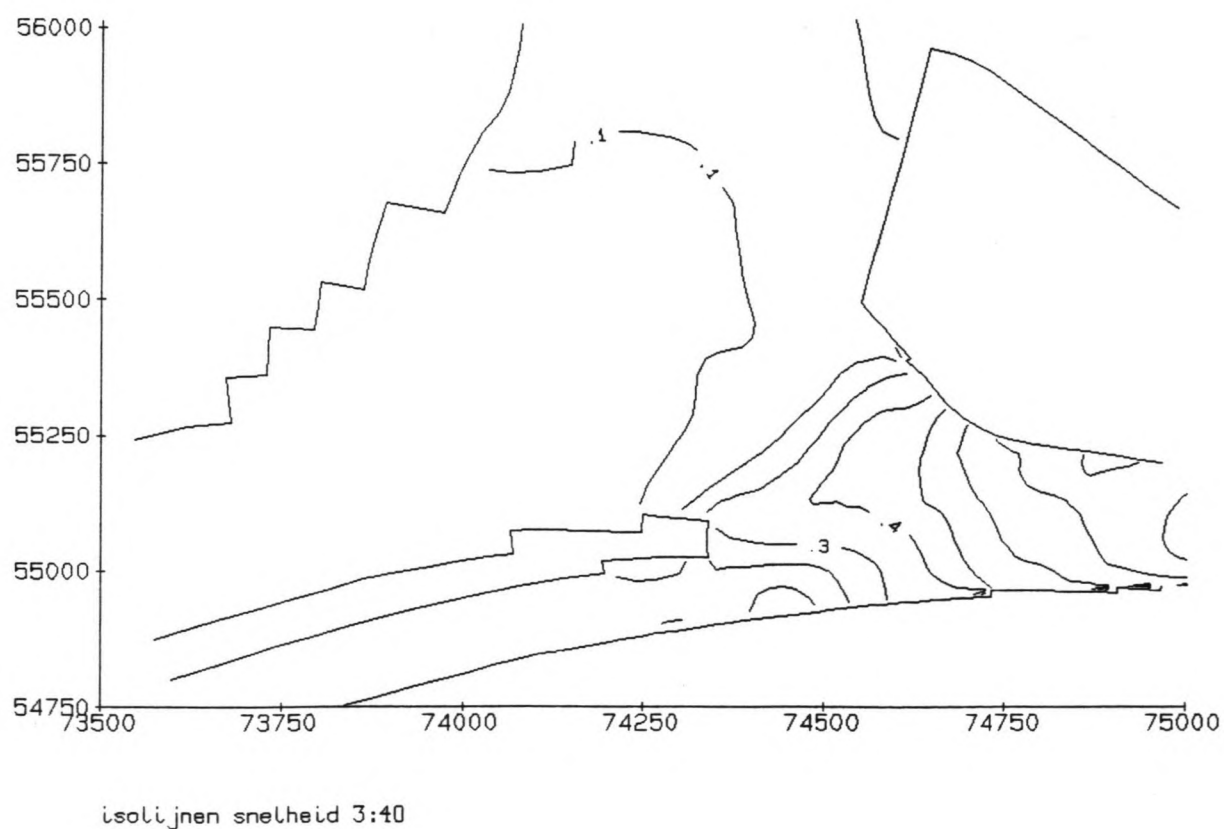
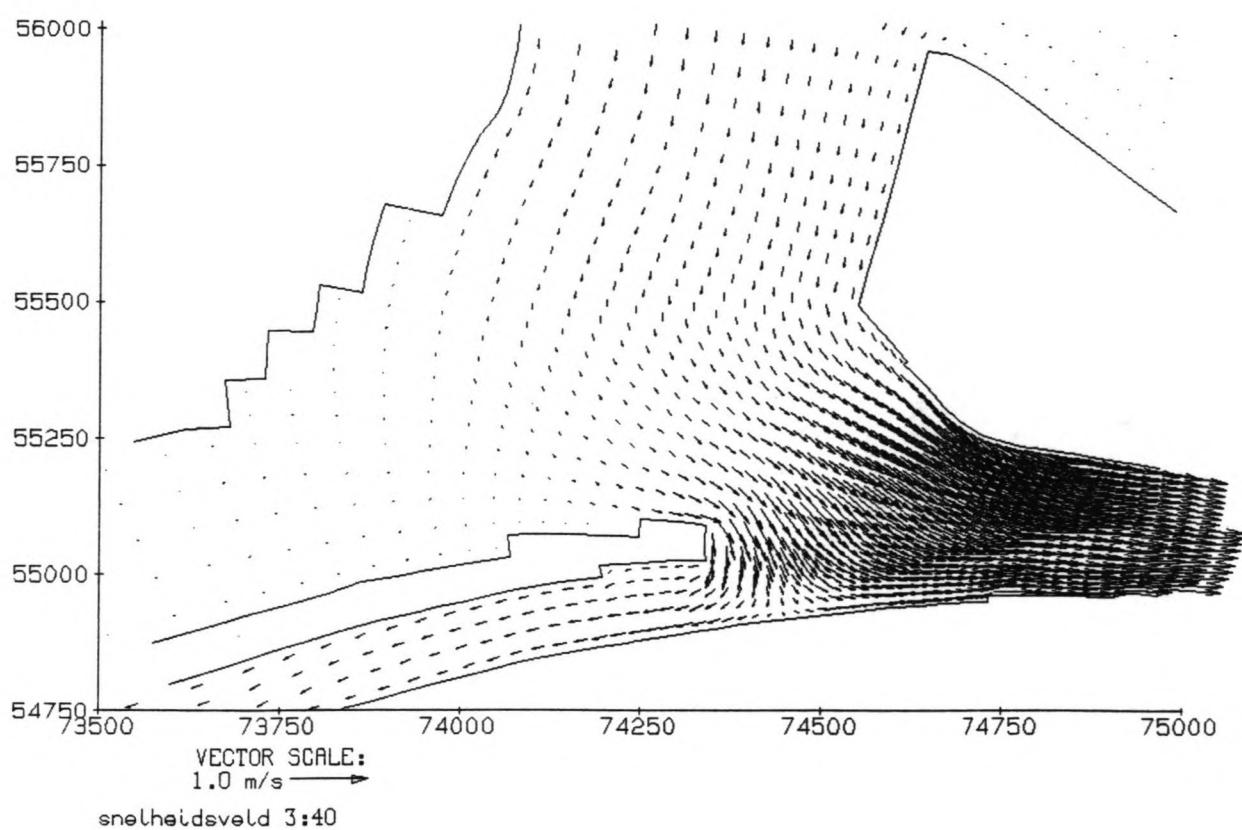
GEVOELIGHEIDSONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld 3:40 14/5/79 bij max. vloed
400m opening; visc. = 0.3 (run ta3)

Afbeelding 8.5a-b



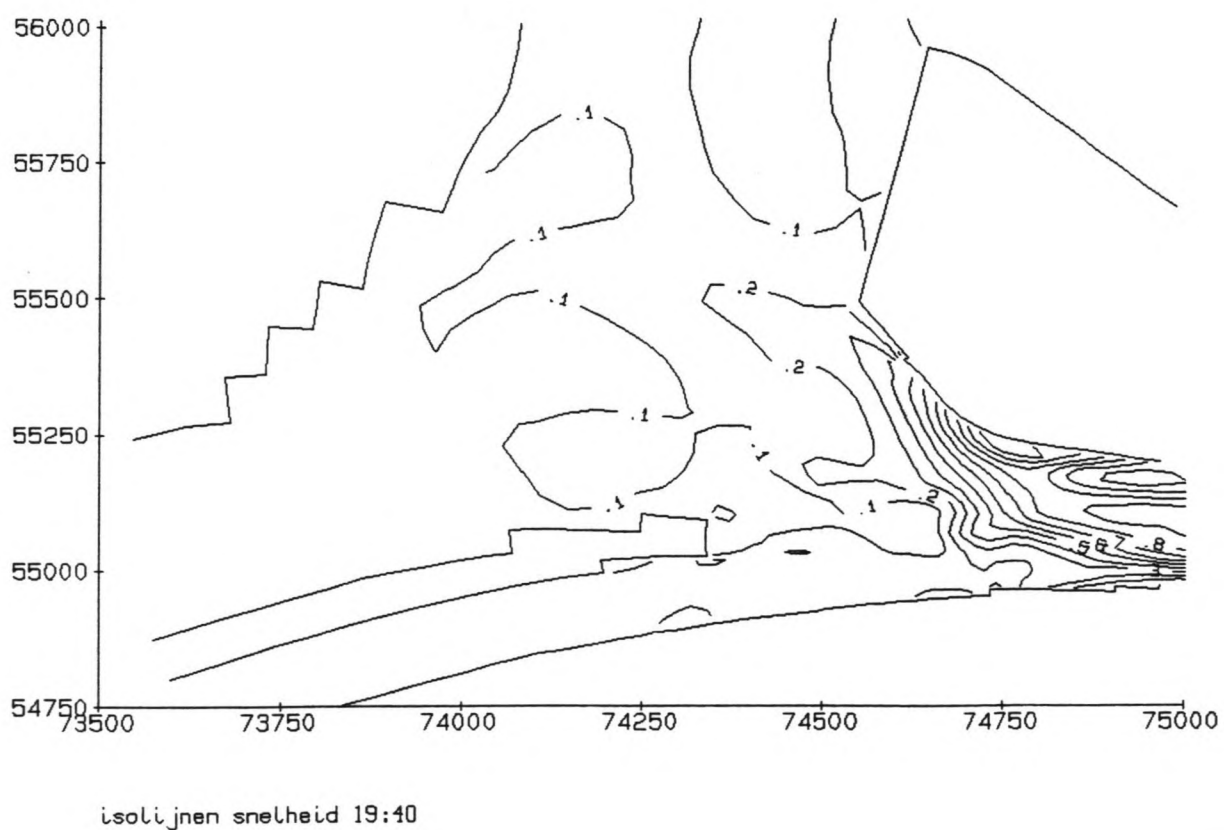
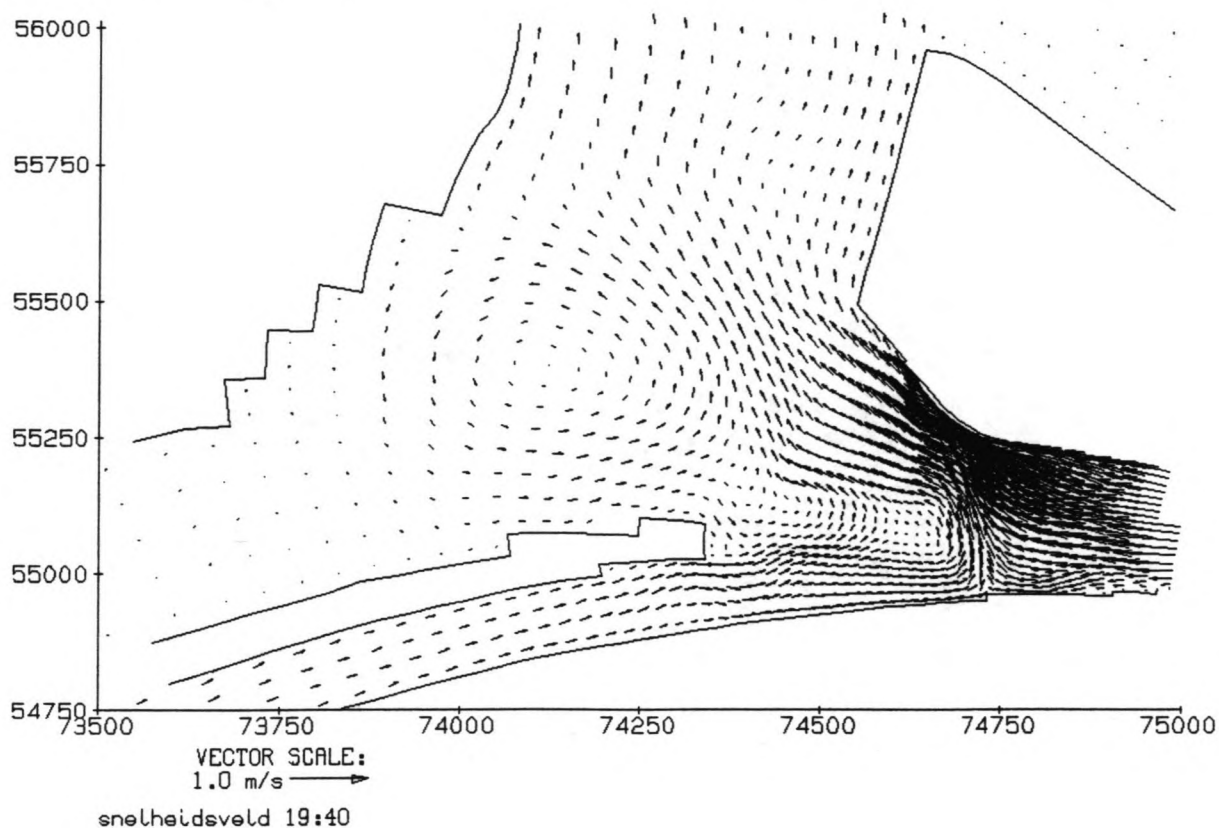
TIJDSAFHANKELIJK ONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld 19:40 14/5/79 bij max. eb
400m opening; visc.= 5.0 (run ta2)

Afbeelding 8.6a-b



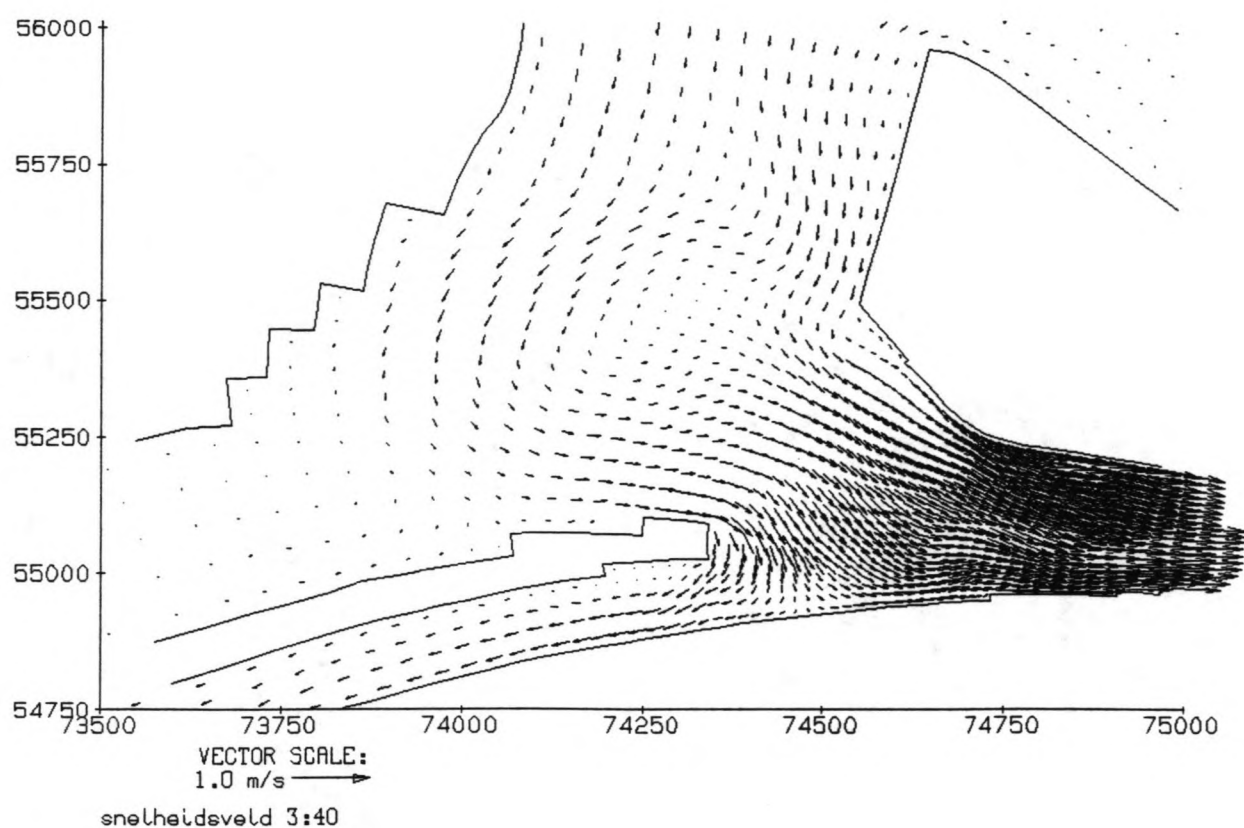
TIJDSAFHANKELIJK ONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld 3:40 14/5/79 bij max. vloed
400m opening; visc.= 5.0 (run ta2)

Afbeelding 8.7a-b



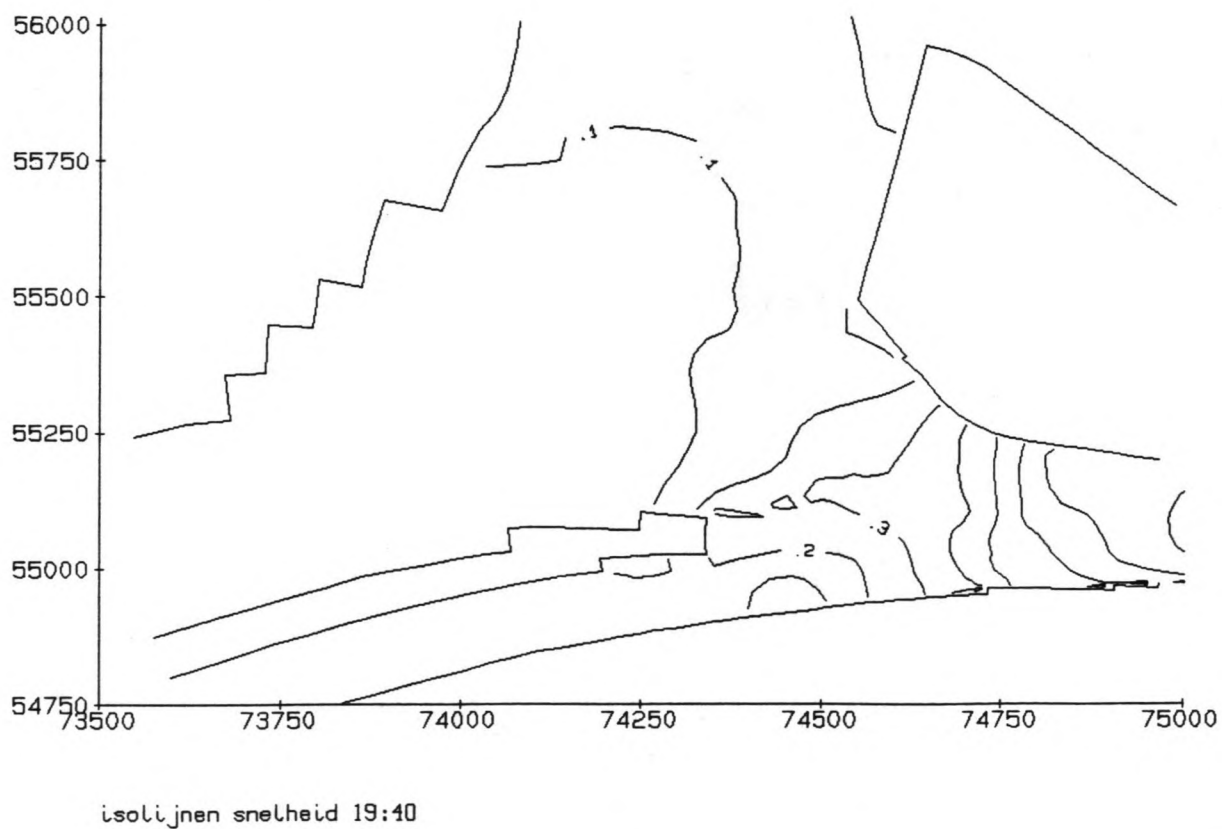
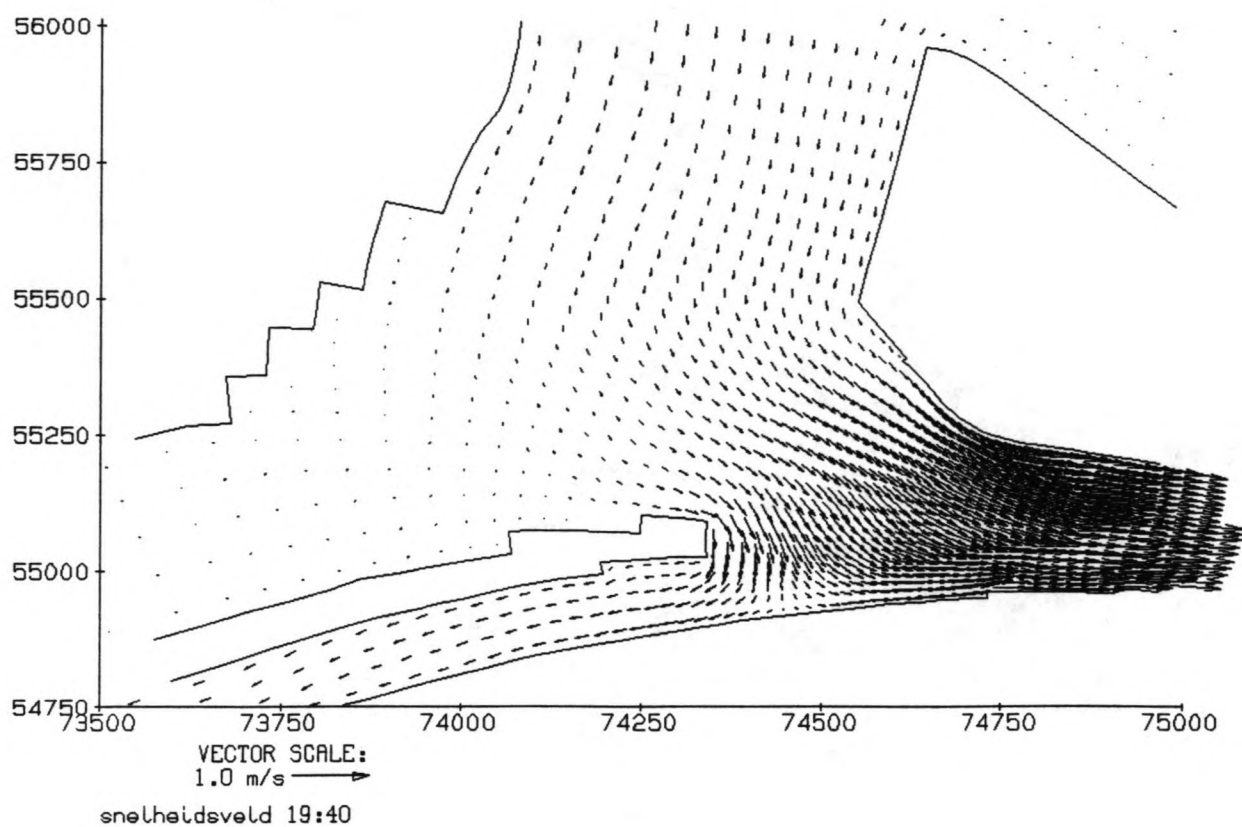
TIJDSAFHANKELIJK ONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld 19:40 14/5/79 bij max. eb
geul 1:20; visc.= 0.3 (run ta5)

Afbeelding 8.8 a-b



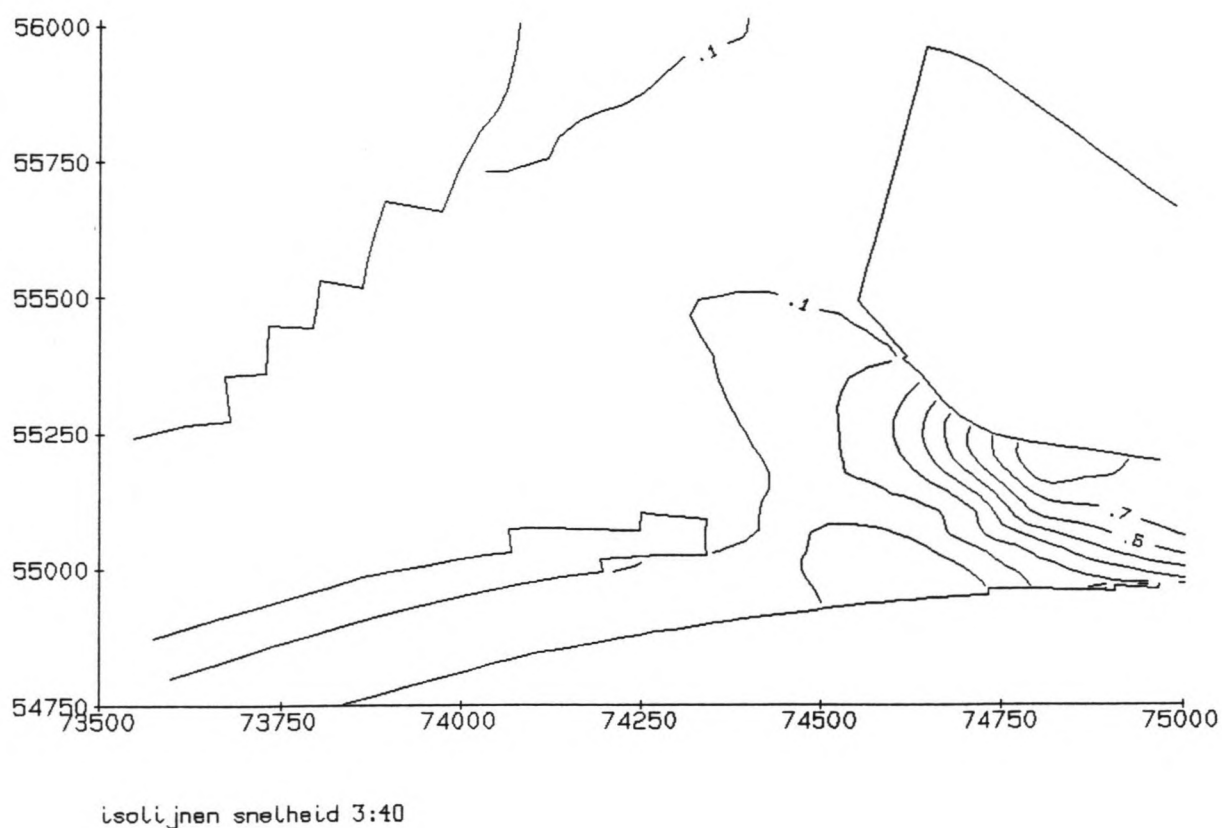
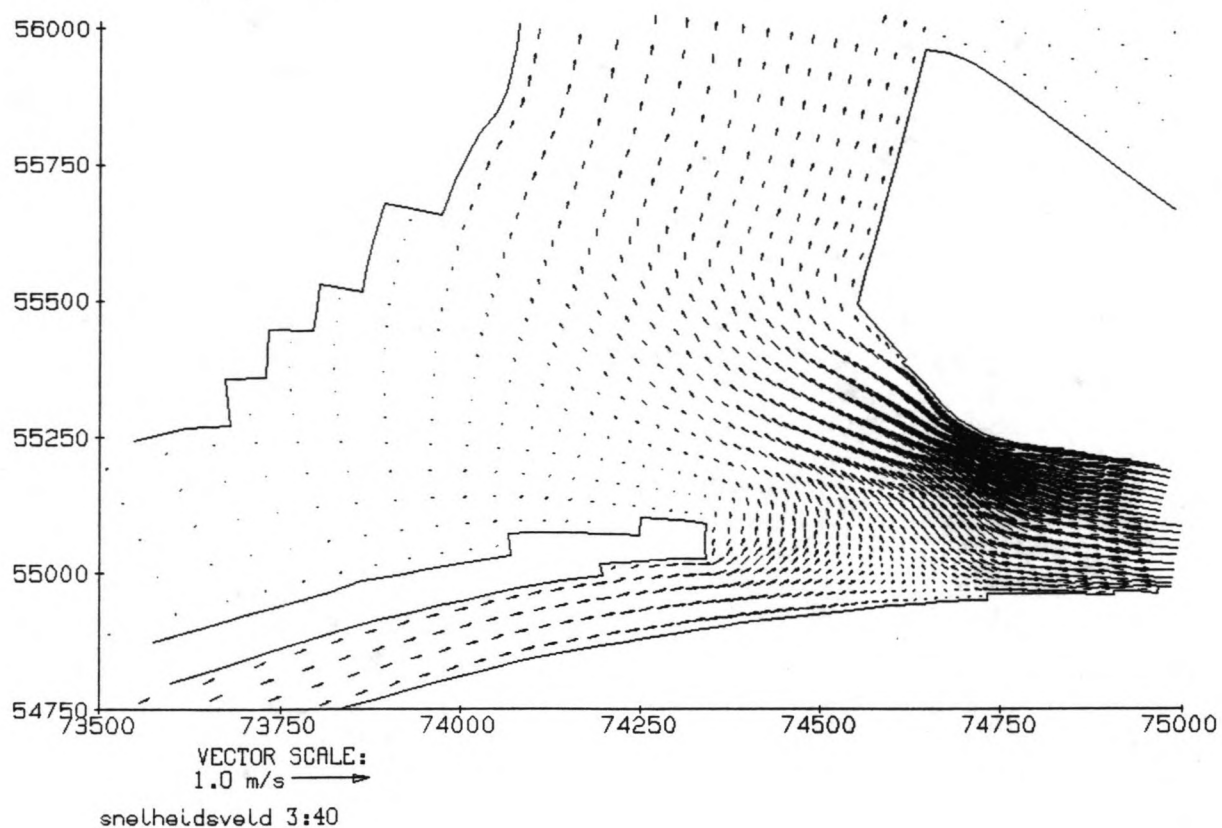
TIJDSAFHANKELIJK ONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld 3:40 14/5/79 bij max. vloed
geul 1:20; visc.= 0.3 (run ta5)

Afbeelding 8.9a-b



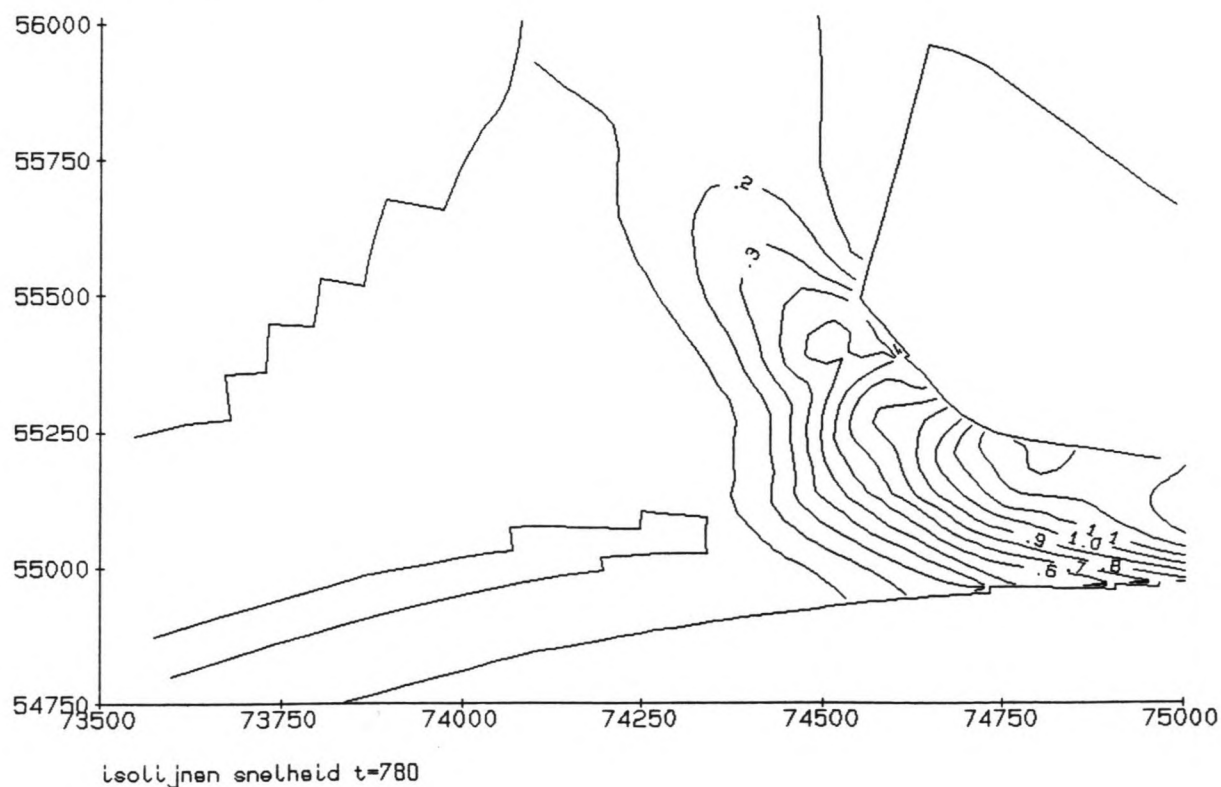
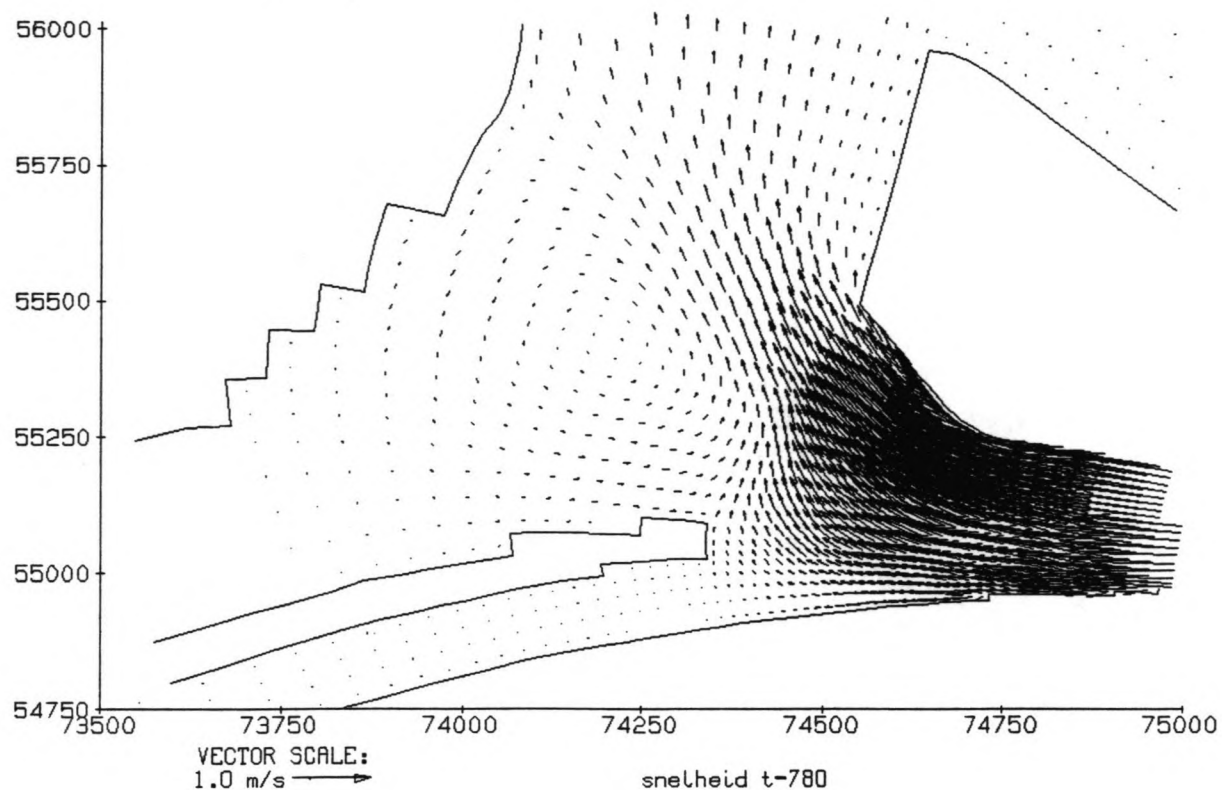
TIJDSAFHANKELIJK ONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld 19:40 14/5/79 bij max. eb
400m opening; visc. = 5.0 (run tal) *Gen 1:20*

Afbeelding 8.10 a-b



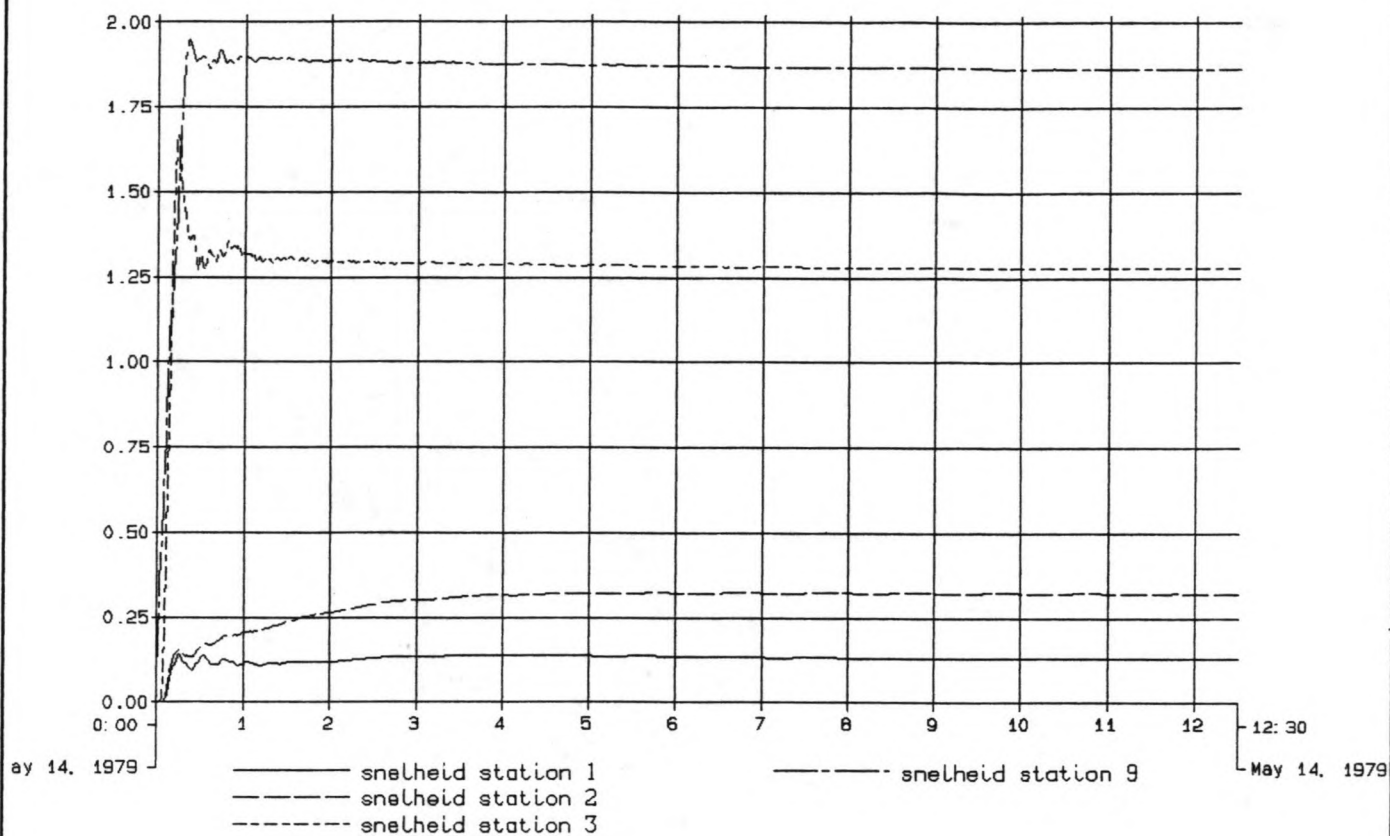
TIJDSAFHANKELIJK ONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld 3:40 14/5/79 bij max. vloed
400m opening; visc.= 5.0 (run tal) GEUL 1:20

Afbeelding 8.11 a-b

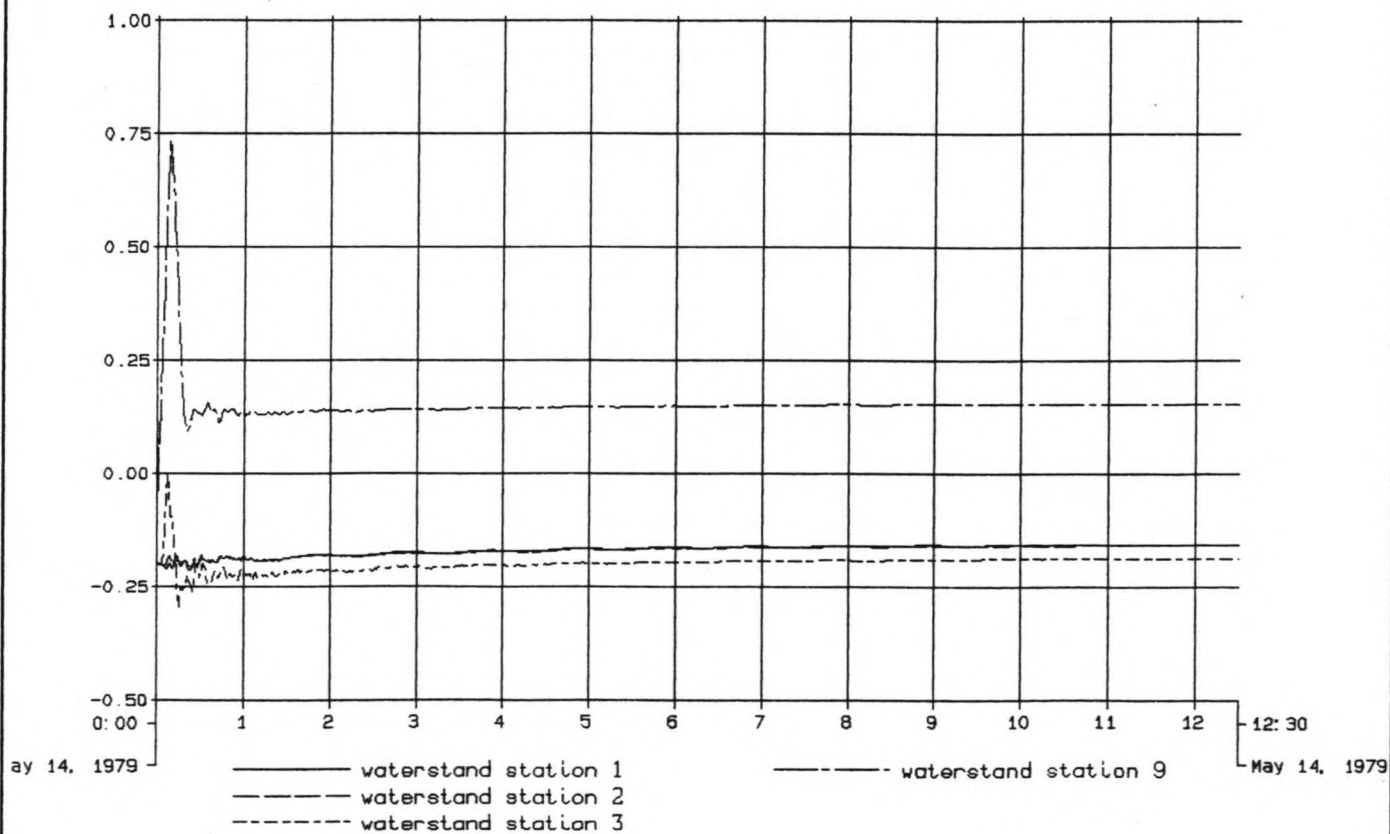


TIJDSAFHANKELIJK ONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=780 min. bij max. eb
400m opening; visc.= 5.0 (TESTCASE 1)

Afbeelding 8.12a-b



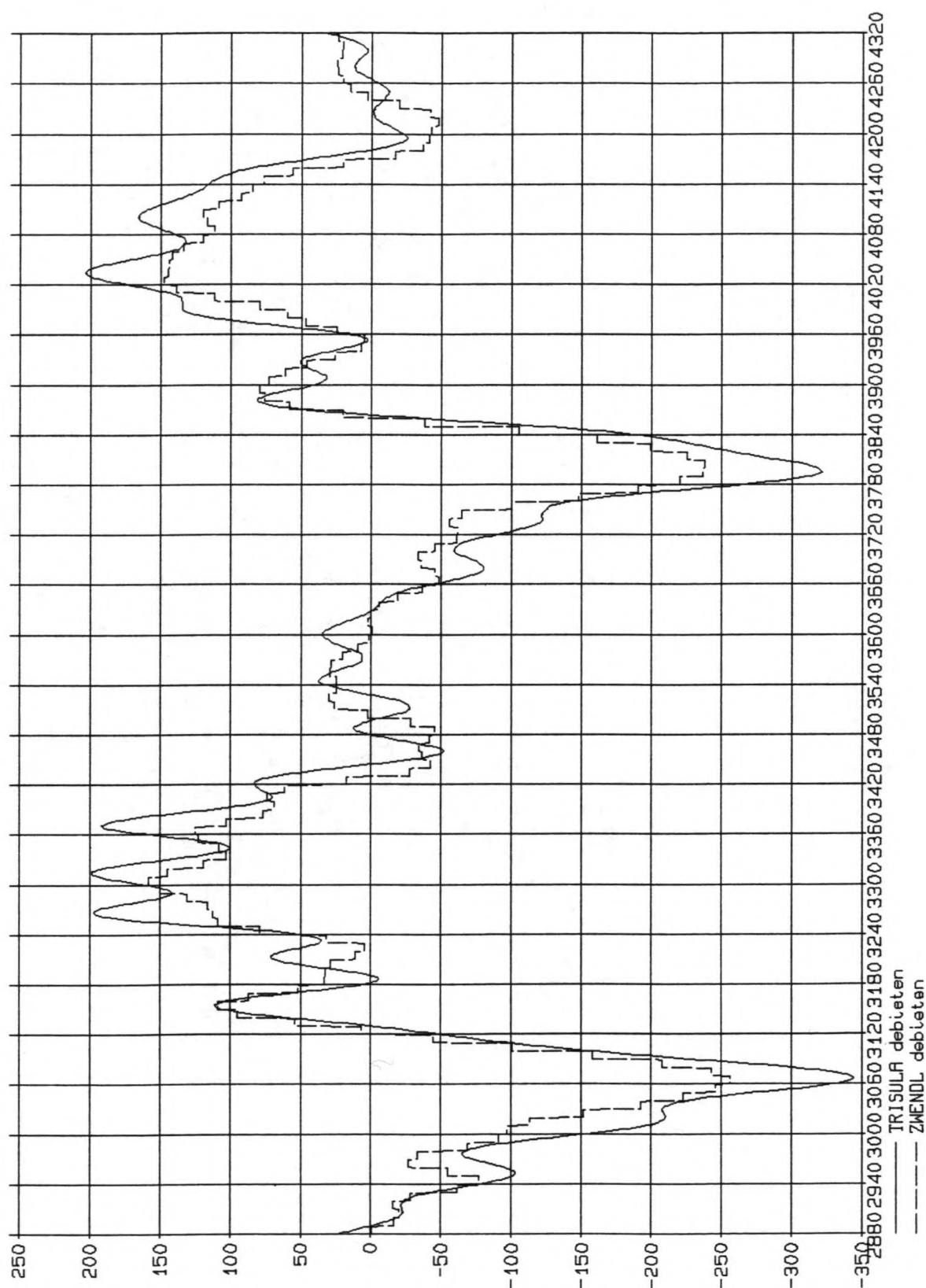
trih-tst.dat tst 940113 011637



GEVOELIGHEIDSONDERZOEK OPEN BEERDAM
400m opening; test max. ebconditie ; visc=5.0
(run tst)

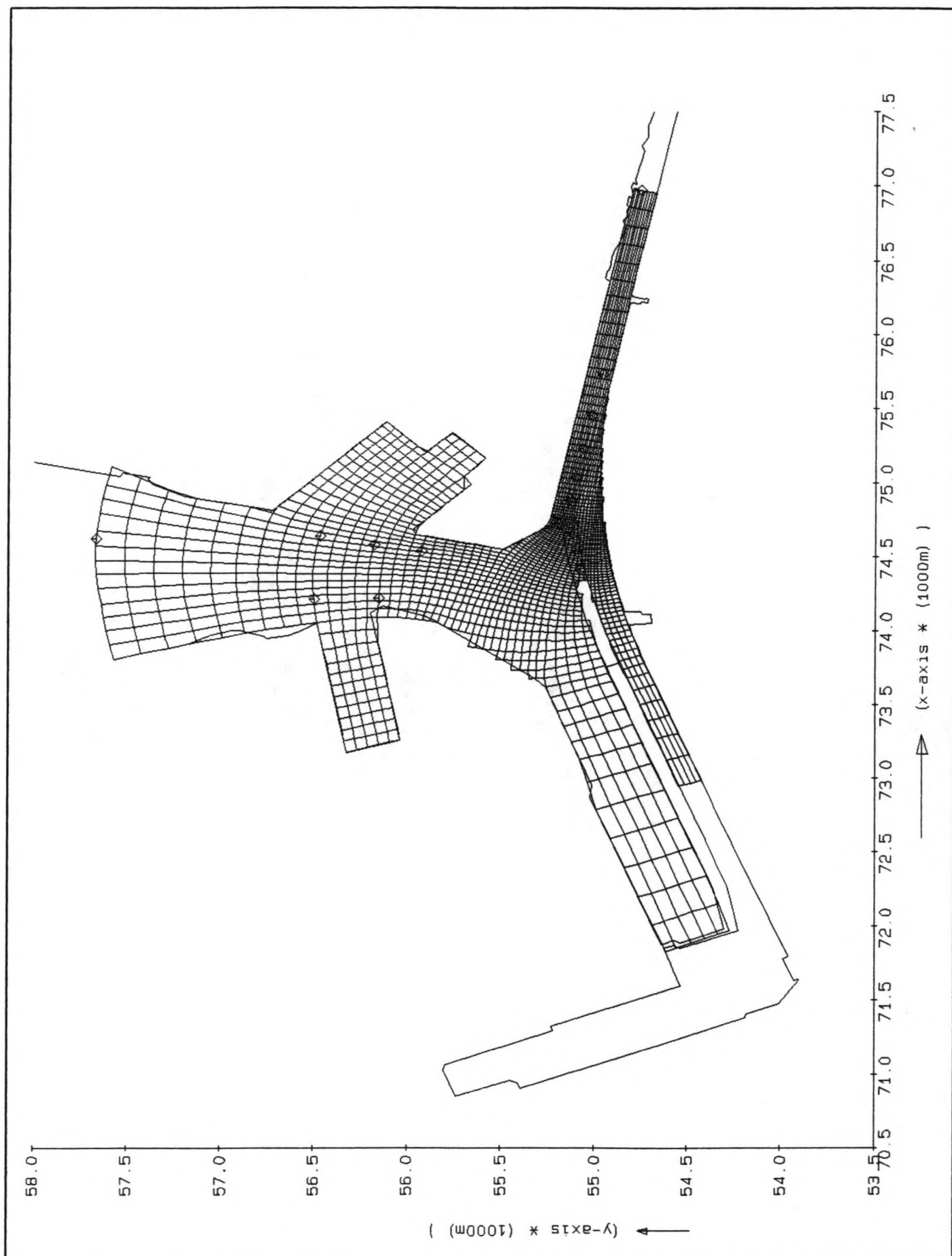
Afbeelding 8.13 a-b

DELFT HYDRAULICS

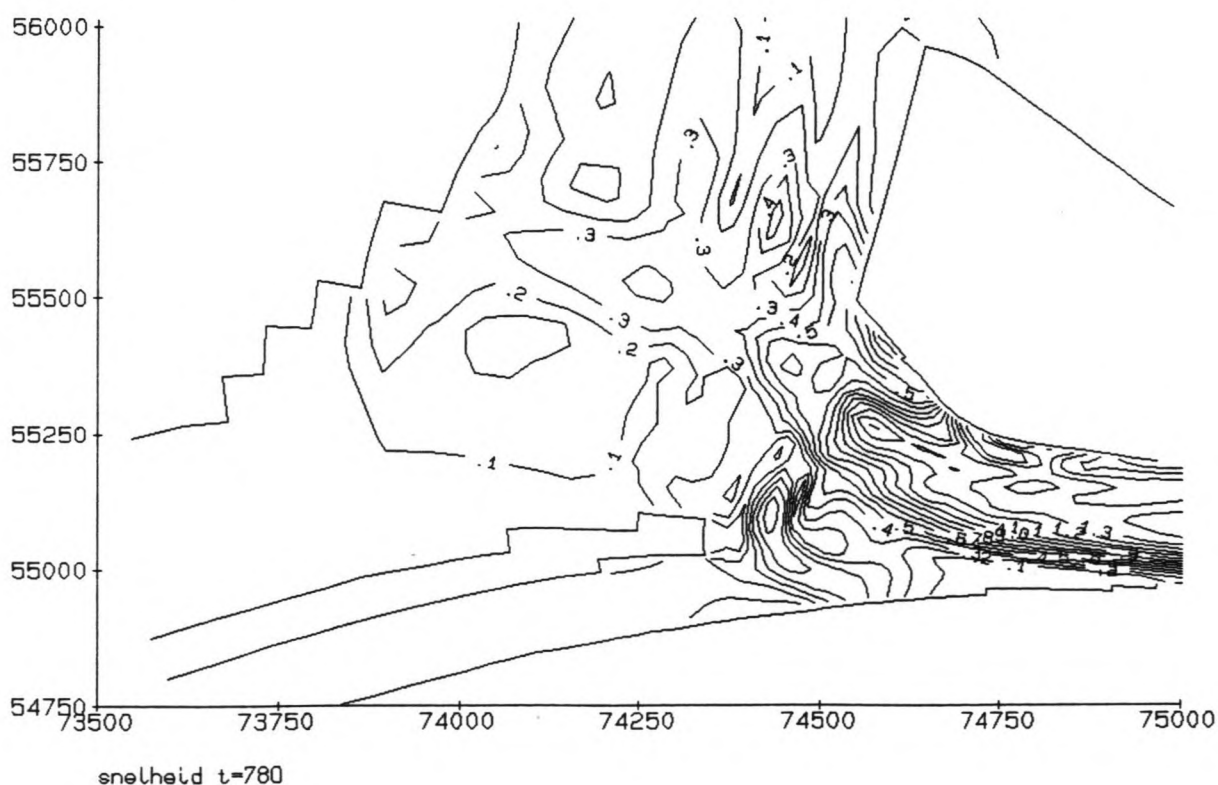
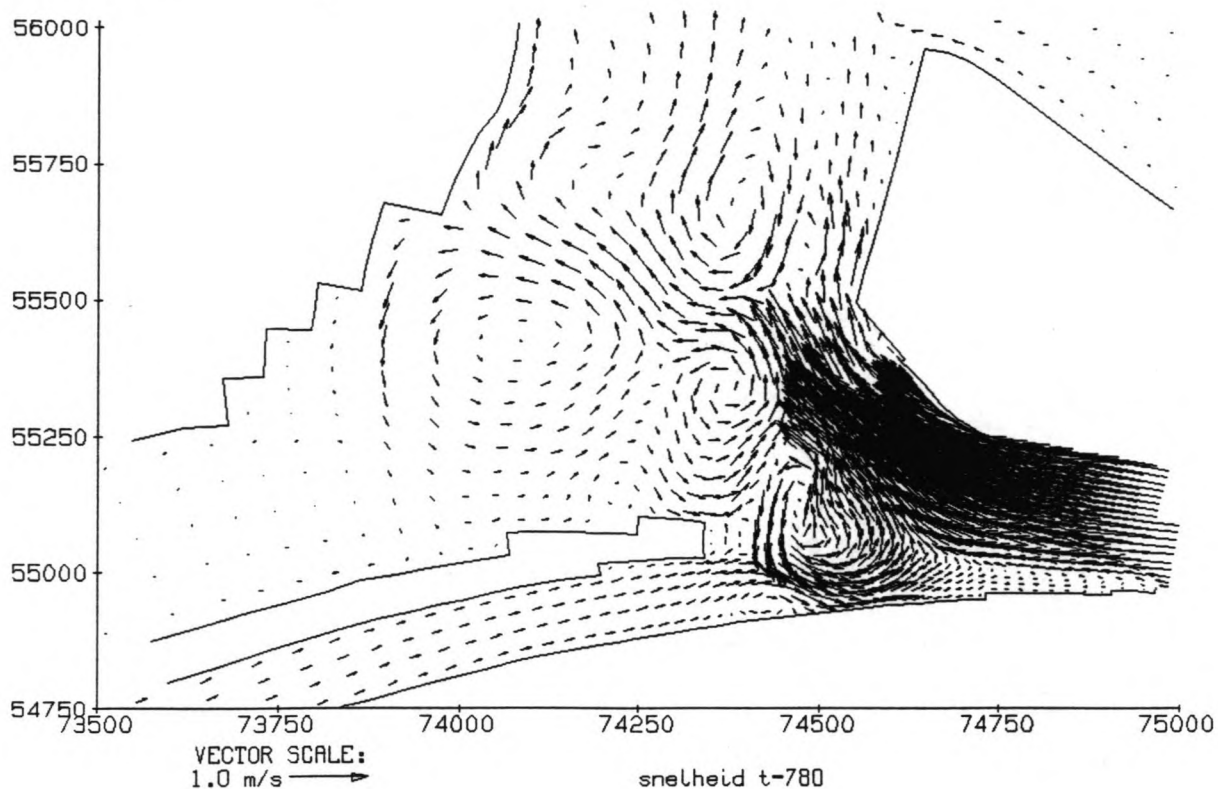


TIJDSAFHANKELIJK ONDERZOEK OPEN BEERDAM
 Debieten westelijke harteltak
 visc.=5.0; 14/05/79 - 15/05/79

Afbeelding 8.14

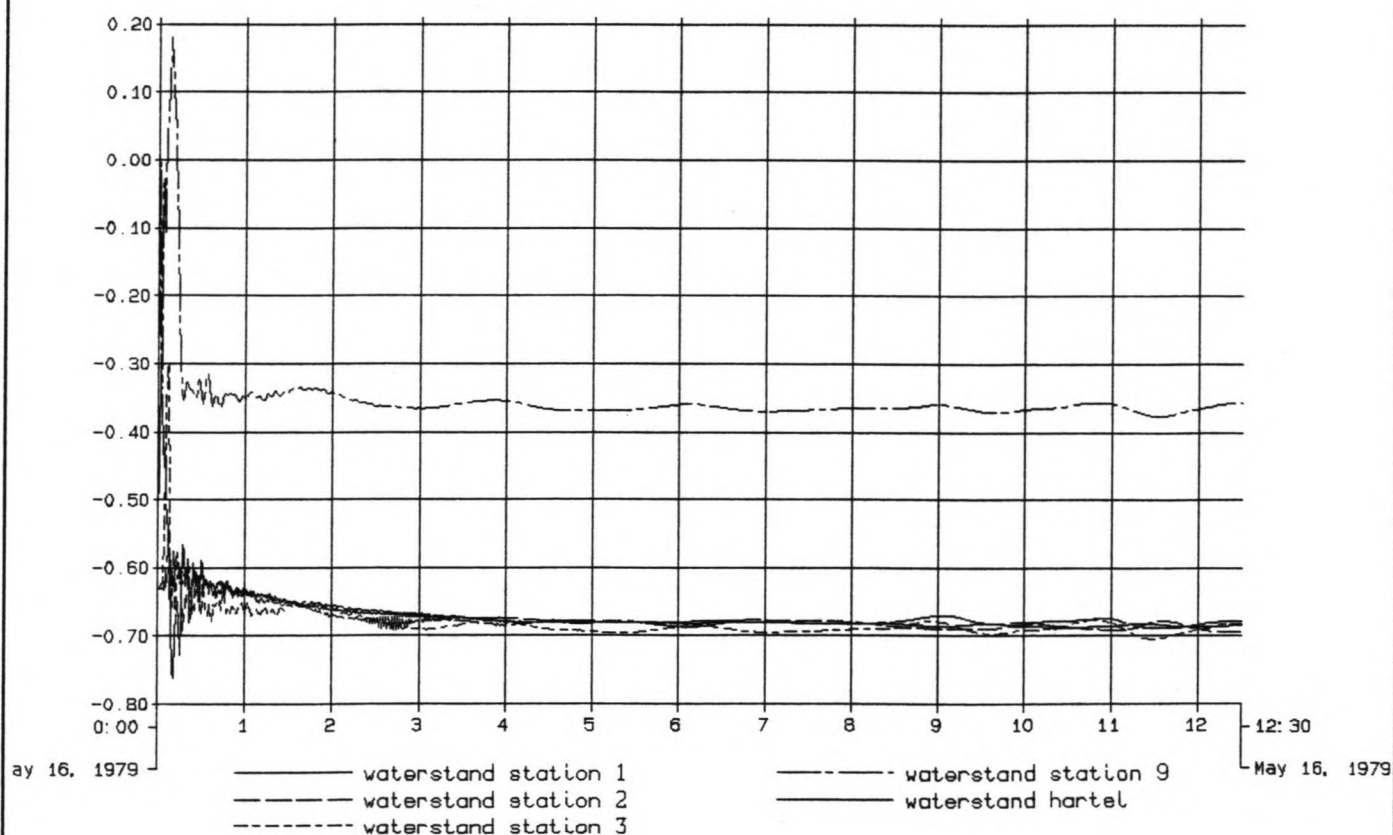
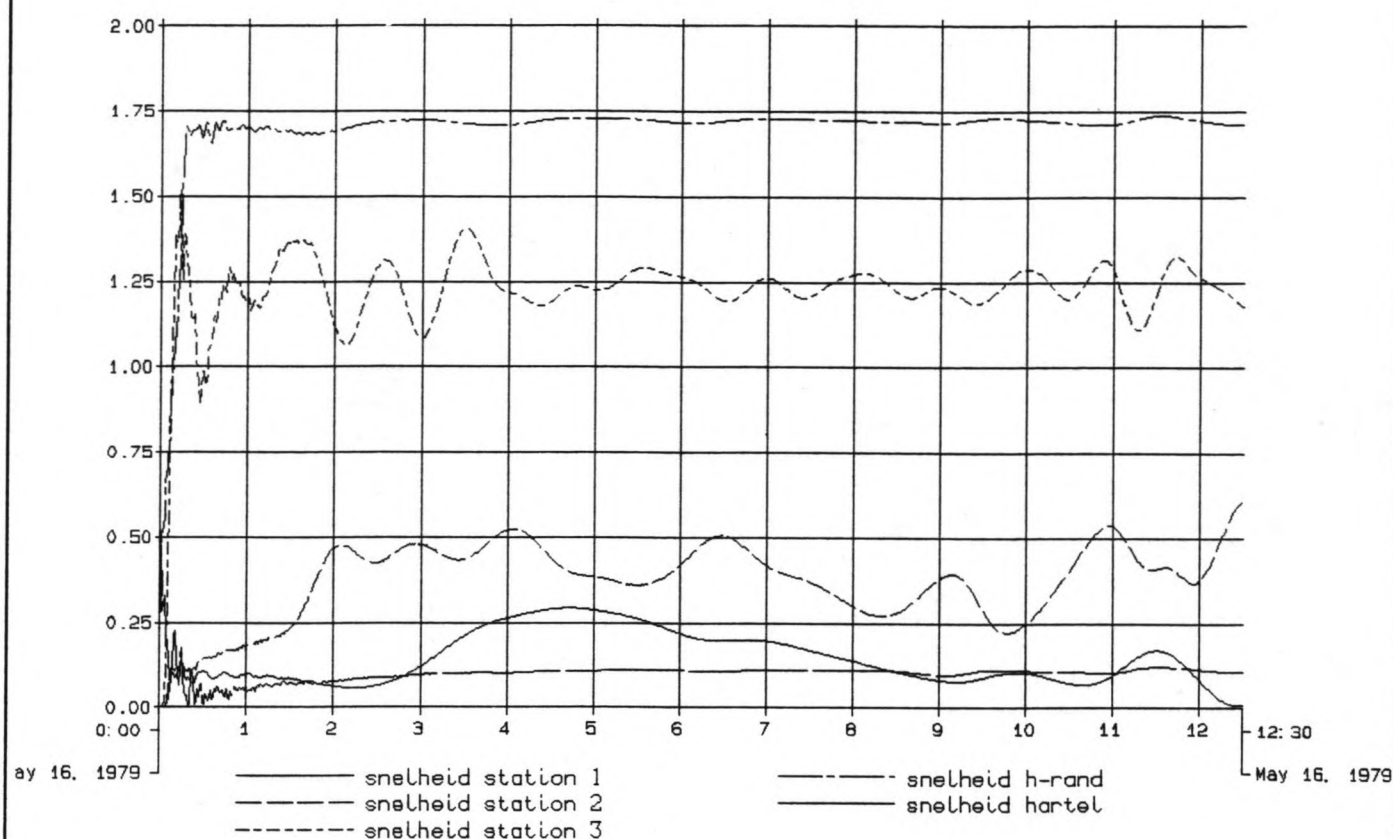


MODEL OPEN BEERDAM		
Trisula-grid / Landgrenzen	Afbeelding 8.15	
Grand Harteltak Berekeningen		



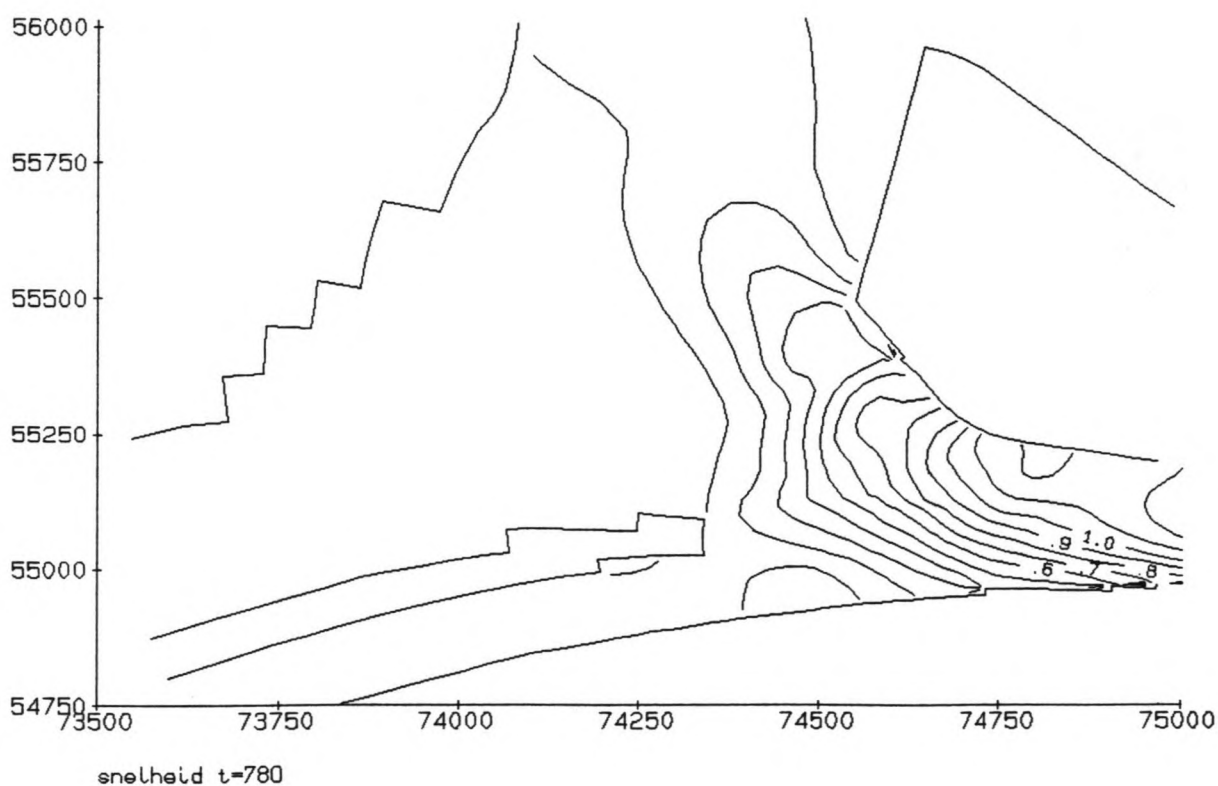
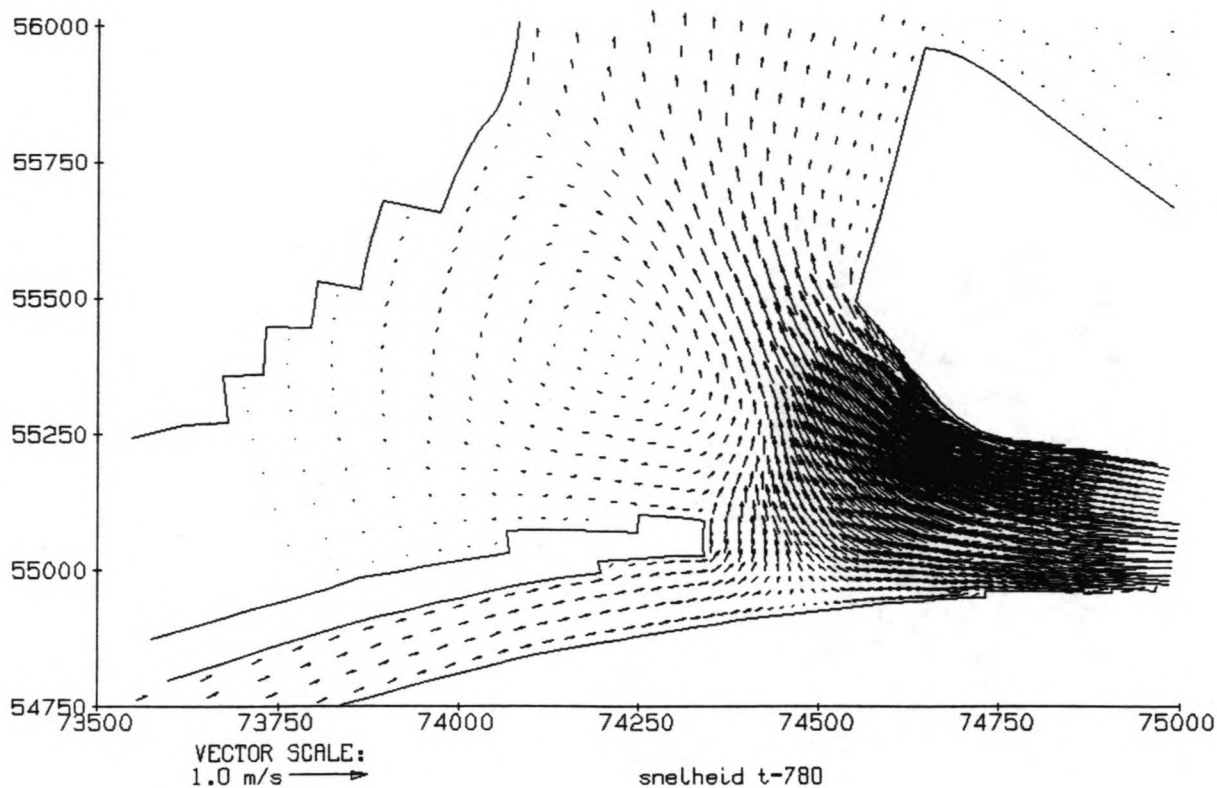
TIJDSAFHANKELIJK ONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=780 min.; eb; R-hartelrand
TESTCASE 2; visc.= 0.3 (run hb2)

Afbeelding 8.16a-b



TIJDSAFHANKELIJK ONDERZOEK OPEN BEERDAM
 TESTCASE 2; R-rand Harteltak
 visc.=0.3; R9=-1.21; rhartel=-0.67 (run hb2)

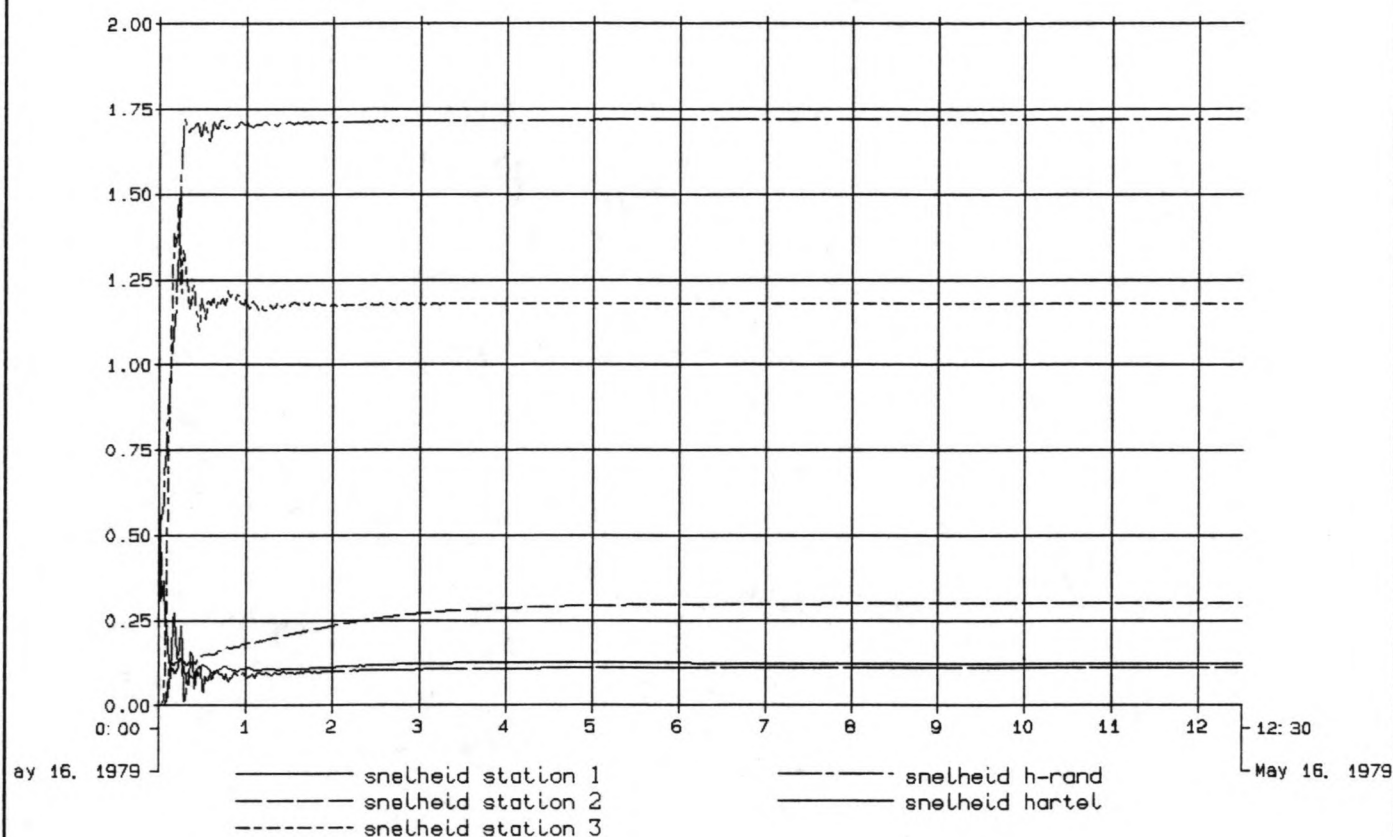
Afbeelding 8.17



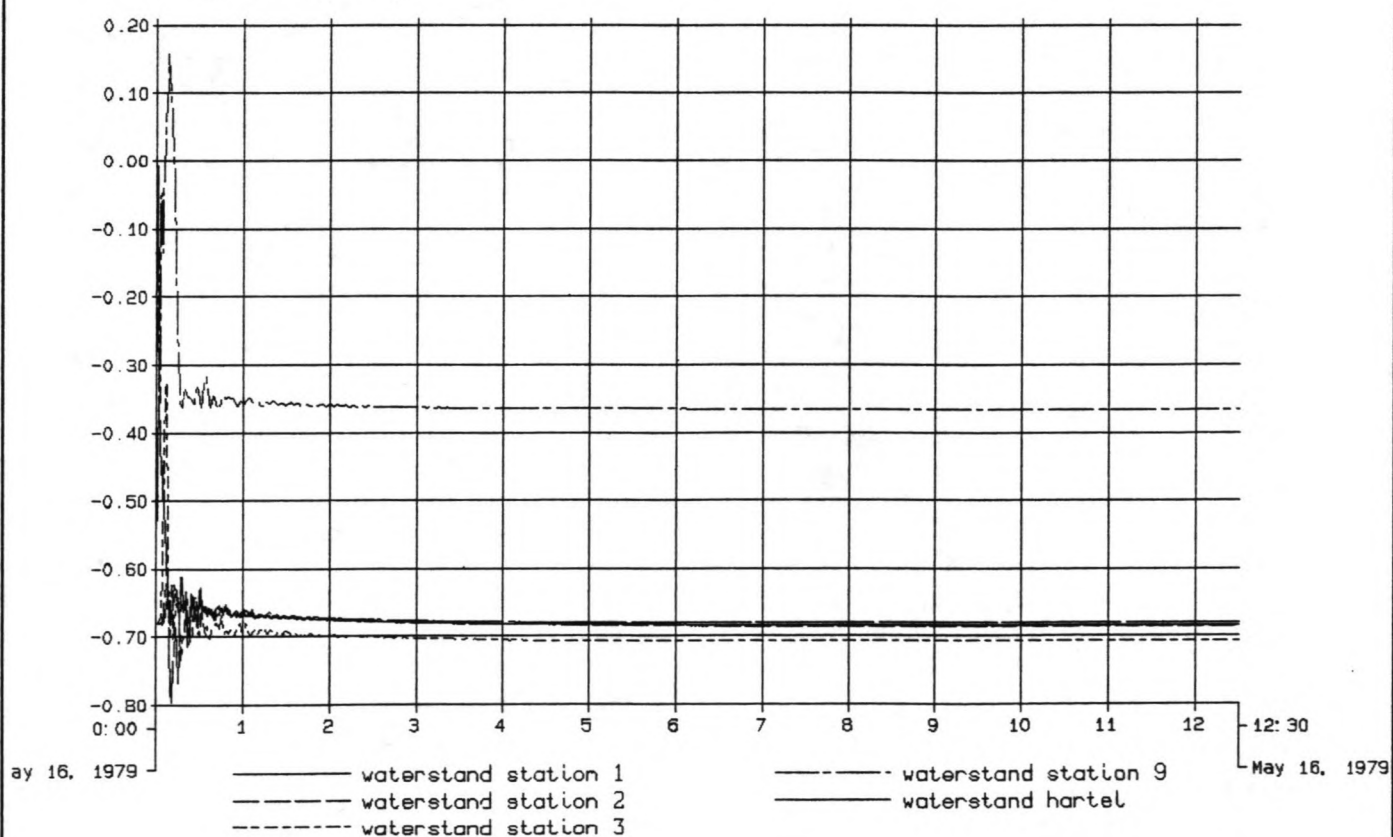
TIJDSAFHANKELIJK ONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=780 min.; eb; R-hartelrand
TESTCASE 2; visc.= 5.0 (run hb4)

Afbeelding 8.18 a-b

afbeelding 8.



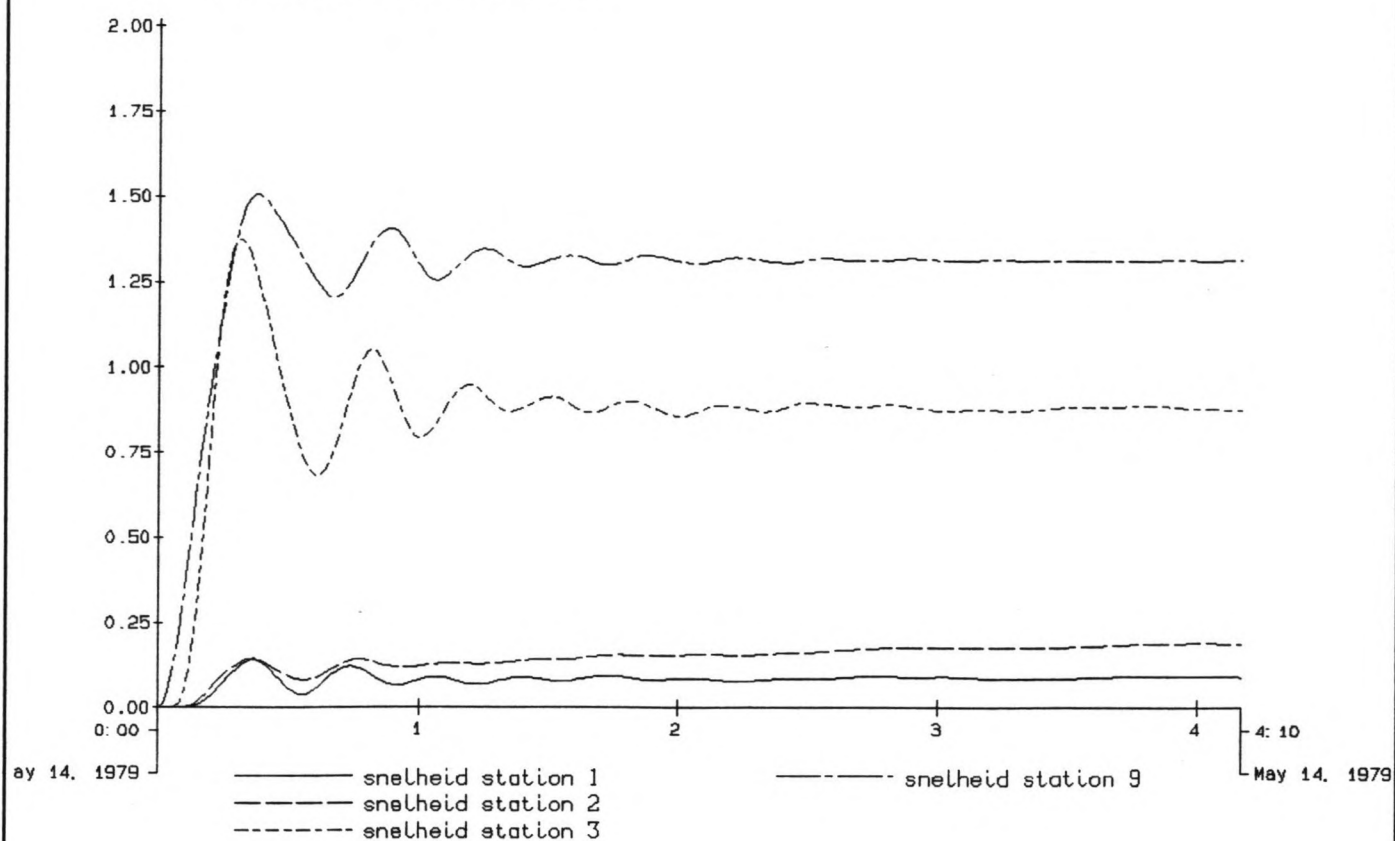
afbeelding 8.1



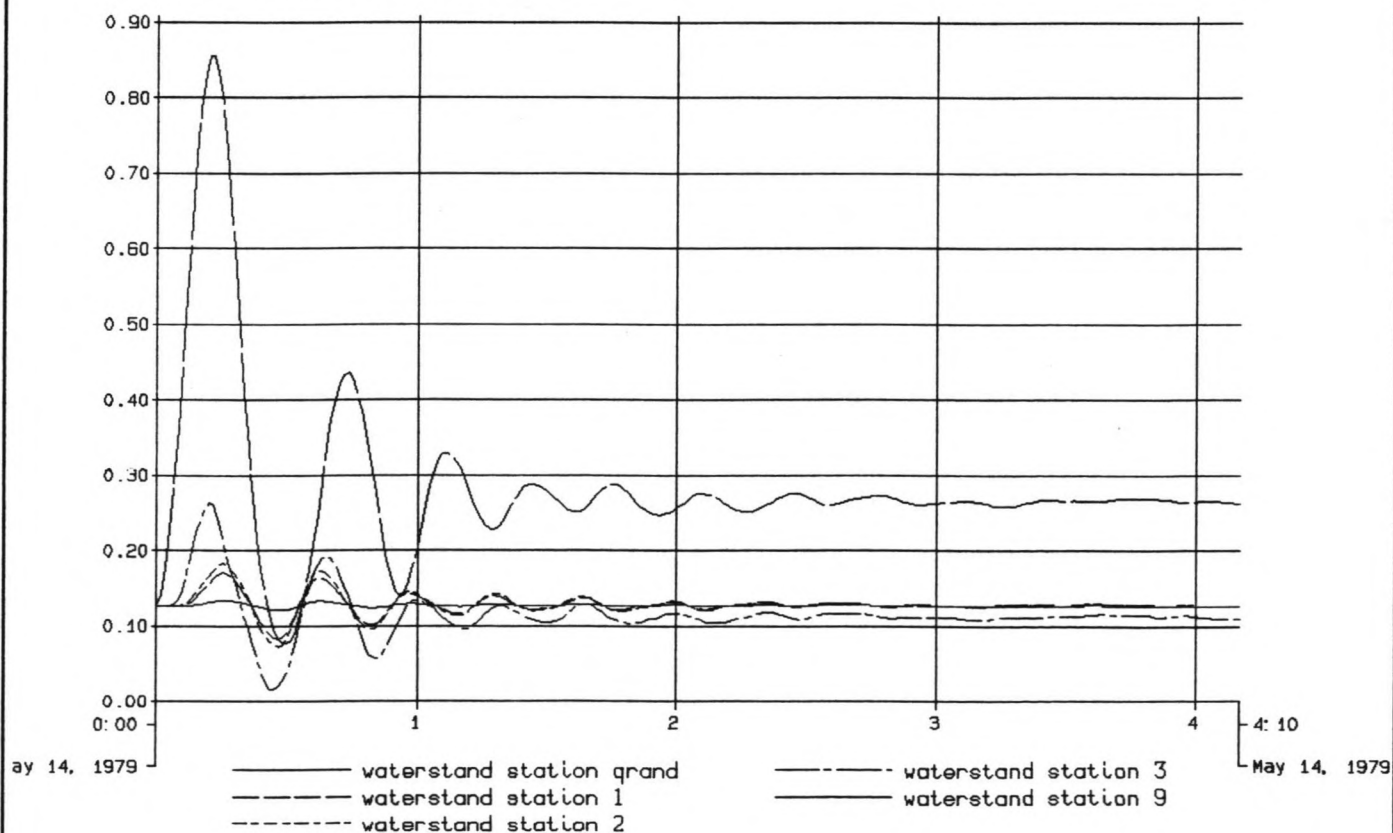
TIJDSAFHANKELIJK ONDERZOEK OPEN BEERDAM
 TESTCASE 2; R-rand Harteltak
 visc.=5.0; R9=-1.21; rhartel=-0.67 (run hb4)

Afbeelding 8.19

trih-tst.dat tst 940419 102656



trih-tst.dat tst 940419 102656



GEVOELIGHEIDSONDERZOEK OPEN BEERDAM

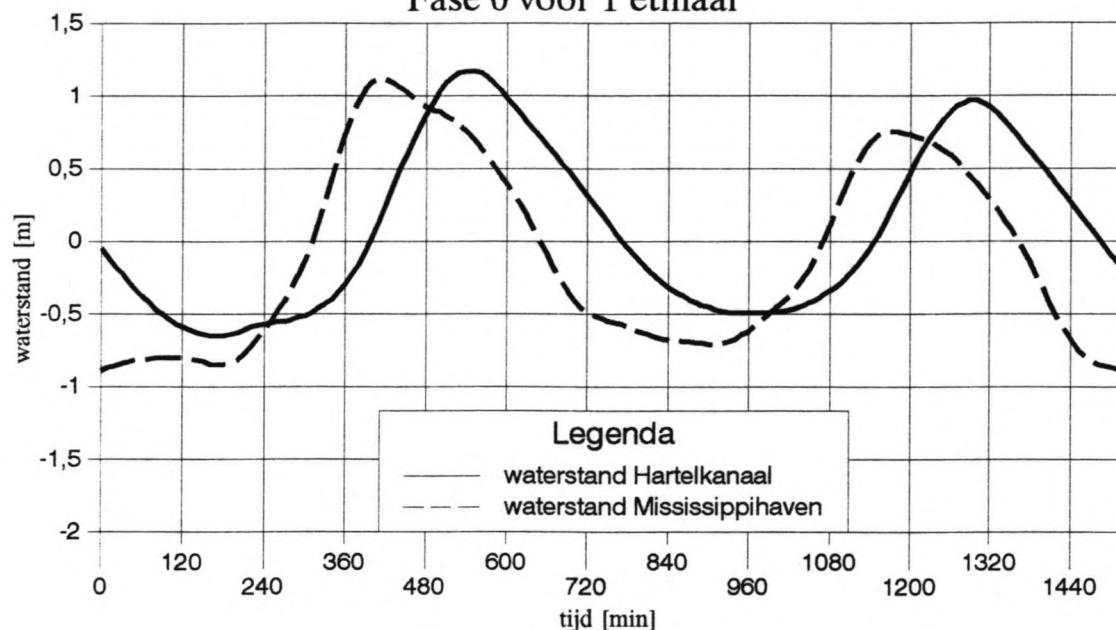
400m opening; test max. ebconditie ; visc=5.0
 (run tst)

Afbeelding 8.20

DELFT HYDRAULICS

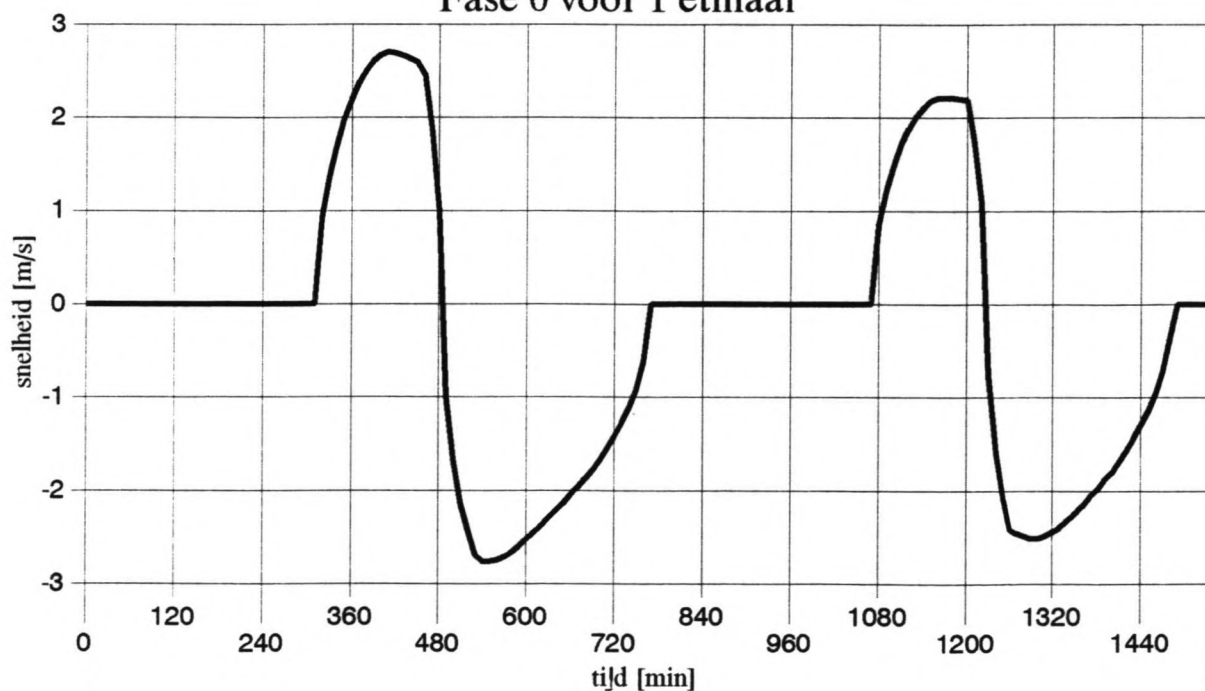
Waterstanden gesloten Beerdam

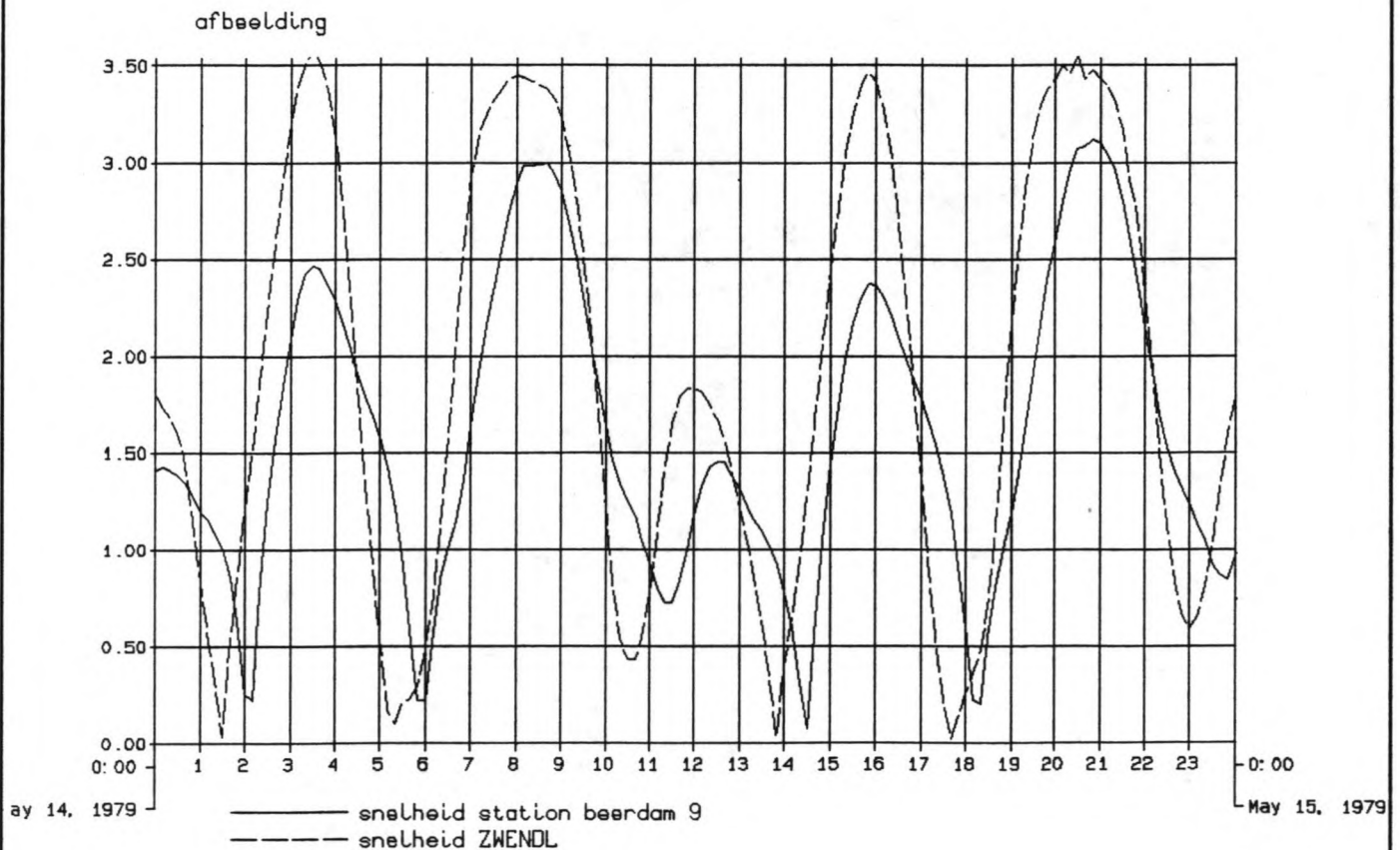
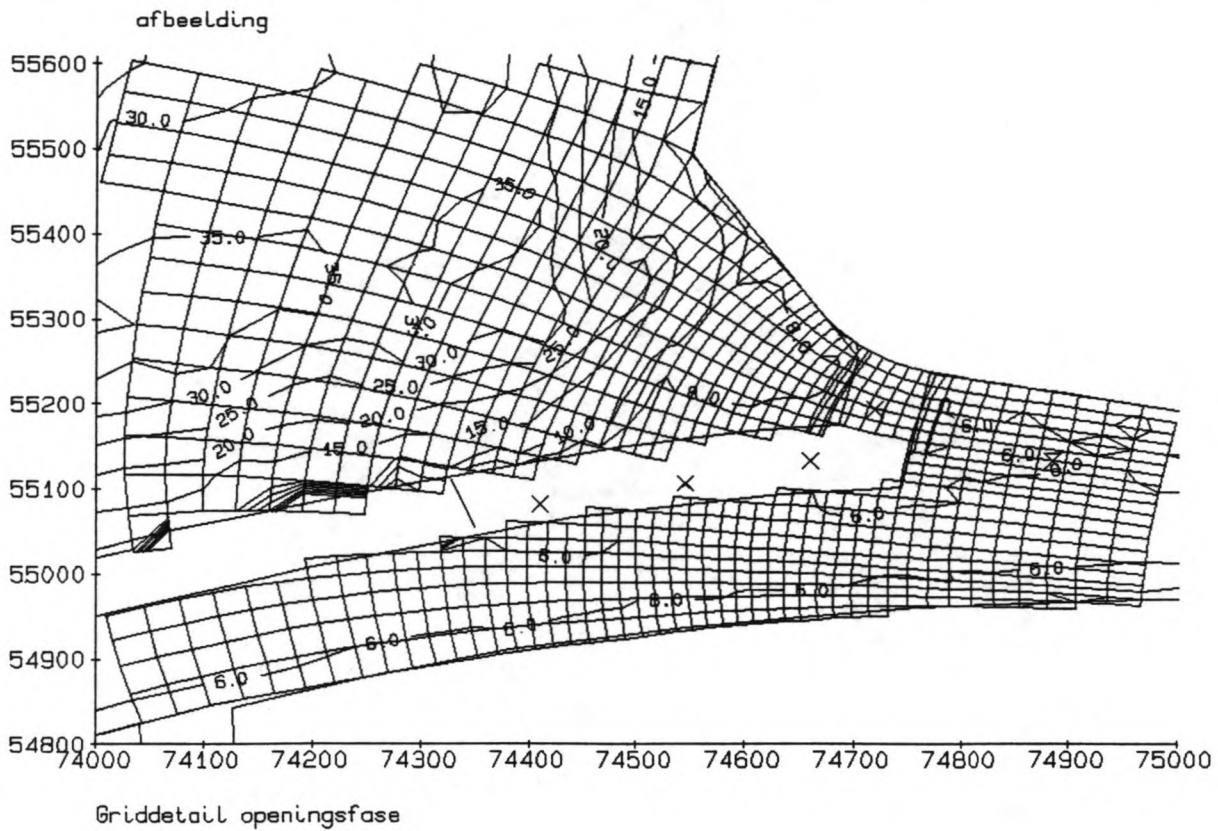
Fase 0 voor 1 etmaal



Snelheden handberekening

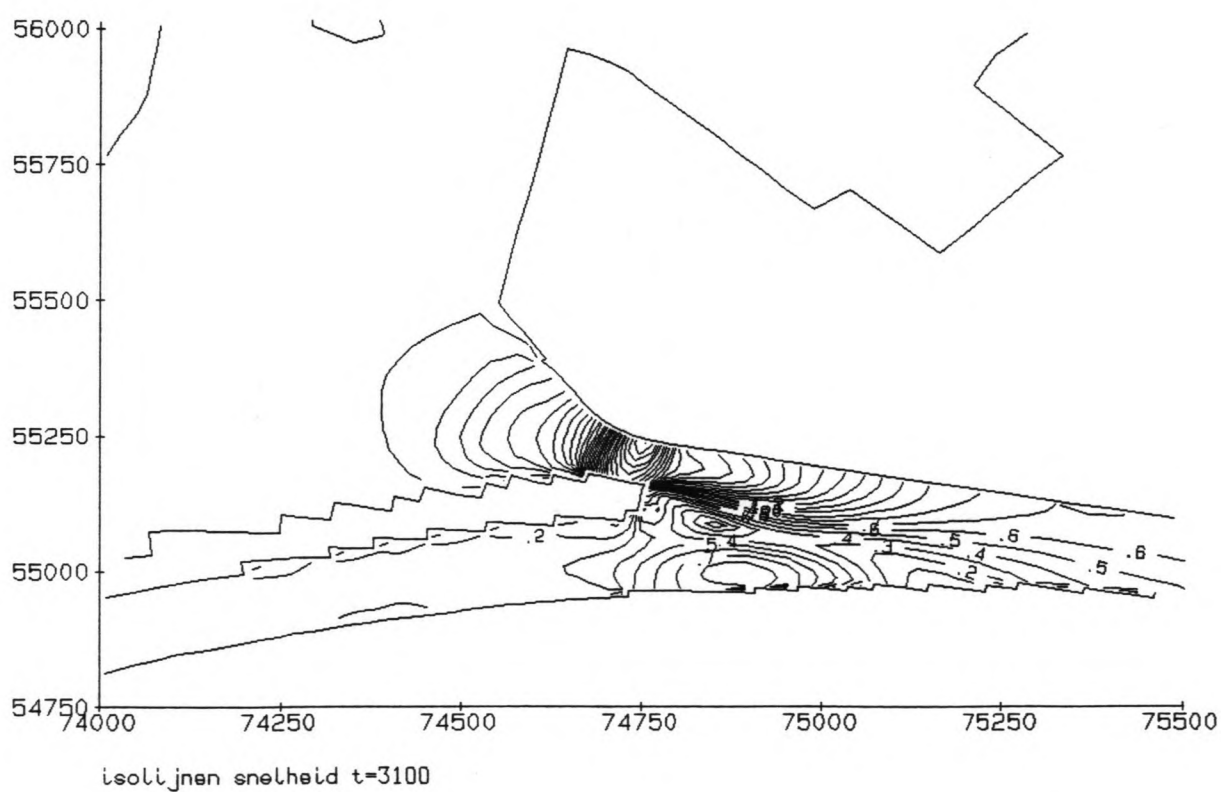
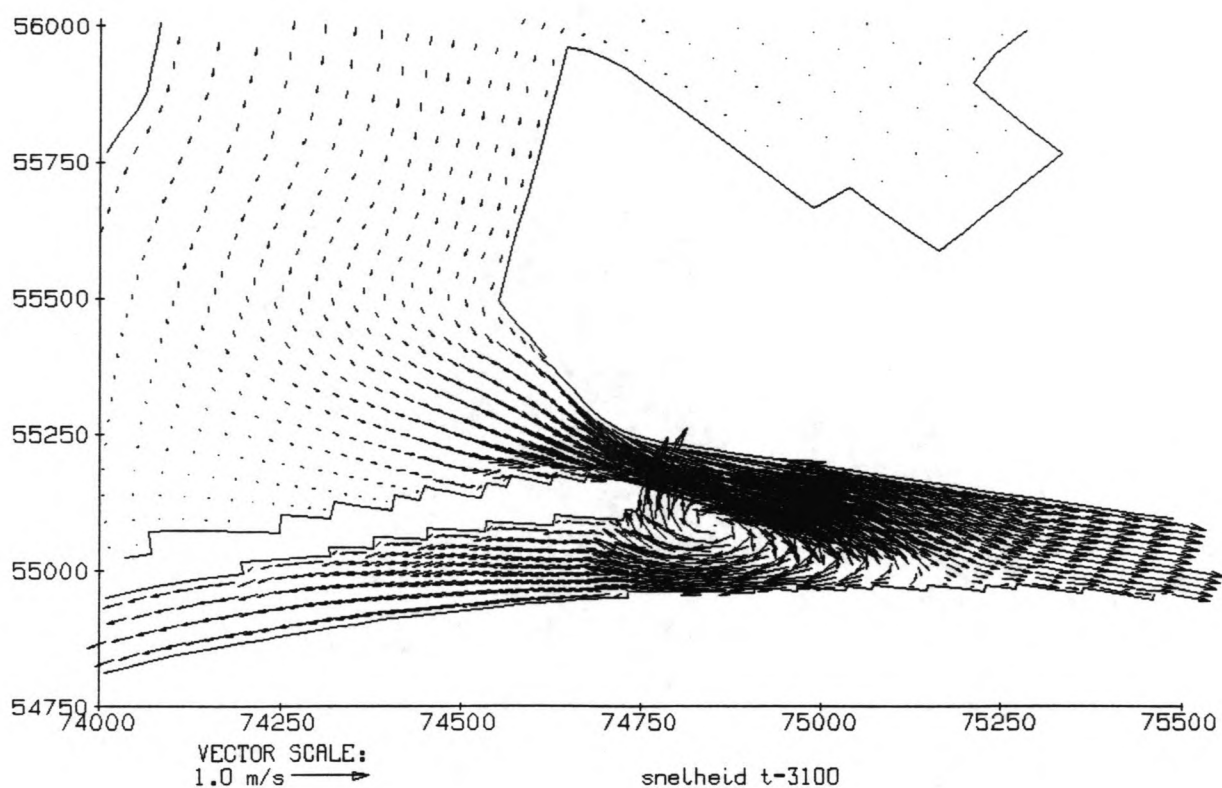
Fase 0 voor 1 etmaal





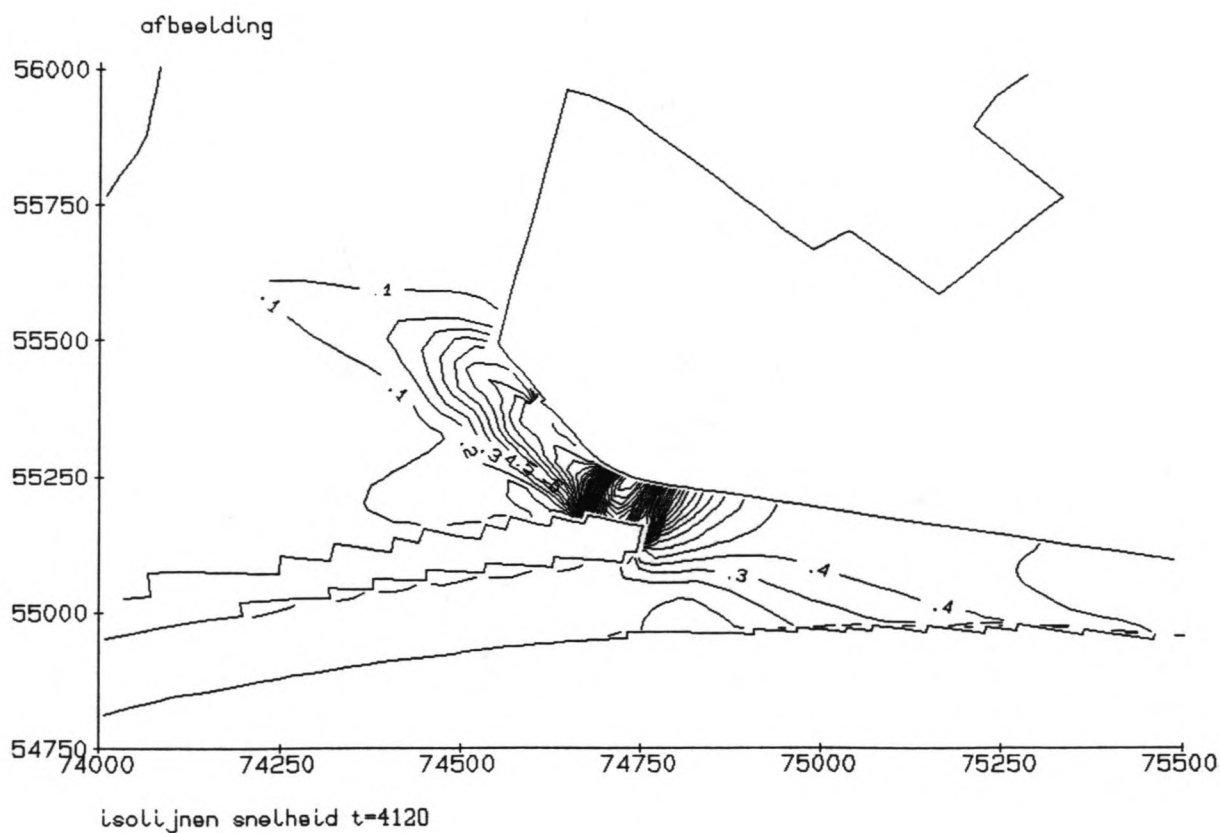
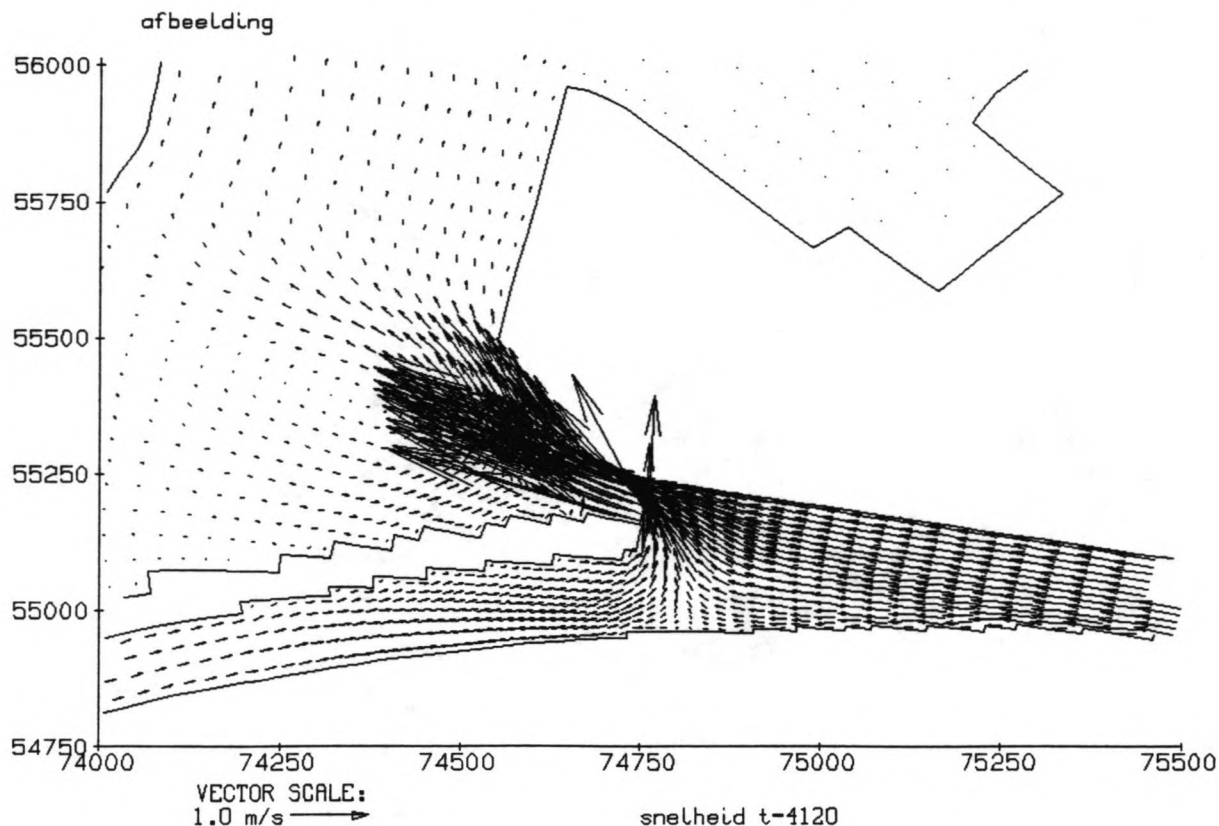
UITVOERINGS ONDERZOEK OPEN BEERDAM
75m opening; $h=3,0$ m; $\nu_{isc}=5.0$
FASE 1; METHODE 1

Afbeelding 9.5



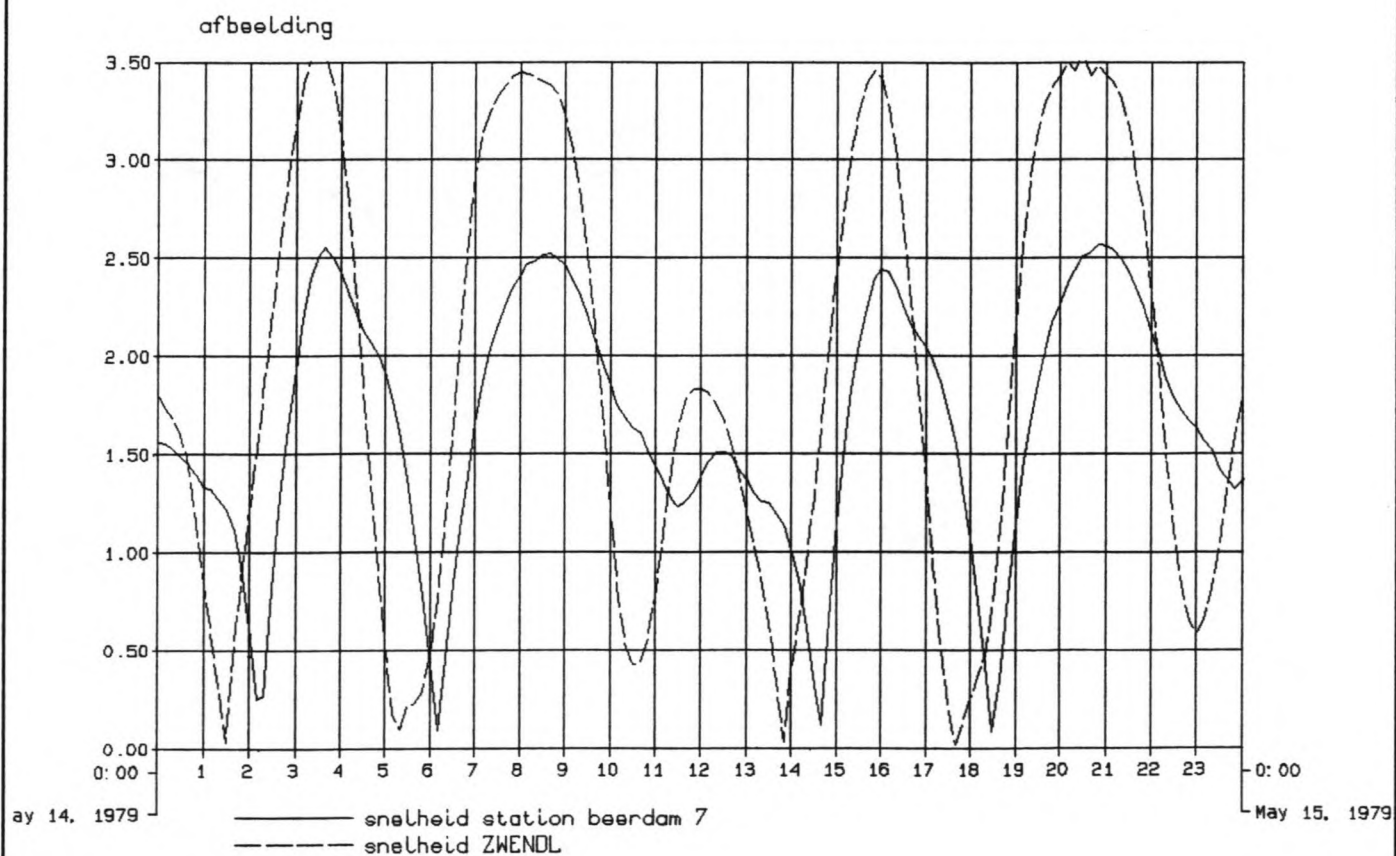
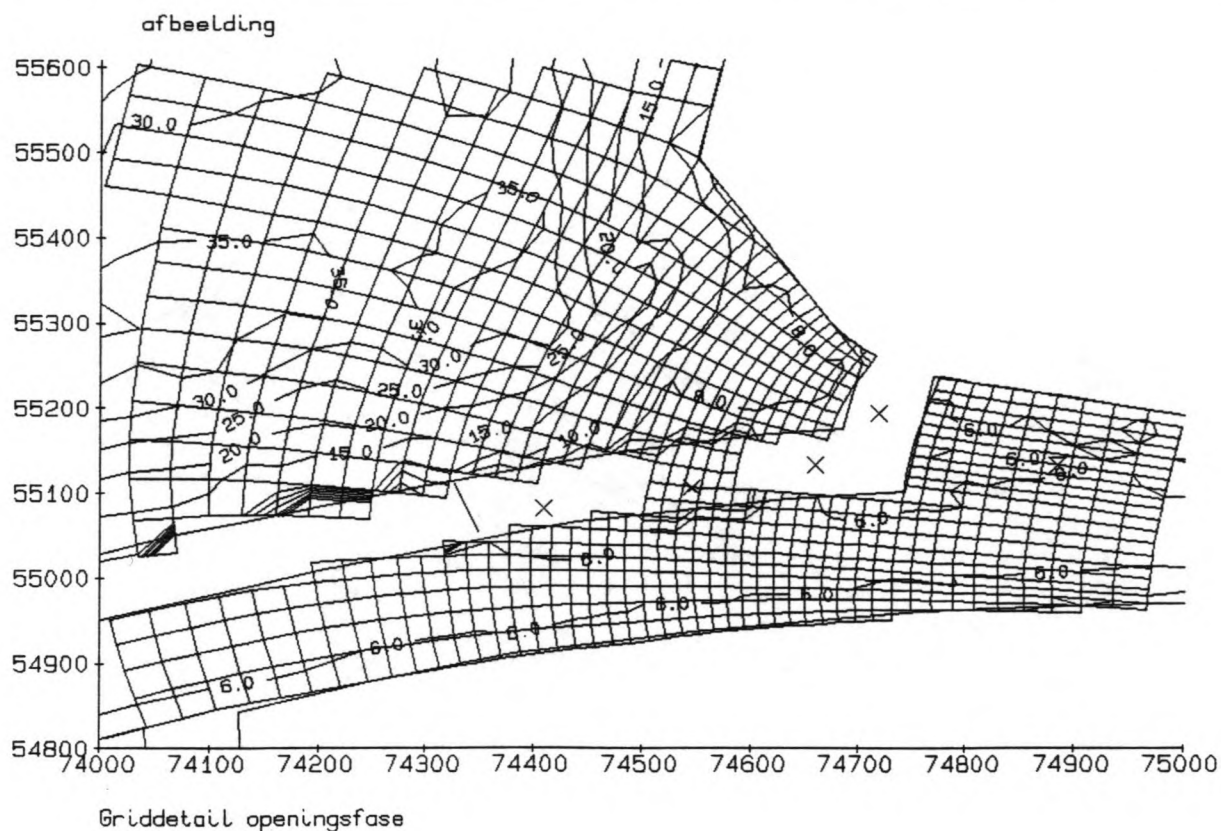
UITVOERINGS ONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=3100 min. bij max. vloed
75m opening; d=3m; visc.= 5.0 (run u04)

Afbeelding 9.6.



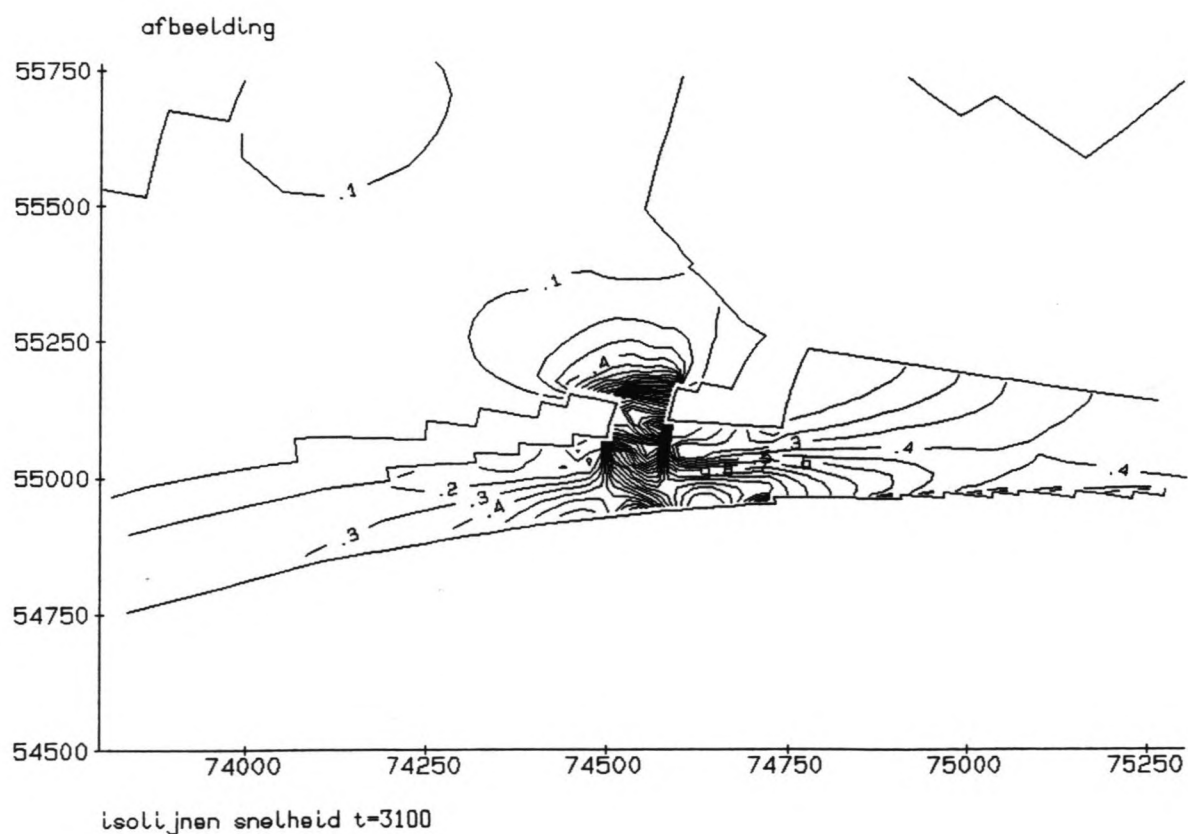
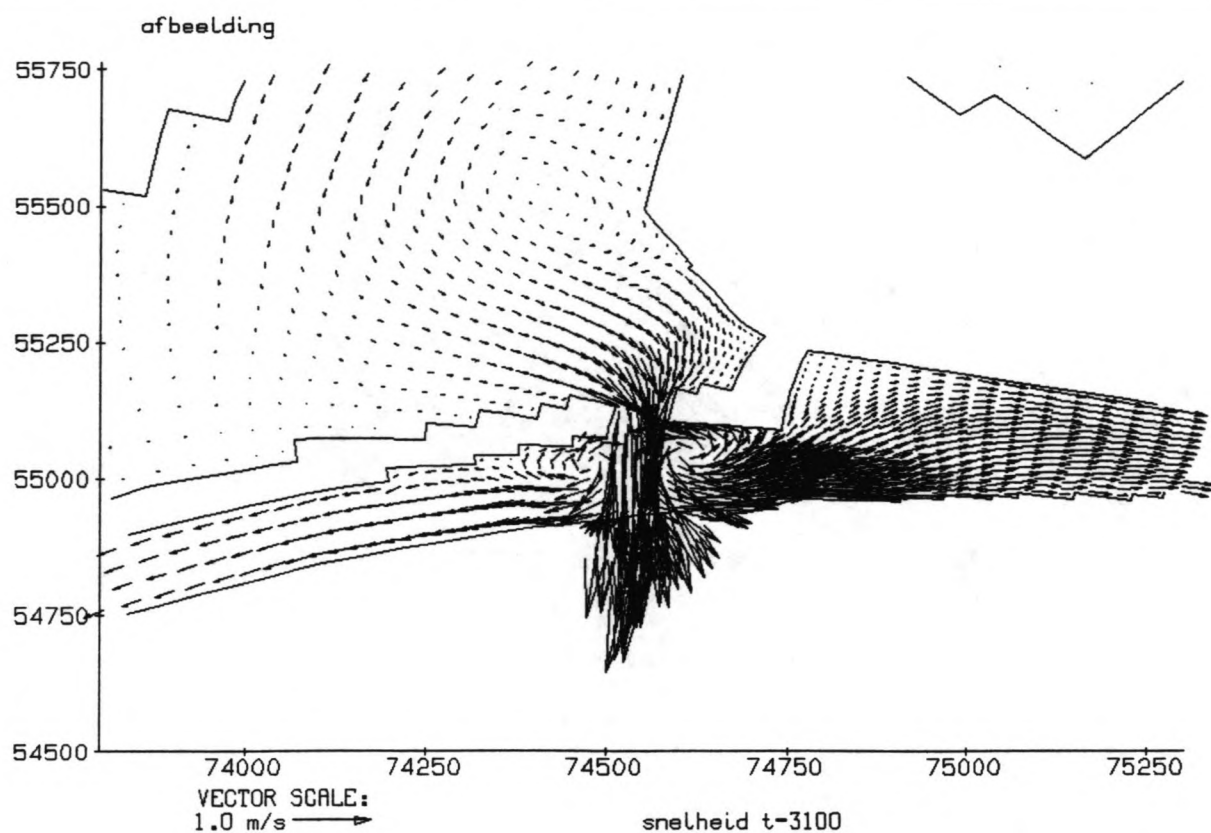
UITVOERINGS ONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=4120 min. bij max. vloed
75m opening; d=3m; visc.= 5.0 (run u04)

Afbeelding 9.7



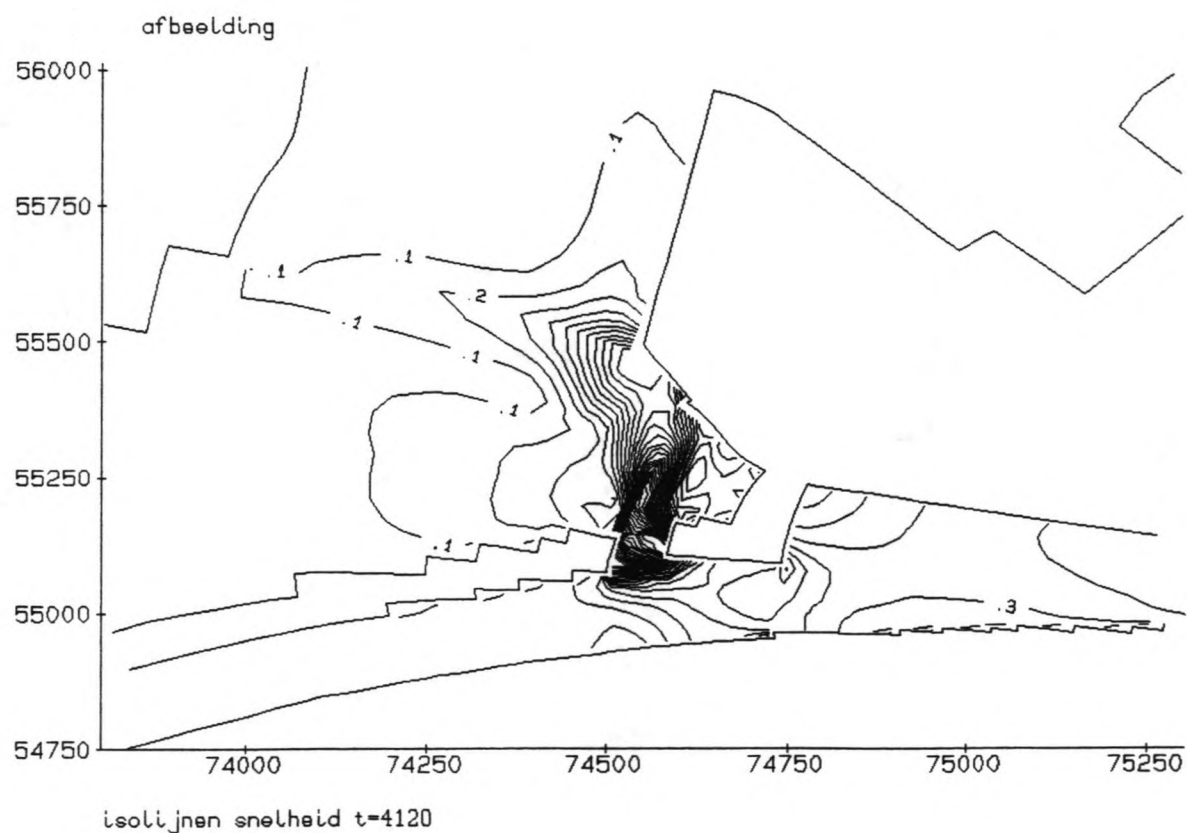
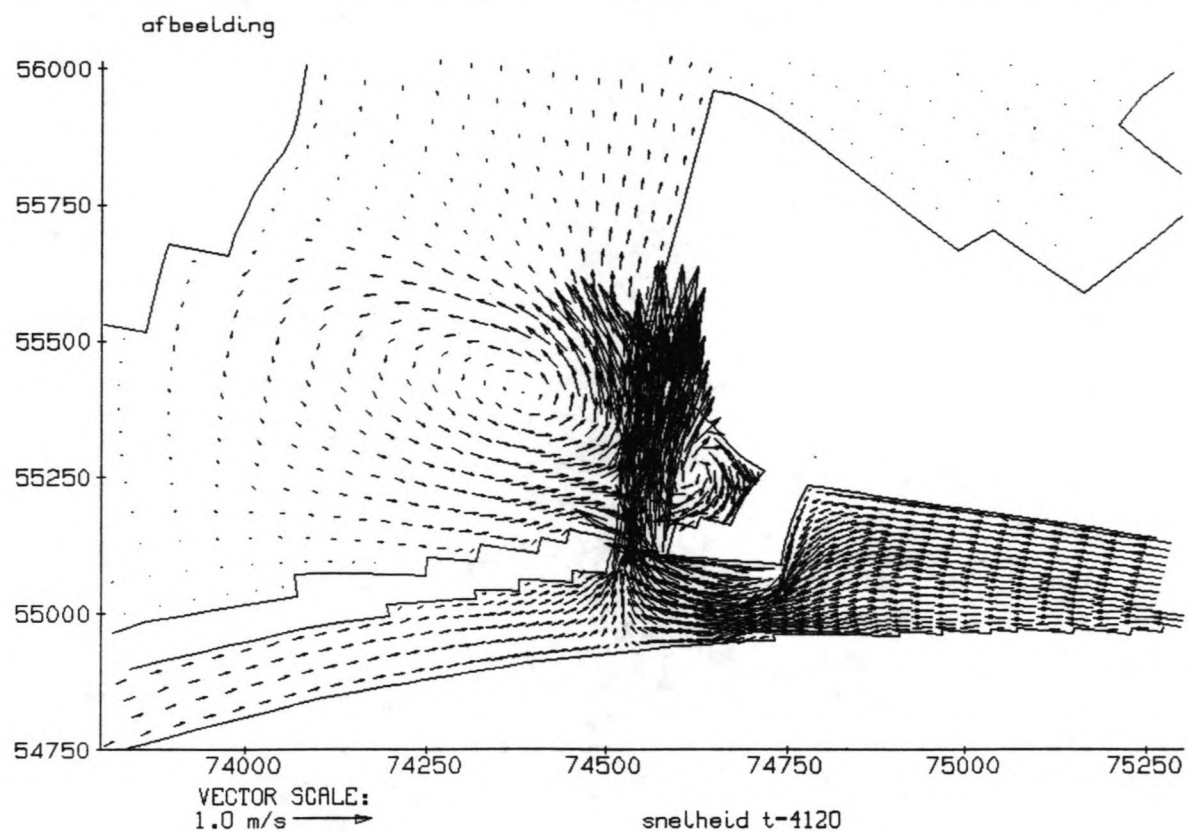
UITVOERINGS ONDERZOEK OPEN BEERDAM
 75m opening; D=3.0 m; visc=5.0
 FASE 1; METHODE 2

Afbeelding 9.0



UITVOERINGS ONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=3100 min. bij max. vloed
D=3.0m; FASE 1; METHODE 2; visc.=5.0

Afbeelding 99

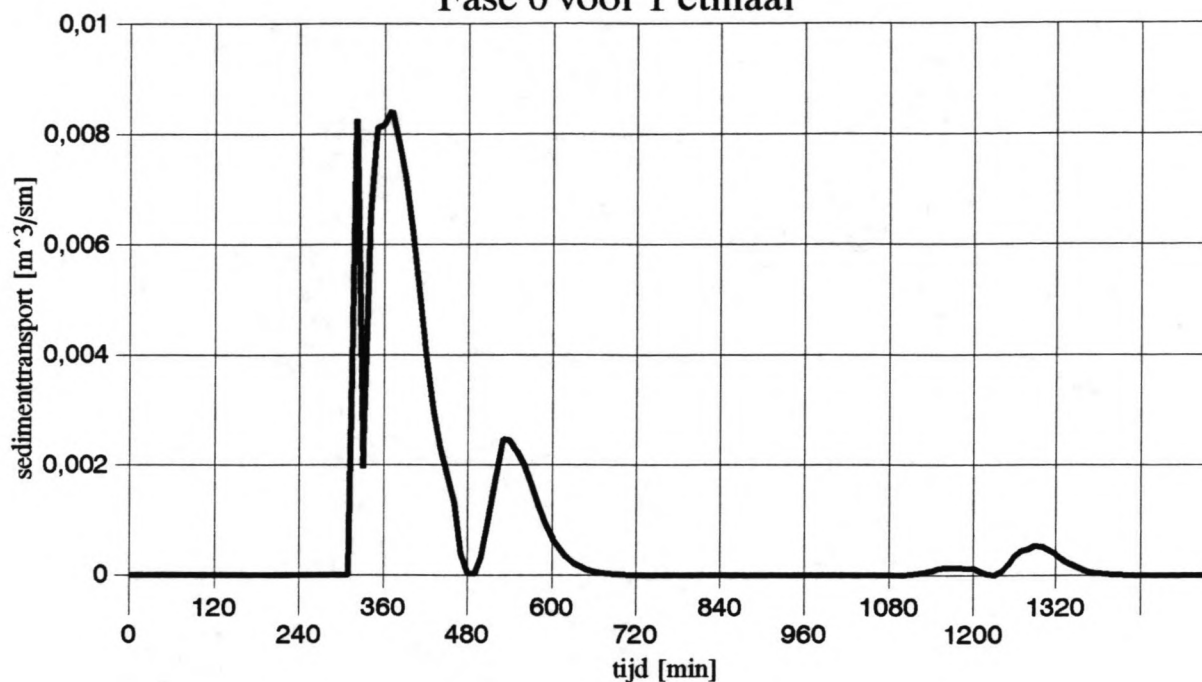


UITVOERINGS ONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=4120 min. bij max. eb
D=3.0m; FASE 1; METHODE 2; visc.=5.0

Afbeelding 9.10

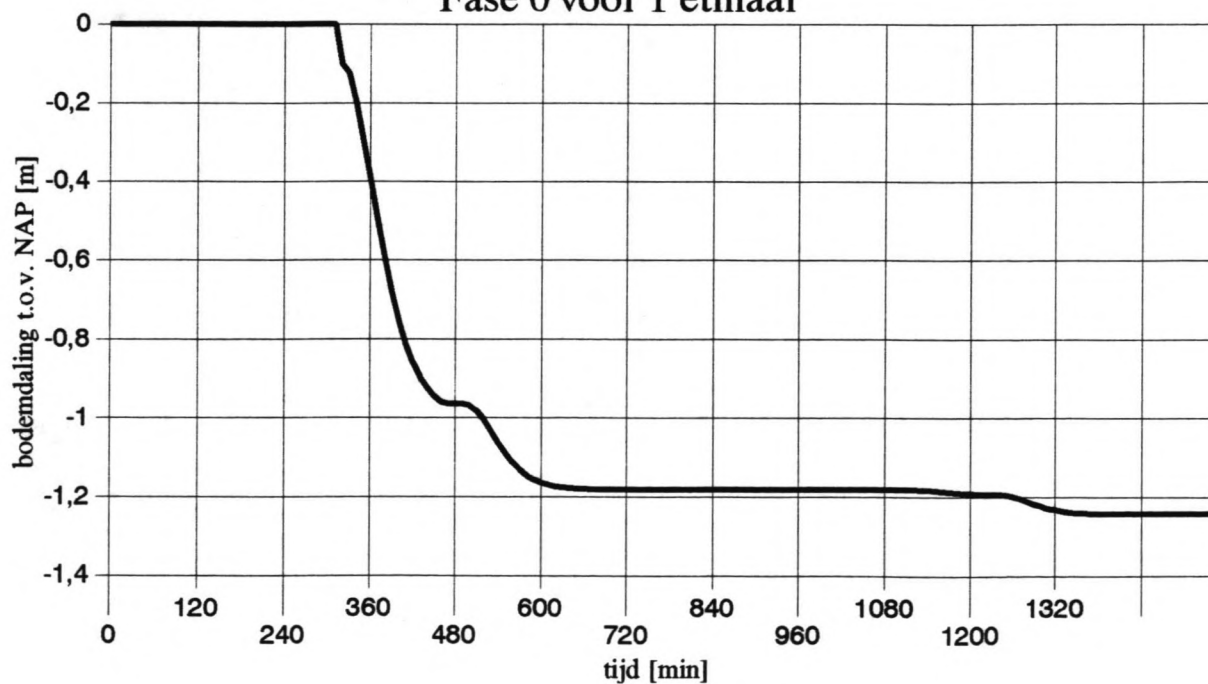
Sedimenttransport vlg. E-H

Fase 0 voor 1 etmaal



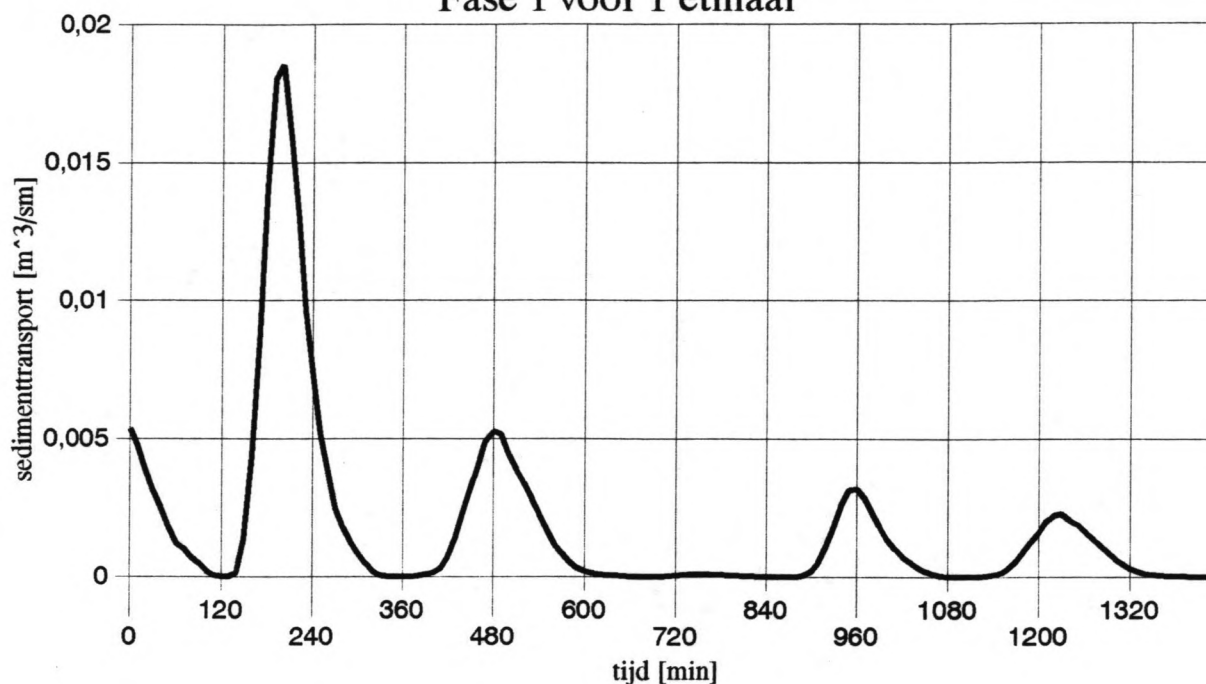
Bodemdaling volgens E-H

Fase 0 voor 1 etmaal



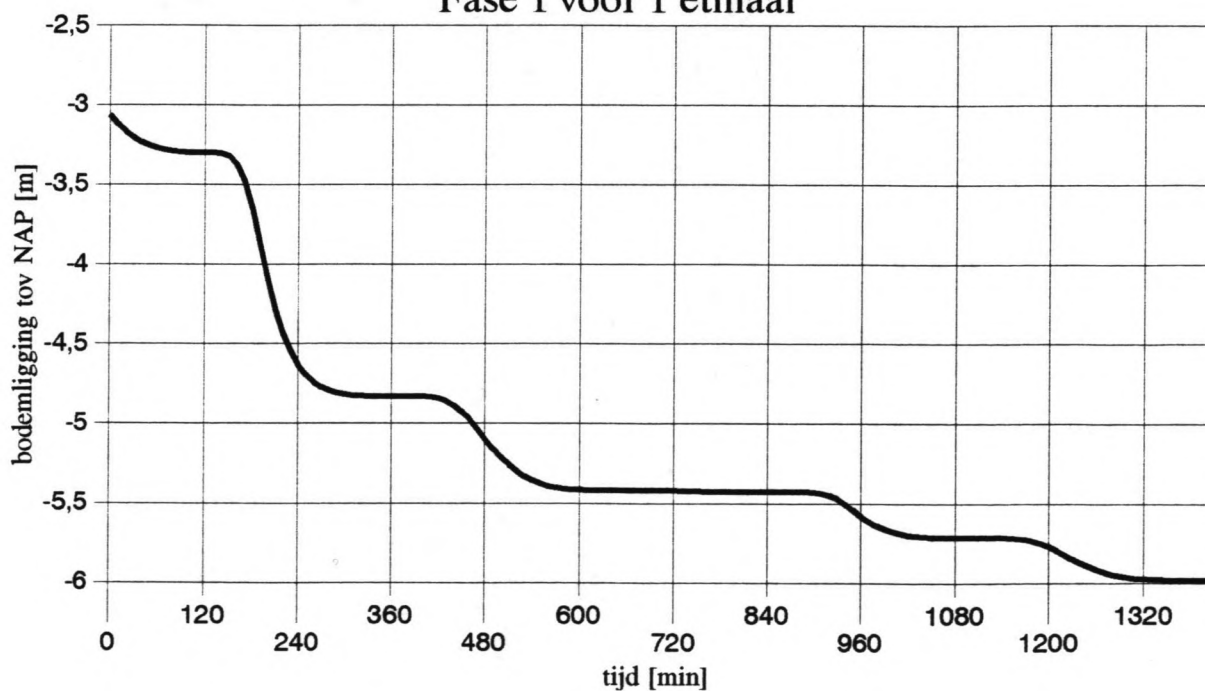
Sedimenttransport vlg. E-H

Fase 1 voor 1 etmaal



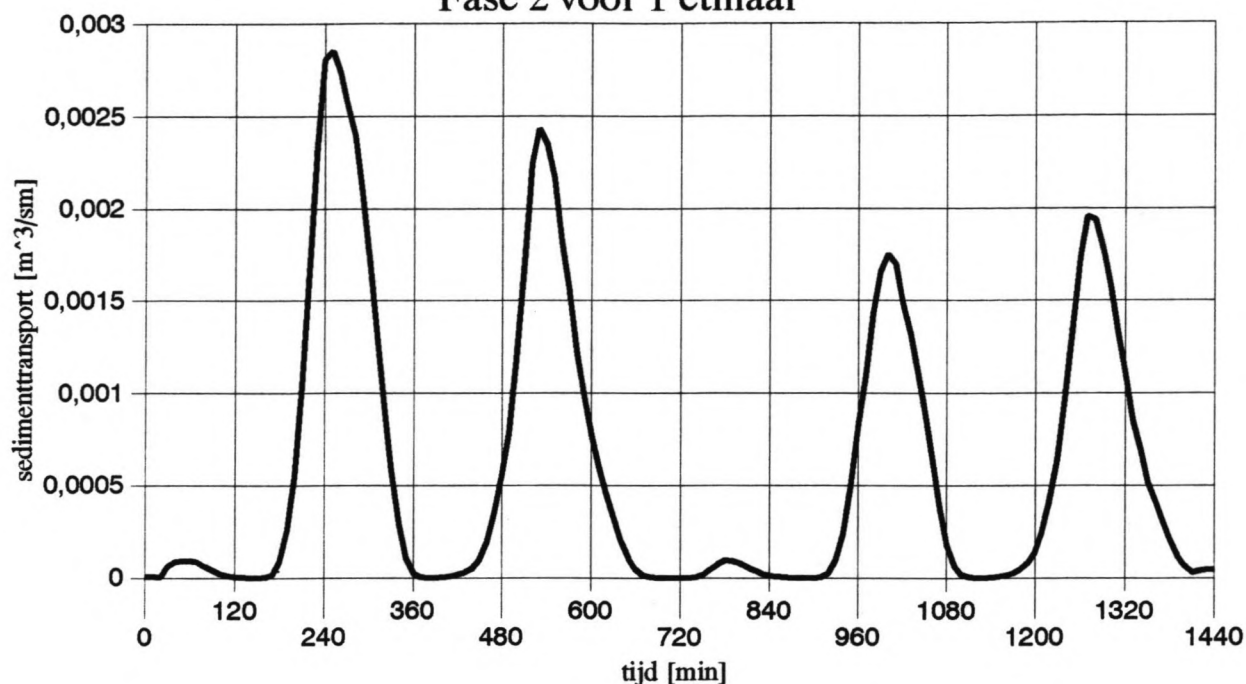
Bodemligging vlg. E-H

Fase 1 voor 1 etmaal



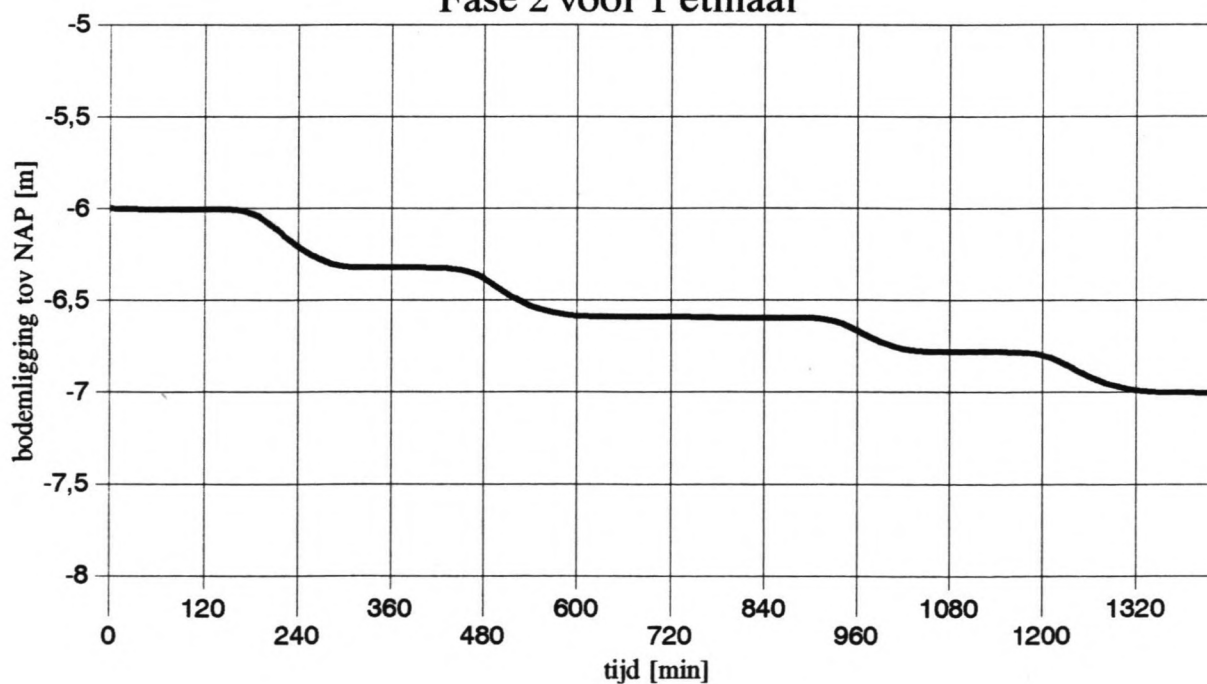
Sedimenttransport vlg. E-H

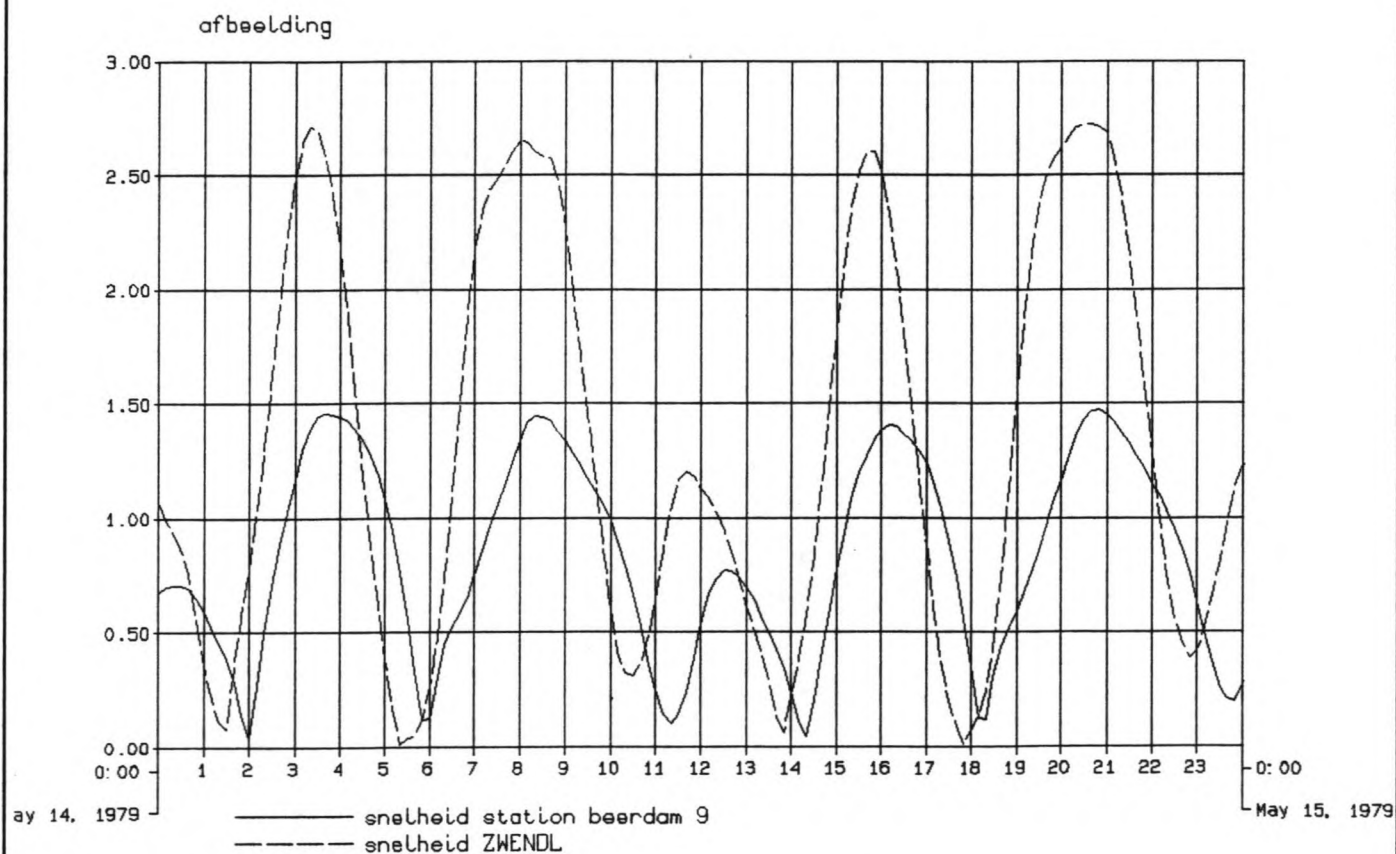
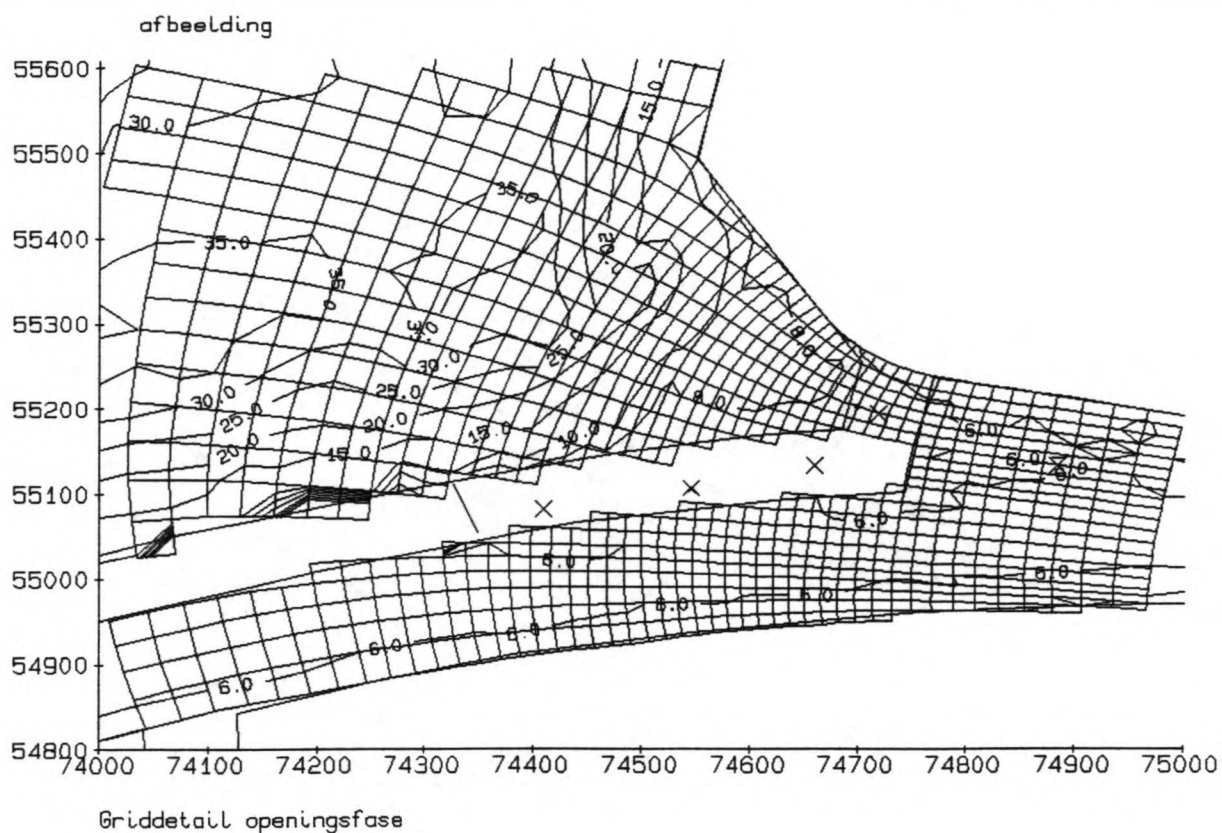
Fase 2 voor 1 etmaal



Bodemligging vlg. E-H

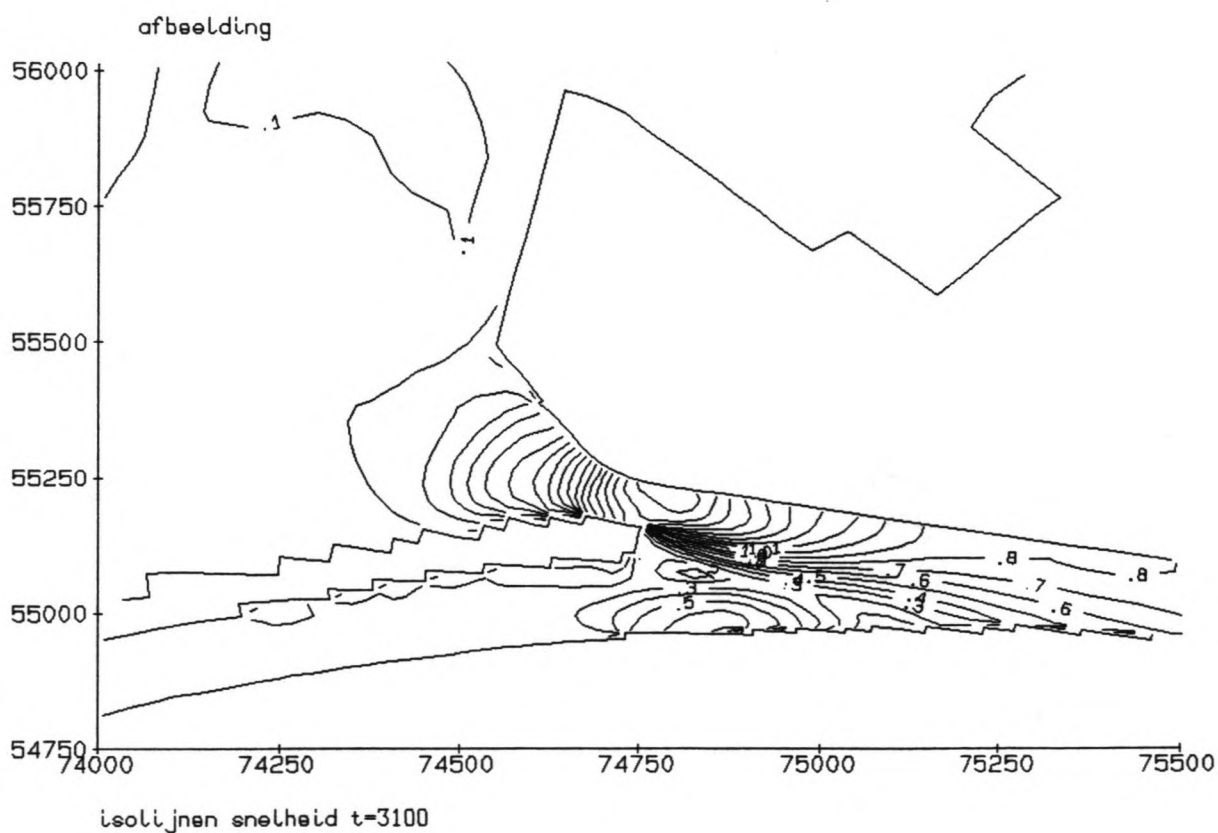
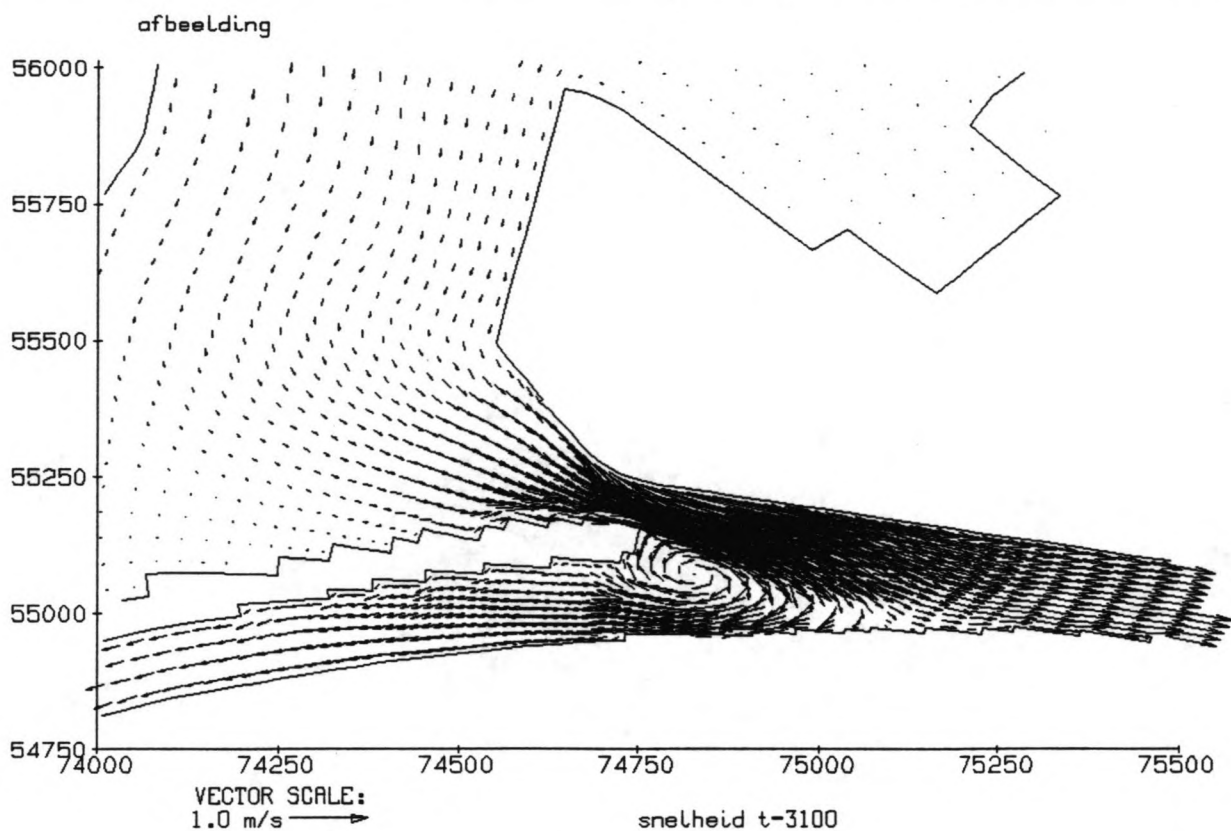
Fase 2 voor 1 etmaal





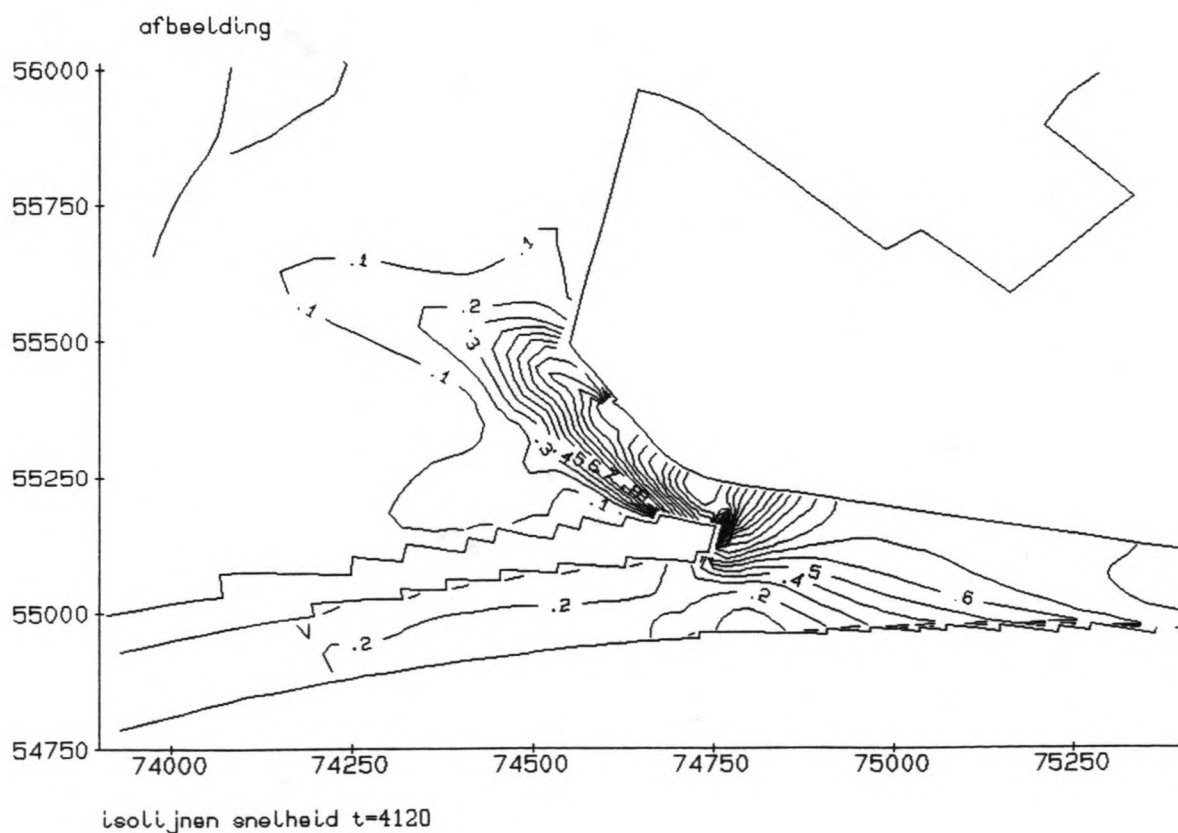
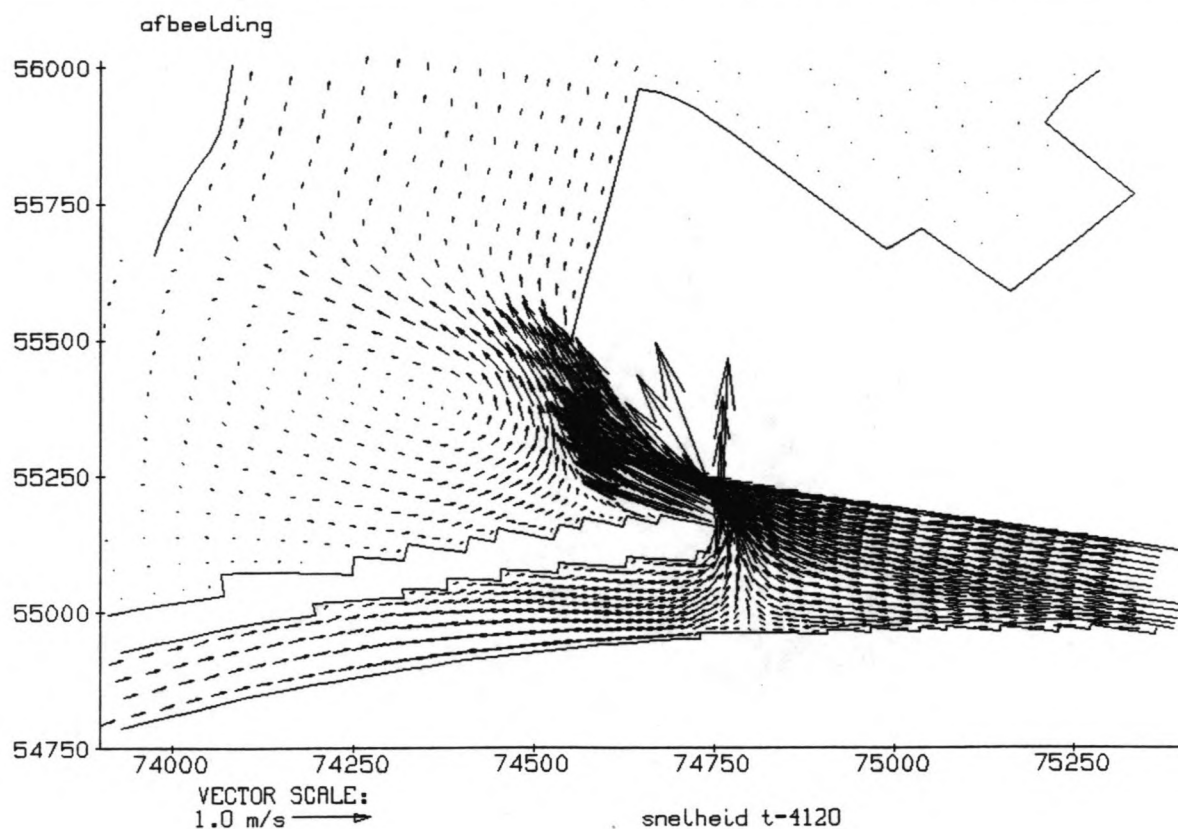
UITVOERINGS ONDERZOEK OPEN BEERDAM
 75m opening; D=6.0 m; visc=5.0
 FASE 2; METHODE 1

Afbeelding 9.14



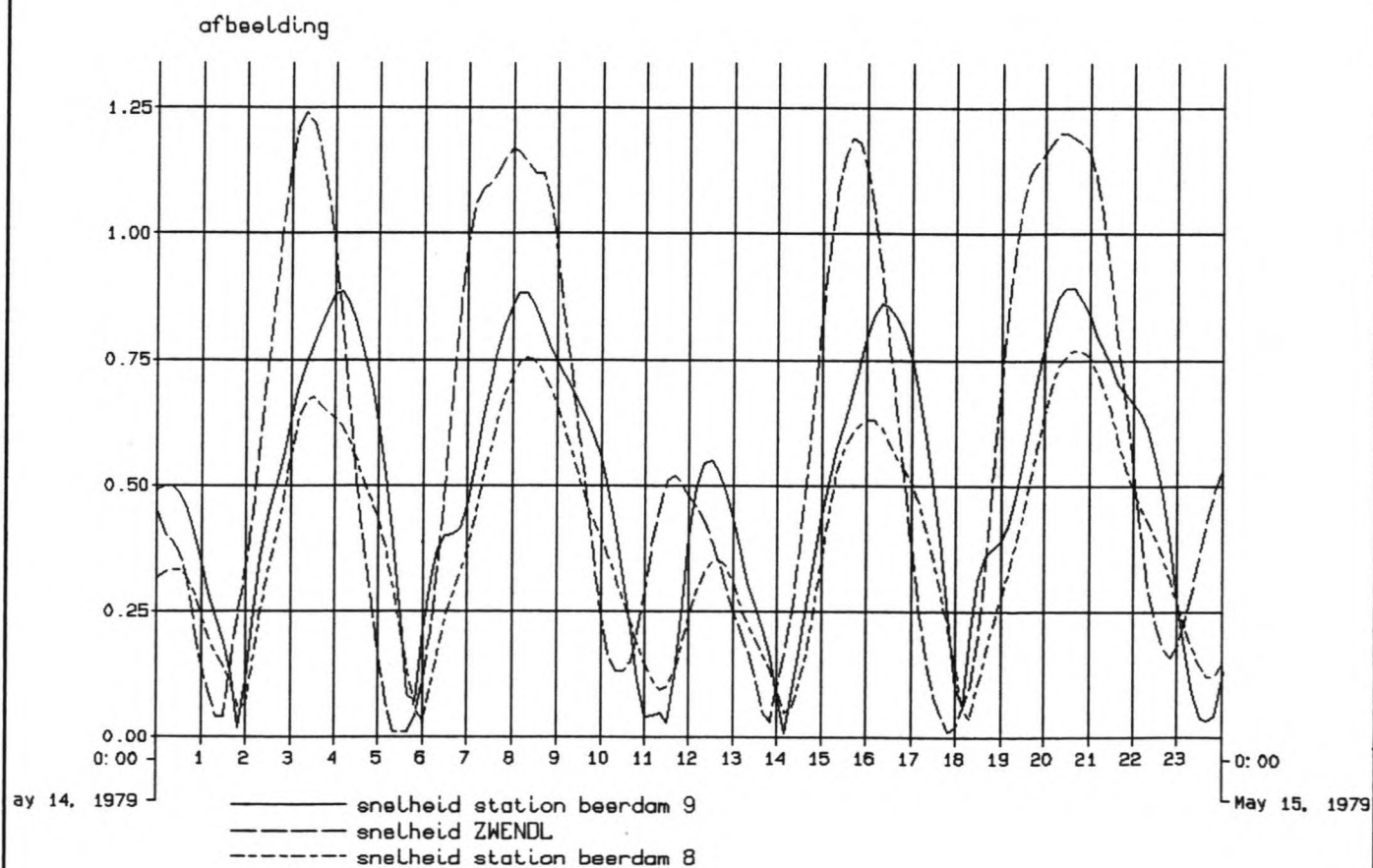
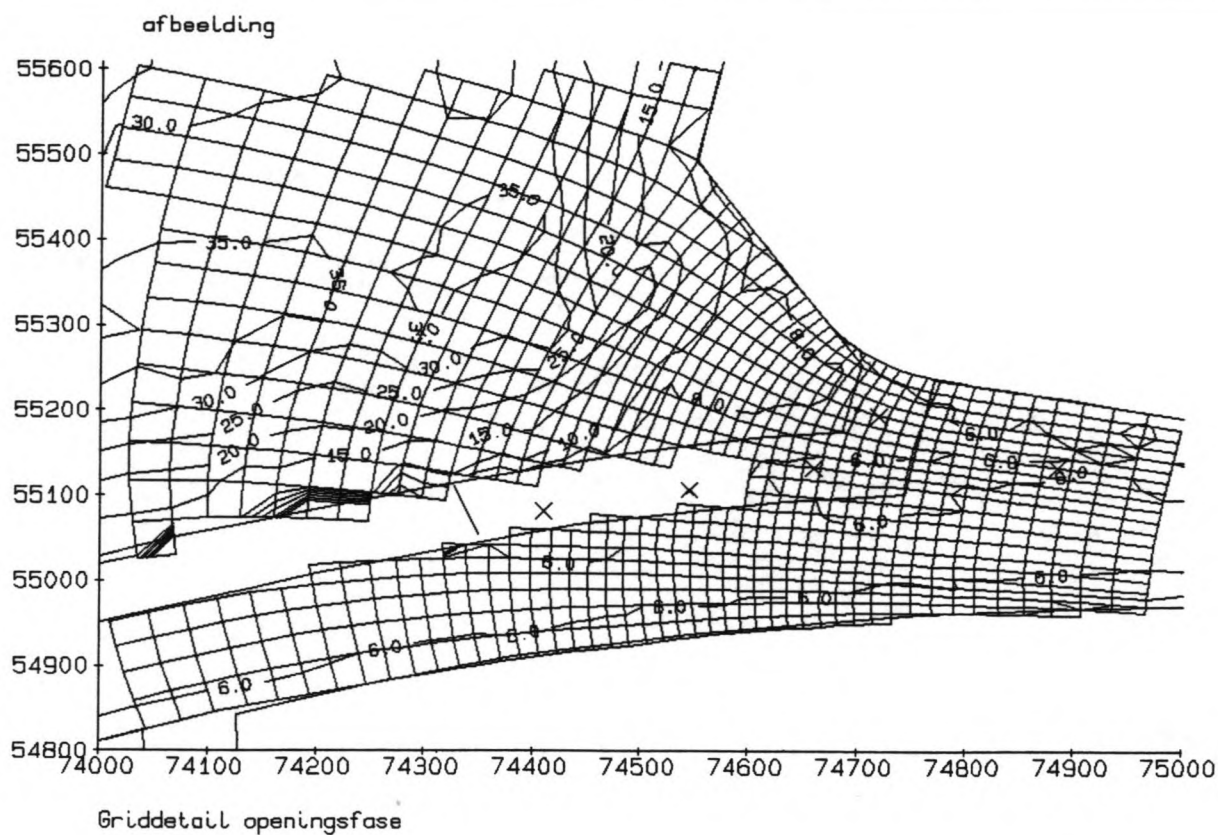
UITVOERINGS ONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=3100 min. bij max. vloed
75m opening; d=6m; visc.= 5.0 (run u03)

Afbeelding 9.15



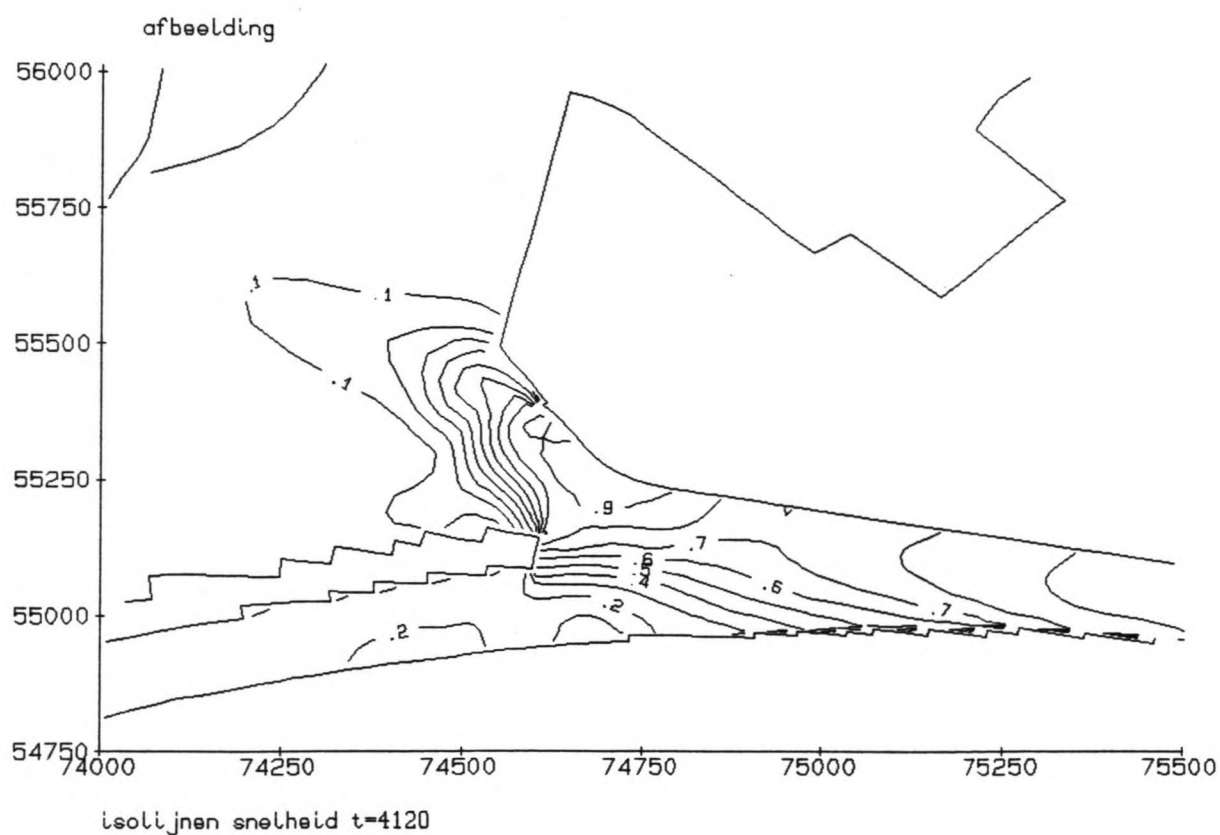
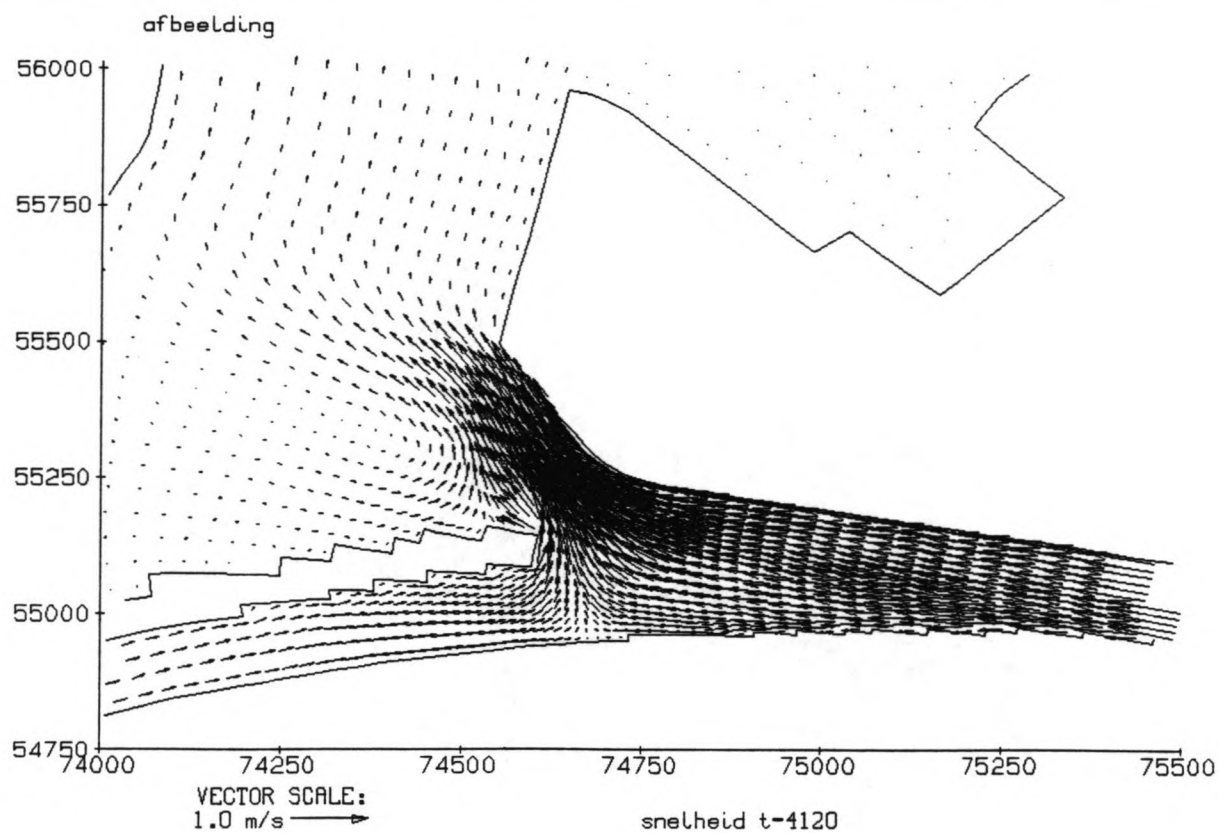
UITVOERINGS ONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=4120 min. bij max. eb
75m opening; d=6m; visc.= 5.0 (run u03)

Afbeelding 9.16



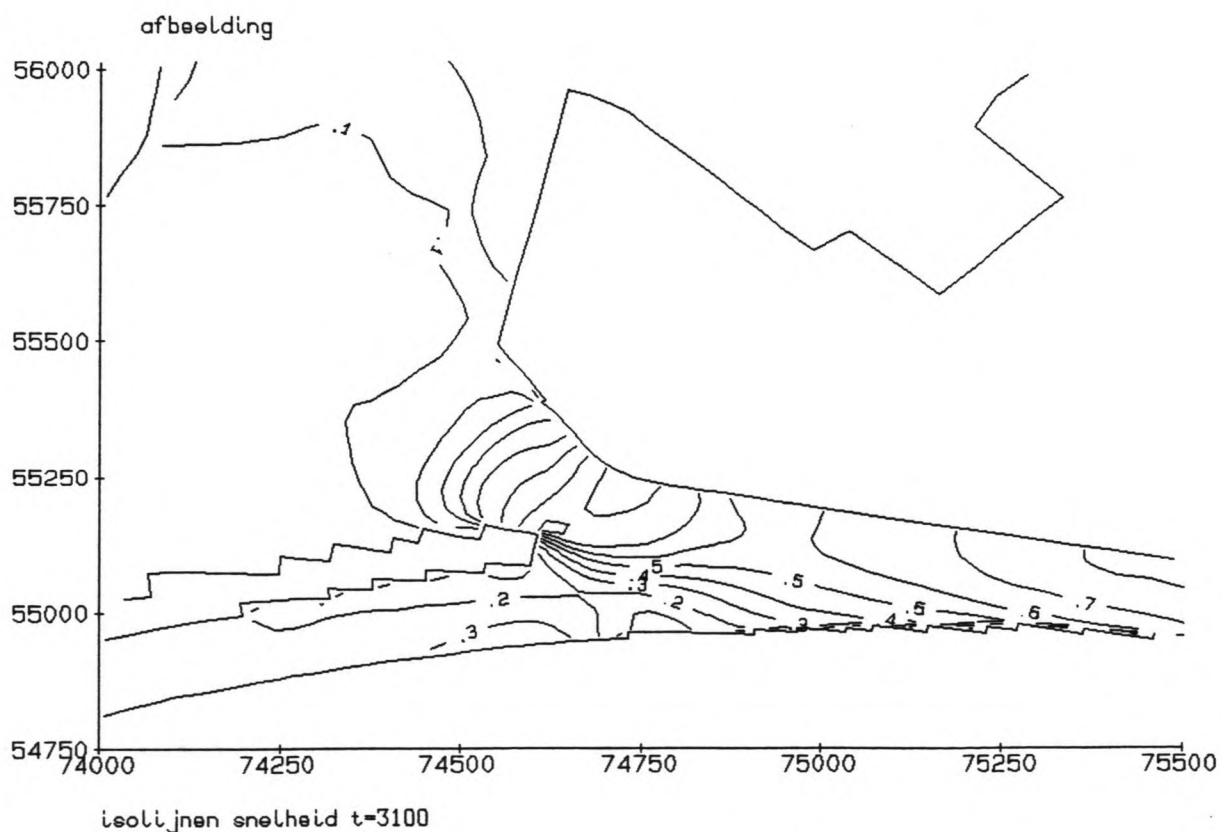
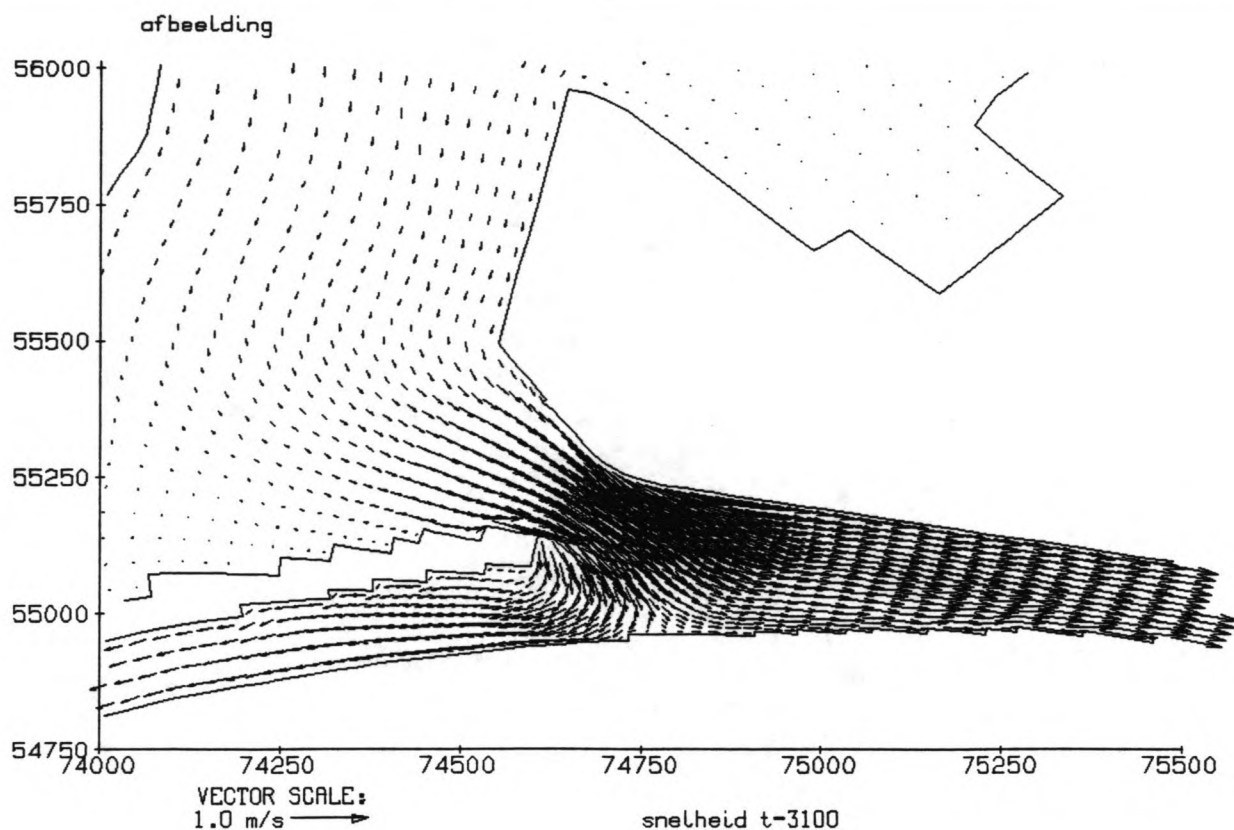
UITVOERINGS ONDERZOEK OPEN BEERDAM
 100m opening; D=6.0 m; visc=5.0
 FASE 3; METHODE 1

Afbeelding 9.17



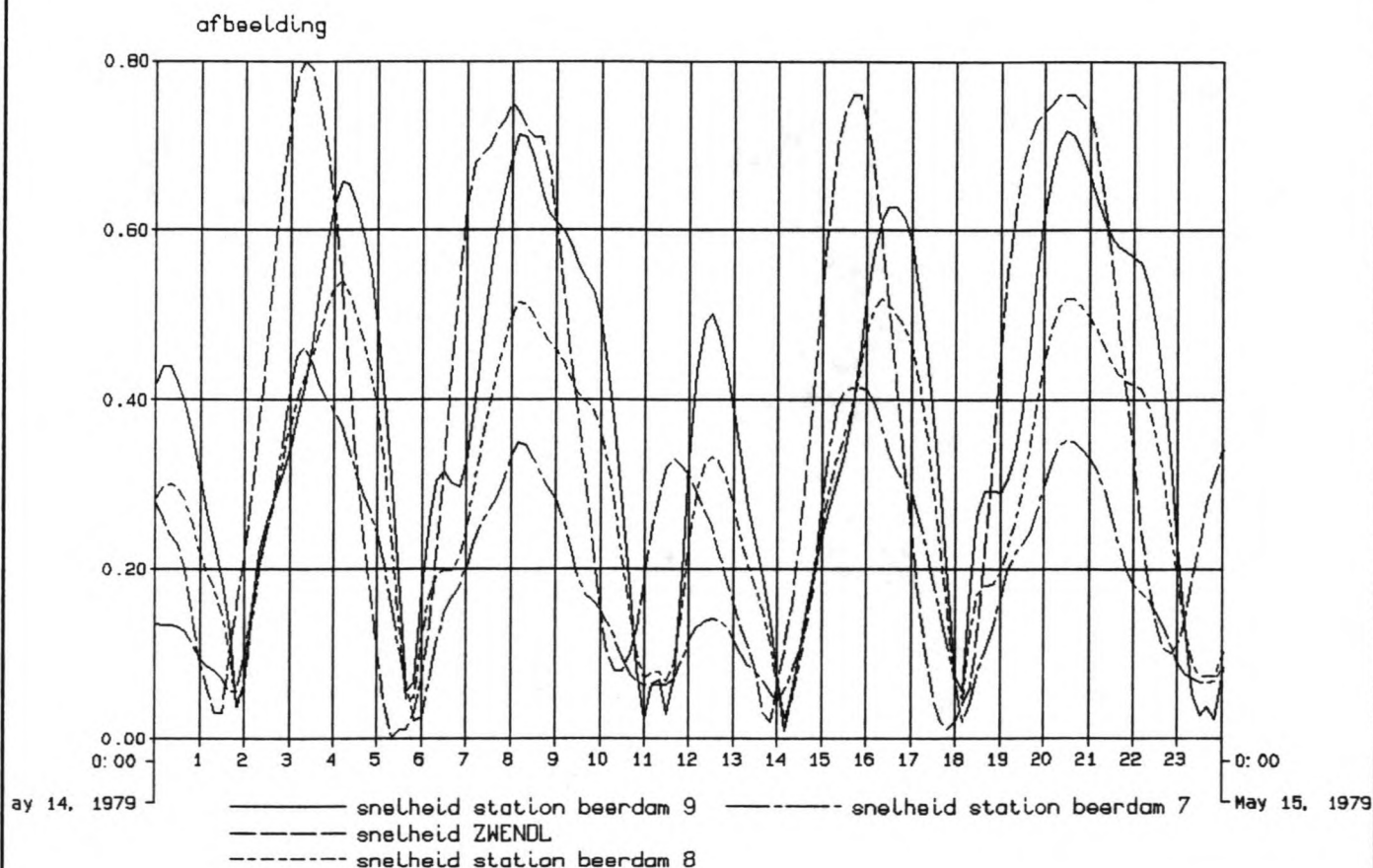
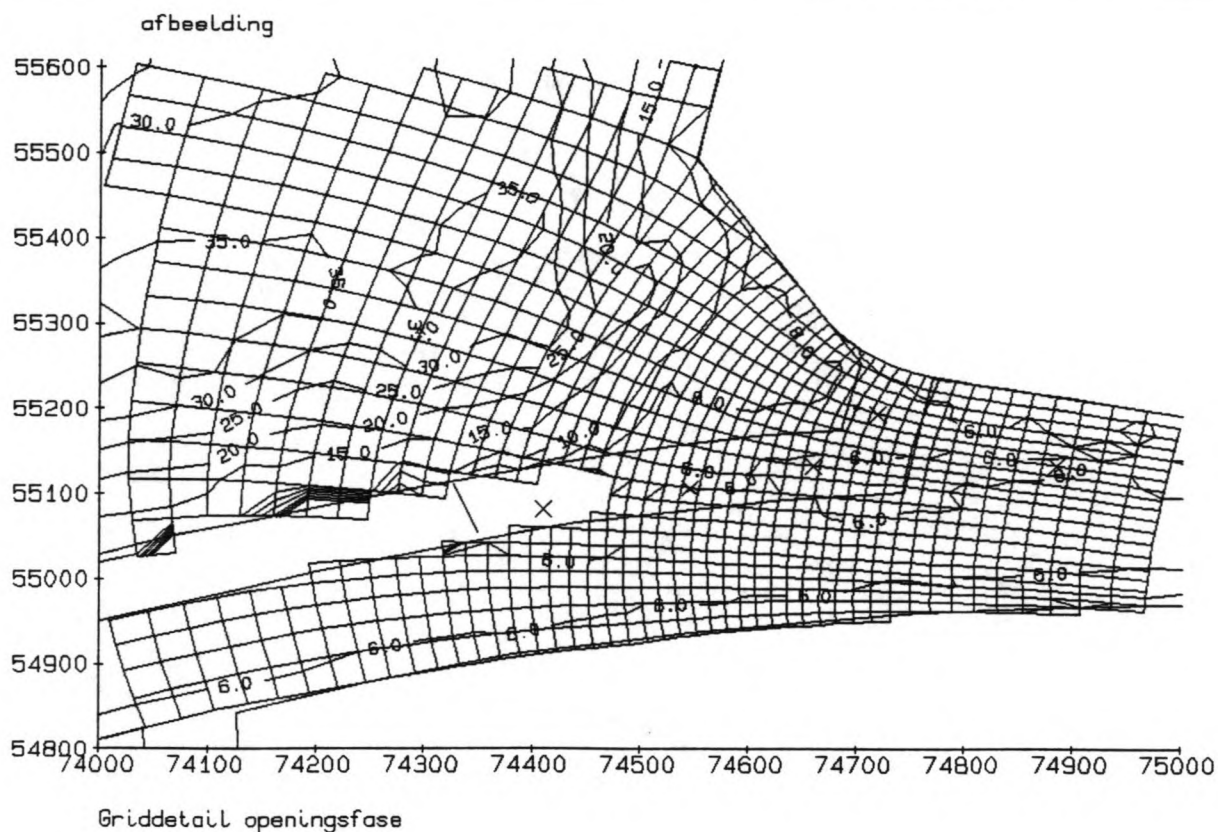
UITVOERINGS ONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=4120 min. bij max. eb
m; FASE 3; METHODE 1; visc.=5.0

Afbeelding 9.18



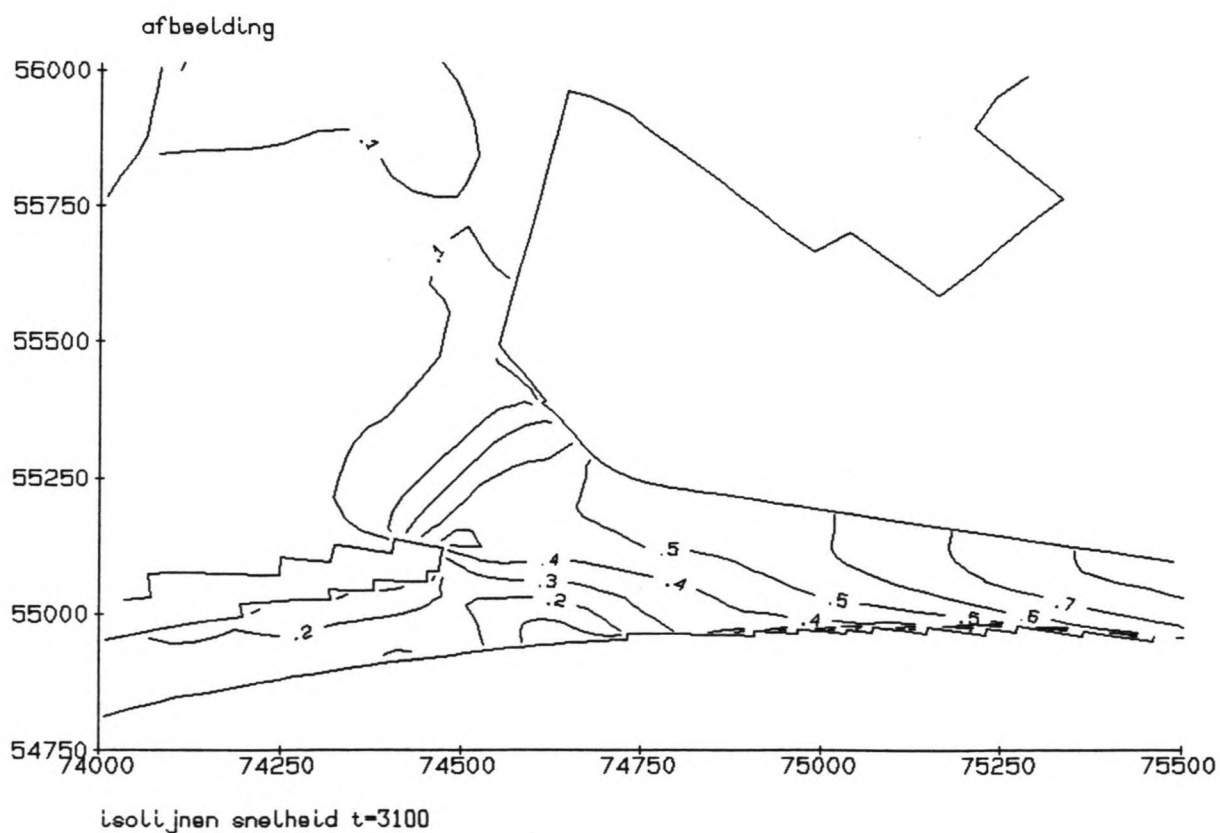
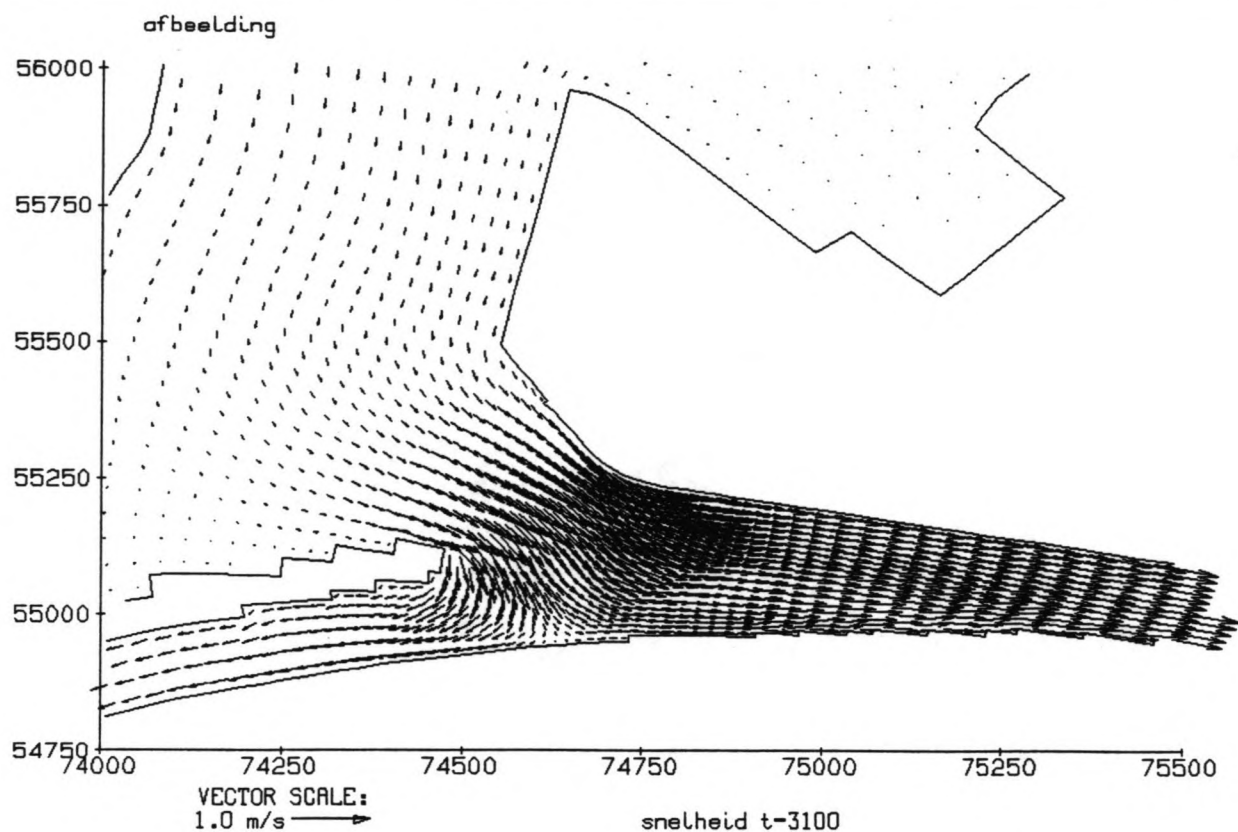
UITVOERINGS ONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=3100 min. bij max. vloed
m; FASE 3; METHODE 1; visc.=5.0

Afbeelding 9.19



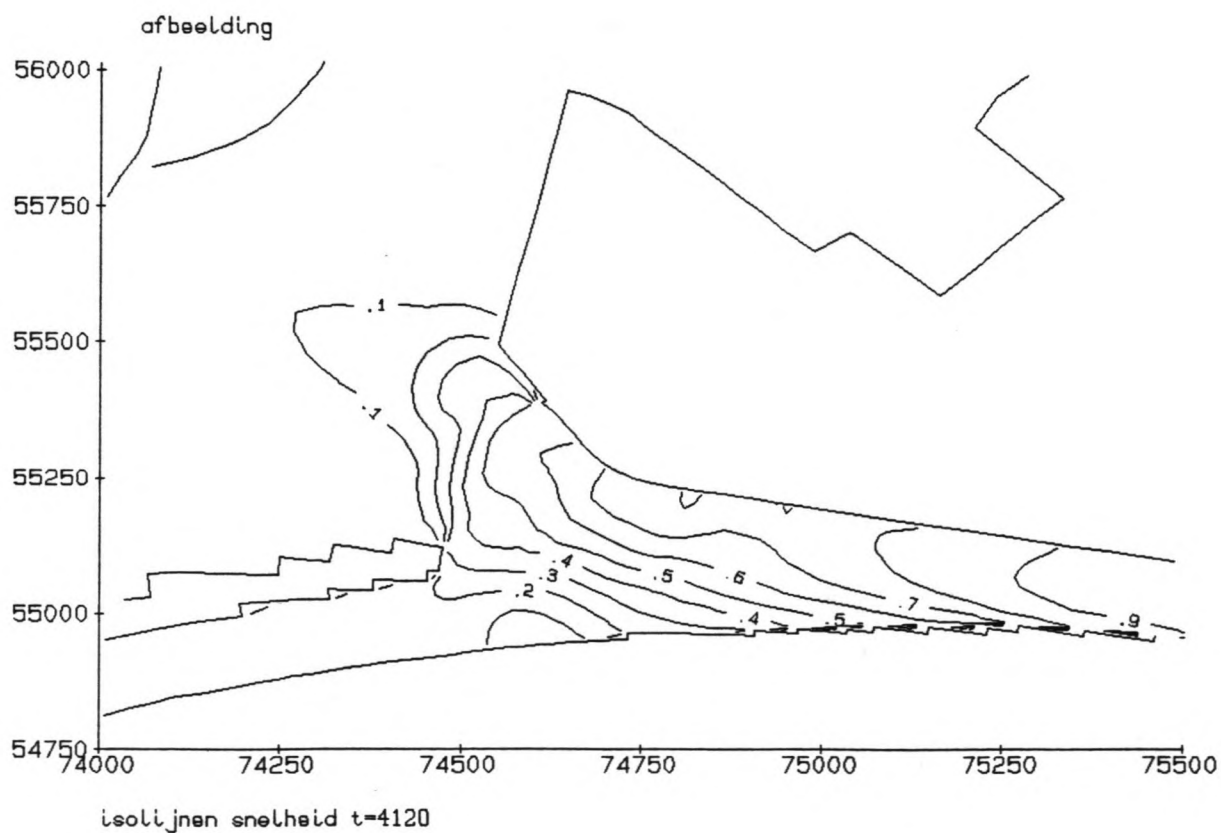
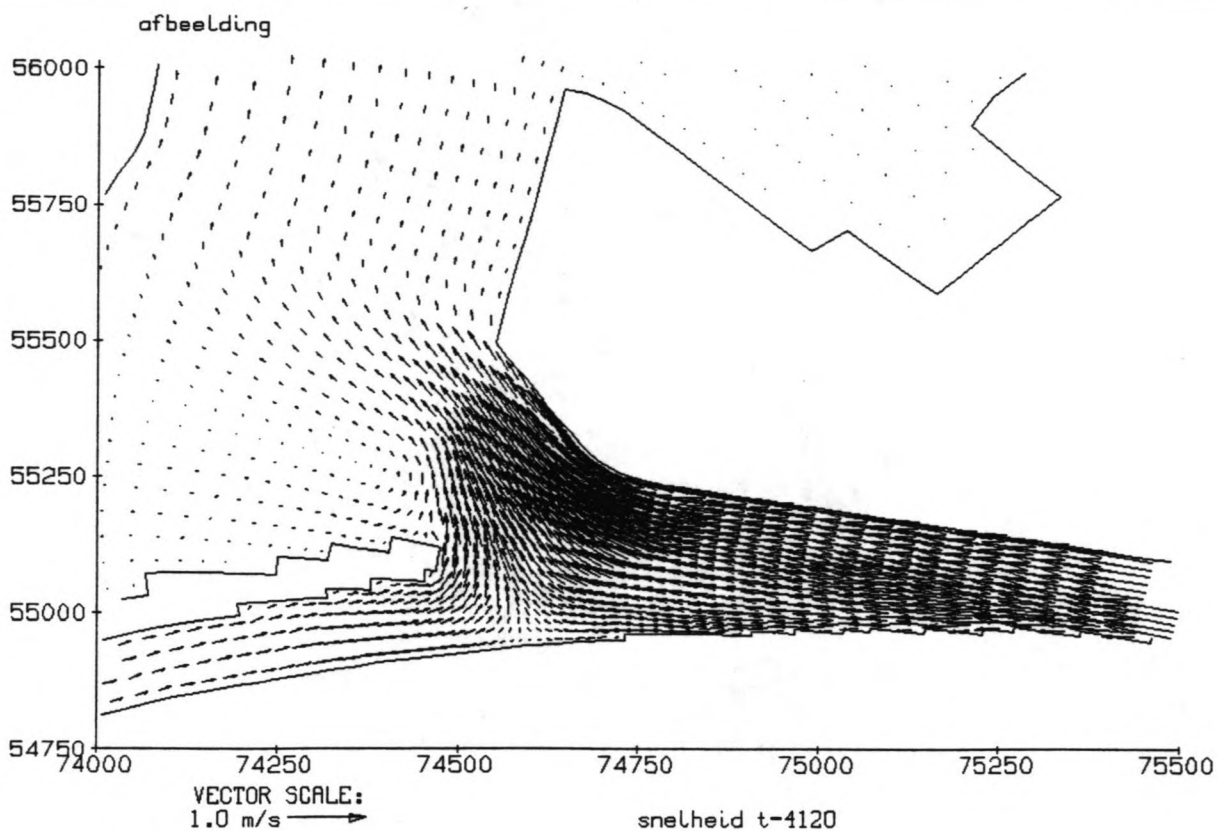
UITVOERINGS ONDERZOEK OPEN BEERDAM
 300m opening; D=6.0 m; visc=5.0
 FASE 4; METHODE 1

Afbeelding 9.20



UITVOERINGS ONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=3100 min. bij max. vloed
D=6.0m; FASE 4; METHODE 1; visc.=5.0

Afbeelding 921

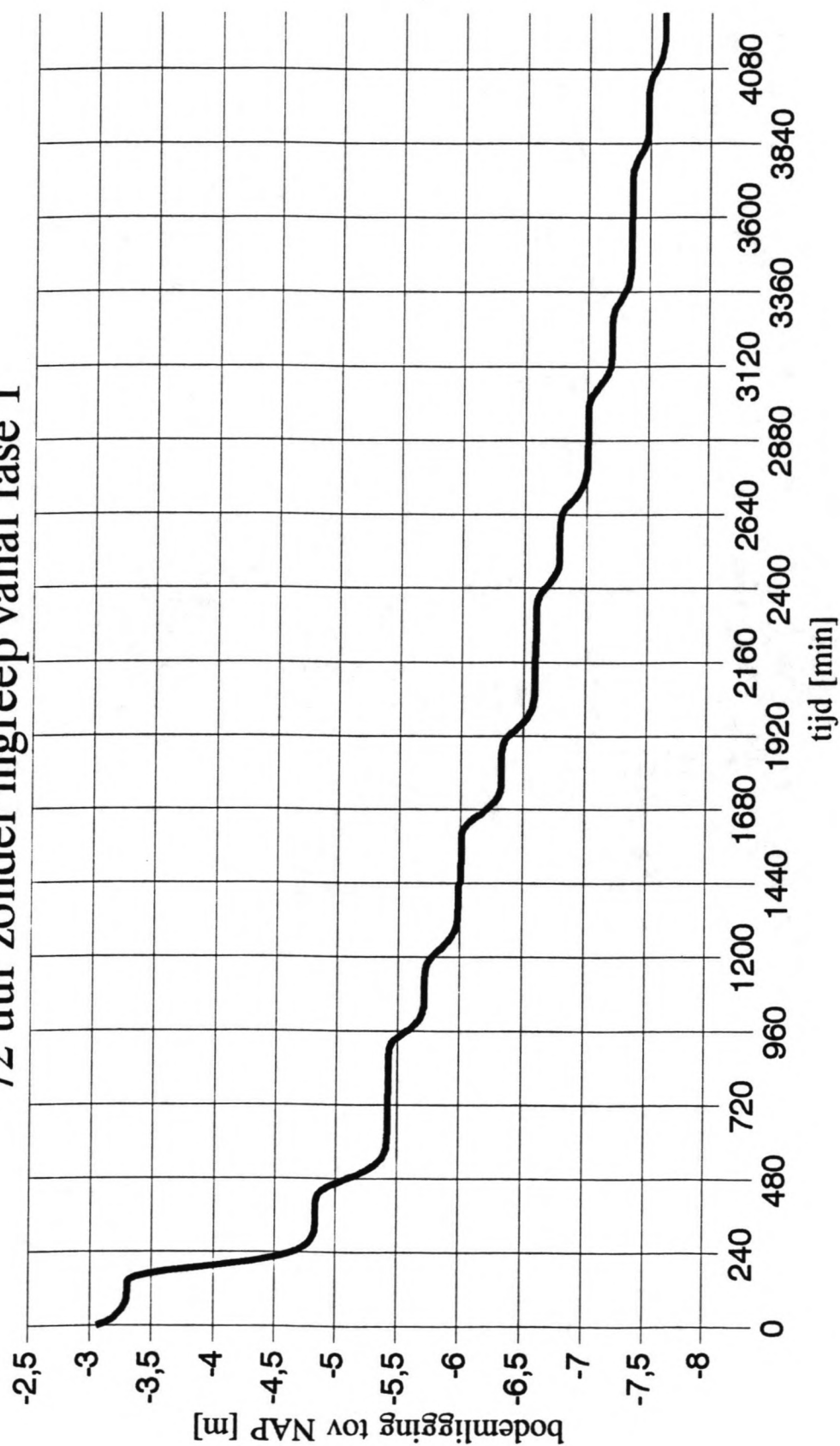


UITVOERINGS ONDERZOEK OPEN BEERDAM
snelheidsveld t=4120 min. bij max. eb
D=6.0m; FASE 4; METHODE 1; visc.=5.0

Afbeelding 9.22

Bodemligging vlg. E-H

72 uur zonder ingreep vanaf fase 1



Bijlage II

2DH viscositeits- en turbulentieformulering

2DH viscositeits- en turbulentieformulering

Viscositeit is de eigenschap van een vloeistof of gas om in zijdelingse richting impuls uit te wisselen tussen lagen die over elkaar heen stromen. In vloeistoffen is dit vooral het gevolg van moleculaire wisselwerkingen. Het gevolg is een verspreiding, en dus een transport, van de voorwaartse impuls in zijdelingse richting. De waarde van dit vloeistoftransport p.e.v. oppervlak en p.e.v. tijd heet de tangentiële spanning of schuifspanning, en wordt aangeduid met τ . Onder de aanname dat het om een gradiënt-type¹ transport gaat, geldt in een parallelle stroming met een snelheid u die in dwarsrichting n varieert:

$$\tau = \eta \frac{du}{dn} \rightarrow \frac{\tau}{\rho} = \nu \frac{du}{dn} \quad (II.1)$$

Voor verdere uitwerking van deze formules wordt gebruik gemaakt van een overeenkomst met formuleringen die gebruikt worden voor het beschrijven van diffusie van opgeloste stoffen. Voor een stof met concentratie c geldt de diffusievergelijking:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \epsilon \nabla^2 c \quad (II.2)$$

Uit analogie² met (II.2) volgt in geval van uitsluitend diffusief impulstransport ($c \approx \rho u$):

$$\frac{\partial(\rho \bar{u})}{\partial t} = \eta \nabla^2(\rho \bar{u}) \quad (II.3)$$

of in geval $\rho = \text{constant}$:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = \nu \nabla^2 \bar{u} \quad (II.4)$$

en uitgeschreven voor een 2-dimensionaal geval (dimensies x en y met snelheden u resp. v):

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (II.5)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (II.6)$$

¹ Dit is een aanname dat diffusief transport evenredig is met de gradiënt van de betreffende grootheid in de hoofdstroom, in dit geval de gradiënt van de snelheid.

² De zgn. Reynoldsanalogie, waarin impulsdiffusie en turbulente beweging wordt vergeleken met de moleculaire warmtebeweging, waar het gradiënt-type transport heel precies opgaat.

Bijlage II 2DH viscositeits- en turbulentie formulering

Dit is een redelijk nauwkeurige formulering voor de kinematische viscositeit voor een laminaire stroming voor het 2-dimensionale geval. In een dieptegemiddelde stroming moet echter tevens rekening gehouden worden met turbulente diffusie van impuls. We gaan er hierbij vanuit dat de snelheid in de stroming binnen het controlevolume fluctueert, en dat de transporten in het controlevolume beschreven kunnen worden via een middeling hiervan. Bij deze middeling splitsen we de transporten in aparte componenten waarin onderscheid gemaakt wordt tussen een gemiddeld deel en een fluctuerend deel (in x-richting bijv. $\bar{u}$ en u'). Het gemiddeld impulstransport door een vlak waarvoor geldt $x = \text{constant}$ is $(\rho \bar{u})u$ met als componenten:

$$(\rho u)u = \rho \bar{u}^2 = \rho \bar{u}^2 + \rho (\bar{u}')^2 \quad (\text{II.7})$$

$$(\rho v)u = \rho \bar{v} \bar{u} = \rho \bar{v} \bar{u} + \rho \bar{v}' \bar{u}' \quad (\text{II.8})$$

$$(\rho w)u = \rho \bar{w} \bar{u} = \rho \bar{w} \bar{u} + \rho \bar{w}' \bar{u}' \quad (\text{II.9})$$

De termen in de dwarscomponenten met de bijdrage voor de turbulente fluctuaties ($\rho \bar{u}' \bar{v}'$ en $\rho \bar{w}' \bar{u}'$) hebben dezelfde werking als een schuifspanning, en worden ook wel de Reynoldse schuifspanningen (τ_{xy}, τ_{xz} , enz.) genoemd. De fluctuatieterm in de langscomponent ($\rho (\bar{u}')^2$) heeft de werking als van druk. Voor de 2DH-modellering wordt nu aangenomen dat deze druktermen verwaarloosbaar³ zijn ten opzichte van de Reynoldse schuifspanningen hetgeen correct is als de stromingsrichting niet al te zeer van de diepte afhangt. Als over de diepte geïntegreerd wordt levert uitwerking van τ_{xz} de termen voor bodemwrijving en windschuifspanning. De spanningen τ_{xy} , τ_{xz} en τ_{yy} worden bij toepassen van de sluitingsaanname na integratie de effectieve spanningen T_{xy} , T_{xz} en T_{yy} , in de vorm van bijv.:

$$T_{xy} = \frac{1}{h} \int_0^h \tau_{xy} dz = -\frac{1}{h} \int_0^h \rho \nu_t(z) \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) dz \approx -\rho \nu_H \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (\text{II.10})$$

De evenredigheidsfactor ν_H wordt dan ook wel de effectieve turbulentie viscositeit voor de dieptegemiddelde stroming of "eddy viscosity" genoemd. Voor de Reynoldse schuifspanningen is ook nu aangenomen dat het om een gradiënt-type schuifspanning gaat, dus worden ze berekend volgens (II.1) om de vergelijking sluitend te maken. (Formules om de turbulente diffusie op moleculair niveau te berekenen zijn nog niet praktisch toepasbaar wegens hun omvang en ingewikkeldheid).

De effectieve spanningen worden vervolgens in de bewegingsvergelijking geplaatst in de vorm voor de x-resp. y-richting:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho H} \left(\frac{\partial H T_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial H T_{xy}}{\partial y} \right) \quad (\text{II.11})$$

³ Dit is de hydrostatische-druk aanname.

$$\frac{\partial v}{\partial x} = -\frac{1}{\rho H} \left(\frac{\partial HT_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial HT_{yy}}{\partial y} \right) \quad (\text{II.12})$$

Dit levert na enig omschrijven dezelfde vorm op als (II.5) en (II.6), nu alleen met de term ν_H in plaats van ν . De bewegingsvergelijkingen hebben voor dit geval dus 2 viscositeitstermen. De waarde voor de laminaire viscositeit is echter zo laag (orde $1 \cdot 10^{-6}$) ten opzichte van die van de turbulente viscositeit (orde $1 \cdot 10^{-2}$), dat deze eerste verwaarloosd kan worden.

Bijlage III

Afleiding Riemann-invarianten

Afleiding Riemann-invarianten

De afleiding van de Riemann-invarianten verloopt als volgt:

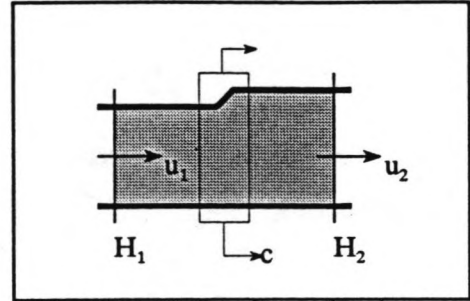
We nemen een geschematiseerde verstoring binnen een controlevolume (Afbeelding III.1).

Voor een prismatisch kanaal geldt dan volgens de wet van behoud van massa:

$$\rho u_1 H_1 = \rho u_2 H_2 \doteq P \quad (\text{III.1})$$

terwijl de wet van behoud van impuls levert:

$$\frac{1}{2} \rho g H_1^2 + \rho u_1^2 H_1 = \frac{1}{2} \rho g H_2^2 + \rho u_2^2 H_2 \doteq \text{constant} \quad (\text{III.2})$$



Afbeelding III.1 Controlevolume

Samen resulteert dit in vergelijkingen voor de stroomsnelheid:

$$u_1^2 = g H_2 \frac{(H_1 + H_2)}{2 H_1} \quad (\text{III.3})$$

$$u_2^2 = g H_1 \frac{(H_1 + H_2)}{2 H_2} \quad (\text{III.4})$$

We gaan nu uit van een infinitesimale golf die symmetrisch in twee richting wegloopt met een voortplantingssnelheid c in een stroom met snelheid u . Voor de infinitesimale golven (klein ten opzichte van de diepte) kan dan met benadering gesteld worden dat $u_1 \approx u_2 = u$ en $h_1 \approx h_2 = h$, hetgeen voor (III.3) en (III.4) resulteert in:

$$(c - u_1)^2 \approx (c - u)^2 = \frac{g H_2 (H_1 + H_2)}{2 H_1} \approx g H \quad (\text{III.5})$$

$$(c - u_2)^2 \approx (c - u)^2 = \frac{g H_1 (H_1 + H_2)}{2 H_2} \approx g H \quad (\text{III.6})$$

Hierdoor kunnen de verstoringen dus beschreven worden met:

$$c_{\pm} = u \pm \sqrt{g H} \quad (\text{III.7})$$

Formule (III.1) kan voor een met de verstoringssnelheid meebewegend assenstelsel worden herschreven als:

Bijlage III Afleiding Riemann-invarianten

$$\rho(c-u_1)H_1 = \rho(c-u_2)H_2 \quad (\text{III.8})$$

$$\rho c(H_2-H_1) = \rho(u_2H_2-u_1H_1) \quad (\text{III.9})$$

$$c \Delta H = \Delta(uH) \quad (\text{III.10})$$

of, voor een infinitesimale verstoring:

$$c \, dH = d(uH) \quad (\text{III.11})$$

met

$$d(uH) = u \, dH + H \, du \quad (\text{III.12})$$

Wanneer (III.7) met (III.11) wordt samengevoegd krijgen we:

$$d(uH) = (u \pm \sqrt{gH}) \, dH \quad (\text{III.13})$$

en dus met (III.12) voor een naar rechts lopende verstoring:

$$du = + \sqrt{\frac{g}{H}} \, dH \quad (\text{III.14})$$

$$du - \sqrt{\frac{g}{H}} \, dH = 0 \quad (\text{III.15})$$

$$du - d(2\sqrt{gH}) = 0 \quad (\text{III.16})$$

en op dezelfde wijze voor een naar links lopende verstoring:

$$du + d(2\sqrt{gH}) = 0 \quad (\text{III.17})$$

Uiteindelijk kan nu over de infinitesimale sprong geïntegreerd worden waardoor de Riemann-invarianten ontstaan:

$$u \pm 2\sqrt{gH} = \text{constant} \quad (\text{III.18})$$

Bijlage IV

Keuze sedimenttransportformules

Keuze sedimenttransportformules

Bij een morfologisch onderzoek zijn we in de voornamelijk geïnteresseerd in de mate van sedimenttransport, eventueel verrekend over een bepaald tijdsverloop. Om een gerichte schatting te kunnen maken van de mate van sedimenttransport (en niet zoals in de eerdere morfologische onderzoeken voor een veel groter gebied) is het in de eerste plaats noodzakelijk de plaatselijke bodemsamenstelling te kennen. Met juist gekozen transport-formules kan de gevonden korrelverdeling in combinatie met de in hoofdstuk 8 en 9 berekende stroomsnelheden uit de tijdsafhankelijke (uitvoerings) berekeningen en de initiële bodemconfiguratie, een schatting gemaakt worden voor de netto hoeveelheid bodemmateriaal die per getij door de stroming wordt meegenomen. De keuze voor de transportformules is een moeilijke zaak. Er is gebleken dat theoretische berekeningen vrij forse afwijkingen hebben ten opzichte van metingen als het gaat om profielen met anders dan vrij prismatische doorsneden. Ook geven de metingen aan dat het gebruik van een specifieke formule de ene keer wel en de andere keer niet tot goede resultaten leidt. Hier zitten we bovendien met het probleem dat er (nog) geen metingen aanwezig zijn om de theorie aan te koppelen. De enige methode om toch enig idee te krijgen van wat er zich in de opening zal gaan afspelen is om uitgaande van soortgelijke gevallen een keuze te maken voor meerdere transportformules, en de resultaten van de berekeningen kritisch te vergelijken.

In ons geval bekijken we een opening in een damlichaam. Op het gebied van morfologie is opmerkelijk genoeg een zandsluiting redelijk analoog hieraan. Dit klinkt nogal vreemd: het gaat hier immers om een opening, en niet om een sluiting. Toch heerst er een grote mate van analogie tussen de twee. Ten eerste bestaat de Beerdam en zijn ondergrond vrijwel geheel uit vrij fijn zand ($D_{50} \approx 160 \mu\text{m}$). Aangezien de berekeningsmethoden voor zandsluitingen getoetst zijn voor zand met $150 < D_{50} < 200 \mu\text{m}$ lijkt een koppeling hiermee op zijn plaats. Verder is de geometrie van een zandsluiting vrijwel identiek aan die van de geplande opening in de Beerdam: twee damuiteinden met (vrijwel) natuurlijke taluds aan weerszijden van een doorstroomopening.

Er is echter één wezenlijk verschil: bij een sluiting wordt er zand opgespoten om de opening kleiner te maken, in een bestaande opening gebeurt dit niet. Rest ons nog het antwoord op de vraag welke gevolgen dit verschil heeft op het sedimenttransport in beide stroomprofielen. Dit antwoord is te vinden wanneer we de theorie van zandsluitingen nader bekijken (zie 'Zandsluitingen, state of the art'. [lit.17]). Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen het 'erosieverlies' en het 'procesverlies'. Erosieverliezen worden omschreven als zijnde die verliezen die de aanwezige drempel van een opening eroderen ook als geen zand bijgespoten wordt, procesverliezen zijn de extra verliezen die bij de erosieverliezen komen doordat er gespoten wordt. Deze laatste verliezen vormen dus het verschil tussen een bestaande opening en de sluiting ervan.

Het wordt nog interessanter wanneer de twee soorten verliezen met elkaar vergeleken worden: bij zandsluitingen [zie lit.17] worden de procesverliezen verwaarloosbaar geacht t.o.v. de erosieverliezen. M.a.w. in theorie wordt er geen daadwerkelijk verschil gemaakt tussen een bestaande opening in een zandbodem en een zandsluiting(!). Uiteraard zal deze theorie in de praktijk getoetst moeten worden om de geldigheid vast te kunnen leggen, voor dit onderzoek wordt echter aangenomen dat deze theorie voldoende nauwkeurige gegevens oplevert om een uitspraak te doen over de hoeveelheid sedimenttransport door de opening.

Voor dit verliesmodel is na vergelijking van metingen en berekeningen gebleken dat de transportformules van 'van Rijn' en van 'Engelund-Hansen' de beste resultaten leveren voor de sluitingsbeschouwingen en wordt de laatste verkozen wegens zijn eenvoud.

Uitwerking formulerings

'Engelund-Hansen' voor zandsluitingen

De formule die voor de morfologische berekeningen gebruikt wordt is formule(IV.1)

$$S = \frac{0,05 \cdot v^5}{\Delta^2 \cdot \sqrt{g} \cdot D_{50} \cdot C^3 \cdot (1-p)} \quad (IV.1)$$

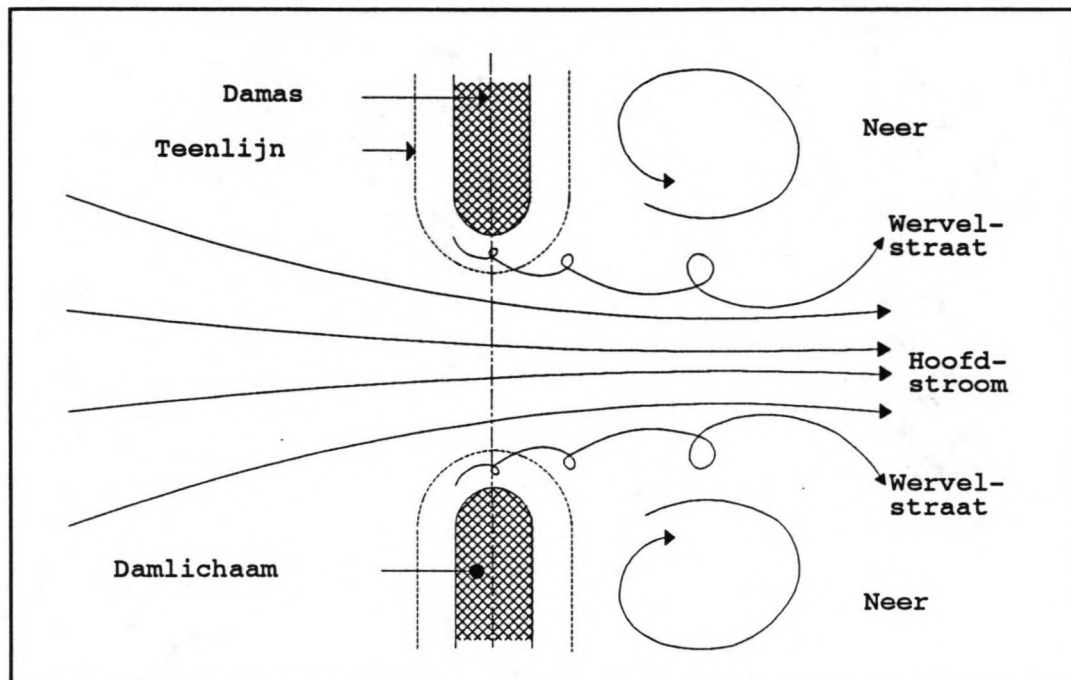
met: S = sedimenttransport [m³ gesedimenteerd zand / sm]
v = verticaal gemiddelde stroomsnelheid [m/s]
 Δ = relatieve dichtheid (= 1,65)
g = gravitatieconstante (= 10 m²/s)
D₅₀ = mediane korreldiameter [m]
p = porositeit van het sediment (= 0.4)
C = Chezycoëfficiënt [m^{1/2}/s]
 C = 18 log (12h/k_s)
met: h = waterdiepte [m]
 k_s = bodemruwheid [m]

Voor de waarden die in formule (IV.1) ingevuld moeten worden, zijn in [lit.17] een aantal keuzes gemaakt.

Voor de *ruwheid* k_s is op basis van eerder onderzochte verbanden en (vooral) eenvoud een constante waarde verondersteld. Deze waarde (voor zandsluitingen k_s=0,1 m) is niet vastgesteld voor exacte juistheid, maar de fout die ermee gemaakt wordt zal automatisch worden verdisconteerd in ijkfactoren die in het uiteindelijke verliesmodel.

De gebruikte *mediane diameter* D₅₀ moet zo goed mogelijk aansluiten op de aanwezige grondsamenstelling. De voor zandsluitingen gebruikte ijkformules gaan uit van waarden voor D₅₀ van 150 à 200 µm. Gezien de korrelverdelingen ter plaatse van de Beerdam (± 160 µm, zie Bijlage V) zullen deze formules voor dit geval gerechtvaardigd blijven.

Er wordt uiteindelijk een verliesmodel aanbevolen waarin stroom door de opening is opgesplitst in een hoofdstroom en een wervelstraat (zie Afbeelding IV.1). Op basis van één modelproef en één prototypeproef kon geconcludeerd worden dat de breedte van de wervelstraat bij de teenlijn van een dam gelijk is aan 30 % van de afstand tussen de damas en de teenlijn, ofwel B = 0,3*T.



Afbeelding IV.1 Onderverdeling hoofdstroom-wervelstraat.

In dit verliesmodel worden een tweetal ijkfactoren (f_i voor de wervelstraat en f_b voor de hoofdstroom) gebruikt die bepaald zijn aan de hand van vergelijking van de zonder factoren berekende zandverliezen en gemeten waarden hiervan. De te gebruiken methode van berekenen wordt dan:

- In de toekomstige damas worden de snijpunten A en B van de damlichamen met de bodem bepaald. Het gebied tussen A en B wordt in vakken verdeeld (zie Afbeelding IV.1).
- Voor A en B wordt volgens formule (IV.1) het zandtransport S_{iA} en S_{iB} berekend. Vervolgens worden de afstanden T_A en T_B tussen de toekomstige damas en de benedenstroomse teenlijn bepaald (zie Afbeelding IV.1), waarna het wervelstraatverlies S_i berekend kan worden met formule (IV.2).

$$S_i = (0,3 * f_i * S_{iA} * T_A) + (0,3 * f_i * S_{iB} * T_B) \quad (IV.2)$$

$$\text{met } f_i = 4/v \quad (v < 3,3 \text{ m/s})$$

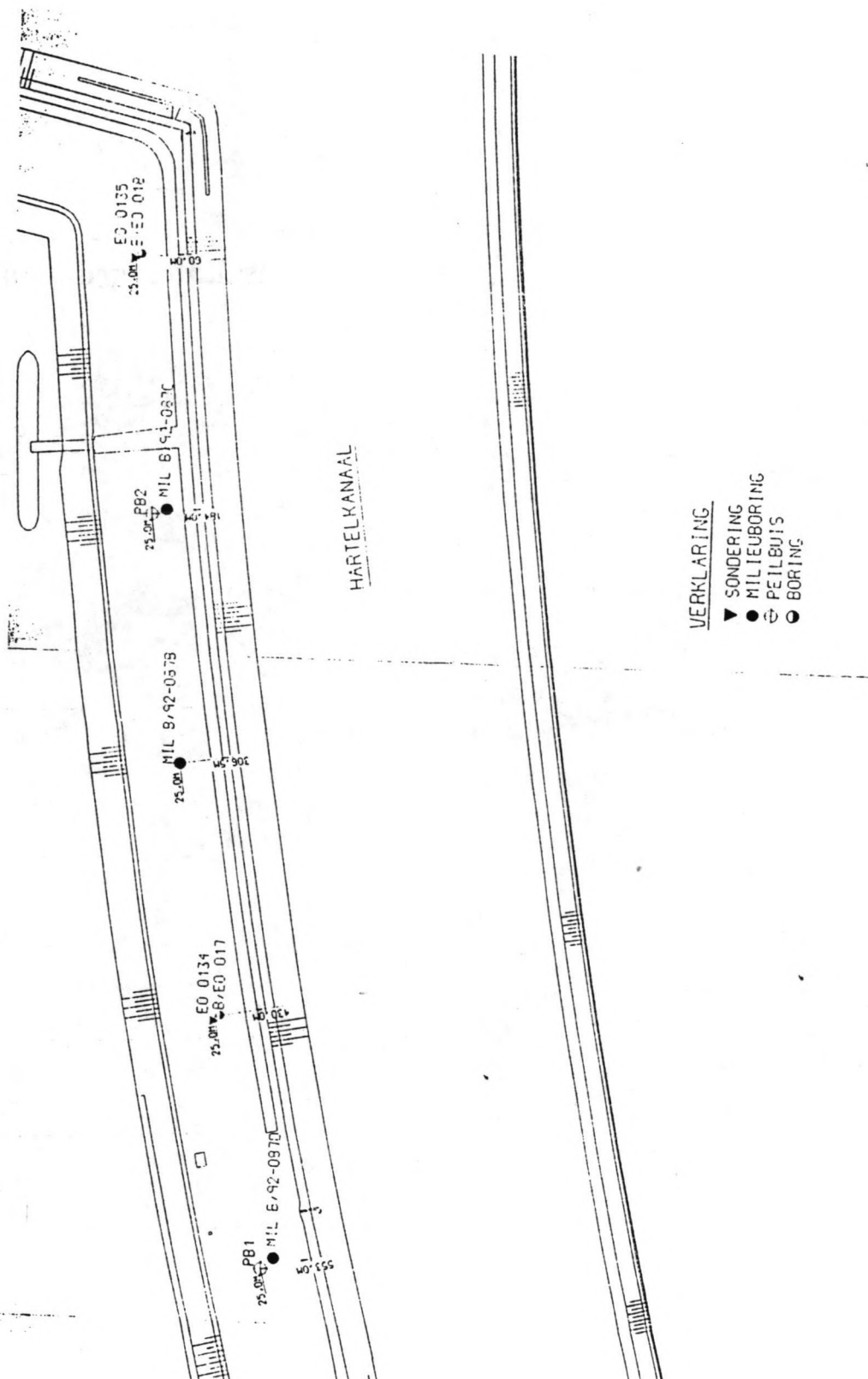
$$f_i = 1,2 \quad (v > 3,3 \text{ m/s})$$

- Voor elk vak tussen A en B wordt nu het transport volgens formule (IV.1) berekend en met de breedte van het vak vermenigvuldigd. Voor alle vakken opgeteld en vervolgens vermenigvuldigd met $f_b = 1,2$ geeft dit het totale hoofdstroomverlies S_b .
- Het verlies voor de gehele opening wordt eenvoudigweg bepaald door optellen van S_b en S_i .

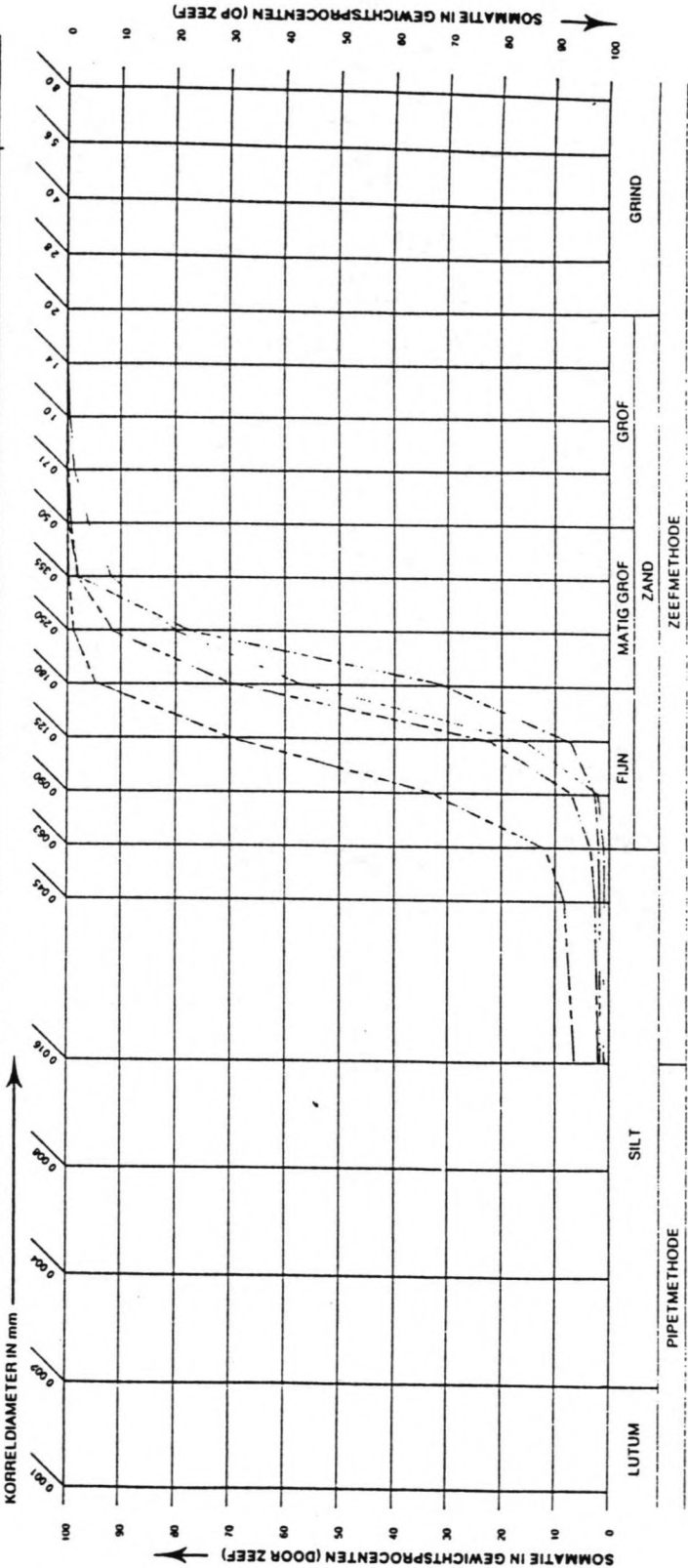
Bijlage V

Resultaten grondonderzoek

Bijlage V Resultaten grondonderzoek



GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM		KORRELVERDELINGSDIAGRAM				WERK BEERDAM		BORING		
AFD. I-02		ISO 565 MINERALE FRACIE		NEN 2560				B/EO 18		
GEOTECHNIEK										
MERK	DIEPTE IN m	GRIND > 2 mm %	ZAND 0.063-2 mm %	SUB < 0.016 mm %	LUTUM 0.002 mm %	HUMUS %	Ca CO ₃ %	U-cijfer	GRONDSOORT	d-50 mm
---	3.00	0.00	82.34	.58		4.30	12.60	59.6	M. SLIBH. MATIG F. ZAND	.169
---	13.00	0.00	93.76	1.30		.19	4.25	52.7	M. SLIBH. MATIG F. ZAND	.206
---	18.00	0.00	88.74	1.71		.06	8.00	69.7	M. SLIBH. MATIG F. ZAND	.154
---	22.00	0.00	78.41	5.57		.32	10.67	103.2	ST. SLIBH. MIDDELF. ZAND	.105



* GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM * LABORATORIUM GEOTECHNIEK *

ZEEFANALYSE

PROJECT : BEERDAM -
BORING- OF MONSTERNR B/EO 18
DIEPTE : 3.00

SAMENSTELLING MONSTER

GRIND 0.00 % > 2MM
ZAND 82.34 % 0.063-2 MM
SLIB .58 % < 0.016 MM
HUMUS 4.30 %
KALK 12.60 %
ZAND 82.53 % 0.016-2 MM
U-CIJFER 59.58
d-50 = 0.169 mm

KORRELVERDELING MINERALE FRACTIE

< 5.600 MM. 100.00 %
< 2.000 MM. 100.00 %
< 1.400 MM. 99.83 %
< 1.000 MM. 99.45 %
< .710 MM. 98.62 %
< .500 MM. 95.94 %
< .355 MM. 91.67 %
< .250 MM. 79.63 %
< .180 MM. 57.37 %
< .125 MM. 15.56 %
< .090 MM. 2.05 %
< .063 MM. .93 %
< .045 MM. .79 %
< .016 MM. .70 %

* GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM * LABORATORIUM GEOTECHNIEK *

ZEEFANALYSE

PROJECT : BEERDAM -
BORING- OF MONSTERNR B/EO 18
DIEPTE : 13.00

SAMENSTELLING MONSTER

GRIND 0.00 % > 2MM
ZAND 93.76 % 0.063-2 MM
SLIB 1.38 % < 0.016 MM
HUMUS .19 %
KALK 4.25 %
ZAND 94.17 % 0.016-2 MM
U-CIJFER 52.74
1-50 = 0.206 mm

KORRELVERDELING MINERALE FRACTIE

< 5.600 MM.	100.00 %
< 2.000 MM.	100.00 %
< 1.400 MM.	100.00 %
< 1.000 MM.	100.00 %
< .710 MM.	99.97 %
< .500 MM.	99.78 %
< .355 MM.	97.81 %
< .250 MM.	76.88 %
< .180 MM.	31.43 %
< .125 MM.	7.12 %
< .090 MM.	2.65 %
< .063 MM.	1.88 %
< .045 MM.	1.70 %
< .016 MM.	1.45 %

* GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM * LABORATORIUM GEOTECHNIEK *

ZEEFANALYSE

PROJECT : BEERDAM -
BORING- OF MONSTERNR B/EO 18
DIEPTE : 18.00

SAMENSTELLING MONSTER

GRIND 0.00 % > 2MM
ZAND 88.74 % 0.063-2 MM
SLIB 1.71 % < 0.016 MM
HUMUS .05 %
KALK 8.08 %
ZAND 90.15 % 0.016-2 MM
U-CIJFER 69.74
d-50 = 0.154 mm

KORRELVERDELING MINERALE FRACTIE

< 5.600 MM. 100.00 %
< 2.000 MM. 100.00 %
< 1.400 MM. 100.00 %
< 1.000 MM. 99.91 %
< .710 MM. 99.74 %
< .500 MM. 99.21 %
< .355 MM. 98.06 %
< .250 MM. 91.30 %
< .180 MM. 70.18 %
< .125 MM. 22.16 %
< .090 MM. 7.03 %
< .063 MM. 3.40 %
< .045 MM. 2.61 %
< .016 MM. 1.86 %

* GEMEENTEWERKEN ROTTERDAM * LABORATORIUM GEOTECHNIEK *

ZEEFANALYSE

PROJECT : BEERDAM -
BORING- OF MONSTERNR B/EO 18
DIEPTE : 22.00

SAMENSTELLING MONSTER

GRIND 0.00 % > 2MM
ZAND 78.41 % 0.063-2 MM
SLIB 5.57 % < 0.016 MM
HUMUS .32 %
KALK 10.67 %
AND 83.44 % 0.016-2 MM
U-CIJFER 103.18
d-50 = 0.105 mm

KORRELVERDELING MINERALE FRACTIE

< 5.600 MM.	100.00 %
< 2.000 MM.	100.00 %
< 1.400 MM.	100.00 %
< 1.000 MM.	100.00 %
< .710 MM.	99.99 %
< .500 MM.	99.94 %
< .355 MM.	99.67 %
< .250 MM.	98.78 %
< .180 MM.	94.70 %
< .125 MM.	68.90 %
.090 MM.	33.70 %
.063 MM.	11.91 %
< .045 MM.	8.26 %
< .016 MM.	6.26 %
