

ICW nota 1810

januari 1988

ALTERRA
Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer



nota

instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding, wageningen

ONDERZOEK NAAR DE EFFECTEN VAN WATERAANVOER EN
PEILVERANDERINGEN IN AGRARISCHE GEBIEDEN OP DE
WATERKWALITEIT IN NATUURGEBIEDEN

deel 8

STRELIN, een computer programma voor de berekening
van stroomlijnen, potentialen en verblijftijden

ir. P. Groenendijk

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-
middelen, dus geen officiële publikaties.
Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen
de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek
nog niet is afgesloten.
Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut
in aanmerking

NOTA/1810

I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
2. THEORIE	3
2.1. Berekening van stroomfunctiewaarden en potentialen	3
2.2. Berekening van verblijftijden	9
3. BESCHRIJVING VAN DE INVOER	11
3.1. Instellen van de juiste dimensies	11
3.2. Samenstellen van de file 'STRELIN.DAT'	12
3.3. Samenstellen van een hydrologische file	14
4. RESULTATEN EN VOORBEELDEN	16
LITERATUUR	18
APPENDICES	19

ALTERRA

NOTA/1810

Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

1

1. INLEIDING

Veranderingen in de kwaliteit van het grond- en oppervlakte water in wegzijgingsgebieden kunnen na verloop van tijd resulteren in verhoogde of verlaagde concentraties van bepaalde stoffen in het grondwater van stroomafwaarts gelegen kwelgebieden en het oppervlakte water van ontwateringsmiddelen. Inzicht in de regionale samenhang van de grondwaterstroming is nodig voor het nemen van gefundeerde beslissingen ten aanzien van maatregelen om dergelijke kwelgebieden te beschermen. Een figuur van een geohydrologische dwarsdoorsnede langs een transect waarin een aantal stroomlijnen en lijnen van gelijke verblijftijden zijn aangegeven vormt een eenvoudig instrument bij het verwerven van inzicht in de herkomst van het kwelwater en de ouderdom van het kwelwater. Met behulp van dergelijke figuren kunnen globaal de effecten van ingrepen in het hydrologische systeem worden aangegeven.

Dit instrument stelt een aantal voorwaarden aan de hydrologische dwarsdoorsneden waarop het wordt toegepast:

- * De stromingsrichting moet geschematiseerd kunnen worden in 2 ruimtelijke dimensies.
- * De opbouw van de geo-hydrologische dwarsdoorsnede moet bekend zijn.
- * De waarden van de hydrologische grootheden (potentialen of fluxen) moeten bekend zijn.

In het kader van het SWNBL 'Wateraanvoerproject' dat door het ICW wordt uitgevoerd is een computerprogramma ontwikkeld voor de berekening van stroomlijnen, potentialen en verblijftijden in een 2-dimensionale doorsnede. Dit model sluit aan bij de waterkwaliteitsmodellen die bij dit project worden gebruikt. Deze modellen zijn gebaseerd op het 'mixing-cell' concept en beschrijven het stoftransport langs een stroomlijn of stroombaan. Voor een beschrijving van de methode wordt verwezen naar par. 6.2. van GROENENDIJK (1986).

De in het programma berekende waarden worden in een plotprogramma gebruikt voor het tekenen van de figuren.

In deze nota wordt een korte beschrijving gegeven van de theorie met betrekking tot de twee-dimensionale grondwaterstroming. Voor een uitgebreide beschrijving kan worden verwezen naar onder andere BEAR (1972), PRICKETT et.al. (1981), VERRUIJT (1982), WANG & ANDERSON (1982) en VAN DEN AKKER (1983).

NOTA/1810

NOTA
Berekening van de effectiviteit van de maatregelen W
in de landbouw
in de landbouw
in de landbouw

2

In hoofdstuk 3 wordt een beschrijving gegeven van de manier waarop de invoer informatie in computerbestanden dient te worden georganiseerd. Hoofdstuk 4 en de appendices geven 2 voorbeelden om de gebruiker te helpen bij het samenstellen van de files. Tevens worden de resultaten gegeven van de voorbeeldberekeningen.

2. THEORIE

2.1. Berekening van stroomfunktiewaarden en potentialen

De stroming van grondwater in een twee-dimensionale doorsnede kan worden beschreven met de fluxdichtheidsvergelijking en de continuïteitsvergelijking.

Bij de ontwikkeling van het programma STRELIN zijn de volgende aannamen gedaan:

- * de stroming is stationair;
- * de dichtheid van het grondwater in de doorsnede is in het gehele systeem gelijk;
- * onttrekkingen of toevoegingen vinden alleen aan de randen van het systeem plaats;
- * er treedt geen divergentie of convergentie van de stroming op. Het isohypsenpatroon van het systeem waarin de doorsnede wordt gemaakt is bij benadering parallel lineair. De doorsnede wordt loodrecht op de isohypsen gemaakt.

De algemene vergelijking van fluxdichtheidsvergelijking is:

$$\bar{v} = -k \text{ grad } H \quad (1)$$

\bar{v} : fluxdichtheid vector (m/etm)

k : doorlatendheid tensor (m/etm)

grad H : stijghoogte gradiënt (-)

Als de hoofdrichtingen van de anisotropie horizontaal en vertikaal zijn (x-richting en y-richting), kan deze vergelijking (wet van Darcy) worden weergegeven door:

NOTA/1810

4

$$v_x = -k_x \frac{\partial H}{\partial x} \quad (2a)$$

$$v_y = -k_y \frac{\partial H}{\partial y} \quad (2b)$$

v_x : fluxdichtheid in x-richting (m/etm)

v_y : fluxdichtheid in y-richting (m/etm)

k_x : doorlatendheid x-richting (m/etm)

k_y : doorlatendheid y-richting (m/etm)

H : stijghoogte (m)

x : plaatscoördinaat x-richting (m)

y : plaatscoördinaat y-richting (m)

De algemene voorstelling van de continuïteitsvergelijking is:

$$\frac{\partial(\rho\theta)}{\partial t} = \frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_y)}{\partial y} + S \quad (3)$$

ρ : dichtheid van de vloeistof (kg/m^3)

θ : volume vochtgehalte (m^3/m^3)

S : bron of put (kg/etm)

De toepassing van de bovengenoemde aannamen heeft de volgende vereenvoudigde vergelijking als resultaat:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

De combinatie van vergelijking (2a), vergelijking (2b) en vergelijking (4) levert een formulering op die wordt gebruikt om het twee-dimensionale stijghoogteveld te berekenen.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(-k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) = 0 \quad (5)$$

Met behulp van de stroomfunctie $\psi(x,y)$ kunnen stroomlijnen worden berekend. In een stroomfunctieveld worden debieten per strekkende meter loodrecht op de doorsnede cumulatief op de gridpunten gegeven. Een stroomlijn in het x-y vlak kan worden samengesteld uit de coördinaten met een gelijke stroomfunctiewaarde $\psi(x,y) = C$, oftewel $d\psi = 0$. Voor het berekenen van de stroomfunctiewaarden vanuit een potentiaalveld, of vice versa, wordt gebruik gemaakt van de Cauchy-Riemann condities. Deze condities worden afgeleid uit de voorwaarden van wervelvrijheid en rotatievrijheid.

$$k_x \frac{\partial H}{\partial x} = \frac{\partial \psi}{\partial y} \quad (6a)$$

$$k_y \frac{\partial H}{\partial y} = - \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (6b)$$

VAN DEN AKKER (1983) geeft de partiële differentiaalvergelijking van de stroomfunctie weer met de volgende schrijfwijze:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(- \frac{1}{k_y} \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(- \frac{1}{k_x} \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) = 0 \quad (7)$$

Het linker- en rechterlid van deze vergelijking kan met de factor $-k_x k_y$ worden vermenigvuldigd als het systeem homogeen is voor wat betreft de horizontale en verticale doorlatendheid.

In figuur 1 is een schema gegeven van roosterpunten in een rechthoekennet en de indeling van doorlatendheden per compartiment.

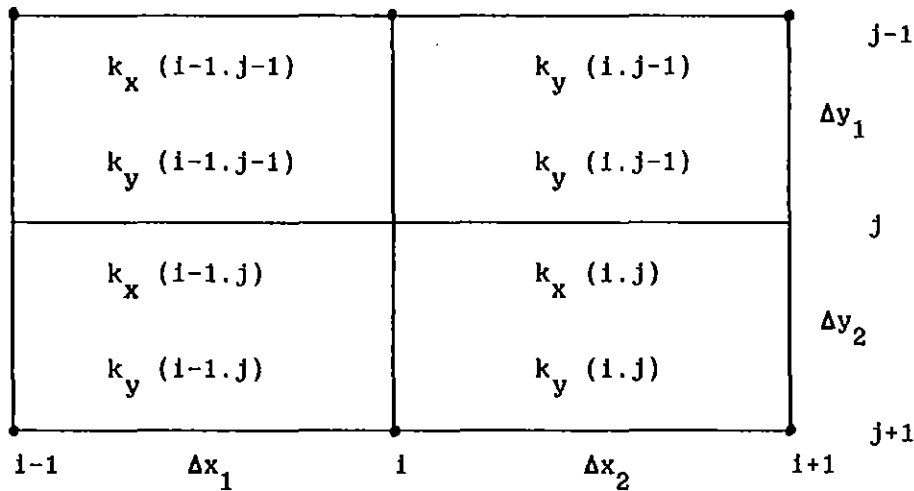


Fig. 1. Schematische voorstelling van de indeling van roosterpunten en doorlatendheden in een anisotroop grondwatersysteem

De doorlatendheden worden in het programma per compartiment ingevoerd. Per compartiment wordt een homogene situatie verondersteld voor wat betreft de doorlatendheden en porositeit.

Vergelijking 5 kan op de volgende wijze worden gediscrètiseerd:

$$\frac{\kappa_x(i) \frac{H(i+1, j) - H(i, j)}{\Delta x_2} - \kappa_x(i-1) \frac{H(i, j) - H(i-1, j)}{\Delta x_1}}{\frac{1}{2} (\Delta x_2 + \Delta x_1)} + \frac{\kappa_y(j) \frac{H(i, j+1) - H(i, j)}{\Delta y_2} - \kappa_y(j-1) \frac{H(i, j) - H(i, j-1)}{\Delta y_1}}{\frac{1}{2} (\Delta y_2 + \Delta y_1)} = 0 \quad (8)$$

Bij deze schrijfwijze met centrale differenties zijn de afbreekfouten van een vierde orde en hoger. $\kappa_x(i)$, $\kappa_x(i-1)$, $\kappa_y(j)$ en $\kappa_y(j-1)$ stellen de doorlatendheden van de lijnstukken die de roosterpunten verbinden voor. Voor de waarden van deze parameters worden de kleinste waarden van de twee aanliggende compartimenten per lijnstuk gekozen.

De potentialen in het netwerk worden met een Gauss-Seidel iteratie procedure met 'Successive Over Relaxation' vanuit de aan de randen opgelegde potentialen berekend.

NOTA/1810

7

$$H^{k+1}(i,j) = \omega \cdot H^*(i,j) + (1-\omega) H^k(i,j) \quad (9)$$

met:

$$H^*(i,j) = \alpha_1 H(i+1,j) + \alpha_2 H(i-1,j) + \alpha_3 H(i,j+1) + \alpha_4 H(i,j-1) \quad (9a)$$

waarin:

$$\alpha_1 = 2\kappa_x(i)/\Delta x_2(\Delta x_1 + \Delta x_2)$$

$$\alpha_2 = 2\kappa_x(i-1)/\Delta x_1(\Delta x_1 + \Delta x_2)$$

$$\alpha_3 = 2\kappa_y(j)/\Delta y_2(\Delta y_1 + \Delta y_2)$$

$$\alpha_4 = 2\kappa_y(j-1)/\Delta y_1(\Delta y_1 + \Delta y_2)$$

en:

$$\omega = 1 + \frac{\lambda |H^* - H^k|}{|H^* - H^k| + H^k} \quad (9b)$$

De parameter ω is een overrelaxatiefactor die wordt berekend in afhankelijkheid van het verschil van de oude en nieuwe waarde van H in een iteratie ronde.

De parameter λ wordt bij de start van het programma ingelezen. Geadviseerd wordt om deze waarde tussen 0 en 1 te kiezen. De overrelaxatiefactor zal variëren tussen 1 en $1 + \lambda$:

$$\text{als: } |H^k - H^*| \rightarrow 0 \quad \text{dan: } \omega \rightarrow 1 \quad (10a)$$

$$\text{als: } |H^k - H^*| \rightarrow \infty \quad \text{dan: } \omega \rightarrow 1 + \lambda \quad (10b)$$

De iteratieprocedure wordt afgebroken als de grootste waarde van alle relatieve veranderingen per knooppunt niet groter is dan een bepaalde waarde (convergentie criterium).

Voor de berekening van stroomfunktiewaarden op de coördinaten van het netwerk wordt vergelijking 7 als volgt gediscretiseerd:

$$\frac{\frac{1}{\kappa_y(i)} \frac{\psi(i+1,j) - \psi(i,j)}{\Delta x_2} - \frac{1}{\kappa_y(i-1)} \frac{\psi(i,j) - \psi(i-1,j)}{\Delta x_1}}{\frac{1}{2}(\Delta x_2 + \Delta x_1)} + \frac{\frac{1}{\kappa_x(j)} \frac{\psi(i,j+1) - \psi(i,j)}{\Delta y_2} - \frac{1}{\kappa_x(j-1)} \frac{\psi(i,j) - \psi(i,j-1)}{\Delta y_1}}{\frac{1}{2}(\Delta y_2 + \Delta y_1)} = 0 \quad (11)$$

De stroomfunktiewaarden worden op analoge wijze aan de potentialen met een Gauss-Seidel iteratieprocedure berekend.

Bij de bepaling van potentialen uit een stroomfunctienetwerk kan optimaal van de informatie gebruik worden gemaakt als de ψ -waarden en potentiaalwaarden van de omliggende knooppunten worden gebruikt in de berekeningen. Vergelijking (6a) en (6b) worden als volgt achterwaarts gediscretiseerd:

$$\kappa_x(i-1, j-1) \frac{H(i,j) - H(i-1,j)}{\Delta x_1} = \frac{1}{2} \frac{\psi(i,j) + \psi(i-1,j) - \psi(i,j-1) - \psi(i-1,j-1)}{\Delta y_1} \quad (12a)$$

$$\kappa_x(i-1, j) \frac{H(i,j) - H(i-1,j)}{\Delta x_1} = \frac{1}{2} \frac{\psi(i,j+1) + \psi(i-1,j+1) - \psi(i,j) - \psi(i-1,j)}{\Delta y_2} \quad (12b)$$

$$\kappa_y(i-1, j-1) \frac{H(i,j) - H(i,j-1)}{\Delta y_1} = \frac{1}{2} \frac{\psi(i,j) - \psi(i-1,j) + \psi(i,j-1) - \psi(i-1,j-1)}{\Delta x_1} \quad (12c)$$

$$\kappa_y(i, j-1) \frac{H(i,j) - H(i,j-1)}{\Delta y_1} = \frac{1}{2} \frac{\psi(i+1,j) - \psi(i,j) + \psi(i+1,j+1) - \psi(i,j+1)}{\Delta x_2} \quad (12d)$$

Op analoge wijze kunnen deze vergelijkingen voorwaarts worden gediscretiseerd.

$H(i,j)$ kan per vergelijking worden opgelost. Aangezien de stroomfunktiewaarden benaderingen zijn en bijna nooit de exacte waarden zijn, wordt, indien mogelijk, $H(i,j)$ opgelost uit de vergelijkingen afzonderlijk en wordt de gemiddelde waarde over zoveel mogelijk oplossingen als uiteindelijke waarde aangehouden. Bij het oplossen en berekenen van het gemiddelde wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van informatie van de omliggende punten.

De berekening van ψ -waarden uit een potentiaalveld kan op analoge wijze plaats vinden.

2.2. Berekening van verblijftijden

Voor de berekening van verblijftijden wordt de volgende procedure gevolgd:

- * Van de ingevoerde referentiepunten met coördinaten STX en STY worden de stroomfunktiewaarden bepaald.
- * De grootte en de richting van de snelheid worden op dit startpunt (X,Y) bepaald.
- * Hiermee worden de coördinaten van een nieuw punt (X',Y') bepaald volgens:

$$X' = V_x * DT + X$$

$$Y' = V_y * DT + Y$$

met: V_x reële snelheid X-richting

V_y reële snelheid Y-richting

DT tijdsinterval voor berekening van punten op een stroomlijn.

- * Getoetst wordt of dit nieuwe punt dezelfde stroomfunktiewaarde heeft.

Zo nee: met behulp van een zoekprocedure wordt een punt in horizontale of verticale richting gezocht dat wel dezelfde stroomfunktiewaarde heeft. De richting waarin wordt gezocht hangt af van de richting van de snelheid.

- * De snelheid in het nieuwe punt wordt bepaald.
- * Getoetst wordt of de reistijd tussen het oude en nieuwe punt teveel afwijkt van de opgegeven reistijd DT.

Zo ja: De reistijd wordt gehalveerd.

Dit halveren kan maximaal 5 maal plaats vinden.

- * De hierboven beschreven procedure wordt opnieuw uitgevoerd met het nieuw gevonden punt als startpunt.
- * Voor ieder opgegeven uitvoer-tijdsinterval worden de coördinaten van het punt op de stroomlijn met de bijbehorende reistijd weggeschreven.

Op deze wijze wordt het stroomfunctievelld afgetast naar punten met dezelfde stroomfunktiewaarden die onderling een gelijke reistijd-interval hebben. De procedure wordt gestopt indien met de kleinst mogelijke tijdsinterval een punt wordt berekend dat op of buiten de begrenzing van het systeem ligt.

Het programma bevat enkele zoekroutines voor speciale gevallen die zich in complexere stromingssituaties kunnen voordoen:

- * een knik in de stroomlijn ten gevolge van een slechtdoorlatende laag of een breuk in de geohydrologische opbouw;
- * het verschijnsel dat meerdere stromingssystemen in de gemaakte doorsnede kunnen voorkomen. Hierdoor kunnen verschillende stroomlijnen dezelfde stroomfunktiewaarden hebben.

Door de punten met gelijke verblijftijden van een aantal stroomlijnen met elkaar te verbinden kunnen isochronen worden getekend.

3. BESCHRIJVING VAN DE INVOER

Het rekenprogramma bestaat uit 4 files:

- * STRELIN.FOR: het hoofdprogramma met subroutines waarin het stroom-functieveld en het potentiaalveld wordt berekend.
- * TRANS.FOR: de subroutines waarmee de stroomlijnen en verblijftijden worden berekend.
- * PARAM.INC: een INCLUDE file met een PARAMETER declaratie voor het instellen van de juiste dimensies.
- * STRELIN.INC: een INCLUDE file met de overige declaraties en COMMON BLOCKS.

3.1. Instellen van de juiste dimensies

Alvorens het programma te runnen dient gecontroleerd te worden of de dimensies van de gedeclareerde arrays groot genoeg zijn. Het verdient aanbeveling om de dimensies zodanig te kiezen dat het systeem er goed in 'past', maar niet te groot vanwege een te zware belasting van de computercapaciteit.

In de INCLUDE-file 'PARAM.INC' staat de volgende PARAMETER-declaratie die in meerdere subroutines wordt gebruikt:

```
PARAMETER ( NUMX=50,  
&           NUMY=50,  
&           NUMP=5,  
&           NUMSL=20,  
&           NUMT=200,  
&           NUML=20)
```

Met de volgende betekenis van de NUM-variabelen:

NUMX : aantal gridpunten in x-richting;
NUMY : aantal gridpunten in y-richting;
NUMP : aantal hydrologische perioden;
NUMSL: aantal stroomlijnen;
NUMT : aantal punten op een stroomlijn;
NUML : aantal lijnvakken waarvan de flux wordt opgegeven.

Indien 1 of meer NUM-waarden wordt/worden aangepast moeten de files STRELIN.FOR en TRANS.FOR opnieuw worden vertaald en 'gelinkt' voordat het programma kan worden 'gerund'.

3.2. Samenstellen van de file 'STRELIN.DAT'

Met de file 'STRELIN.DAT' worden de geohydrologische gegevens zoals doorlatendheden ingevoerd, alsmede enkele opties en parameters voor het berekenen van de stroomlijnen. De eerste 20 posities van iedere regel zijn gereserveerd voor het schrijven van commentaar.

De codes NXI en NXJ hebben de volgende betekenis:

$NXI = INT (NXCELLS / 100)$

$NXJ = NXCELLS - 100 * NXI$

variabele(n)	format	aantal records
aantal hydrologische perioden NPERIODE	20X, I10	1

horizontale en verticale afmetingen van de doorsnede XLENGTE YLENGTE	20X, 2F10.3	1

aantal horizontale en verticale compartimenten NXCELLS NYCELLS	20X, 2I10	1

namen van invoer- en uitvoerfiles DATAINDEX RESINDEX	20X, A10, 10X, A10	NPERIODE
Per periode wordt een hydrologische invoerfile aangemaakt met de lengte van lijnstukken, het type van randvoorwaarde en de opgelegde flux of potentiaal. De namen van de files worden ingelezen als DATAINDEX en de namen van de files waarnaar de uitvoer wordt weggeschreven worden ingelezen als RESINDEX		

maximum aantal iteraties en convergentie criterium en over-relaxatie parameter (zie vgl.9b) MAXITER DELTA LABDA	20X, I10, 2F10.6	1

inlezen van codes voor horizontale k-waarden als NXCELLS <= 100: IDIF	20X, <NXCELLS>(A1)	NYCELLS
als NXCELLS > 100: IDIF	NXI*(20X, 100(A1))	NXI*NYCELLS
IDIF	20X, <NXJ>(A1)	NYCELLS
aantal verschillende horizontale k-waarden NDIF	20X, I10	1
code en bijbehorende horizontale k-waarde JDIF XDIF	20X, A1, 9X, F10.3	NDIF

	variabele(n)	format	aantal records
inlezen van codes voor verticale k-waarden			
als NXCELLS <= 100:	IDIF	20X,<NXCELLS>(A1)	NYCELLS
als NXCELLS > 100:	IDIF	NXI*(20X,100(A1))	NXI*NYCELLS
	IDIF	20X,<NXJ>(A1)	NYCELLS
aantal verschillende verticale k-waarden			
	NDIF	20X,I10	1
code en bijbehorende verticale k-waarde			
	JDIF XDIF	20X,A1,9X,F10.3	NDIF

inlezen van codes voor porositeiten			
als NXCELLS <= 100:	IDIF	20X,<NXCELLS>(A1)	NYCELLS
als NXCELLS > 100:	IDIF	NXI*(20X,100(A1))	NXI*NYCELLS
	IDIF	20X,<NXJ>(A1)	NYCELLS
aantal verschillende porositeiten			
	NDIF	20X,I10	1
code en bijbehorende porositeit			
	JDIF XDIF	20X,A1,9X,F10.3	NDIF

inlezen van opties per gridpunt			
als NXCELLS+1 <= 100:	IDIF	20X,<NXCELLS+1>(I)	NYCELLS+1
als NXCELLS+1 > 100:	IDIF	NXI*(20X,100(I))	NXI*(NYCELLS+1)
	IDIF	20X,<NXJ+1>(I)	NYCELLS+1
IDIF = 0	: PSI-waarde of POT-waarde wordt binnen de iteratie procedure vastgesteld		
IDIF = 1	: PSI-waarde of POT-waarde wordt in de voorbereidende berekeningen vastgesteld. Het systeem met 0-waarden dient geheel omgeven te zijn met 1-waarden.		
IDIF = 2	: coördinaat met doorlatendheid $\rightarrow \infty$; (lucht)		
IDIF = 3	: coördinaat met doorlatendheid = 0		

opties voor stroomlijnen, uitvoer naar invoerfile voor plotprogramma en het volgen van de iteratie vorderingen op het scherm.			
	OPTSTR OPTPLT OPTITR OPTSLP	20X,4I10	1
OPTSTR = 0:	geen stroomlijnen;		
OPTSTR = 1:	stroomlijnen worden berekend in subroutine TRANS;		
OPTPLT = 0:	geen uitvoer;		
OPTPLT = 1:	uitvoer van stroomfunctiewaarden naar 'STRELOT.DAT' ten behoeve van stroomlijnen-plotprogramma.		
OPTITR = 0:	iteratie vorderingen worden niet gevolgd op het beeldscherm;		
OPTITR = 1:	iteratie vorderingen worden gevolgd op het beeldscherm;		
OPTPLT = 0:	geen uitvoer;		
OPTPLT = 1:	uitvoer van aantal punten per stroomlijn, verblijftijden en coördinaten naar 'PLOTSL.DAT' ten behoeve van verblijftijden-plotprogramma		

variabele(n)	format	aantal records
Onderstaande parameters worden alleen ingelezen indien: OPTSTR = 1		

aantal stroomlijnen		
NLINES	20X,I10	1

startpunten van waaruit de stroomlijnen vertrekken		
STX STY	20X,2F10.4	NLINES

tijdsinterval waarop coördinaten met bijbehorende verblijftijden worden uitgevoerd en tijdsinterval voor berekening van verblijftijden		
DTS DT	20X,2F10.4	1

3.3. Samenstellen van een hydrologische file

De naam van deze file kan zelf worden gekozen en wordt in 'STRELIN.DAT' ingevoerd. De maximum lengte van de naam bedraagt 10 characters.

De randen van de geo-hydrologische doorsnede worden in het programma herkend met de volgende nummer-indeling (fig. 2).

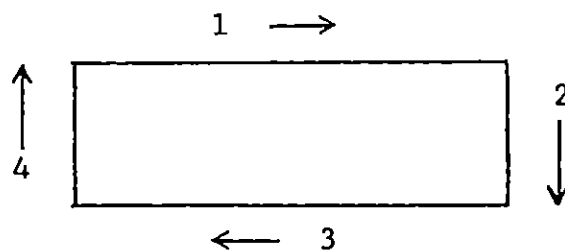


Fig. 2. Volgorde van de randen van een modeldoorsnede

Voor de geo-hydrologische doorsnede moeten fluxrandvoorwaarden of potentiaalrandvoorwaarden worden opgegeven.

Per zijde kan de flux variëren over verschillende afstanden. Hiertoe worden de lengtes van de lijnstukken en de bijbehorende fluxen opgegeven. De volgorde van de verdeling van de lijnstukken verloopt in de richting van de wijzers van de klok.

De volgende afspraken worden gemaakt:

- * De inkomende flux krijgt een positieve waarde.
- * De uitgaande flux krijgt een negatieve waarde.
- * Een oplopende reeks in de richting van de wijzers van de klok mee betekent instroming.
- * Een aflopende reeks in de richting van de wijzers van de klok mee betekent uitstroming.

De mogelijkheid bestaat om van een zijde de relatieve fluxverdeling op te geven. Het programma berekent de waterbalans dan over de 3 randen waarvoor de flux wordt ingevoerd en verdeelt de restterm aan de hand van de relatieve fluxverdeling over de vierde rand.

Indien een potentiaalrandvoorwaarde wordt opgelegd moet deze per randpunt worden ingevoerd.

Het type randvoorwaarde wordt met behulp van een code ingevoerd:

- 0 : flux randvoorwaarde;
- 1 : relatieve flux randvoorwaarde;
- 2 : potentiaal randvoorwaarde.

De parameters en variabelen worden door het programma met een vrije format ingelezen. Eventueel commentaar kan aan het einde van de records worden geplaatst.

De indeling van de file is als volgt:

variabele(n)	aantal records
potentiaal van het knooppunt (1,1) als referentie HPOTH	1
Per rand wordt achtereenvolgens ingevoerd:	
randnummer, soort randvoorwaarde en aantal lijnstukken waarvoor de flux wordt ingevoerd. RANO TYPRA NAANTAL	1
als TYPRA = 0 DELLENGTE XFLUX NAANTAL (lengte van een lijnstuk en de waarde van de flux)	
als TYPRA = 1 DELLENGTE RELFLUX NAANTAL (lengte van een lijnstuk en de waarde van de relatieve flux)	
als TYPRA = 2 IX JY HPOT NAANTAL (knooppunt nummers X- en Y-richting en waarde van potentiaal)	

4. VOORBEELDEN EN RESULTATEN

In voorbeeld 1 wordt een stromingssituatie met een damwand gegeven. De damwand is gesitueerd op 140 m vanaf de linkerkant.

Aan de rechterkant van de damwand ligt het maaiveld 4 m lager dan aan de linkerkant. Links/onder en rechts/onder in de doorsnede bevindt zich ondoorlatend materiaal. Van de boven-, rechter- en onderzijde worden de fluxvoorwaarden gegeven. Van de linkerzijde wordt een relatieve fluxvoorwaarde gegeven. Gevraagd wordt om de coördinaten van 5 stroomlijnen te berekenen met een reistijdinterval van 365 dagen.

In appendix 1 wordt de invoer en uitvoer die bij dit voorbeeld behoren gegeven. In figuur 3 is het resultaat van de stroomfunctieberekening in een stroomlijnenpatroon weergegeven.

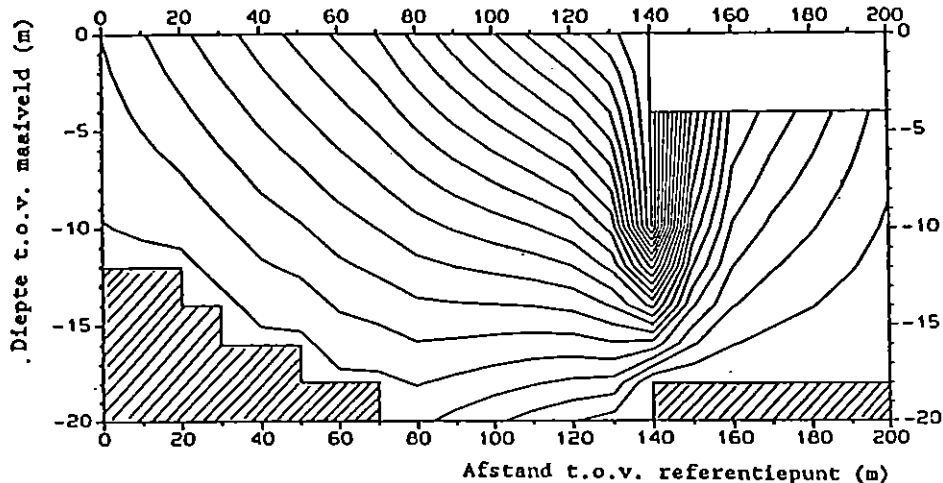


Fig. 3. Stroomlijnenpatroon als resultaat van voorbeeldberekening 1

Voorbeeld 2 is ontleend aan BLÖMER (1985). In het kader van het verplaatsingsonderzoek in het Zuidelijk Peelgebied presenteerde hij een eenvoudige methode om stroomlijnen te berekenen uit een isohypsenkaart. De schematisering en de bijbehorende gegevens van een wintersituatie van het door hem doorgerekende transect zijn in het computermodel STRELIN ingevoerd. In appendix 2 is de schematisering en zijn de invoergegevens weergegeven. De optie om de coördinaten van stroomlijnen op regelmatige tijdsintervallen te berekenen is niet benut.

In figuur 4a wordt het resultaat gegeven van de berekening door BLÖMER (1985) en in figuur 4b wordt het resultaat gegeven van de berekening met het programma STRELIN. Nabij de Griendsveenbreuk wijken de patronen iets van elkaar af.

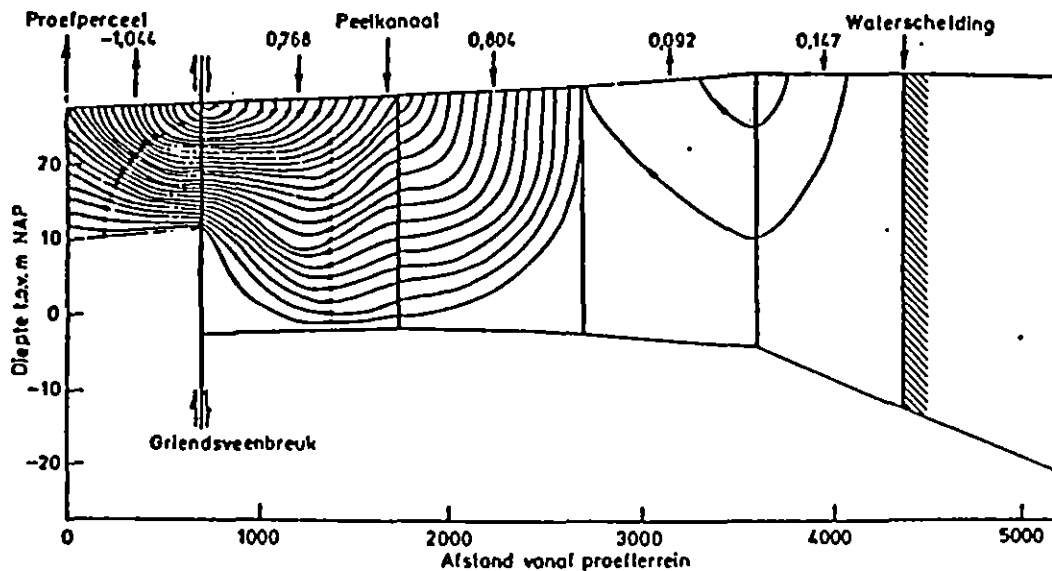


Fig. 4a. Stroomlijnen voor de wintersituatie 1982 van een transect in het Zuidelijk Peelgebied. bron: BLÖMER (1985).
 Tussen 2 stroomlijnen stroomt 0,058 m/dag.

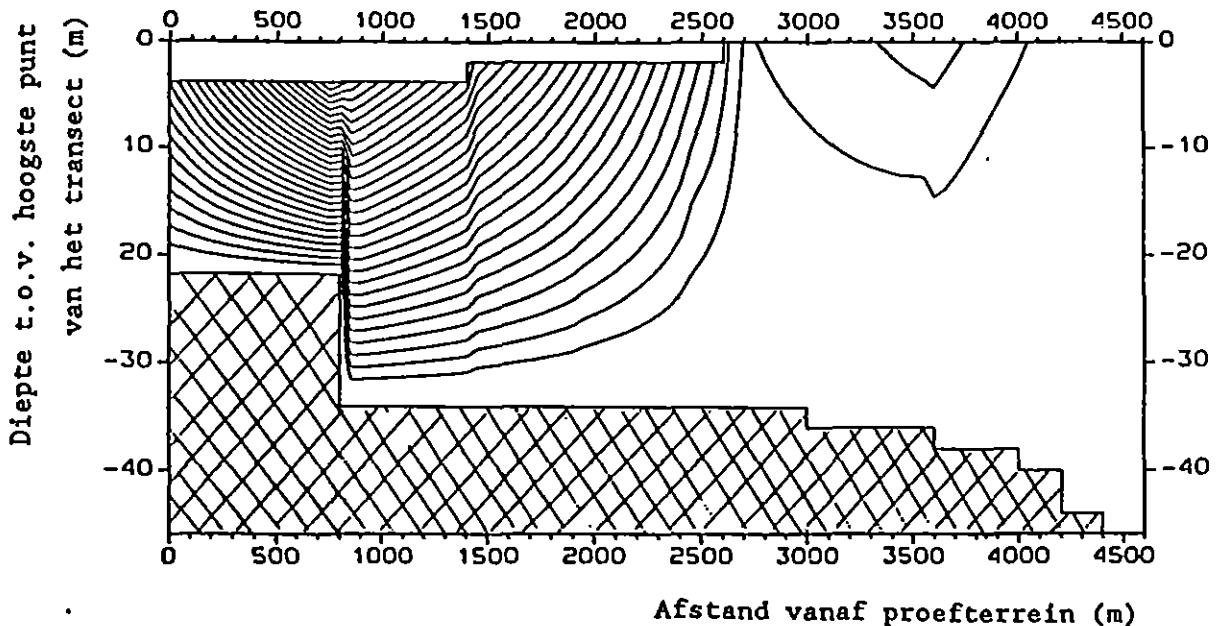


Fig. 4b. Stroomlijnenpatroon als resultaat van voorbeeldberekening 2.
 Tussen 2 stroomlijnen stroomt 0,058 m/dag.

LITERATUUR

- AKKER, C. VAN DEN, 1983. Numerical Analysis of the Stream Function in Plane Groundwater Flow, RID mededeling '83-1, Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, Voorburg.
- BEAR, J., 1972. Dynamics of fluids in porous media, Elsevier, New York.
- BLÖMER, F., 1985. Een eenvoudige methode voor het berekenen van stroombanen uit de isohypsenkaart, toegeast op het verplaatsingsonderzoek in het Zuidelijk Peelgebied, ICW nota 1644, Projectgroep Zuidelijk Peelgebied 38, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- GROENENDIJK, P., 1986. Onderzoek naar de effecten van wateraanvoer en peilveranderingen in agrarische gebieden op de waterkwaliteit in natuurgebieden, deel 2: Modellerings van twee-dimensionaal transport van een conservatieve stof in de verzadigde zone, ICW nota 1736, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- KOOPMANS, R.W.R., 1986. Numerieke oplossingen van grondwaterstromingen, Vakgroep Cultuurtechniek, Landbouwhogeschool, Wageningen.
- PRICKETT, T.A., T.G. NAYMICK & C.G. LONNQUIST, 1981. A "Random-Walk" Solute Transport Model for Selected Groundwater Quality Evaluations, ISWS/BUL-65/81, Illinois Department of Energy and Natural Resources, Illinois.
- VERRUIJT, A., 1982. Groundwater Flow, Macmillan, Londen.
- WANG, H.F, & M.P. ANDERSON, 1982. Introduction to Groundwater Modeling, Finite Difference and Finite Element Methods. W.H. Freeman and Company, New York.

APPENDIX 1

File 'STRELIN.DAT' behorend bij voorbeeld 1

```

AANTAL PERIODEN      1
X/Y LENGTE          200.0    20.0
AANTAL X/Y COMP.    20      10
IN/OUT FILES        STR_VB1.IN      STRVB1.OUT
MAXIT. DELTA LABDA  60      0.001    0.7
CODES VAN           111111111111555555
HOR. K-WAARDEN      111111111111555555
                    111111111111111111
                    111111111111111111
                    111111111111111111
                    111111111111111111
                    221111111111111111
                    222111111111111111
                    222211111111111111
                    222221111111111111
                    22222211111111222222

AANTAL K-WAARDEN    3
CODE 1; K-WAARDE    1      1.0
CODE 2; K-WAARDE    2      0.0
CODE 3; K-WAARDE    5     10000.
CODES VAN           111111111111555555
VER. K-WAARDEN      111111111111555555
                    111111111111111111
                    111111111111111111
                    111111111111111111
                    111111111111111111
                    221111111111111111
                    222111111111111111
                    222221111111111111
                    22222211111111222222

AANTAL K-WAARDEN    3
CODE 1; K-WAARDE    1      1.0
CODE 2; K-WAARDE    2      0.0
CODE 3; K-WAARDE    5     10000.
CODES VAN           111111111111555555
POROSITEITEN       111111111111555555
                    111111111111111111
                    111111111111111111
                    111111111111111111
                    111111111111111111
                    221111111111111111
                    222111111111111111
                    222221111111111111
                    22222211111111222222

AANTAL POROSIT.     3
CODE 1; POROSIT.    1      0.3
CODE 2; POROSIT.    2      0.0
CODE 3; POROSIT.    5      1.0
CODES VAN OPTIES    1111111111111222222
                    100000000000001222222
                    100000000000001111111
                    100000000000001000001
                    100000000000001000001
                    100000000000001000001
                    111000000000000000001
                    331100000000000000001
                    333110000000000000001
                    33333110000001111111
                    33333331111111333333

OPTIES
AANTAL STR.LIJNEN  1      1      1
                    5
LIJN 1             0.0      0.0
LIJN 2             50.0     0.0
LIJN 3             100.0    0.0
LIJN 4             0.0      10.0
LIJN 5             100.0    20.0
OTS DT            305,0    365.0
    
```

APPENDIX 1

File 'STR_VB1.IN' behorend bij voorbeeld 1

```

5.0          ! referentie potentiaal in (1,1);
1  0  5      ! randno.; type randvoorwaarde; aantal;
70.0 . 0.0008 ! afstand = 70 m; flux = 0.8 mm/eta
70.0 . 0.0012 ! afstand = 70 m; flux = 1.2 mm/eta
10.0 -0.0083 ! afstand = 10 m; flux = -8.3 mm/eta
10.0 -0.005  ! afstand = 10 m; flux = -5.0 mm/eta
40.0 -0.001  ! afstand = 40 m; flux = -1.0 mm/eta
2  0  3      ! randno.; type randvoorwaarde; aantal;
4.0  0.0     ! afstand = 4 m; flux = 0.0 mm/eta
14.0 -0.001 ! afstand = 14 m; flux = -1.0 mm/eta
2.0  0.0     ! afstand = 2 m; flux = 0.0 mm/eta
3  0  3      ! randno.; type randvoorwaarde; aantal;
60.0  0.0    ! afstand = 60 m; flux = 0.0 mm/eta
70.0  0.0005 ! afstand = 70 m; flux = 0.5 mm/eta
60.0  0.0    ! afstand = 60 m; flux = 0.0 mm/eta
4  1  2      ! randno.; type randvoorwaarde; aantal;
8.0  0.0     ! afstand = 8 m; rel.flux = 0.0
12.0 1.0     ! afstand = 12 m; rel.flux = 1.0
    
```

APPENDIX 1

File 'STRVB1.OUT' behorend bij voorbeeld 1

De nauwkeurigheid is bereikt na: 52 iteraties
 De vereiste nauwkeurigheid is: 0.1000E-02
 De bereikte nauwkeurigheid is: 0.3528E-03

STRDOPFUNKTIE WAARDEN

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.047	0.055	0.063	0.071	-0.079	0.087	0.095	0.103	0.115	0.127	0.139
2	0.045	0.052	0.058	0.066	0.073	0.081	0.088	0.096	0.106	0.117	0.127
3	0.043	0.048	0.054	0.061	0.068	0.074	0.081	0.088	0.097	0.106	0.115
4	0.041	0.045	0.049	0.056	0.062	0.068	0.075	0.081	0.089	0.096	0.103
5	0.039	0.042	0.045	0.050	0.057	0.061	0.068	0.073	0.080	0.086	0.091
6	0.037	0.038	0.040	0.045	0.051	0.055	0.061	0.066	0.071	0.076	0.079
7	0.035	0.035	0.035	0.040	0.046	0.048	0.054	0.058	0.063	0.065	0.068
8	*****	*****	0.035	0.035	0.040	0.042	0.048	0.050	0.054	0.055	0.056
9	*****	*****	*****	0.035	0.035	0.035	0.041	0.043	0.046	0.045	0.044
10	*****	*****	*****	*****	0.035	0.035	0.035	0.035	0.038	0.035	0.032
11	*****	*****	*****	*****	*****	0.035	0.035	0.035	0.030	0.025	0.020

	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0.151	0.163	0.175	0.187						
2	0.138	0.149	0.163	0.187						
3	0.124	0.134	0.150	0.187	0.104	0.054	0.044	0.034	0.024	0.014
4	0.111	0.120	0.137	0.187	0.095	0.049	0.038	0.029	0.020	0.012
5	0.097	0.105	0.122	0.187	0.085	0.043	0.032	0.024	0.017	0.010
6	0.084	0.090	0.106	0.187	0.072	0.036	0.026	0.019	0.013	0.008
7	0.070	0.074	0.087	0.134	0.056	0.028	0.020	0.015	0.010	0.006
8	0.056	0.058	0.066	0.087	0.039	0.019	0.013	0.010	0.006	0.004
9	0.043	0.042	0.045	0.043	0.020	0.010	0.007	0.005	0.003	0.002
10	0.029	0.026	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.015	0.010	0.005	0.000	*****	*****	*****	*****	*****	*****

De nauwkeurigheid is bereikt na: 6 iteraties
 De vereiste nauwkeurigheid is: 0.1000E-02
 De bereikte nauwkeurigheid is: 0.8498E-03

POTENTIAL WAARDEN

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	5.000	4.987	4.967	4.943	4.917	4.887	4.854	4.820	4.780	4.732	4.677
2	4.998	4.985	4.966	4.942	4.915	4.885	4.853	4.817	4.777	4.730	4.674
3	4.997	4.984	4.964	4.940	4.913	4.884	4.851	4.816	4.775	4.728	4.672
4	4.996	4.982	4.962	4.938	4.912	4.882	4.849	4.814	4.773	4.726	4.671
5	4.995	4.981	4.960	4.936	4.910	4.880	4.848	4.812	4.772	4.725	4.669
6	4.995	4.981	4.959	4.935	4.909	4.878	4.846	4.810	4.771	4.724	4.668
7	4.994	4.980	4.957	4.933	4.908	4.877	4.845	4.809	4.770	4.723	4.668
8	*****	*****	4.950	4.931	4.907	4.875	4.844	4.807	4.769	4.723	4.668
9	*****	*****	*****	4.925	4.906	4.873	4.843	4.805	4.769	4.723	4.668
10	*****	*****	*****	*****	4.865	4.842	4.803	4.768	4.723	4.668	4.668
11	*****	*****	*****	*****	*****	4.796	4.769	4.724	4.669	4.669	4.669

	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	4.613	4.544	4.478	4.445						
2	4.611	4.542	4.474	4.438						
3	4.609	4.539	4.469	4.419	4.126	4.096	4.072	4.046	4.025	4.011
4	4.607	4.537	4.463	4.403	4.145	4.098	4.071	4.046	4.026	4.013
5	4.606	4.534	4.456	4.378	4.157	4.100	4.070	4.045	4.026	4.015
6	4.605	4.532	4.450	4.340	4.162	4.099	4.068	4.044	4.026	4.016
7	4.604	4.531	4.444	4.329	4.163	4.097	4.064	4.041	4.024	4.016
8	4.603	4.529	4.441	4.321	4.161	4.093	4.060	4.038	4.023	4.015
9	4.603	4.529	4.439	4.315	4.155	4.087	4.055	4.034	4.020	4.010
10	4.604	4.529	4.438	4.310	4.146	4.080	4.050	4.031	4.018	4.008
11	4.605	4.530	4.439	4.351	*****	*****	*****	*****	*****	*****

APPENDIX 1

Contourlijn met strooefunctiewaarde: 0.0370
 Ingevoerde startpunten X: 0.0000 Y: 10.0000

TIJD	X	Y
0.000	0.000	10.000
365.000	1.270	10.158
730.000	2.647	10.304
1095.000	4.143	10.439
1460.000	5.768	10.562
1825.000	7.532	10.676
2190.000	9.448	10.781
2555.000	11.536	10.887
2920.000	13.828	10.986
3285.000	16.344	11.077
3650.000	19.106	11.159
4015.000	22.087	11.627
4380.000	24.402	12.235
4745.000	26.023	12.712
5110.000	28.247	13.059
5475.000	31.215	13.472
5840.000	34.073	14.109
6205.000	35.590	14.623
6570.000	37.673	14.997
6935.000	40.516	15.243
7300.000	43.896	15.314
7665.000	47.623	15.378
8030.000	51.696	15.723
8395.000	54.228	16.486
8760.000	56.188	16.967
9125.000	59.056	17.295
9490.000	62.918	17.403
9855.000	67.187	17.455
10220.000	71.837	17.627
10585.000	76.635	17.987
10950.000	80.841	18.170
11315.000	86.155	17.824
11680.000	92.193	17.502
12045.000	98.939	17.186
12410.000	106.478	16.916
12775.000	114.979	16.735
13140.000	124.947	16.753
13505.000	140.981	16.192
13870.000	154.661	12.915
14235.000	160.608	9.635
14600.000	164.795	8.304
14965.000	168.535	6.915
15330.000	172.127	5.713
15695.000	175.477	4.572

Contourlijn met strooefunctiewaarde: 0.0200
 Ingevoerde startpunten X: 100.0000 Y: 20.0000

TIJD	X	Y
0.000	100.000	20.000
365.000	107.672	19.426
730.000	116.358	18.934
1095.000	126.559	18.569
1460.000	143.274	16.873
1825.000	155.748	15.101
2190.000	162.016	13.523
2555.000	166.786	12.646
2920.000	170.859	11.728
3285.000	174.467	11.067
3650.000	177.770	10.346
4015.000	180.790	9.574
4380.000	183.566	8.777
4745.000	186.123	7.913
5110.000	188.475	6.976
5475.000	190.640	5.966
5840.000	192.625	4.881

NOTA/1810

23

APPENDIX 1

Contourlijn met stroomfunctievaarde: 0.0470
 Ingevoerde startpunten X: 0.0000 Y: 0.0000

TISO	X	Y
0.000	0.000	0.000
365.000	1.269	0.934
730.000	2.641	1.799
1095.000	4.128	2.596
1460.000	5.740	3.332
1825.000	7.486	4.011
2190.000	9.383	4.637
2555.000	11.436	5.239
2920.000	13.654	5.791
3285.000	16.061	6.307
3650.000	18.682	6.784
4015.000	21.507	7.382
4380.000	24.429	8.094
4745.000	27.466	8.788
5110.000	30.573	9.474
5475.000	33.749	10.170
5840.000	36.981	10.853
6205.000	40.270	11.501
6570.000	43.715	11.875
6935.000	47.408	12.225
7300.000	51.385	12.685
7665.000	55.417	13.402
8030.000	59.424	14.120
8395.000	63.461	14.485
8760.000	67.810	14.768
9125.000	72.472	15.128
9490.000	77.339	15.559
9855.000	82.440	15.742
10220.000	88.075	15.665
10585.000	94.357	15.555
10950.000	101.352	15.444
11315.000	109.167	15.364
11680.000	118.020	15.418
12045.000	128.755	15.814
12410.000	147.619	14.256
12775.000	156.787	10.169
13140.000	161.025	6.429
13505.000	164.266	5.065
13870.000	165.723	4.164

Contourlijn met stroomfunctievaarde: 0.0870
 Ingevoerde startpunten X: 50.0000 Y: 0.0000

TISO	X	Y
0.000	50.000	0.000
365.000	53.947	0.960
730.000	58.008	1.892
1095.000	62.170	2.796
1460.000	66.477	3.667
1825.000	70.970	4.561
2190.000	75.770	5.597
2555.000	80.934	6.543
2920.000	86.561	7.345
3285.000	92.747	8.060
3650.000	99.571	8.688
4015.000	107.125	9.295
4380.000	115.485	10.005
4745.000	125.071	11.268
5110.000	141.054	13.782
5475.000	152.288	5.451

Contourlijn met stroomfunctievaarde: 0.1390
 Ingevoerde startpunten X: 100.0000 Y: 0.0000

TISO	X	Y
0.000	100.000	0.000
365.000	107.642	1.396
730.000	115.919	2.733
1095.000	124.519	4.359
1460.000	132.624	8.046
1825.000	145.452	4.997

NOTA/1810

26

APPENDIX 2

File 'STREL1.DAT' behorend bij voorbeeld 2

```
      10.0 .
1      0      5
750.    -0.001372
1000.    0.000768
950.    0.000846
900.    -0.000102
1000.    0.00019
2      0      1
46.    0.000
3      0      1
4600.0    0.0
4      1      3
24.0    0.0
18.0    1.0
4.0    0.0
```