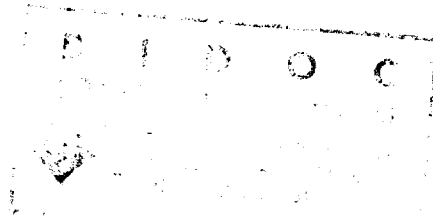


# Modelbeschrijving en gebruikershandleiding van PLONS

pc-model voor berekening van wateruitwisseling tussen natte strook en vaarweg,  
versie 1.0

PLONS  
Positionering en  
Lengteverdeling van  
Openingen in een  
Natte  
Strookverdediging

500Z 13W 2 1  
17 MEI 2005



1. Rapport nr. W-DWW-94-294	5. Datum Publikatie december 1994
2. Titel rapport Modelbeschrijving en gebruikershandleiding van PLONS, pc-model voor berekening van wateruit- wisseling tussen natte strook en vaarweg	6. Tijdschrijf code OEVOW3
3. Schrijver(s) A.M.Cappendijk-de Bok	7. Rapporttype DWW-publikatie
4. Begeleiding ir. R.E.A.M. Boeters	
8. Samenvatting Dit rapport geeft een beschrijving van het gebruik van het pc-programma PLONS en de theoretische achtergronden van het model.	

De Dienst Weg- en Waterbouwkunde van de Rijkswaterstaat, degenen die aan deze publikatie hebben meegewerkt, hebben de in deze publikatie opgenomen gegevens zorgvuldig verzameld naar de laatste stand van wetenschap en techniek. Desondanks kunnen er onjuistheden in deze publikatie voorkomen. Het Rijk sluit, mede ten behoeve van degenen die aan deze publikatie hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die uit het gebruik van de hierin opgenomen gegevens mocht voortvloeien.

I. Inleiding .....	1
II. Gebruikershandleiding .....	2
II.1 Installatie van PLONS .....	2
II.2 Werken met PLONS .....	3
II.2.1 Startopties .....	3
II.2.2 Het werken met PLONS .....	3
II.2.3 De menustructuur en het menugebruik .....	5
II.3 De invoerfase .....	6
II.3.1 Vooroeverconstructies .....	6
Constructie 1: ondoorlatende dam met buizen .....	7
Constructie 2: damwand met openingen .....	8
Constructie 3: doorlatende dam .....	9
Constructie 4: verlaging in vooroeverconstructie .....	10
II.3.2 Dwarsprofiel natte strook .....	11
II.3.3 Lengteschematisering van de natte strook .....	12
II.3.4 Hydraulische randvoorwaarden en scheepsgegevens .....	12
II.4 De rekenfase .....	14
II.5 De uitvoerfase .....	14
II.6 Voorbeeld berekeningen .....	16
III. Modelbeschrijving PLONS .....	21
III.1 Vergelijkingen voor de waterbeweging .....	21
III.2 Discretisatie van de vergelijkingen, lit. [7] .....	21
III.3 Beschrijving grootheden .....	23
Spiegeldaling op de vaarweg .....	23
Debiet $Q$ .....	23
Debiet $Q'$ .....	23
Vooroeverconstructie en debiet $Q'$ .....	23
Constructie 1: ondoorlatende dam met buizen .....	24
Constructie 2: damwand met openingen .....	25
Constructie 3: doorlatende dam .....	27
Constructie 4: verlaging in de vooroeverconstructie .....	28
III.4 Berekeningsmethode van waterbeweging en wateruitwisseling .....	29
III.4.1 Lengteschematisering natte strook en verdeling van openingen .....	29
III.4.2 Waterbeweging en wateruitwisseling .....	29
Literatuur .....	31

## I. Inleiding

Het programma PLONS berekent de wateruitwisseling tussen plasberm en kanaal bij een spiegeldaling op het kanaal tijdens het passeren van een schip. Dimensies van de vooroeverconstructie en de geometrie van de plasberm spelen hierbij een belangrijke rol.

Ook worden de bij de waterbeweging optredende stroomsnelheden - zowel instroomsnelheden als langsstroomsnelheden - berekend. Is de wateruitwisseling groot dan kunnen de optredende stroomsnelheden in de natte strook leiden tot erosie van de bodem of van de aanliggende oever. Een te grote waterbeweging kan belemmerend zijn voor een goede natuurontwikkeling in de natte strook.

Uitgaande van de gewenste hoeveelheid wateruitwisseling en toelaatbare stroomsnelheden is het programma PLONS een hulpmiddel om een optimaal ontwerp van plasberm en vooroeverconstructie te maken.

Er kunnen verschillende typen vooroeverconstructies worden doorgerekend, ieder met zijn specifieke afvoereigenschappen.

Het programma is menugestuurd.

De invoer vindt interactief plaats of kan uit een bestaande file worden opgehaald.

Berekeningsresultaten worden zowel numeriek als grafisch gepresenteerd en kunnen worden bewaard.

Het programma kan gedraaid worden op een IBM (of vergelijkbare) personal computer met de volgende voorzieningen:

- MS-DOS (versie 3.3 of hoger) operating systeem,
- 640 kB geheugen (PLONS gebruikt ongeveer 140 kB),
- een 1.44 MB 3.5 inch diskette drive,
- een CGA of EGA/VGA grafische kaart.

Voor het printen zijn EPSON (compatibele) of HP-LaserJet (compatibele) printers geschikt.

## II. Gebruikershandleiding

In dit hoofdstuk wordt het gebruik van PLONS nader beschreven. Daar waar nodig worden aanbevelingen gedaan voor de juiste waarden van de invoergegevens.

### II.1 Installatie van PLONS

Het programma PLONS omvat de programma files, enkele demo files en de drivers voor het grafische scherm.

Alle files moeten in één directory staan.

Maak een (sub)directory (bv PLONS) op de harde schijf en kopieer alle files van de diskette naar deze directory. In tabel 1 is een overzicht van alle PLONS-files gegeven.

Tabel 1. PLONS-files

<i>Programma files</i>	PLONS.EXE PLONSZ.EXE
<i>Demo files</i>	INVPLONS.B1 INVPLONS.D1 INVPLONS.V1 INVPLONS.W1 RESPLONS.B1 RESPLONS.D1 RESPLONS.V1 RESPLONS.W1 HPLONS.B1 HPLONS.D1 HPLONS.V1 HPLONS.W1
<i>Grafische scherm drivers</i>	CGA.BGI EGAVGA.BGI

## II.2 Werken met PLONS

### II.2.1 Startopties

PLONS kent twee startopties, t.w. PLONS en PLONSZ.

Met de aanroep PLONS komt de gebruiker in een simulatie van de waterbeweging tussen plasberm en kanaal, en vervolgens in het hoofdmenu.

Met de aanroep PLONSZ komt de gebruiker direct in het hoofdmenu.

### II.2.2 Het werken met PLONS

In deze paragraaf komen enkele algemene opmerkingen over de werking en de besturing van PLONS aan de orde.

Menu's: Instructies voor het menu-gebruik zijn steeds in een kader aangegeven.

Meldingen: Indien een niet logische menu-optie is gekozen (bv REKENEN voordat er invoer is gegenereerd) verschijnt er op het scherm een melding.

Invoer: Invoer van getallen of tekst gebeurt in de aangegeven plaatsruimte. Een verandering van een invoergrootte, direct gevolgd door een ESC heeft geen effect op de waarde van de invoergrootte. Deze behoudt de oude waarde. Een verandering is pas geaccepteerd na een ENTER of een cursorbeweging.

Wanneer bij het invoeren een "beep" klinkt, betekent dit dat de ingevoerde waarde buiten de toelaatbare grenzen valt.

Files: Er komt een viertal files voor, t.w. INPLONS.\*, INVPLONS.\*, HPLONS.\* en RESPLONS.\*.

- Invoergegevens kunnen, zonder dat er een berekening mee is uitgevoerd, bewaard worden. Deze gegevens worden opgeslagen in de file INPLONS.\*, steeds met een unieke extensie.
- Na het maken van een berekening kunnen invoergegevens en berekeningsresultaten bewaard worden. Dit gebeurt in een drietal files: INVPLONS.\*, hierin staan invoergegevens waarmee de som is gemaakt. RESPLONS.\*, hierin staan invoergegevens en algemene berekeningsresultaten tezamen.
- HPLONS.\*, hierin staan de berekende waterstanden van de natte strook. Deze drie files behoren bij elkaar en hebben dan ook één en dezelfde unieke extensie.

Ten behoeve van het invoeren van gegevens kan zowel "nieuwe" als "oude" invoer worden opgehaald (INPLONS resp. INVPLONS).

De file RESPLONS kan binnen het programma geprint worden.

Voor grafische uitvoer op scherm is de file HPLONS vereist.

De gebruiker treft na afloop van een PLONS-sessie steeds een viertal files

met de extensie "000" op zijn/haar PLONS-directory. Dit zijn zogenaamde dummy-files (worden steeds overschreven) en mogen dan ook worden verwijderd.

**Extensies:** De files INPLONS, INVPLONS, RESPLONS en HPLONS dragen een extensie bestaande uit twee of drie karakters. Het eerste karakter geeft aan welke vooroeverconstructie het betreft en het tweede en eventuele derde karakter vormen het volgnummer. Let op! Het volgnummer is maximaal 99.

De volgende eerste karakters komen voor:

**B**, voor een ondoorlatende dam met Buizen;

**W**, voor een damWand met openingen;

**D**, voor een Doorlatende dam;

**V**, voor een Verlaging in de vooroever.

## II.2.3 De menustructuur en het menugebruik

In navolgend schema is de structuur van de menu opbouw weergegeven.

HOOFDMENU	SUBMENU (niveau 1)	SUBMENU (niveau 2)/ KEUZE LIJST
gegevens invoeren (nieuwe som)	vooroeverconstructiekeuze  dwarsprofiel natte strook lengteschematisering natte strook hydraulische randvrw. en scheepsgeg. terug naar hoofdmenu	ondoorlatende dam met buizen damwand met openingen doorlatende dam verlaging in vooroever terug naar gegevens invoeren
rekenen		
diskbewerkingen	invoergegevens ophalen (oud) invoergegevens ophalen (nieuw) invoergegevens bewaren (nieuw) terug naar hoofdmenu	INVPLONS lijst INPLONS lijst
getabelleerde schermuitvoer	invoergegevens (actuele) berekeningsresultaten (actuele) terug naar hoofdmenu	
uitvoer naar printer	wijzigen printerpoort  uitvoer naar printer ("actuele poort") terug naar hoofdmenu	LPT1 LPT2 COM1 terug naar printeruitvoer  RESPLONS lijst
grafische schermuitvoer	waterstandsverloop opening 2, 3 en 4 terug naar hoofdmenu	HPLONS lijst
programma verlaten		



Na acceptatie van een optie in het hoofdmenu verschijnt het desbetreffende submenu (niveau 1) op het scherm met uitzondering na keuze van de optie REKENEN.  
Na het kiezen van een optie in een submenu komt men  
óf in een volgend submenu (optie kiezen),  
óf in een interactie scherm (gegevens invoeren/kijken/vragen beantwoorden),  
óf in een keuze lijst (datafile kiezen),  
óf de optie wordt uitgevoerd.  
Na de optie REKENEN komt men direct in een interactie scherm.

### II.3 De invoerfase

Bij de invoer van hoogtematen staat als referentie niveau N.A.P. vermeld. De gebruiker mag ieder ander referentieniveau (bv bodem natte strook) kiezen. In de uitvoerresultaten staat dan wel N.A.P vermeld, terwijl dit niet het referentie niveau is. Let hier dus op!

Het invoeren van gegevens vindt plaats in 4 onderdelen, t.w. de vooroeverconstructie, het dwarsprofiel van de natte strook, de lengteschematisering van de natte strook en tot slot de hydraulische randvoorwaarden en scheepsgegevens.  
Per onderdeel worden de afzonderlijke invoergrootheden doorlopen.

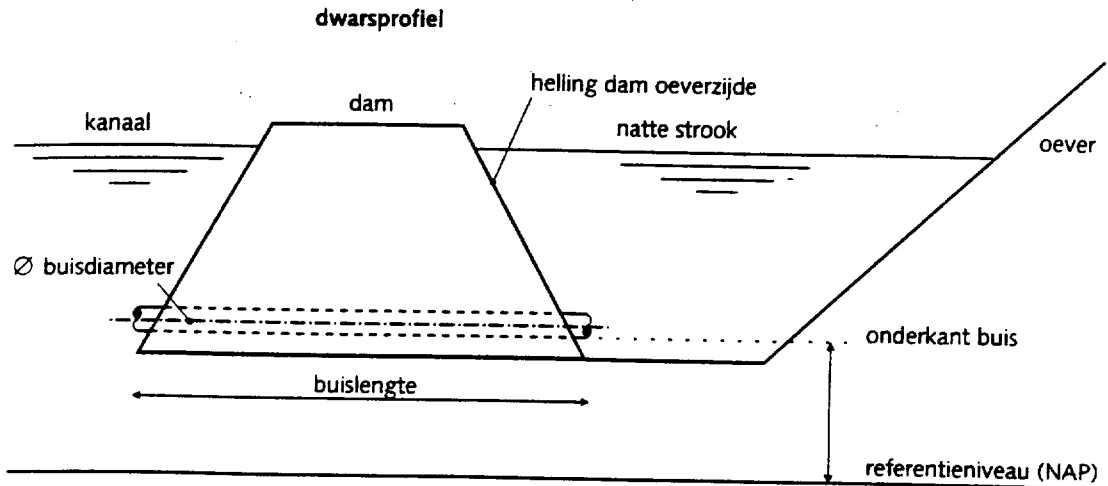
#### II.3.1 Vooroeverconstructies

Voor ieder type vooroeverconstructie worden de successievelijke invoergrootheden toegelicht. Daarbij worden zonodig aanbevelingen gegeven voor de op te geven waarden.

**Constructie 1: ondoorlatende dam met buizen**

Zie figuur 1.

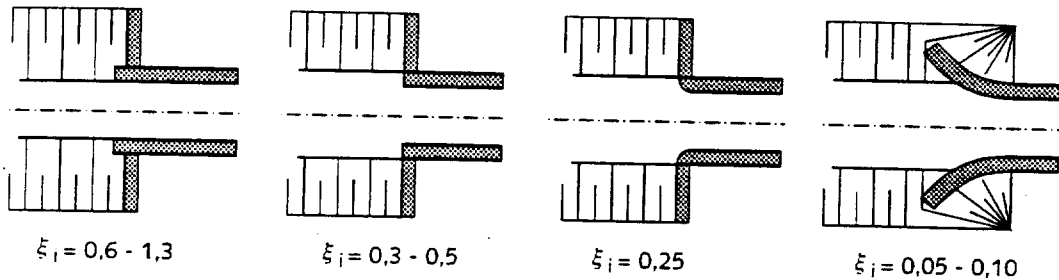
- diameter van de buis [m]
- lengte van de buis [m]
- onderkant van de buis [m + N.A.P.]



Figuur 1. Ondoorlatende dam met buizen

- intreeweerstand [-], lit. [1]

de grootte van de intreeweerstand  $\xi_i$  is afhankelijk van de vorm van de instroomopening, zie figuur 2;



Figuur 2. Vormen van instroomopeningen met bijbehorende  $\xi_i$ -waarden

- ruwheidsfactor van de buis volgens Manning (t.b.v. wrijvingsverlies) [ $m^{1/3}/s$ ], lit. [1]

beton, recht	:	$k_M = 75$	[ $m^{1/3}/s$ ]
gegolfd plaatstaal	:	$k_M = 30 \text{ à } 40$	[ $m^{1/3}/s$ ]
p.v.c.	:	$k_M = 100$	[ $m^{1/3}/s$ ]

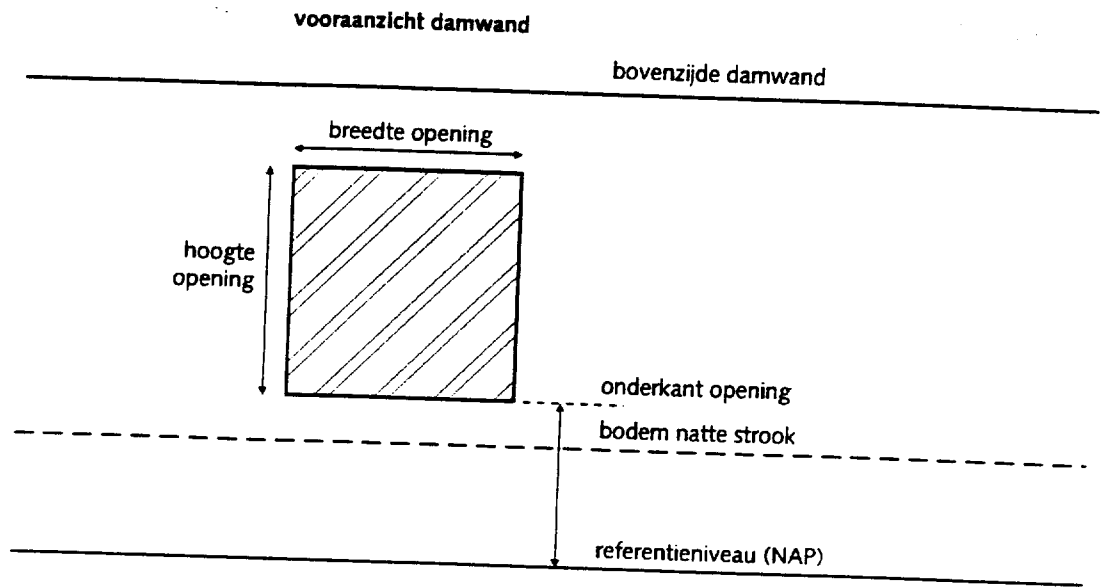
- helling dam oeverzijde [-]

indien de dam een verticale wand heeft dan de waarde 0 opgeven

*Constructie 2: damwand met openingen*

Zie figuur 3.

- hoogte van opening [m]
- breedte van opening [m]
- onderkant opening [m + N.A.P.]

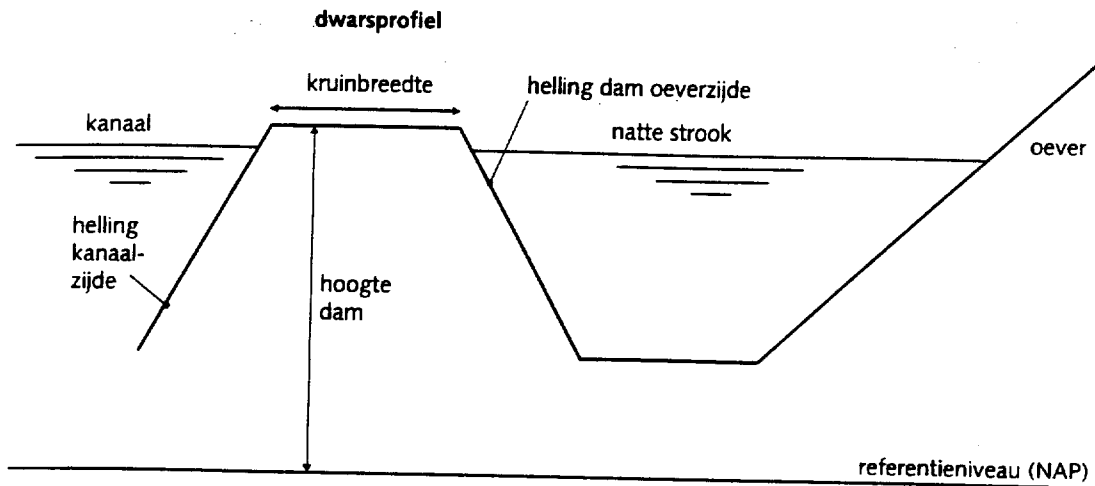


Figuur 3. Damwand met openingen

### Constructie 3: doorlatende dam

Zie figuur 4.

- kruinbreedte dam [m]
- hoogte dam [m + N.A.P.]
- helling dam kanaalzijde [-]
- helling dam oeverzijde [-]



Figuur 4. Doorlatende dam

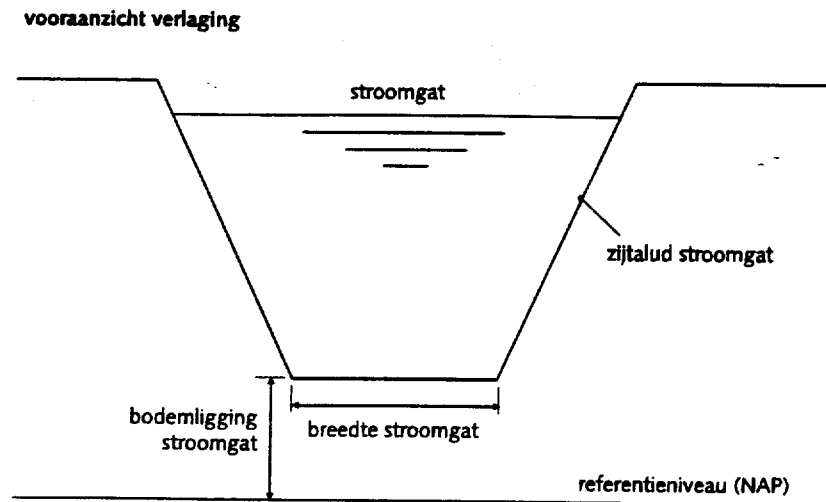
- porositeit van dam [-]  
(orde grootte 0.30 à 0.40)
- $D_{15}$  van de steensortering [mm], lit. [2]  

breuksteensortering	$D_{15}$ -grenzen
5 - 40 kg	0.16 - 0.20 m
10 - 60 kg	0.20 - 0.25 m
40 - 200 kg	0.31 - 0.37 m
60 - 300 kg	0.36 - 0.41 m

**Constructie 4: verlaging in vooroeverconstructie**

Zie figuur 5a.

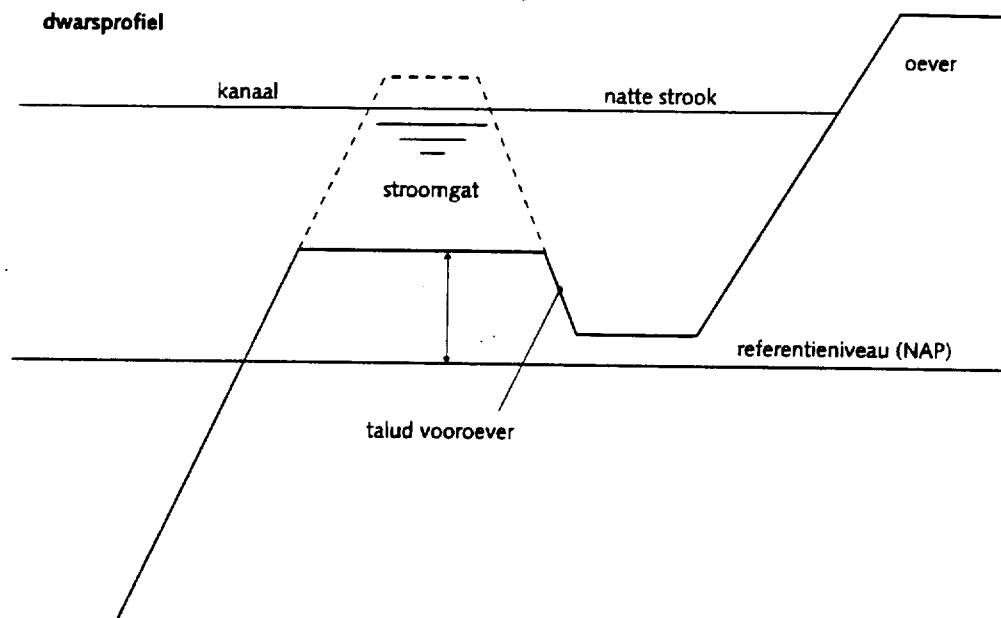
- bodembreedte stroomgat [m]
- bodemligging stroomgat [m + N.A.P.]
- helling zijtalud stroomgat [-]



Figuur 5a. Vooraanzicht verlaging in vooroeverconstructie

Zie figuur 5b.

- helling talud vooroever natte strook [-]



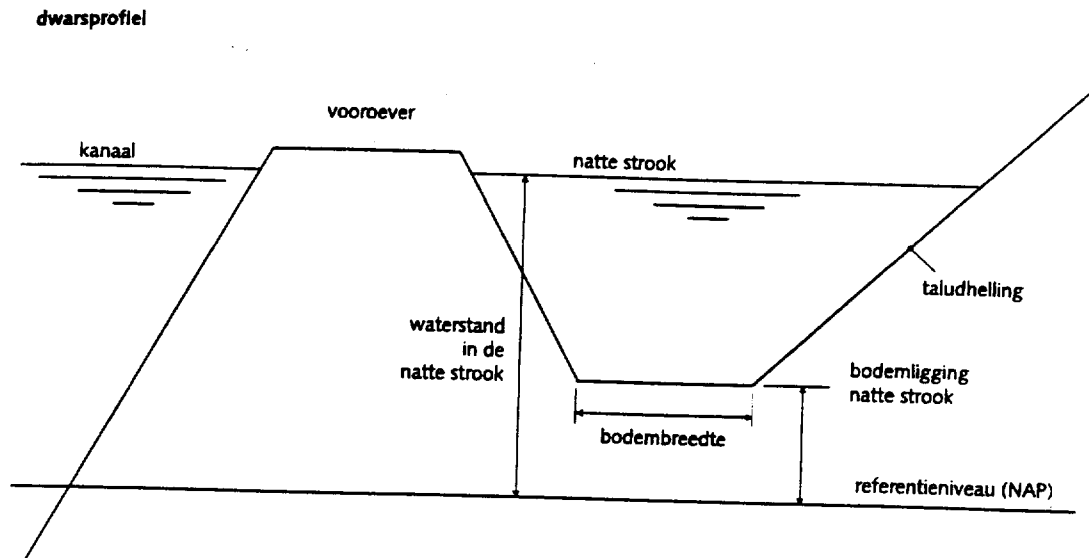
Figuur 5b. Dwarsprofiel t.p.v. verlaging in vooroeverconstructie

- afvoercoëfficiënt m
  - blokkenmatten (glad) :  $m = 0.95$  [-]
  - ruw materiaal :  $m = 0.90$  [-]

### II.3.2 Dwarsprofiel natte strook

De geometrie van de natte strook wordt vastgelegd door de volgende grootheden, zie figuur 6:

- bodembreedte van natte strook [m]
- taludhelling vaste oever [-]
- bodemligging natte strook [m + N.A.P.].



Figuur 6. Dwarsprofiel van de natte strook

Een andere grootheid die hier nog van belang is de coëfficiënt voor de bodemruwheid. Hiervoor kan naar keuze of de waarde volgens Chézy (C) ofwel volgens Manning (n) worden ingevoerd. In tabel 2 is voor verschillende omstandigheden een overzicht gegeven van de waarden volgens Manning, lit. [3]. De waarde volgens Chézy kan berekend worden uit de formule  $C = 1/n R^{1/6}$ , met R de hydraulische straal van het dwarsprofiel van de natte strook.

Tabel 2. Bodemruwheidscoëfficiënt n Manning

toestand bodem/oever natte strook	n [s/m <sup>1/3</sup> ]	1/n [m <sup>1/3</sup> /s]
glad	0.01	100
slib niet begroeid	0.025	40
slib licht begroeid, kort gras	0.03	33
hoge dunne begroeiing	0.04	25
hoge matige begroeiing	0.05	20
hoge dichte begroeiing	0.07	14
breuksteen, sortering 5 - 40 kg	0.05	20
breuksteen, sortering 10 - 60 kg	0.05	20
breuksteen, grovere sorteringen	0.07	14

### II.3.3 Lengteschematisering van de natte strook

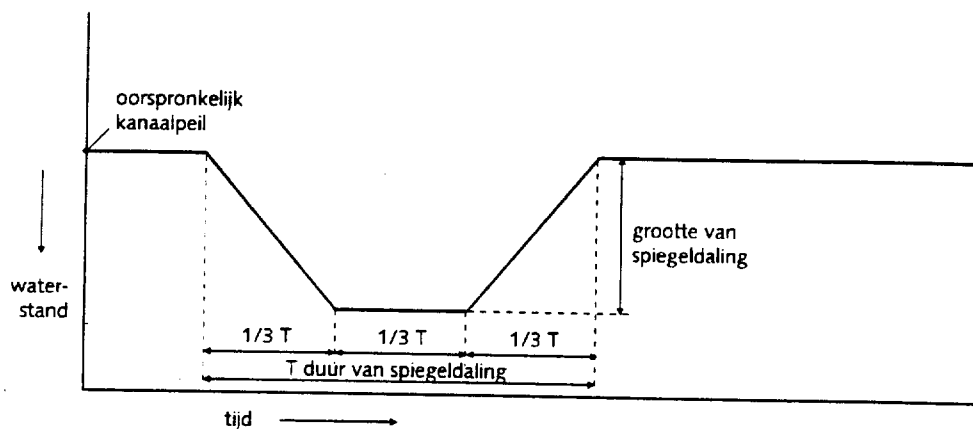
In dit onderdeel hoeft slechts de hart op hart afstand tussen twee openingen (h.o.h.) opgegeven te worden ( $10 \text{ m} \leq \text{h.o.h.} \leq 75 \text{ m}$ ). In de berekening worden vijf openingen meegenomen. De lengte van de natte strook in de berekening is gelijk aan vijf maal de h.o.h. afstand.

In het geval van een doorlatende dam is opening een fictief begrip. Bij deze constructie vindt immers wateruitwisseling over de gehele lengte plaats.

Toch moet ook in deze situatie een z.g.n. h.o.h. afstand worden ingevoerd omdat daaruit de lengte van de natte strook wordt berekend. Ook is in de berekening van de wateruitwisseling deze h.o.h. afstand van betekenis. In deze situatie, is de op te geven waarde voor de h.o.h. afstand, gelijk aan  $1/5$  deel van de lengte van de natte strook die de gebruiker wenst door te rekenen.

### II.3.4 Hydraulische randvoorwaarden en scheepsgegevens

De hydraulische randvoorwaarde op de vaarweg, die in PLONS wordt opgelegd, is de door scheepvaart (geladen schepen) veroorzaakte waterspiegeldaling. De spiegel­daling op de vaarweg met zekere duur ( $T$ ) en zekere grootte ( $h$ ), is geschematiseerd zoals in figuur 7 is aangegeven.



Figuur 7. Geschematiseerde spiegel­daling

De hydraulische randvoorwaarde in de natte strook bij aanvang van het proces, is gelijk aan het kanaal­peil in ongestoorde toestand.

De volgende grootheden dienen te worden ingevoerd:

- water­stand in de natte strook [m + N.A.P.]
- $h$ , de grootte van de spiegel­daling [m], zie tabel 3
- $T$ , de duur van de spiegel­daling [s]; te bepalen uit scheepslengte( $L$ ) en vaarsnelheid( $v$ ) volgens de formule  $T=L/v$ , zie tabel 3
- $v$ , de vaarsnelheid van het schip [m/s], zie tabel 3

De in de tabel 3 gegeven waarden voor h, L en v zijn v zijn slechts indicatief, lit. [4]. De gegeven h en v gelden voor geladen schepen. De situatie ter plekke (dwarsprofiel van de vaarweg, vaarsnelheid, enz.) is uiteindelijk bepalend voor de werkelijk in te voeren waarden. Zonodig kan voor de bepaling van de juiste waarden een berekening met het programma DIPRO worden uitgevoerd, lit. [5].

Tabel 3.

vaarwegklasse	scheepstype	scheepslengte L [m]	vaarsnelheid v [m/s]	spiegeldalinggrootte h [m]
I	Spits	39	2	0.3
II	Kempenaar	55	2.5	0.35
IIa	Hagenaar	56 à 67	2.6	0.40
III	Dortmund-Eemskanaalschip	67à 80	2.7	0.42
IV	Rijn-Hernekanaalschip	85	2.7	0.45
V	Groot Rijnschip	110	2.7	0.48
VI	Duweenheden in formatie 2*2	185	2.9	0.57



#### II.4 De rekenfase

Na het kiezen van de optie rekenen komt de gebruiker in een interactie scherm. De gebruiker moet hierin een keuze maken voor het aantal door te rekenen tijdstappen. De grootte van de tijdstap is altijd één seconde

Het aantal aanbevolen tijdstappen wordt getoond. Dit aantal is gebaseerd op de lengte van de natte strook en de vaarsnelheid van het schip. De gebruiker is echter vrij zelf een aantal tijdstappen te kiezen.

Nadat het aanbevolen of het door de gebruiker gewenste aantal tijdstappen is doorgerekend verschijnt een grafische weergave van het waterstandsverloop in de natte strook ter plaatse van de drie middelste openingen op het scherm. Aan de hand hiervan kan de gebruiker beoordelen of het proces goed en volledig (de waterstand bij de openingen moet weer het oorspronkelijke niveau kanaalniveau hebben) is doorlopen.

Na de grafische weergave heeft de gebruiker de keuze meer tijdstappen door rekenen of de berekening te beëindigen.

De keuze "meer tijdstappen" kan worden herhaald.

Na de keuze beëindigen verschijnt de vraag of de gegevens moeten worden bewaard.

#### II.5 De uitvoerfase

Uitvoer is mogelijk zowel naar het scherm (numeriek en grafisch) als naar een printer.

Op het scherm kan de volgende uitvoer worden bekeken:

- numerieke invoergegevens en/of berekeningsresultaten van de laatst uitgevoerde berekening
- grafische weergave van het waterstandsverloop in de natte strook van eerder opgeslagen berekeningsresultaten (HPLONS keuze lijst).

Op de printer kan de volgende uitvoer worden verkregen:

- numerieke gegevens van de invoergrootheden en van berekeningsresultaten van eerder opgeslagen berekeningen (RESPLONS keuze lijst).

#### *Wateruitwisseling*

In een constructie bevinden zich, zoals in de lengteschematisering vermeld, 5 openingen. Per opening wordt berekend hoeveel water er tijdens een scheepspassage wordt verplaatst van vaarweg naar natte strook. De instroming via de drie middelste openingen worden maatgevend gesteld voor wateruitwisseling die plaatsvindt tussen vaarweg en natte strook. De hoeveelheid ingestroomd water door deze drie openingen wordt gemiddeld. Deze gemiddelde waarde  $V_{uit}$  is per definitie de hoeveelheid water die per opening bij de gegeven constructie instroomt. In PLONS wordt hieruit een procentueel volume  $V_{\%}$  als volgt berekend:  $V_{\%} = 5 \cdot V_{uit} / V_{totaal}$ ,  $V_{totaal}$  is hierin gelijk aan het totale natte strook volume.

Het percentage ververst water bij een gegeven constructie is gelijk aan het aldus berekende procentuele volume  $V_{\%}$ .

Voor een doorlatende dam wordt het procentuele volume op analoge wijze berekend.  $V_{uit}$  is het gemiddelde van de hoeveelheid water die van de vaarweg door de constructie de natte strook instroomt, op de drie door de ingevoerde fictieve h.o.h. afstand vastgelegde middelste plaatsen.

### *Stroomsnelheden*

De maximale stroomsnelheid in langsricting is bepaald.

Voor de ondoorlatende dam met buizen en de damwand met openingen wordt per opening de instroomsnelheid  $u_{in}$  weergegeven.

Op basis van een aangepaste straaltheorie zijn voor de damwand ter plaatse van de openingen ook stroomsnelheden aan de bodem,  $u_{bo}[x]$  en op het talud,  $u_{talud}$  berekend, lit. [6]. Zowel  $u_{bo}[x]$  als  $u_{talud}$  zijn dwarsstroomsnelheden, dus stroomsnelheden loodrecht op de lengterichting van de natte strook. De  $x$  in de stroomsnelheid aan de bodem staat voor de afstand vanaf de damwand.

De gevonden waarden van deze stroomsnelheden vormen een bovengrens benadering.

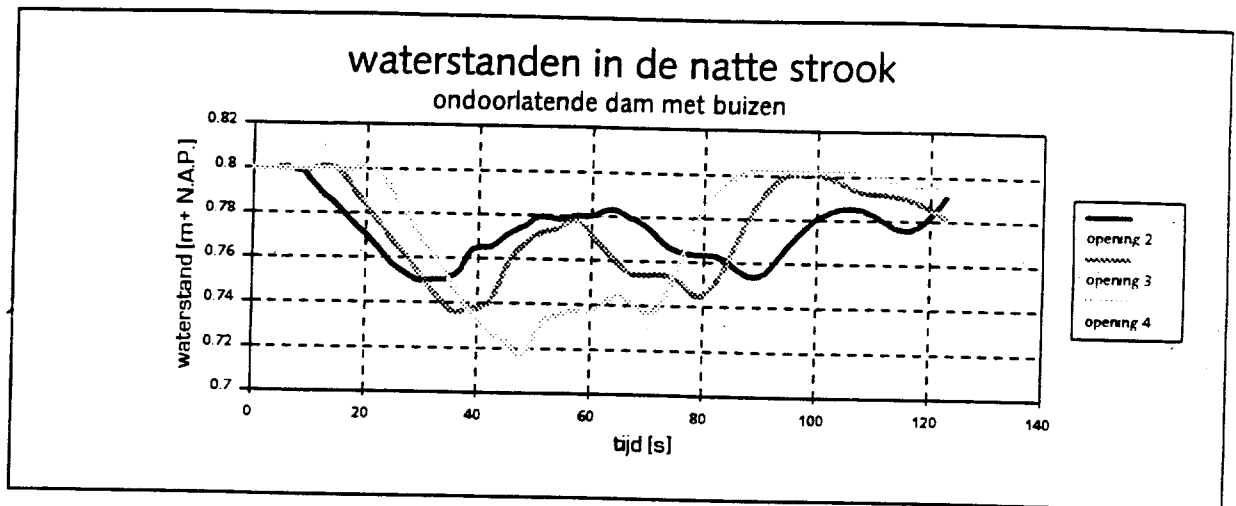
Voor de doorlatende dam is het maximale (instroom)debiet per strekkende  $m$  gegeven en de daarbij behorende instroomsnelheid.

Bij een verlaging in een vooroever speelt de steenstabiliteit een rol. Daarom is voor deze constructie zowel de bovenstroomse stroomsnelheid als de benedenstroomse stroomsnelheid over de verlaging berekend.

## II.6 Voorbeeld berekeningen

Voor ieder type vooroeverconstructie volgt hier een voorbeeld. Zowel de invoergegevens als de berekeningsresultaten zijn vermeld. Daarnaast is het waterstandsverloop in de natte strook ter plaatse van de drie middelste openingen grafisch weergegeven.

## Voorbeeldberekening 1: ondoorlatende dam met buizen



### Invoergegevens

VOOROEVERCONSTRUCTIE: Ondoorlatende dam met buizen

diameter van de buis	: 0.40 [m]
lengte van de buis	: 7.00 [m]
hoogteligging onderkant buis	: 0.20 [m + N.A.P.]
intree weerstand	: 0.25 [-]
ruwheidsfactor van de buis (Manning)	: 65.00 [m <sup>(1/3)</sup> /s]
taludhelling vooroeverconstructie	: 2.00 [-]

### DWARSPROFIEL NATTE STROOK

bodembreedte	: 1.00 [m]
taludhelling oever (1:m)	: 3.00 [-]
bodemligging	: 0.00 [m + N.A.P.]
Chézycoëfficiënt	: 40.00 [m <sup>(1/2)</sup> /s]

### LENGTESCHEMATISERING NATTE STROOK

lengte natte strook	: 100.00 [m]
hart op hart afstand openingen	: 20.00 [m]

### HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN EN SCHEEPSGEGEVENS

waterstand in natte strook op t=0	: 0.80 [m + N.A.P.]
grootte spiegelvaling kanaal	: 0.30 [m]
duur van de spiegelvaling op kanaal	: 30.00 [s]
vaarsnelheid schip	: 3.00 [m/s]

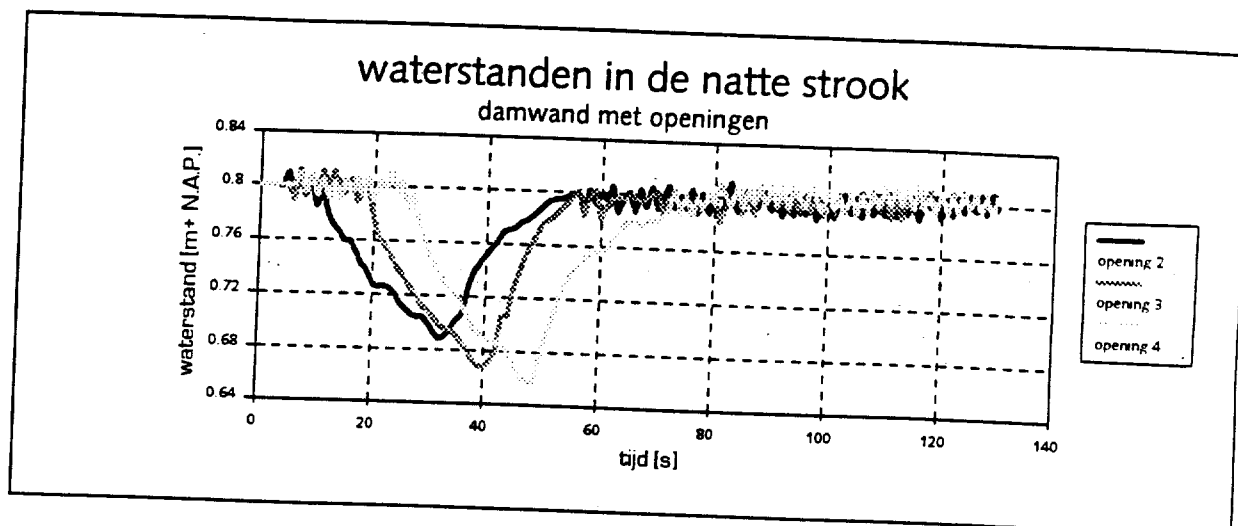
### Berekeningsresultaten waterbeweging en wateruitwisseling

Totale volume van de natte strook	: 240.00 [m <sup>3</sup> ]
Procentuele volume van vaarweg naar natte strook	: 13.15 [%]

Openingnr	Instroomsnelheid [m/s]
1	1.10
2	0.98
3	1.07
4	1.18
5	1.55

De maximum opgetreden stroomsnelheid in langsrichting	: 0.32 [m/s]
De totale passagetijd (rekentijd)	: 123 [s]

## Voorbeeldberekening 2: damwand met openingen



### Invoergegevens

VOOROEVERCONSTRUCTIE: Damwand met openingen

hoogte opening : 0.60 [m]  
 breedte opening : 0.70 [m]  
 hoogte onderkant opening : 0.20 [m + N.A.P.]

### DWARSPROFIEL NATTE STROOK

bodembreedte : 1.00 [m]  
 taludhelling oever (1:m) : 2.00 [-]  
 bodemligging : 0.00 [m + N.A.P.]  
 Chézycoëfficiënt : 10.00 [m<sup>1/2</sup>/s]

### LENGTESCHEMATISERING NATTE STROOK

lengte natte strook : 100.00 [m]  
 hart op hart afstand openingen : 20.00 [m]

### HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN EN SCHEEPSGEGEVENS

waterstand in natte strook op t=0 : 0.80 [m + N.A.P.]  
 grootte spiegelddaling kanaal : 0.20 [m]  
 duur van de spiegelddaling op kanaal : 30.00 [s]  
 vaarsnelheid schip : 2.50 [m/s]

### Berekeningsresultaten waterbeweging en wateruitwisseling

Totale volume van de natte strook : 144.0 [m<sup>3</sup>]  
 Procentuele volume van vaarweg naar natte strook : 23.81 [%]

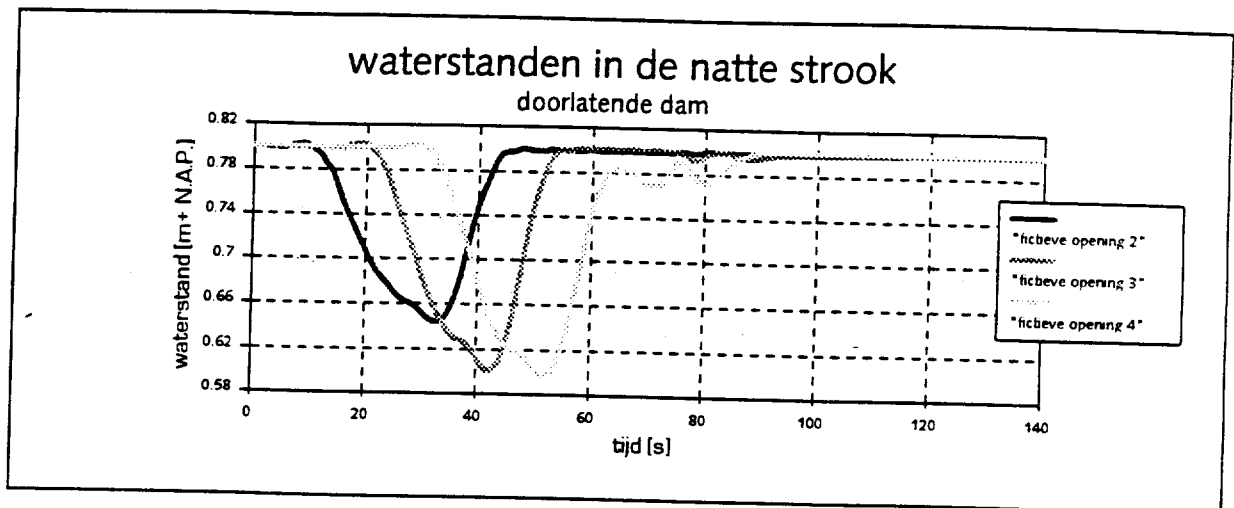
Openingnr	Instroomsnelheid (u <sub>in</sub> ) [m/s]	Stroomsnelheid talud (u <sub>talud</sub> ) [m/s]
1	0.72	0.72
2	0.68	0.68
3	0.66	0.66
4	0.69	0.69
5	0.75	0.75

### Stroomsnelheden aan de bodem

Openingnr	u <sub>bo</sub> [0.00] [m/s]	u <sub>bo</sub> [1.00] [m/s]
1	0.72	0.72
2	0.68	0.68
3	0.66	0.66
4	0.69	0.69
5	0.75	0.75

De maximum opgetreden stroomsnelheid in langsricting : 0.52 [m/s]  
 De totale passagetijd (rekentijd) : 130 [s]

## Voorbeeldberekening 3: doorlatende dam



### Invoergegevens

VOOROEVERCONSTRUCTIE: Doorlatende dam

kruinbreedte	: 1.00 [m]
kruinhoogte	: 0.80 [m + N.A.P.]
taludhelling kanaalzijde	: 2.00 [-]
taludhelling natte strook	: 2.00 [-]
porositeit steensortering van dam	: 0.35 [-]
D15f van steensortering	: 180.00 [mm]

### DWARSPROFIEL NATTE STROOK

bodembreedte	: 1.00 [m]
taludhelling oever (1:m)	: 3.00 [-]
bodemligging	: 0.00 [m + N.A.P.]
Chézycoëfficiënt	: 40.00 [m <sup>1/2</sup> /s]

### LENGTESCHEMATISERING NATTE STROOK

lengte natte strook	: 100.00 [m]
hart op hart afstand tussen fictieve openingen	: 20.00 [m]

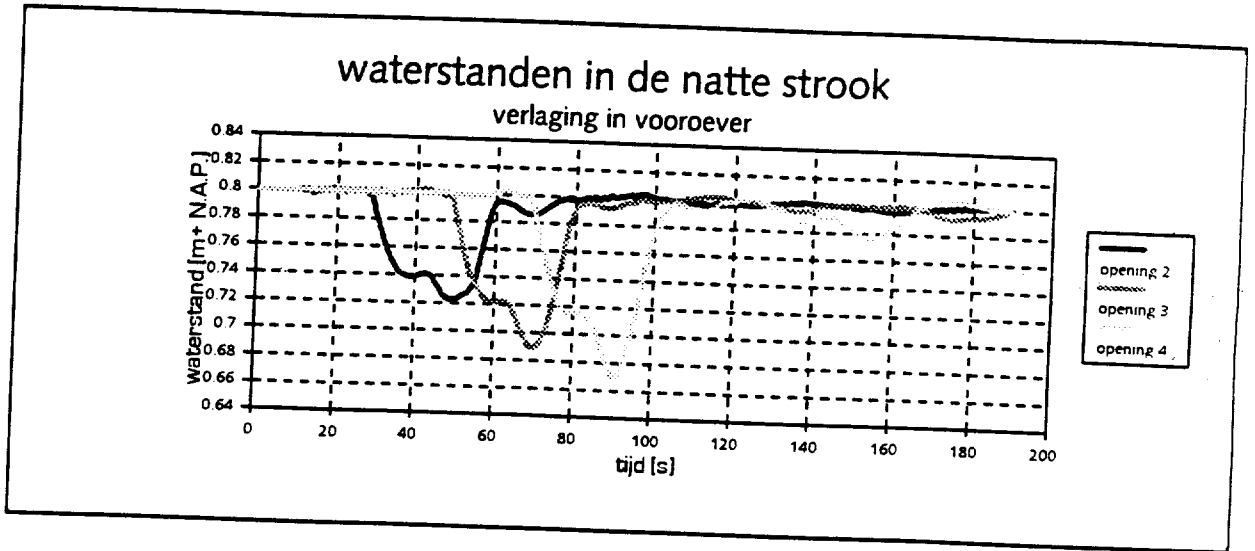
### HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN EN SCHEEPSGEGEVENS

waterstand in natte strook op t=0	: 0.80 [m + N.A.P.]
grootte spiegel daling kanaal	: 0.20 [m]
duur van de spiegel daling op kanaal	: 30.00 [s]
vaarsnelheid schip	: 2.00 [m/s]

### Berekeningsresultaten waterbeweging en wateruitwisseling

Totale volume van de natte strook	: 240.00 [m <sup>3</sup> ]
Procentuele volume van vaarweg naar natte strook	: 35.20 [%]
Het maximale instroomdebiet per m	: 0.05 [m <sup>3</sup> /s]
De maximale instroomsnelheid	: 0.06 [m/s]
De maximum opgetreden stroomsnelheid in langsrichting	: 0.92 [m/s]
De totale passagetijd (rekentijd)	: 140 [s]

## Voorbeeldberekening 4: verlaging in vooroever



### Invoergegevens

VOOROEVERCONSTRUCTIE: Verlaging in vooroever

bodembreedte stroomgat	: 1.00 [m]
bodemligging stroomgat	: 0.40 [m + N.A.P.]
zijtaludhelling stroomgat	: 3.00 [-]
taludhelling natte strook	: 2.00 [-]

### DWARSPROFIEL NATTE STROOK

bodembreedte	: 1.00 [m]
taludhelling oever (1:m)	: 3.00 [-]
bodemligging	: 0.00 [m + N.A.P.]
Chézycoëfficiënt	: 40.00 [m <sup>1/2</sup> /s]

### LENGTESCHEMATISERING NATTE STROOK

lengte natte strook	: 250 [m]
hart op hart afstand openingen	: 50.00 [m]

### HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN EN SCHEEPSGEGEVENS

waterstand in natte strook op t=0	: 0.80 [m + N.A.P.]
grootte spiegelvaling kanaal	: 0.20 [m]
duur van de spiegelvaling op kanaal	: 30.00 [s]
vaarsnelheid schip	: 2.50 [m/s]

### Berekeningsresultaten waterbeweging en wateruitwisseling

Totale volume van de natte strook	: 600.0 [m <sup>3</sup> ]
Procentuele volume van vaarweg naar natte strook	: 15.53 [%]
Maximale debiet	: 0.76 [m <sup>3</sup> /s]
Maximale bovenstroomse uitstroomsnelheid	: 0.98 [m/s]
De maximale (uit)stroomsnelheid (benedenstrooms) ten behoeve van de steenstabiliteit	: 1.79 [m/s]
De maximum opgetreden stroomsnelheid in langsrichting	: 0.73 [m/s]
De totale passagetijd (rekentijd)	: 190 [s]

### III. Modelbeschrijving PLONS

#### III.1 Vergelijkingen voor de waterbeweging, lit. [3], [7]

De waterbeweging in de natte strook en de wateruitwisseling tussen natte strook en vaarweg wordt beschreven door de volgende twee eendimensionale partiële differentiaalvergelijkingen (deze vergelijkingen zijn afgeleid van de twee eendimensionale partiële differentiaalvergelijkingen die niet-stationaire stroming in een open waterloop beschrijven):

$$B \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial Q}{\partial x} \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha Qv)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{g|Q|Q}{C^2AR} = 0 \quad (2)$$

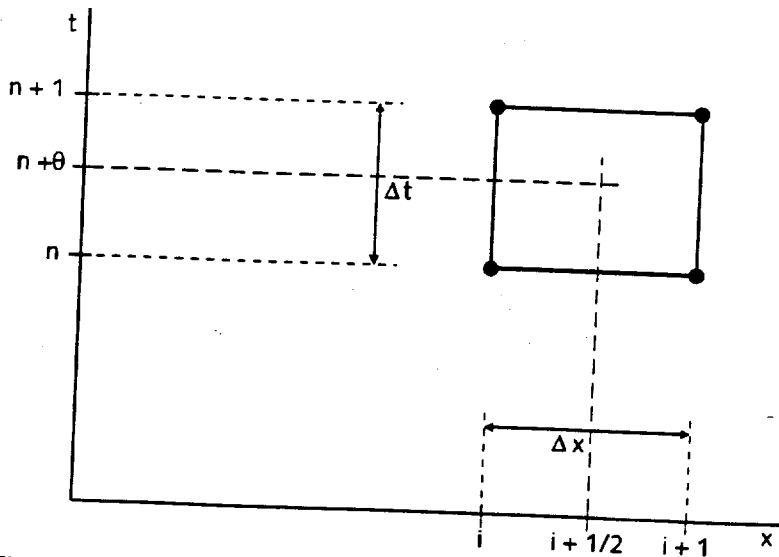
waarin

- t*: tijd [s]
- x*: plaats [m]
- H*: waterniveau in natte strook [m+N.A.P.]
- v*: snelheid gemiddeld over het doorstroomoppervlak [m/s]
- Q*: debiet in langsrichting [m<sup>3</sup>/s]
- Q'*: debiet van natte strook naar vaarweg [m<sup>3</sup>/s]
- R*: hydraulische straal [m]
- A*: doorstroomoppervlak [m<sup>2</sup>]
- B*: bergende breedte [m]
- g*: versnelling van de zwaartekracht [m/s<sup>2</sup>]
- C*: coëfficiënt van Chézy [√m/s]
- α*: correctiefactor voor de snelheidsverdeling [-]

#### III.2 Discretisatie van de vergelijkingen, lit. [7]

De vergelijkingen 1 en 2 zijn naar plaats en tijd gediscetiseerd volgens het vierpunts impliciete Preissmannschema. Daarin is een sectie  $\Delta x$  gedefinieerd van knoop *i* tot knoop *i+1*, en een tijdstap  $\Delta t$  van tijd  $t^n$  tot tijd  $t^{n+1}$ . In figuur 8 is dit schematisch weergegeven.





Figuur 8. Het 4-punts Preissmannschema

H en Q kunnen dan als volgt worden gediscretiseerd:

$$- H_i^{n+\theta} = (1-\theta)H_i^n + \theta H_i^{n+1}$$

$$- H_{i+1/2}^n = \frac{1}{2} (H_i^n + H_{i+1}^n),$$

evenzo de grootheden  $Q_i^{n+\theta}$  en  $Q_{i+1/2}^n$ .

Met behulp van bovenstaande uitdrukkingen kan de afgeleide in het referentiepunt  $(x_{i+1/2}, t^{n+\theta})$  worden benaderd. Vervanging van de afgeleiden in de vergelijkingen door eindige differenties, geeft voor iedere sectie twee vergelijkingen.

$$B_{i+1/2} \frac{H_{i+1/2}^{n+1} - H_{i+1/2}^n}{\Delta t} + \frac{Q_{i+1}^{n+\theta} - Q_i^{n+\theta}}{\Delta x} - \frac{Q_i^{n+\theta}}{\Delta x} = 0$$

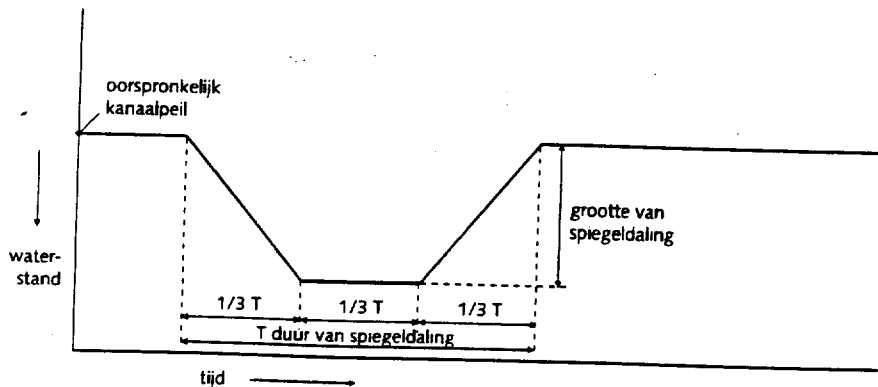
$$\frac{Q_{i+1/2}^{n+1} - Q_{i+1/2}^n}{\Delta t} + g A_{i+1/2} \frac{H_{i+1}^{n+\theta} - H_i^{n+\theta}}{\Delta x_i} + \alpha \frac{\frac{Q_{i+1}^n}{A_{i+1}} Q_{i+1}^{n+1} - \frac{Q_i^n}{A_i} Q_i^{n+1}}{\Delta x_i} + g \frac{Q_{i+1/2}^{n+1} |Q_{i+1/2}^n|}{(C^2 AR)_{i+1/2}} = 0$$

Bij de keuze van schematisering van de natte strook in N secties leidt dit, tezamen met de beginvoorwaarden op tijdstip 0 en de randvoorwaarden voor de in- of uitstromende debieten  $Q_i$  op tijdstip t, tot een stelsel van  $2 \cdot N$  vergelijkingen met  $2 \cdot N$  onbekenden. Dit stelsel is opgelost met behulp van een Gauss-Jordan eliminatie methode.

### III.3 Beschrijving grootheden

#### Spiegeldaling op de vaarweg

De spiegeldaling op de vaarweg is vastgelegd door de twee parameters grootte  $h$  en duur  $T$ , volgens de in figuur 9 gegeven schematisering.



Figuur 9. Geschematiseerde spiegeldaling

#### Debiet $Q$

Het debiet  $Q$  in langsrichting is afhankelijk van het verval, de geometrie en ruwheid van de natte strook. Het verval in de natte strook ontstaat door de wateruitwisseling tussen natte strook en vaarweg tengevolge van de waterspiegelverandering op de vaarweg.

#### Debiet $Q'$

Het debiet  $Q'$  van natte strook naar vaarweg wordt bepaald door het verval over en de afvoereigenschappen van de vooroeverconstructie. Het verval over de constructie ontstaat tengevolge van een waterspiegelverandering op de vaarweg.

#### Vooroeverconstructie en debiet $Q'$

In PLONS kan een keus worden gemaakt uit een viertal verschillende vooroeverconstructies. Per constructie wordt een beschrijving gegeven van de berekeningsmethode voor het bijbehorende debiet  $Q'$ .

**Constructie 1: ondoorlatende dam met buizen, lit. [1]**

Wateruitwisseling vindt plaats via buizen gelegen in de ondoorlatende dam. Het debiet per buis wordt gegeven door de volgende formule:

$$Q = \mu A \sqrt{2 g z}$$

waarin

- $\mu$  = weerstandscoefficiënt [-]
- $A$  = natte oppervlak [m<sup>2</sup>]
- $g$  = versnelling zwaartekracht [m/s<sup>2</sup>]
- $z$  = verval over de buis [m]

Voor de weerstandscoefficiënt  $\mu$  geldt de formule:

$$\mu = 1/\sqrt{(\xi_i + \xi_w)}$$

waarin

- $\xi_i$  = intreeweerstand {afhankelijk van instroomopening}[-]
- $\xi_w$  = wandweerstand,  $2 g L / (C^2 R)$  [-]

met

- $L$  = lengte van de buis [m]
- $C$  =  $k_M R^{1/6}$  [m<sup>1/2</sup>/s]
- $R$  = hydraulische straal [m]
- $k_M$  = ruwheidsfactor van Manning [m<sup>1/3</sup>/s]

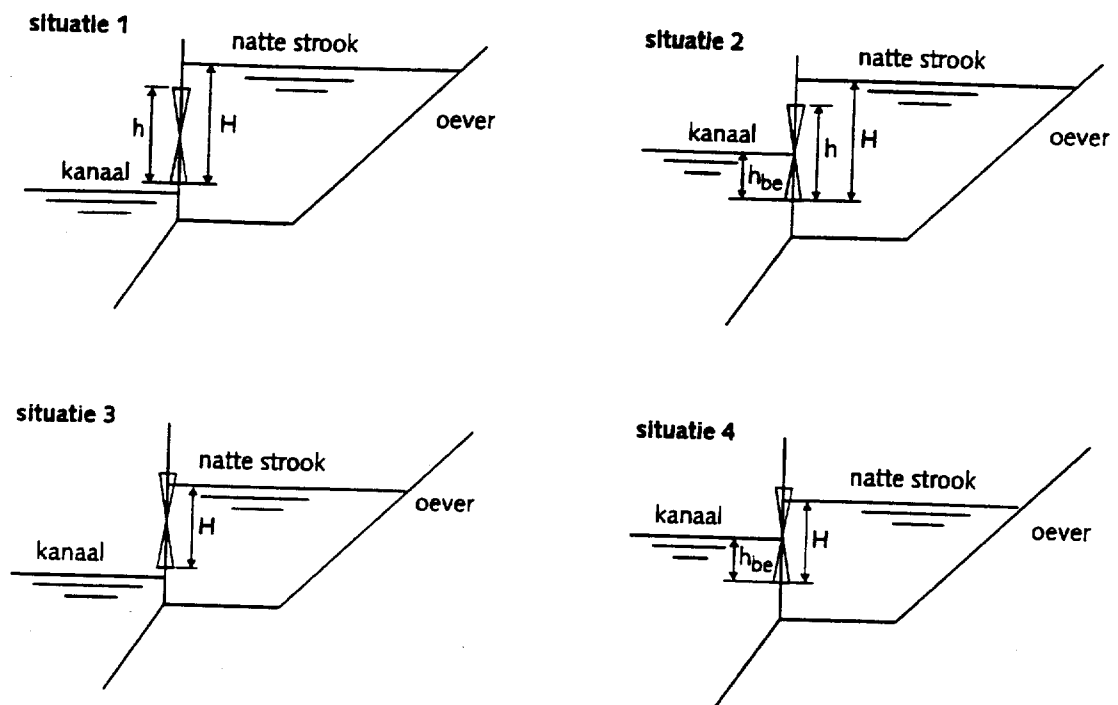
Uit de formulering van de weerstandscoefficiënt blijkt dat er geen rekening is gehouden met uittreeverlies dan wel met bochtverlies.

**Constructie 2: damwand met openingen, lit. [1]**

De wateruitwisseling tussen oever en vaarweg vindt plaats via de openingen in de damwand.

De opening in de damwand wordt beschouwd als een scherpe overlaat. Afhankelijk van de hoogte van de boven- en benedenstroomse waterstand worden de volgende 4 situaties onderscheiden:

- Situatie 1: opening bovenstrooms geheel onder water, benedenstrooms droog,  
 Situatie 2: opening bovenstrooms geheel onder water, benedenstrooms onder water (verdronken overlaat),  
 Situatie 3: opening bovenstrooms gedeeltelijk onder water, benedenstrooms droog,  
 Situatie 4: opening bovenstrooms gedeeltelijk onder water, benedenstrooms onder water (verdronken overlaat).



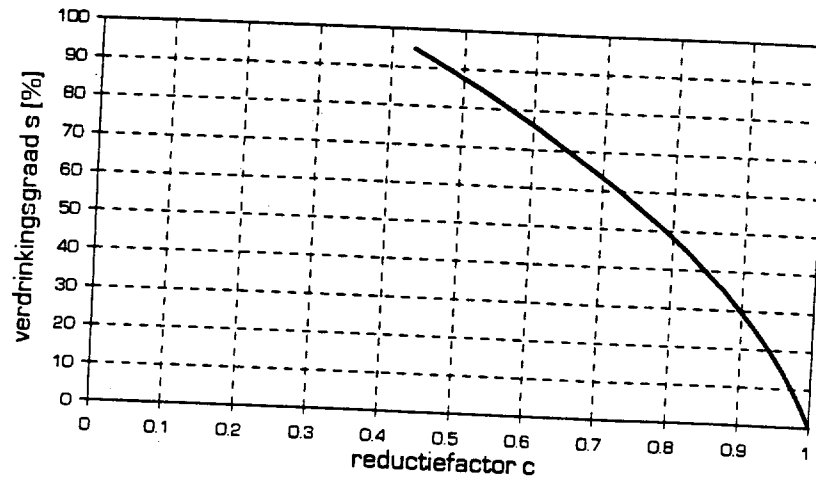
Figuur 10. Diverse overlaatsituaties

Ad 1.  $Q' = C_{e1} b h \sqrt{2g(H - h/2)}$   
 ad 2.  $Q' = c C_{e1} b h \sqrt{2g(H - h/2)}$   
 ad 3.  $Q' = 2/3 \sqrt{2g} C_{e2} b H \sqrt{H}$   
 ad 4.  $Q' = c 2/3 \sqrt{2g} C_{e2} b H \sqrt{H}$

waarin

- $C_{e1}$  = afvoercoëfficiënt (0.60) [-]  
 $C_{e2}$  = afvoercoëfficiënt (0.64) [-]  
 $b$  = breedte opening [m]  
 $h$  = hoogte opening [m]  
 $g$  = versnelling van de zwaartekracht [ $m/s^2$ ]

- H = bovenstroomse waterstand t.o.v. onderzijde opening [m]  
c = reductiefactor voor verdrongen overlaat (zie figuur 11)  
s = verdrinkingsgraad ( $100 \cdot h_{be}/H$ ) [%]  
 $h_{be}$  = benedenstroomse waterstand t.o.v. onderzijde opening [m]



Figuur 11. Relatie tussen verdrinkingsgraad en reductiefactor

**Constructie 3: doorlatende dam**, lit. [2], [8]

De vooroeververdediging is een doorlatende dam. Er vindt over de gehele lengte van de constructie wateruitwisseling plaats.

De doorlatende dam wordt beschouwd als een filterconstructie waar water doorstroomt met snelheid  $v$ . Deze snelheid  $v$  is afhankelijk van de porositeit en een karakteristieke maat  $D_{15}$  van het filter ( $D_{15}$ : diameter die door 15 gewichtsprocenten wordt onderschreden).

Voor de bepaling van de filtersnelheid  $v$  is gebruik gemaakt van de Forchheimer relatie:

$$i = a v + b v^2$$

waarin

$i$  = verhang [-]

$a$  = lineaire stromingsweerstandscoefficiënt [s/m]

$b$  = kwadratische stromingsweerstandscoefficiënt [s<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>]

$v$  = filtersnelheid [m/s]

De coëfficiënten  $a$  en  $b$  zijn als volgt gedefinieerd:

$$a = (160 v_w / g) ((1-n)^2 / (n^3 D^2))$$

$$b = 2.2 / (g n^2 D)$$

waarin

$v_w$  = kinematische viscositeit van water (10<sup>-6</sup> bij 20°C) [m<sup>2</sup>/s]

$g$  = versnelling zwaartekracht [m/s<sup>2</sup>]

$n$  = porositeit [-]

$D$  =  $D_{15}$  [m]

Het in- en uitstroomdebiet  $Q'$  is gelijk aan het produkt van filtersnelheid  $v$  en doorstroomoppervlak  $A$ :

$$Q' = v A$$

waarin

$$A = (H - b_0) \Delta x$$

met

$H$  = benedenstroomse waterstand [m tov NAP]

$b_0$  = bodemligging natte strook [m tov NAP]

$\Delta x$  = afstand tussen knoop  $i$  en knoop  $i+1$  in Preissmann schema [m]

Het instroomdebiet per m is dus gelijk aan  $Q' / \Delta x$ .

*Constructie 4: verlaging in de vooroeverconstructie, lit. [9]*

De vooroeverconstructie is een dichte dam waarin zich verlagingen bevinden waardoor wateruitwisseling tussen natte strook en kanaal mogelijk is.

De stroming over zo'n verlaging wordt beschreven door de volgende formules:

$$q = m \cdot H \sqrt{g(H-h_b)} \quad \text{voor } 2/3H < h_b \leq H \quad [\text{m}^2/\text{s}]$$

$$q = m \cdot 2/3H \sqrt{2/3gH} \quad \text{voor } h_b \leq 2/3H \quad [\text{m}^2/\text{s}]$$

waarin

$m$  = afvoercoëfficiënt [-]

$g$  = versnelling van de zwaartekracht [ $\text{m}/\text{s}^2$ ]

$H$  = bovenstroomse waterstand t.o.v. bodem stroomgat [m]

$h_b$  = benedenstroomse waterstand t.o.v. bodem stroomgat [m]

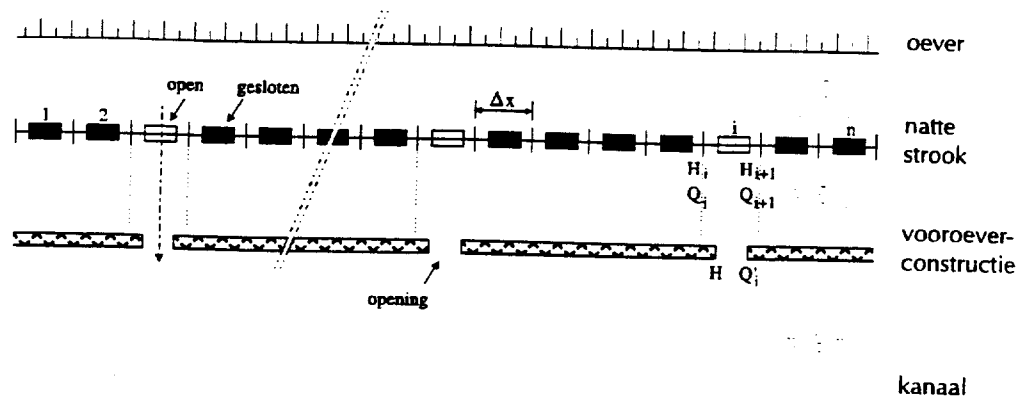
Het debiet  $Q$  is gelijk aan  $q \cdot$  doorstroombreedte van de verlaging. De doorstroombreedte van de verlaging is afhankelijk van de bovenstroomse waterstand, de bodembreedte van de verlaging en de helling van het zijtalud van de verlaging.

### III.4 Berekeningsmethode van waterbeweging en wateruitwisseling

#### III.4.1 Lengteschematisering natte strook en verdeling van openingen

De natte strook is in lengterichting verdeeld in  $N$  secties. De grootte van  $N$  is afhankelijk van de lengte van de natte strook. De lengte van de natte strook wordt bepaald door de afstand tussen twee openingen. De ligging van de openingen is equidistant. In de berekening worden in totaal 5 openingen meegenomen.

Wat betreft een vooroeverconstructie bestaande uit een doorlatende dam, waarbij niet over openingen gesproken kan worden, geldt het volgende: het begrip openingen is fictief en wordt slechts gebruikt om de lengte van de natte strook te bepalen.



Figuur 17. Schematisering van natte strook in PLONS, bovenaanzicht

#### III.4.2 Waterbeweging en wateruitwisseling

##### *Stroomsnelheden en hoeveelheid wateruitwisseling*

De waterstand op het kanaal ter plaatse van de openingen wordt bepaald door de vaarsnelheid van het schip. Wanneer het schip een opening bereikt vindt de spiegeldaling daar een aanvang. De daling vindt plaats volgens het eerder beschreven geschematiseerde verloop.

Voor ieder begin- en eindpunt van een sectie wordt per tijdstap de waterstand  $H_i$  en het debiet  $Q_i$  berekend. Uit de debieten  $Q_i$  wordt de stroomsnelheid in langsrichting afgeleid.

Een sectie  $i$  kan open of gesloten zijn. Voor een open sectie wordt, eveneens per tijdstap, het debiet  $Q'_i$  van natte strook naar vaarweg berekend. Dit debiet hangt af van de gemiddelde waterstand  $(H_i + H_{i+1})/2$  in sectie  $i$ , van de waterstand  $H$  op het kanaal en van de afvoereigenschappen van de vooroeverconstructie, zoals deze eerder zijn beschreven.

Uit de debieten  $Q'_i$  worden instroomsnelheden en hoeveelheden verplaatst water berekend.

De te berekenen wateruitwisseling is gedefinieerd als de hoeveelheid water die tijdens een scheepspassage via de openingen ván vaarweg náár natte strook stroomt. Hierbij is gekozen voor het gemiddelde over drie openingen. De wateruitwisseling via de openingen gelegen aan begin en eind van de natte strook zijn in verband met



randeffekten niet in de berekening betrokken.  
Het gemiddelde over de drie openingen wordt representatief geacht voor praktijksituaties.

## Literatuur

- [1] Cultuur Technisch Vademecum, Cultuurtechnische vereniging, 1988.
- [2] Materiaal parameters breuksteen, notitie MAA-N-87143, 1987, DWW
- [3] Chow, Ven te, "Open-Channel Hydraulics", McGraw-Hill Book Company, 1986.
- [4] Aanbevelingen voor het ontwerp van oevers langs vaarwegen, Deelrapport 1 van de Werkgroep Oeververdedigingen, Commissie Vaarweg Beheerders, WL, juli 1989.
- [5] Ontwerpprogramma voor oeververdedigingen in vaarwegen, rapport 89-8, DIPRO versie 1.04, CUR, RWS, WL.
- [6] Notitie "Instroming door gaten in damwanden", nov.1991, WL.
- [7] Duflow, A micro-computer package for the simulation of one-dimensional unsteady flow in channel systems, IHE, RWS, TUD, First edition, June 1989.
- [8] Heranalyse doorlatendheidsmetingen door middel van de Forchheimer relatie, Co-272550/56, Grondmechanica Delft, nov. 1987.
- [9] Collegedictaat Vloeistofmechanica, TU-Delft