

0307 015 2594



HYDRAULISCHE STUDIE

INZAKE DE PEILBEHEERSING

OP AUTOMATISCHE STUWEN

**- OPTIMALISATIE VAN DE
STURING VAN DE STUW TE KAIN**

E I N D V E R S L A G

**OPDRACHTGEVER :
MINISTERIE VAN OPENBARE WERKEN
BESTUUR DER WATERWEGEN**

INHOUDSTAFEL

1.	INLEIDING	1
1.1.	DOEL VAN DE STUDIE	1
1.2.	OPMERKING	1
2.	OVERZICHT VAN DE WERKZAAMHEDEN	2
2.1.	INVENTARISATIE VAN DE GEGEVENS	2
2.2.	OPSTELLEN VAN EEN MATHEMATISCH SIMULATIE MODEL	2
2.3.	SIMULATIES	3
2.4.	CONCLUSIES	3
3.	GEGEVENS : METHODOLOGIE EN TECHNIEKEN	4
3.1.	GEGEVENS	4
3.1.1.	Het pand Kain-Espierres	4
3.1.1.1.	Geometrie	4
3.1.1.2.	Peilgegevens	4
3.1.1.3.	Debietgegevens	4
	i) Gegevens	4
	ii) Berekening met behulp van het programma "Discal"	5
3.1.1.4.	De stuw	6
3.1.1.5.	De huidige sturingsprocedure	7
3.2.	BEPALING VAN DE VEREISTEN	10
3.3.	BEPERKING	10
3.4.	METHODOLOGIE	10
3.4.1.	Algemeen	10
3.5.	ALGEMENE MATHEMATISCHE GRONDSLAG	11
3.5.1.	Mathematisch model van een rivier	11
3.5.1.1.	De vergelijkingen	11
3.5.1.2.	Randvoorwaarden	12
	i) Uitwendige randvoorwaarden	12
	ii) Inwendige randvoorwaarden	12
3.5.2.	Numeriek model van een rivier	12

4.	EVALUATIE VAN DE STURINGEN	14
4.1.	WERKWIJZE	14
4.1.1.	Globaal	14
4.1.2.	Specifiek	14
4.1.2.1.	Ontwikkeling flood routing model FLOROT	14
4.1.2.2.	Calibratie	15
4.1.2.3.	Calibratie randvoorwaarden : Zie 4.2.2.2.	15
4.1.2.4.	Modelverificatie	15
4.1.2.5.	Inbouw sturing	15
4.2.	DE HUIDIGE STURING - PEILSTURING	16
4.2.1.	Analyse	16
4.2.1.1.	Gegevens	16
4.2.1.2.	Bespreking	17
4.2.2.	Simulatie 1	17
4.2.2.1.	Geometrie	17
4.2.2.2.	Randvoorwaarden	17
	i) Opwaarts	17
	ii) Afwaarts	22
	iii) Inwendig	22
4.2.2.3.	Berekeningsparameters	21
	i) Tijdstap Δt	22
4.2.2.4.	Resultaten	22
4.2.3.	Simulatie 2	26
4.2.3.1.	Geometrie	26
4.2.3.2.	Randvoorwaarden	26
	i) Opwaarts	26
	ii) Afwaarts	26
	iii) Inwendig	27
4.2.3.3.	Berekeningsparameters	27
	i) Tijdstap Δt	27
4.2.3.4.	Resultaten	27
4.2.4.	Voorbeeld van metingen	29
4.2.5.	Conclusie	29
4.3.	ONTWIKKELING VAN EEN VOORSTEL TOT STURING	31
4.3.1.	Het reservoir analogon	31
4.3.2.	Uitgangspunt	32
4.3.3.	Denkmodel	32
4.3.4.	Inbouw van het programma	33
4.4.	SIMULATIE III	35

4.4.1. Doelstelling	35
4.4.2. Geometrie	35
4.4.3. Randvoorwaarden	35
i) Opwaarts	35
ii) Afwaarts	35
iii) Inwendig	36
4.4.4. Berekeningsparameters	36
4.4.5. Resultaten	36
4.4.5.1. Analyse van de resultaten	40
4.5. SIMULATIE III	40
4.5.1. Doelstelling	40
4.5.2. Geometrie	40
4.5.3. Randvoorwaarden	41
i) Opwaarts	41
ii) Afwaarts	41
iii) Inwendig	41
4.5.4. Berekeningsparameters	41
i) Tijdstap Δt	41
4.5.5. Resultaten	41
4.6. CONCLUSIE	43
5. VOORSTEL VOOR EEN STURING	44
5.1. STURING	44
5.2. BELANGRIJKE RESTRICTIE	44
6. BESLUIT	46
7. LITERATUURLIJST	47

1. INLEIDING

1.1. DOEL VAN DE STUDIE

Het waterbeheer van bevaarbare waterlopen is een compromis tussen enerzijds de behoeften van de scheepvaart en anderzijds de veiligheid der aangelanden. Deze objectieven worden echter niet gerealiseerd op de Bovenschelde. Daarom besluit de Dienst voor Hydrologisch Onderzoek van het Ministerie van Openbare Werken een waterbeheerproject te lanceren inzake de waterpeilbeheersing op de Bovenschelde, door middel van automatische stuwen. Opzet van het project is een computer ondersteunde methodologie te ontwikkelen door middel van mathematische simulatietechnieken voor het nemen van verantwoorde beheersbeslissingen op de Bovenschelde.

Om het waterbeheerproject tot een goed einde te brengen wordt het opgedeeld in diverse fasen. De onderhavige tekst omvat een beschrijving van de resultaten en een voorstel tot methodologie als aanvulling op het eindverslag, conform artikel 6.2. van de onderzoeksopdracht nr. 174.AD4.84 : "Hydraulische studie inzake de peilbeheersing op de automatische stuwen" tussen het Ministerie van Openbare Werken, verderop de Opdrachtgever genaamd, en het Laboratorium voor Hydraulica van de Rijksuniversiteit Gent.

1.2. OPMERKING

Onderhavig verslag geldt als aanvulling op het op 1 augustus 1989 ingediende verslag van de bovenvermelde onderzoeksopdracht.

2. OVERZICHT VAN DE WERKZAAMHEDEN

Deze paragraaf bevat een beknopt overzicht van de geleverde prestaties. Voor een meer gedetailleerd overzicht van de werkzaamheden wordt verwezen naar de maandelijks ingediende prestatiestaten, overeenkomstig artikel 6.2. van onderzoeksopdracht nr. 174.AD4.84 "Hydraulische studie inzake de peilbeheersing op de automatische stuwen" en het onder paragraaf 1.2. vermelde verslag.

2.1. INVENTARISATIE VAN DE GEGEVENS

- Studie van de geometrie (lengteprofiel, dwarsprofielen) van de panden Antoing-Kain en Kain-Espierres.
- Prospectie van bruggen en rivierpand tussen Kain en Espierres ter voorbereiding van een meetcampagne.
- Uitvoering meetcampagne te Kain, Ramegnies en Pecq op 12 december 1988 en 23 februari 1989.
- Verwerking en interpretatie van de meetresultaten.
- Studie van de huidige beheersprocedure voor de stuw te Kain.

2.2. OPSTELLEN VAN EEN MATHEMATISCH SIMULATIE MODEL

- Literatuurstudie in verband met hoogwaterberekening (flood routing) gebaseerd op de niet-permanente stromingsverschijnselen in open kanalen (de zogenaamde Barré de Saint Venant-vergelijkingen).
- Literatuurstudie in verband met waterpeilbeheersing op automatische stuwen.
- Ontwikkeling van een "flood routing" programma, gebaseerd op het impliciete eindige differentieschema volgens Preissmann.
- Ontwikkeling van een "flood routing" programma, gebaseerd op de MUSKINGUM-CUNGE methode.
- Ontwikkeling van het programma "DISCAL" dat toelaat, vertrekkend van een gekend opwaarts en afwaarts waterpeil, een gekende stand van de hef- en wipschuif, het debiet te berekenen over een stuw.
- Opstarten van het programma "DIRECT" dat toelaat de huidige sturing van één automatische stuw te simuleren.
- Koppelen van de diverse programma's tot het programma "ACCESSUS".

2.3. SIMULATIES

Toepassing van de bovenvermelde programma's op een testgolf voor het pand "Kain-Espierres" en nazicht van het "zelf regelend vermogen" van de beheersprocedures :

- voor de bestaande beheersprocedure;
- voor een geoptimaliseerde beheersprocedure.

2.4. CONCLUSIES

Cfr. infra

3. GEGEVENS : METHODOLOGIE EN TECHNIEKEN

3.1. GEGEVENS

3.1.1. Het pand Kain-Espierres

3.1.1.1. Geometrie

Om redenen uiteengezet in het vorig verslag is enkel het pand Kain-Espierres behandeld. De naderhand gebruikte geometrie verschilt lichtjes van de in vorige verslagen aangehaalde geometrie, dit na studie van nieuwe gegevens verstrekt door ir. C. PEETERS (B.E.E.-Bergen). De gebruikte geometrie wordt verder toegelicht bij de diverse simulaties.

3.1.1.2. Peilgegevens

Peilen op- en afwaarts de stuw te Kain worden geregistreerd door timnigrafen.

3.1.1.3. Debietgegevens

i) Gegevens

De debieten op de Bovenschelde aan de stuw te Kain worden bepaald door waarneming van het op- en afwaarts waterniveau en de stand van de hef- en wipschuif. Daar de configuratie van de diverse stuwen op de Schelde (Kain, Espierres, Berchem-Kerkhove, Oudenaarde en Asper) dezelfde is kan dezelfde berekeningsmethode voor alle stuwen aangehouden worden. In 1954 reeds is door het Waterbouwkundig Laboratorium te Borgerhout een fysische modelstudie uitgevoerd op de stuw te Asper. Als resultaat van deze ijking zijn een paar grafieken opgesteld die debietbepaling toelaten. Niettegenstaande deze grafieken in overeenstemming zijn met de realiteit hebben zij een beperkte bruikbaarheid, daar een initiële keuze van een aantal parameters vereist is en interpolatie noodzakelijk is.

Ir. DE NAEYER ontwikkelde, in zijn functie van ingenieur bij het stroomgebied der Schelde te Gent, een aantal empirische formules die toelaten

het debiet te berekenen over de hoger vermelde stuwen op de Schelde. In de praktijk resulteert dit in twee tabellen (cfr. tabellen 1 en 2).

Tenslotte zijn door ir. **HEYNDERICKX** (Dienst Hydrologisch Onderzoek van het Ministerie voor Openbare Werken) de tabellen omgezet in formules. Deze formules die extrapolatie en interpolatie mogelijk maken vormen de basis van het mathematisch model "DISCAL" (Discharge calculation) ter bepaling van de debieten op de Schelde te Kain. Een volledige en gedetailleerde beschrijving van het model is vermeld in het verslag d.d. 1 augustus 1989.

De formules gaan uit van de geregistreerde gegevens over op- en afwaarts peil (respectievelijk H_{opw} en H_{afw} genoemd) en de stand van hef- en wipschuif (gekaracteriseerd door respectievelijk a_{hef} en a_{wip}). De gebruikte formules zijn van de vorm :

$$Q = Q_{hef} + Q_{wip}$$

met

$$Q_{wip} = a H^b$$

$$Q_{hef} = c \sqrt{\Delta H}$$

waarin a, b en c coëfficiënten zijn die getabelleerd zijn in functie van de stuwstand en ΔH en H respectievelijk het verval en de dikte van de overstortlaag voorstellen.

ii) Berekening met behulp van het programma "Discal"

Dit programma bepaalt het totale debiet Q (d.i. de som van het debiet over de wipschuif Q_{wip} en het debiet onder de hefschuif Q_{hef}) over de stuw te Kain. De input bestaat uit de waarnemingen :

- 1) Hopw = registratie van het niveau opwaarts van de stuw [m]
- 2) Hafw = registratie van het niveau afwaarts van de stuw [m]
- 3) a = registratie van de stand van de hefschuif [m]
- 4) D = registratie van de stand van de wipschuif [m]

Hmax is een gekende constante waarde voor een gegeven stuw. Voor de stuw te Kain is $H_{max} = 15.95$ m T.A.W. Het mathematisch model "DISCAL" (Discharge Calculation), geschreven in Quick Basic, laat toe uitgaande van de bovenvermelde vier waarnemingen het debiet te berekenen op de Bovenschelde te Kain.

3.1.1.4. De stuw

Over de stuw zijn door het B.E.E. volgende gegevens verstrekt :

A. Haut Escout

1. Barrages de Kain et d'Espierres

1.1. Caractéristiques (identiques pour les deux barrages)

Les barrages sont constitués d'un seul pertuis qui comprend :

- une vanne Stoney équipée d'une housse basculante;
- cet ensemble est manoeuvré par des câbles métalliques via des réducteurs à tambours d'extrémité placés aux points de suspension, et d'un réducteur central assurant la démultiplication et les couplages nécessaires;
- quatre arbres de transmission partent du réducteur central vers les réducteurs de la housse et de la vanne (réducteurs d'extrémité);
- un seul moteur est utilisé;
- une manoeuvre de secours par manivelle.

1.2. Dimensions principales

Vanne : Longueur : 18 m
hauteur : 4,75 m

Housse : Longueur : 10 m
Hauteur : 1,5 m

1.3. Fonctionnement :

Automatique : (avec possibilité de commande électrique par boutons poussoirs et une commande de secours manuelle)

1.4. Principe de la commande

- mesure de niveau "amont" par flotteur;
- Transmission de la mesure par axe électrique à un
- commutateur à cames et micro Switch;
- Traitement par relais pour la commande d'un seul moteur actionnant la housse, la vanne ou l'ensemble via un accouplement électrique.

3.1.1.5. De huidige sturingsprocedure

Volgende gegevens zijn beschikbaar :

1.5. Mode d'action de la commande automatique

Lorsque les cotes "amont" ont atteint les valeurs correspondant aux réglages, le barrage est manoeuvré de façon modulée (8 minutes de repos suivies de 1,5 minutes de fonctionnement) ou permanente jusqu'à ce que la cote "amont" soit redevenue égale à la cote de référence (soit + 1 cm de celle-ci).

1.6. Réglages

<u>Fonctions</u>	<u>KAIN</u>		<u>ESPIERRES</u>	
	<u>Cote</u>	<u>Ecart</u>	<u>Cote</u>	<u>Ecart</u>
Alarme haut	15,20	+ 20	13,46	+ 15
Ouverture rapide	15,10	+ 10	13,41	+ 10
Ouverture modulée	15,04	+ 4	13,36	+ 5
Niveau de référence	15,00	0	13,31	0
Fermeture modulée	14,96	- 4	13,26	- 5
Fermeture rapide	14,88	- 12	13,23	- 8
Alarme bas	14,85	- 15	13,21	- 10

Ces réglages sont le fruit de longs tâtonnements. Ils donnent satisfaction.

De interpretatie van deze tabel wordt behandeld onder 4.2.

TABLEAU DES DEBITS SUR LA VANNETTE (H = HAUTEUR D'EAU SUR LA VANNETTE)

H	VANNETTE ABAISSEE DE							H	VANNETTE ABAISSEE DE							H	VANNETTE ABAISSEE DE						H	VANNETTE ABAISSEE DE				H	VANNETTE ABAISSEE DE			H	VANNETTE ABAISSEE DE								
	1,30	1,20	1,10	1,00	0,90	0,70	0,50		1,30	1,20	1,10	1,00	0,90	0,80	0,70		0,60	0,50	1,30	1,20	1,10	1,00		0,90	0,80	1,30	1,20		1,10	1,00	1,30		1,20	1,10							
0,02	0,1							0,31	2,8	3,4	3,6	3,7	3,8	3,9	4,-	4,1	4,1	0,51	6,2	7,1	7,5	7,7	7,8	8,-	0,71	10,3	11,5	12,2	12,6	12,9	13,1	0,91	15,1	16,6	17,7	18,2	1,11	20,5	22,3	23,5	EXEMPLES:
0,04	0,2							0,32	3,-	3,6	3,8	3,9	4,-	4,1	4,1	4,2	4,3	0,52	6,4	7,3	7,8	7,9	8,1	8,2	0,72	10,5	11,8	12,5	12,9	13,1	13,4	0,92	15,4	16,9	18,-	18,5	1,12	20,8	22,6	23,8	VANNETTE ABAISSEE
0,06	0,3							0,33	3,1	3,8	4,-	4,1	4,2	4,2	4,3	4,4	4,5	0,53	6,5	7,5	7,9	8,2	8,3	8,4	0,73	10,7	12,-	12,7	13,2	13,4	13,5	0,93	15,6	17,2	18,2	18,8	1,13	21,1	22,9	24,1	DE 1,0 ; H = 0,37
0,08	0,4							0,34	3,3	3,9	4,2	4,3	4,4	4,4	4,5	4,6	4,7	0,54	6,7	7,7	8,2	8,4	8,6	8,7	0,74	10,9	12,3	13,-	13,4	13,7	13,9	0,94	15,9	17,5	18,5	19,1	1,14	21,4	23,3	24,5	DEBIT = 4,8 m ³ /sec.
0,10	0,5	0,6	0,7					0,35	3,4	4,1	4,4	4,5	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	0,55	6,9	7,9	8,4	8,6	8,8	8,9	0,75	11,2	12,5	13,2	13,7	13,9	14,2	0,95	16,1	17,8	18,8	19,4	1,15	21,7	23,6	24,8	
0,12	0,7	0,8	0,9					0,36	3,6	4,3	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5,-	5,1	0,56	7,1	8,1	8,6	8,9	9,-	9,2	0,76	11,4	12,8	13,5	14,-	14,2	14,5	0,96	16,4	18,-	19,1	19,7	1,16	22,-	23,9	25,1	VANNETTE ABAISSEE
0,14	0,9	1,-	1,1	1,2				0,37	3,7	4,5	4,7	4,8	4,9	5,-	5,1	5,2	5,3	0,57	7,3	8,3	8,8	9,1	9,3	9,4	0,77	11,6	13,-	13,8	14,3	14,5	14,8	0,97	16,7	18,3	19,4	20,-	1,17	22,3	24,2	25,4	DE 0,80 ; H = 0,60
0,16	1,1	1,2	1,3	1,5				0,38	3,9	4,6	4,9	5,-	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	0,58	7,5	8,6	9,1	9,3	9,5	9,7	0,78	11,9	13,3	14,1	14,5	14,8	15,1	0,98	16,9	18,6	19,6	20,2	1,18	22,6	24,5	25,8	DEBIT = 10,2 m ³ /sec.
0,18	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8			0,39	4,-	4,8	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	0,59	7,7	8,8	9,3	9,6	9,7	9,9	0,79	12,1	13,5	14,3	14,8	15,-	15,4	0,99	17,2	18,9	19,9	20,6	1,19	22,9	24,8	26,1	
0,20	1,5	1,7	1,9	2,-	2,1			0,40	4,2	5,-	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	0,60	7,9	9,-	9,5	9,8	10,-	10,2	0,80	12,4	13,8	14,6	15,1	15,3	15,7	1,00	17,5	19,2	20,2	20,9	1,20	23,2	25,1	26,4	
0,21	1,6	1,8	2,-	2,1	2,2			0,41	4,4	5,2	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	6,-		0,61	8,1	9,2	9,8	10,1	10,3	10,5	0,81	12,6	14,-	14,9	15,4	15,6	-	1,01	17,7	19,4	20,5	21,2	1,21	23,5	25,4	26,7	
0,22	1,7	2,0	2,2	2,3	2,4			0,42	4,5	5,3	5,7	5,8	5,9	6,-	6,1	6,2		0,62	8,3	9,5	10,-	10,3	10,5	10,7	0,82	12,9	14,3	15,1	15,6	15,9	-	1,02	18,-	19,7	20,8	21,5	1,22	23,8	25,7	27,-	
0,23	1,8	2,1	2,3	2,4	2,5			0,43	4,7	5,5	5,9	6,-	6,1	6,2	6,3	6,4		0,63	8,5	9,7	10,3	10,6	10,8	11,-	0,83	13,1	14,5	15,4	15,9	16,2	-	1,03	18,3	20,-	21,1	21,8	1,23	24,1	26,-	27,3	
0,24	1,9	2,3	2,5	2,6	2,7			0,44	4,9	5,7	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6		0,64	8,7	9,9	10,5	10,8	11,-	11,2	0,84	13,4	14,8	15,7	16,2	16,5	-	1,04	18,5	20,3	21,4	22,1	1,24	24,5	26,4	-	
0,25	2,0	2,4	2,6	2,7	2,8	2,9		0,45	5,1	5,9	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8		0,65	9,-	10,1	10,7	11,1	11,3	11,5	0,85	13,6	15,-	16,-	16,5	16,7	-	1,05	18,8	20,6	21,7	22,4	1,25	24,8	26,7	-	
0,26	2,2	2,6	2,8	2,9	3,-	3,1		0,46	5,2	6,1	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9	7,1		0,66	9,2	10,4	11,-	11,3	11,5	11,7	0,86	13,8	15,3	16,3	16,8	17,-	-	1,06	19,1	20,9	22,-	22,7	1,26	25,1	27,-	-	
0,27	2,3	2,8	3,-	3,1	3,2	3,2		0,47	5,4	6,3	6,7	6,8	6,9	7,0	7,1	7,3		0,67	9,4	10,6	11,2	11,6	11,8	12,-	0,87	14,1	15,5	16,5	17,-	17,3	-	1,07	19,4	21,2	22,3	23,-	1,27	25,4	27,3	-	
0,28	2,4	2,9	3,1	3,2	3,3	3,4		0,48	5,6	6,5	6,9	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5		0,68	9,6	10,8	11,5	11,8	12,-	12,3	0,88	14,3	15,8	16,7	17,3	17,6	-	1,08	19,6	21,4	22,6	23,3	1,28	25,7	27,6	-	
0,29	2,6	3,1	3,3	3,4	3,5	3,6		0,49	5,8	6,7	7,1	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7		0,69	9,8	11,1	11,7	12,1	12,3	12,5	0,89	14,6	16,1	17,1	17,6	17,9	-	1,09	19,9	21,7	22,9	-	1,29	26,-	28,-	-	
0,30	2,7	3,3	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	0,50	6,-	6,9	7,3	7,5	7,6	7,7	7,8	7,9		0,70	10	11,3	12,-	12,4	12,6	12,8	0,90	14,9	16,4	17,4	17,9	18,2	-	1,10	20,2	22,-	23,2	-	1,30	26,4	28,3	-	

Tabel 2

Debiet over de wipschuif

3.2. BEPALING VAN DE VEREISTEN

Om een compromis te realiseren tussen enerzijds de scheepvaartbehoefte naar een voldoende diepgang en anderzijds de veiligheid van de aangelanden is een mathematisch model vereist dat toelaat een idee te krijgen hoe een golf vanuit Kain zich voortplant langsheen het rivierpand naar Espierres. Hierbij dient onderscheid gemaakt te worden tussen was-, schut- en haalgolven. Deze laatste twee soorten golven hebben weinig of geen invloed op het gemiddelde waterpeil, maar kunnen de sturing ernstig verstoren. Bijgevolg dient het nieuwe sturingssysteem enkel wasgolven te detecteren en daaruit de juiste beslissing voor te stellen.

Naast de realisatie van een zo gelijkmatig mogelijk waterpeil in het pand "Kain-Espierres" dienen ook nutteloze bewegingen van de stuw te Kain geëlimineerd te worden. Daarbij is de beperking opgelegd de huidige sturingsprocedure qua alarmpeilen zo goed mogelijk te respecteren en is de bewegingsnelheid van de stuw een gegeven van het probleem.

3.3. BEPERKING

Daar (zoals reeds meermaals vermeld in de prestatiestaten) onvoldoende gegevens zijn verstrekt over schutgolven, is in de studie de invloed hiervan niet nagegaan. Verderop worden een aantal suggesties gedaan om deze invloed te elimineren. Het lokale karakter van deze studie verhindert de volledige invloed in te schatten.

3.4. METHODOLOGIE

3.4.1. Algemeen

Om de sturing te evalueren en te optimaliseren is (conform de technische bepalingen) gebruik gemaakt van een vereenvoudigd denkmodel (het later behandelde "reservoir analogon") gekoppeld aan een evaluatie door middel van een mathematisch model.

De evaluatie is gemaakt aan de hand van een hypothetische wasgolf en een situatie met een verkeerde initiële stuwstand. Eerst is de huidige procedure getest, waarna een sturing op basis van debieten getest is.

3.5. ALGEMENE MATHEMATISCHE GRONDSLAG

3.5.1. Mathematisch model van een rivier

3.5.1.1. De vergelijkingen

Het gedrag van een rivier in niet permanent regime wordt algemeen beschreven door een stelsel niet-lineaire gekoppelde partiële differentiaalvergelijkingen : de "Saint-Venant-vergelijkingen" en bijhorend stel nevenvoorwaarden. Het stelsel bevat twee vergelijkingen die enerzijds het behoud van massa en anderzijds het behoud van impuls uitdrukken :

- continuïteitsvergelijking :

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} + q_{lat} = 0 \quad (1)$$

- bewegingsvergelijking :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{Qb}{A} \frac{\partial z}{\partial t} + \alpha \frac{Q}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} - \alpha \frac{Q^2}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} - \alpha \frac{Q^2}{A^2} \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial z}{\partial x} + gA \frac{|Q| Q}{K^2} - \frac{Qq_{lat}}{A} = 0 \quad (2)$$

waarin :

- z = waterpeil
- x = afstand langs rivieras
- t = tijd
- q = lateraal debiet per lengteëenheid
- Q = debiet
- A = natte sectie
- g = valversnelling
- b = breedte
- α = coriolis parameter

Om dit stelsel eenduidig te kunnen oplossen dient men te beschikken over een stel randvoorwaarden en een beginvoorwaarde.

3.5.1.2. Randvoorwaarden

Bij de randvoorwaarden wordt onderscheid gemaakt tussen inwendige en uitwendige randvoorwaarden.

i) Uitwendige randvoorwaarden

Dit zijn randvoorwaarden in de engste betekenis van het woord. Het zijn voorwaarden die opgelegd worden aan de buitenste grenzen van het beschouwde systeem : de bron, de monding, een plaats met gekende waterhoogte enzovoort. Voor rivieren met subkritieke stroming kan men aantonen dat in elke opwaartse en afwaartse rand een functie $Q(t)$, $z(t)$ of $Q(t)$ moet opgelegd worden. Met dien verstande dat $Q(t)$ als opwaartse randvoorwaarde minder goede resultaten oplevert en dat "gemengde" randvoorwaarden bijvoorbeeld $Q(t)$ opwaarts en $z(t)$ afwaarts of vice versa betere oplossingen geven.

ii) Inwendige randvoorwaarden

Dit type randvoorwaarden beschrijft de singuliere punten van een rivier. Voorbeelden zijn vertakkingen, overlagen, potpolders, eilandjes enzovoort. Op deze plaats zijn de klassieke Saint-Venant-vergelijkingen niet van toepassing en worden vervangen door meer geëigende vergelijkingen (een continuïteits- en een bewegingsvergelijking). Inwendige randvoorwaarden zijn dus niets anders dan compatibiliteitsbetrekkingen tussen rivierpanden waar de Saint-Venant-vergelijkingen effectief gelden.

3.5.2. Numeriek model van een rivier

De hogervernoemde vergelijkingen worden opgelost met behulp van diverse numerieke methodes : eindige elementen, karakteristieken, eindige differenties enzovoort. Al deze methodes herleiden de Saint-Venant-vergelijkingen direct of indirect tot een stelsel al dan niet gekoppelde (lineaire) algebraïsche vergelijkingen. In het door het Laboratorium voor Hydraulica ontwikkelde model wordt gebruik gemaakt van eindige differenties; meer

bepaald van het PREISSMANN-schema en het PROGANKA-algoritme. De betrokken rivier wordt gediscretiseerd onder vorm van een aantal panden begrensd door berekeningspunten (knopen). Binnen deze panden worden de hydraulische en geometrische karakteristieken constant verondersteld.

De stroming tussen twee opeenvolgende knopen j en $j+1$, wordt dan beschreven door een stelsel van twee algebraïsche vergelijkingen in de onbekenden ΔQ_j , ΔQ_{j+1} , Δz_j , Δz_{j+1} , waarbij het symbool Δ slaat op de verandering tussen tijdstip t_n en $t_n + \Delta t$. De algebraïsche vergelijkingen of hun equivalent zijn de discrete vertolking van de Saint-Venant-vergelijkingen of hun equivalent (ter plaatse van de interne randvoorwaarden).

In het beschreven model hebben de stelsels volgende vorm :

$$\left\{ \begin{array}{l} H \Delta z_{j+1} + I \Delta Q_{j+1} = C \Delta Q_j + D \Delta z_j + G_j \\ H' \Delta z_{j+1} + I' \Delta Q_{j+1} = C' \Delta Q_j + D' \Delta z_j + G'_j \end{array} \right. \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} H \Delta z_{j+1} + I \Delta Q_{j+1} = C \Delta Q_j + D \Delta z_j + G_j \\ H' \Delta z_{j+1} + I' \Delta Q_{j+1} = C' \Delta Q_j + D' \Delta z_j + G'_j \end{array} \right. \quad (4)$$

voor een pand tussen j en $j+1$.

Dit geeft $2(N-1)$ vergelijkingen in $2N$ onbekenden ($N =$ aantal knopen). Uitbreiding met op- en afwaartse randvoorwaarden geeft een stelsel van $2N$ vergelijkingen in $2N$ onbekenden en is dus oplosbaar. Voor een uitgebreide beschrijving van de methode verwijzen we naar het afstudeerwerk "Mathematische Simulatie van tijgolven op rivieren, ir. P. COSYN 1989" [1], naar het verslag d.d. 1 augustus 1989 en naar de literatuur.

Het gebruik van een mathematisch model laat toe de invloed van een sturing te evalueren zonder deze te implementeren. Rekening houdend met de beperking 3.3. herleidt de evaluatie zich tot :

- het simuleren van de effecten van een wasgolf op de waterpeilen opwaarts Kain met de oude en de nieuwe sturing;
- het analyseren van de resultaten.

4. EVALUATIE VAN DE STURINGEN

4.1. WERKWIJZE

4.1.1. Globaal

Bij het opbouwen van het model voor het pand Kain-Espierres zijn volgende stappen doorlopen :

1. Opbouw algemeen model (FLOROT)
2. Calibratie wrijving op basis van een opgemeten steady-state situatie (zie verslag d.d. 1 augustus 1989).
3. Calibratie randvoorwaarden.
4. Modelverificatie.
5. Inbouw sturing (model ACCESSUS).
6. Simulatie wasgolven (oude sturing).
7. Evaluatie.
8. Ontwikkeling nieuwe sturing.
9. Simulatie wasgolf (nieuwe sturing)
10. Evaluatie

4.1.2. Specifiek

4.1.2.1. Ontwikkeling flood routing model FLOROT

Hiervoor wordt verwezen naar het verslag van 1 augustus 1989.

4.1.2.2. Calibratie

Op basis van gemeten gegevens (zie verslag d.d. 1 augustus 1989) zijn wrijvingsparameters bepaald.

4.1.2.3. Calibratie randvoorwaarden : Zie 4.2.2.2.

4.1.2.4. Modelverificatie

Er is geopteerd voor een schutgolf als test omdat het simuleren van een dergelijk fenomeen het programma tot op de limiet beproeft. De resultaten van de simulatie zijn verwerkt in figuur 4.1. De overeenkomst tussen model en experiment is bevredigend. De tijdsverschuiving wordt exact gesimuleerd terwijl de afvlakking overschat wordt met 6 %.

4.1.2.5. Inbouw sturing

Dit programma simuleert de sturing aan de hand van gegeven opwaartse peilen en debieten. In een tweede fase is dit programma gekoppeld aan het flood-routing-programma **FLOROT**. Het simuleert hierin de sturing op basis van berekende waterstanden. Het pakket **ACCESSUS (= FLOROT + DIRECT)** simuleert de invloed van de sturing op de variatie van de waterstanden en vice versa.

Schelde Pand Kain – Spiere

Effect van een Sluisschutting te Kain

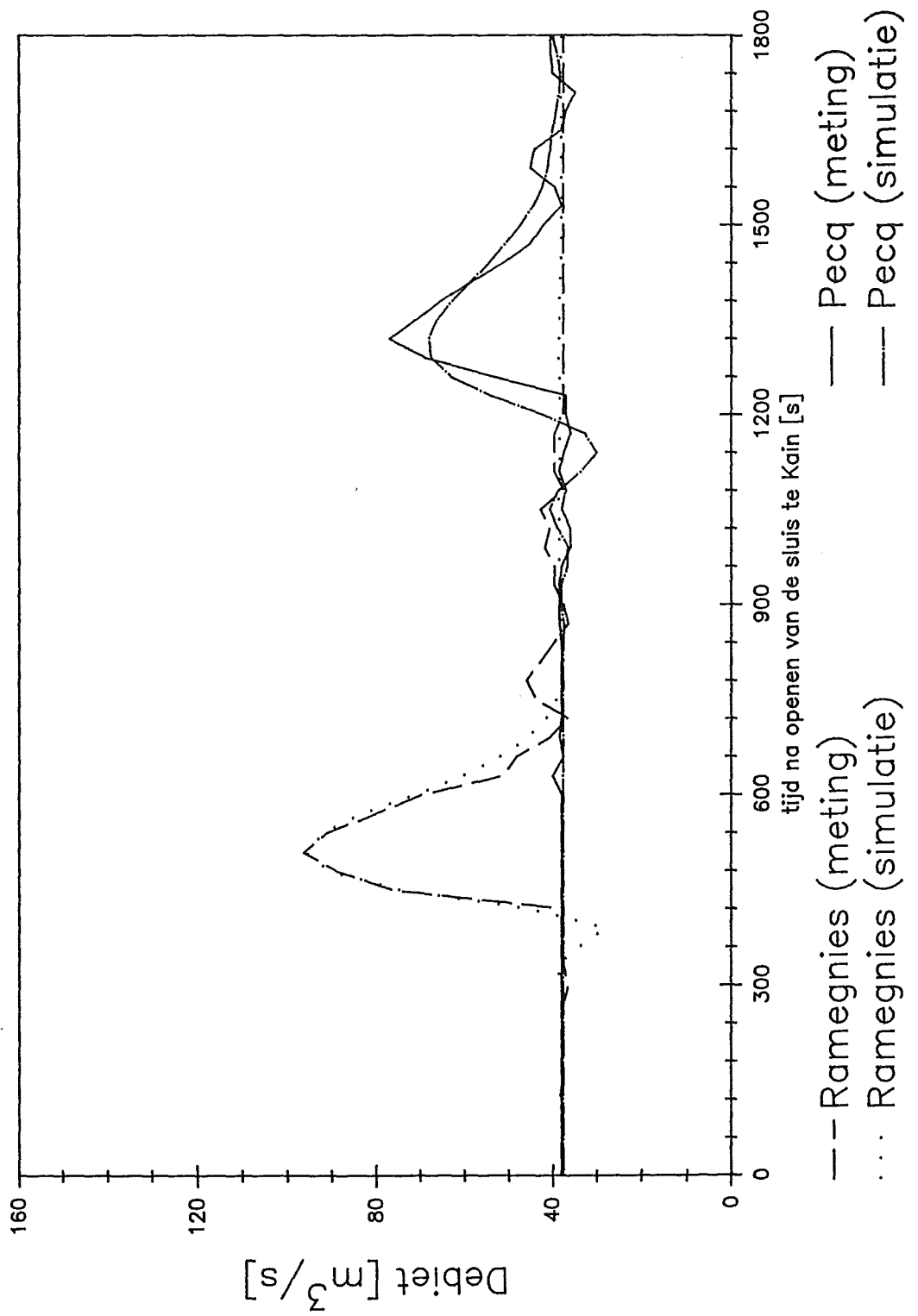
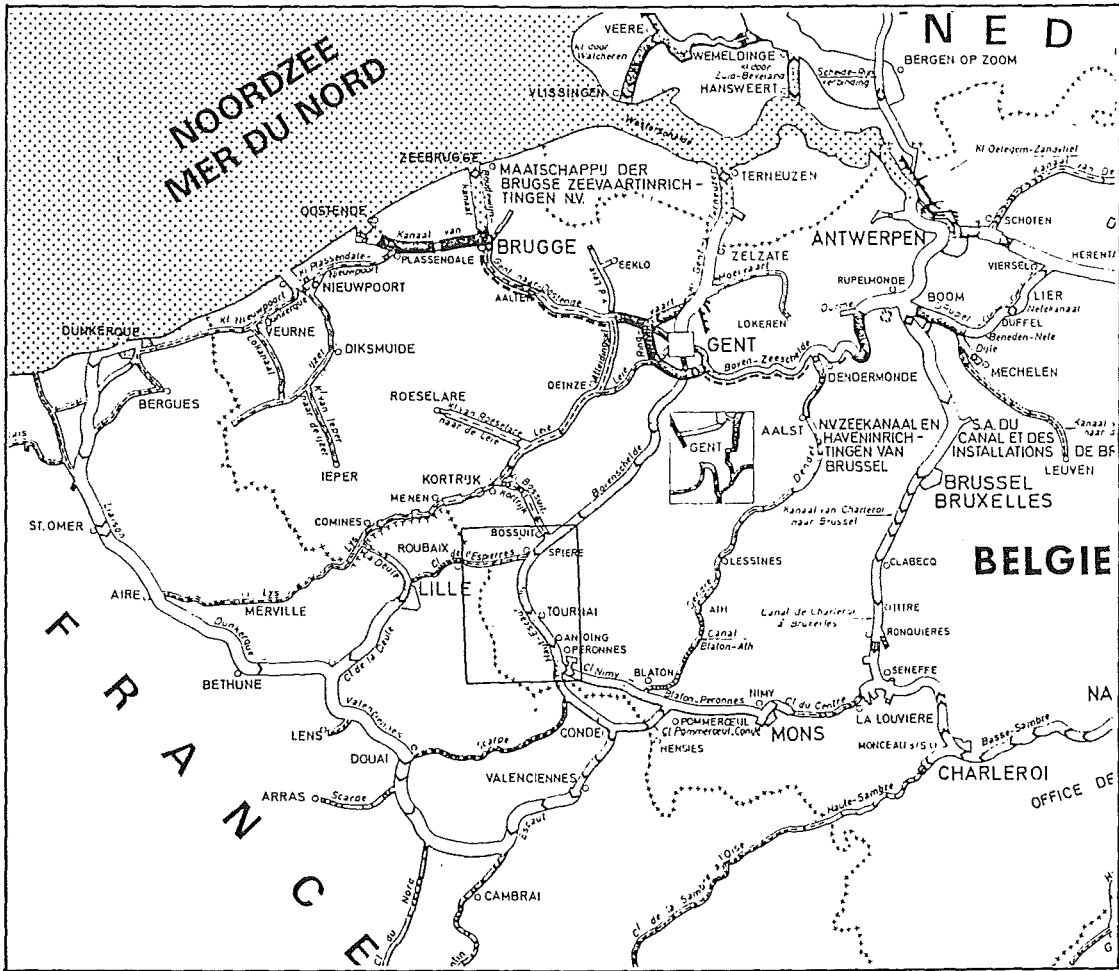


Fig. 4.1.



BOVENSCHELDE TUSSEN KAIN EN ESPIERRES

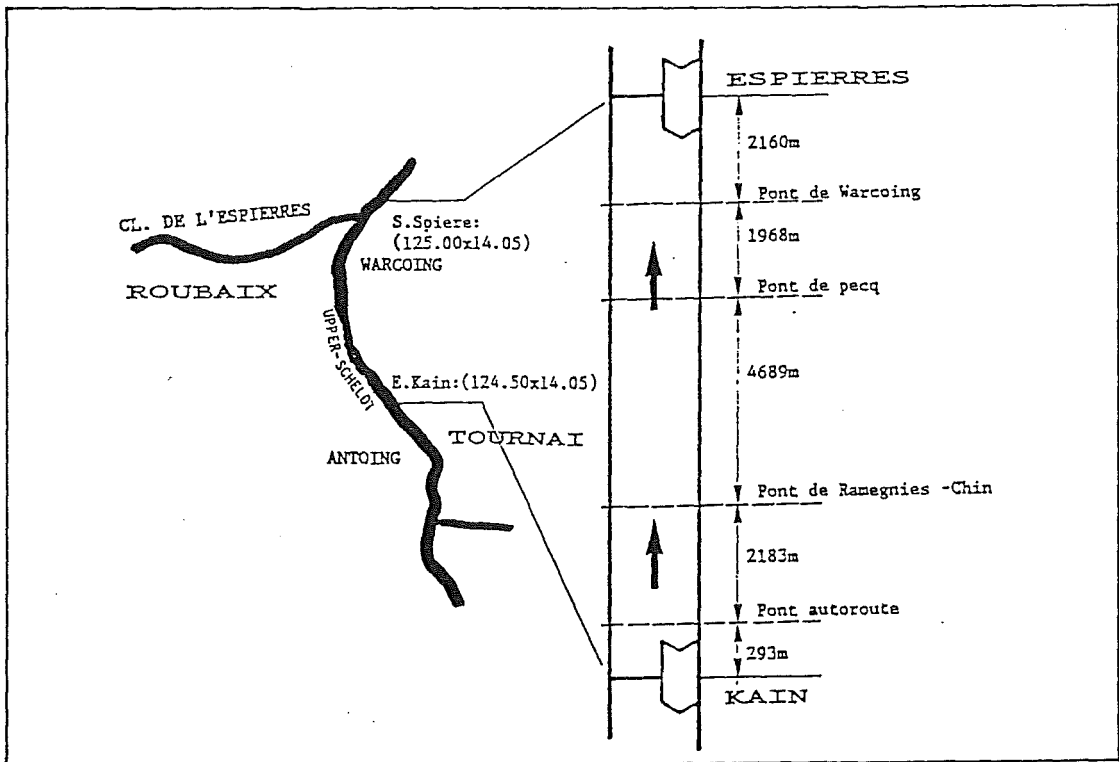


Fig. 4.2. : Inplanting model

4.2. DE HUIDIGE STURING - PEILSTURING

4.2.1. Analyse

4.2.1.1. Gegevens

Door het B.E.E. Doornik werden volgende gegevens ter beschikking gesteld :

<u>Fonctions</u>	<u>KAIN</u>		<u>ESPIERRES</u>	
	Cote	Ecart	Cote	Ecart
Alarme haut	15,20	+ 20	13,46	+ 15
Ouverture rapide	15,10	+ 10	13,41	+ 10
Ouverture modulée	15,04	+ 4	13,36	+ 5
Niveau de référence	15,00	0	13,31	0
Fermeture modulée	14,96	- 4	13,26	- 5
Fermeture rapide	14,88	- 12	13,23	- 8
Alarme bas	14,85	- 15	13,21	- 10



4.2.1.2. Bespreking

De sturing werkt enkel op basis van peilgegevens (geregistreerd \pm 50 m opwaarts de stuw). Afhankelijk van de gegeven waterstand, wordt een sturingsprocedure gestart die de hef- en/of wipschuif gedurende vooraf vastgelegde stuw tijden laat bewegen (eventueel afgewisseld met vooraf vastgelegde rustperiodes).

De sturing wordt ingezet zodra het waterpeil gedurende een wachtperiode, 4 cm boven of onder het referentiepeil is gebleven. Is het peilver verschil tussen het gestuurde en het gemeten peil kleiner dan 10 cm, dan wordt discontinu gestuurd. De sturing bestaat uit een opeenvolging van vaste stuur- en rusttijden. Is het peilver verschil groter dan wordt continu gestuurd.

4.2.2. Simulatie 1

Deze simulatie heeft tot doel de reactie op een was te begroten.

4.2.2.1. Geometrie

De sturing van de stuw te Kain (het programma DIRECT) is als subroutine ingebouwd in het programma "ACCESSUS".

De afgeijkte geometrie uit de vorige simulatie is uitgebreid naar opwaarts toe, ten einde voldoende berging te kunnen garanderen en de invloed van opgelegde randvoorwaarden op de stuwdebieten uit te schakelen. Dit resulteert in de geometrie uit figuur 4.3.

4.2.2.2. Randvoorwaarden

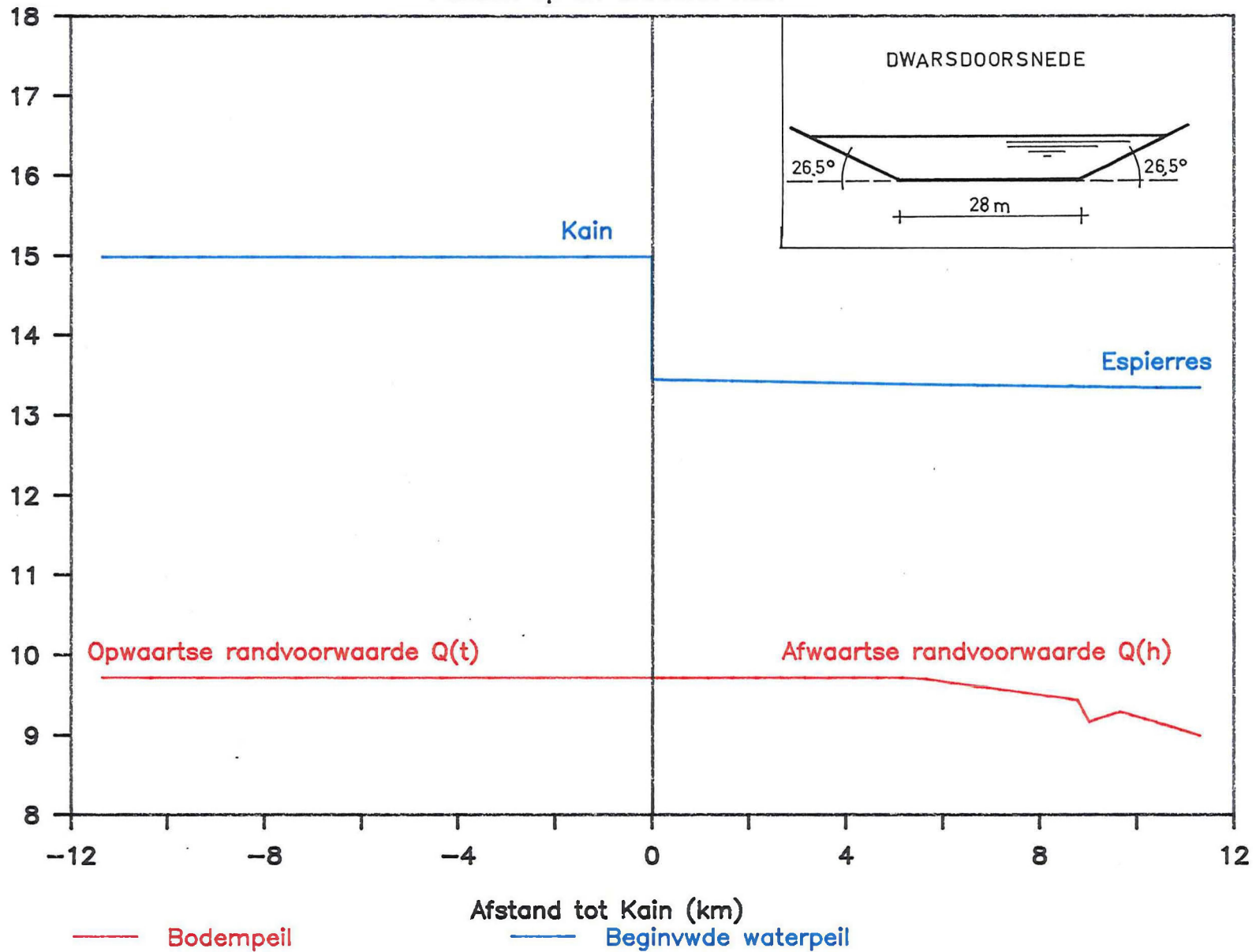
i) Opwaarts

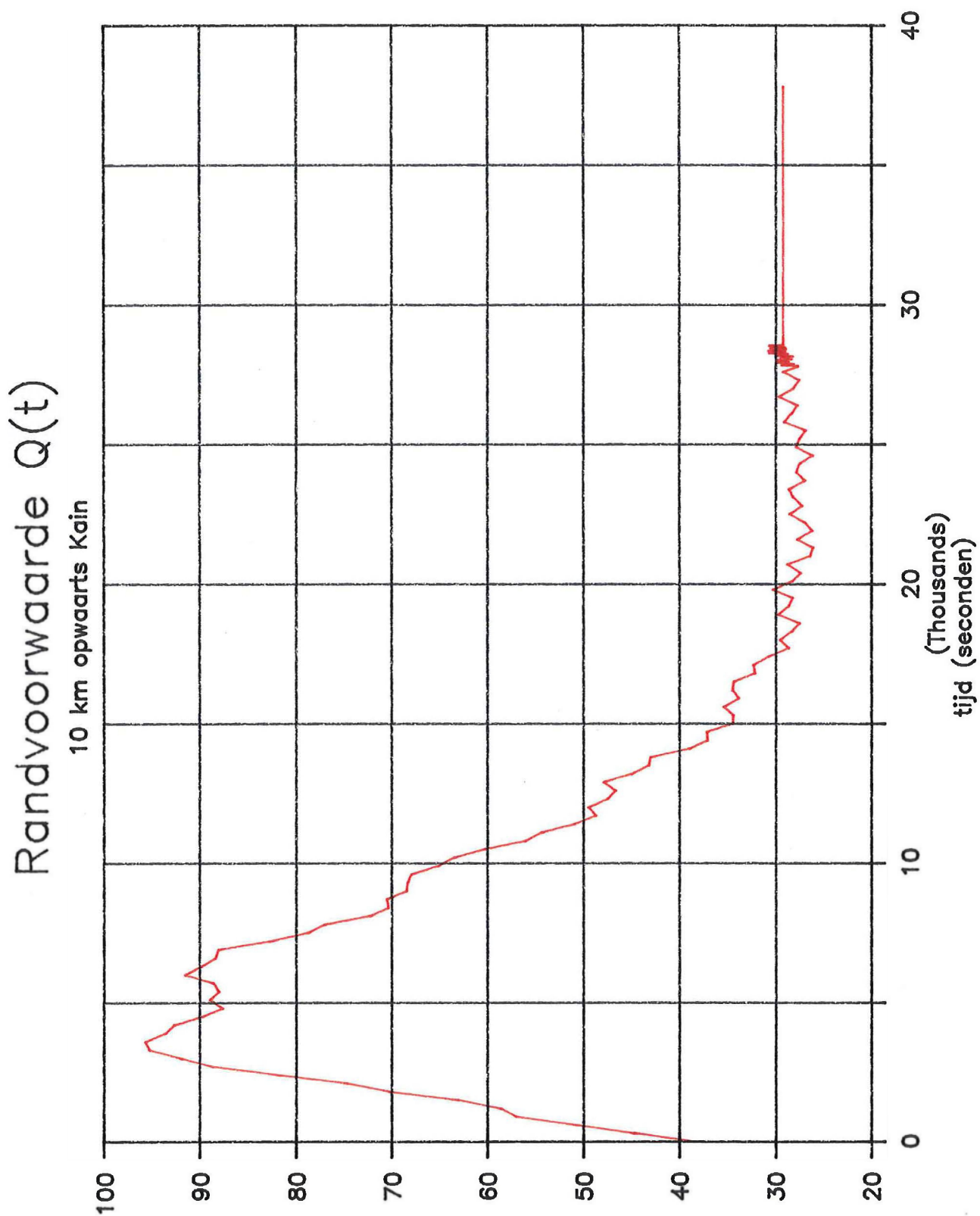
Als opwaartse randvoorwaarde is een hypothetische debietgolf (zie figuur 4.4.) gebruikt.

Geometrie van de Simulaties

Panden op en afwaarts Kain

Fig. 4.3.
Peil (m TAW)





Figuur 4.4.

ii) Afwaarts

Ter plaatse van de stuw te Espierres is een $Q(Z)$ randvoorwaarde aangelegd. Dit $Q(Z)$ verband is berekend (op basis van de tabellen 1 en 2) als de best passende curve horend bij een te verwachten klepstand.

Hierbij is uitgegaan van de veronderstelling dat afwaarts Espierres het waterpeil constant is en dat de stuwstand afwaarts schommelt rond de initiële stand. Als initiële stand is de stand uit de afijking genomen.

iii) Inwendig

- $q_{\text{lateraal}} : 0 \text{ m}^3/\text{s}$
- stuw met bijhorende ijking te Kain, peilsturing

4.2.2.3. Berekeningsparametersi) Tijdstap Δt

De tijdstap is begroot op 30 s als grootste gemene deler van 1200, 480 en 90 s (respectievelijk temporisation depart, temps de repos en temps de regulation). Hierdoor is een economisch evenwicht bereikt tussen resolutie en rekentijd.

4.2.2.4. Resultaten

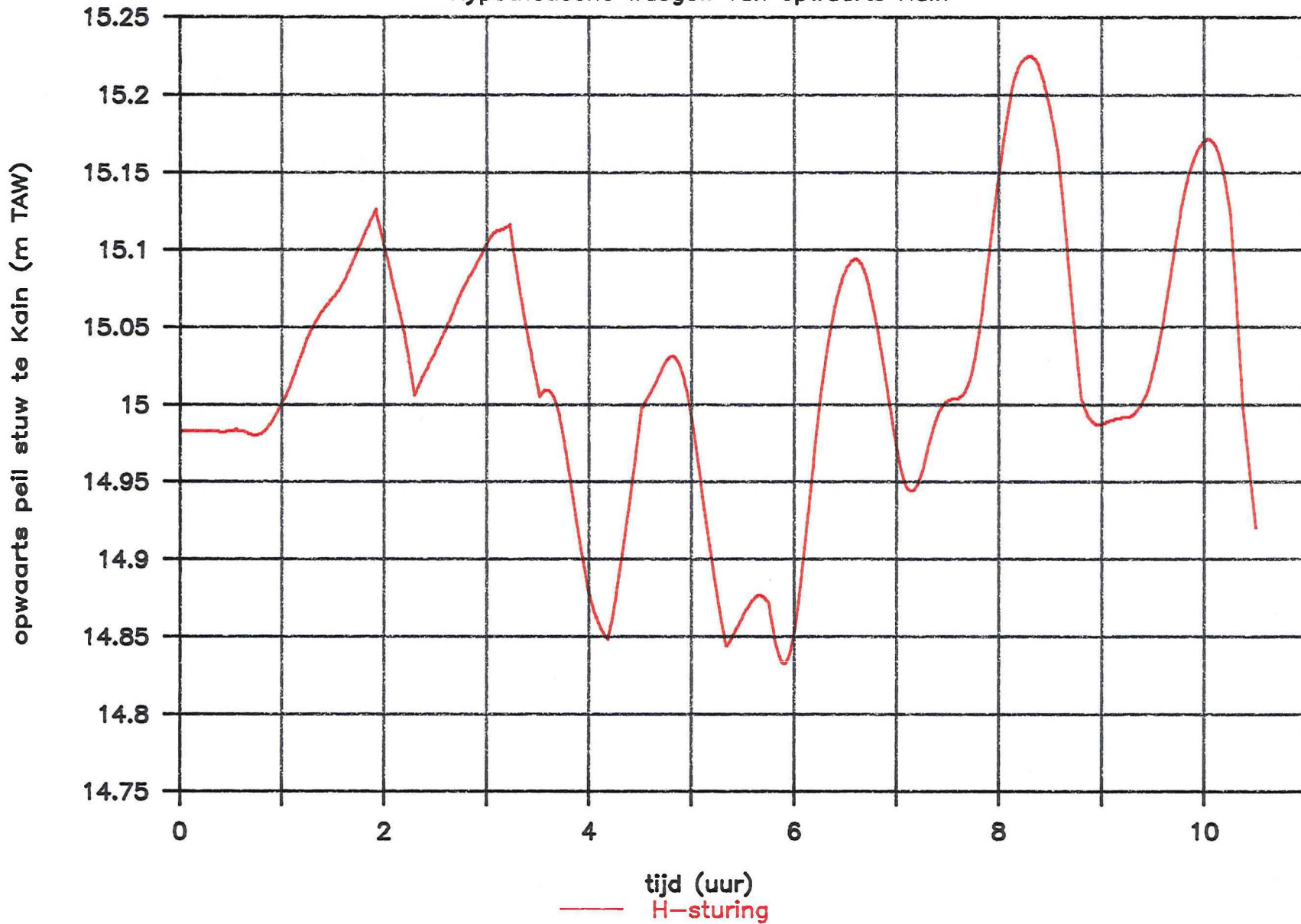
De resultaten zijn samengevat in bijgaande figuren (4.5. tot en met 4.7.). Deze geven respectievelijk het verloop van het opwaarts waterpeil, het afgevoerd debiet en de stuwstanden in functie van de tijd.

Op te merken valt dat :

1. De afgevoerde debietgolf behoorlijk vervormd wordt (wat de stuwstandvariatiës afwaarts verklaart).
2. De waterpeilvariatiës groot zijn.
3. De stuw langdurig beweegt.

Peilsturing te Kain

Hypothetische wasgolf van opwaarts Kain

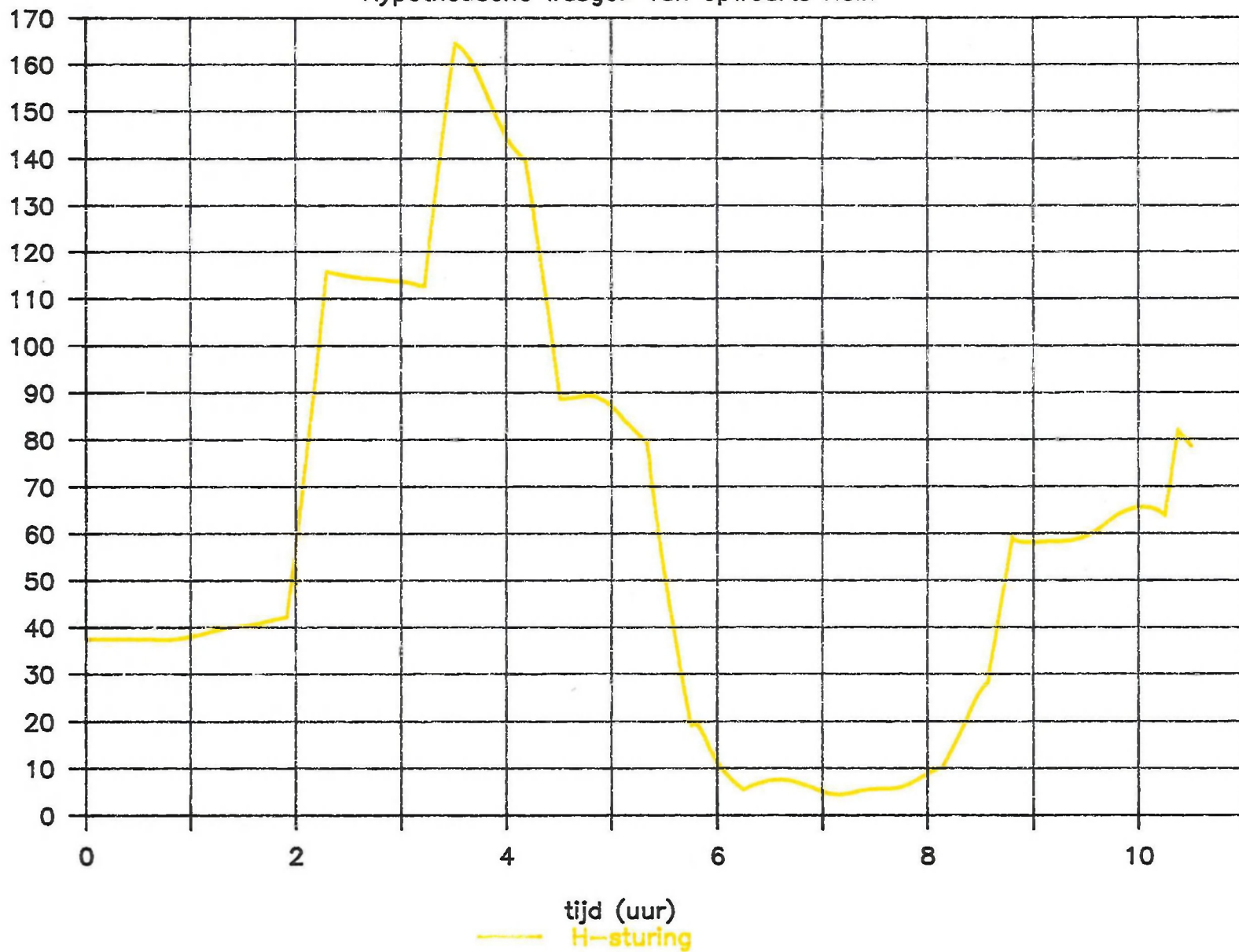


Figuur 4.5.

Peilsturing te Kain

Hypothetische wasgolf van opwaarts Kain

debiet net afwaarts van de stuw (m³/s)

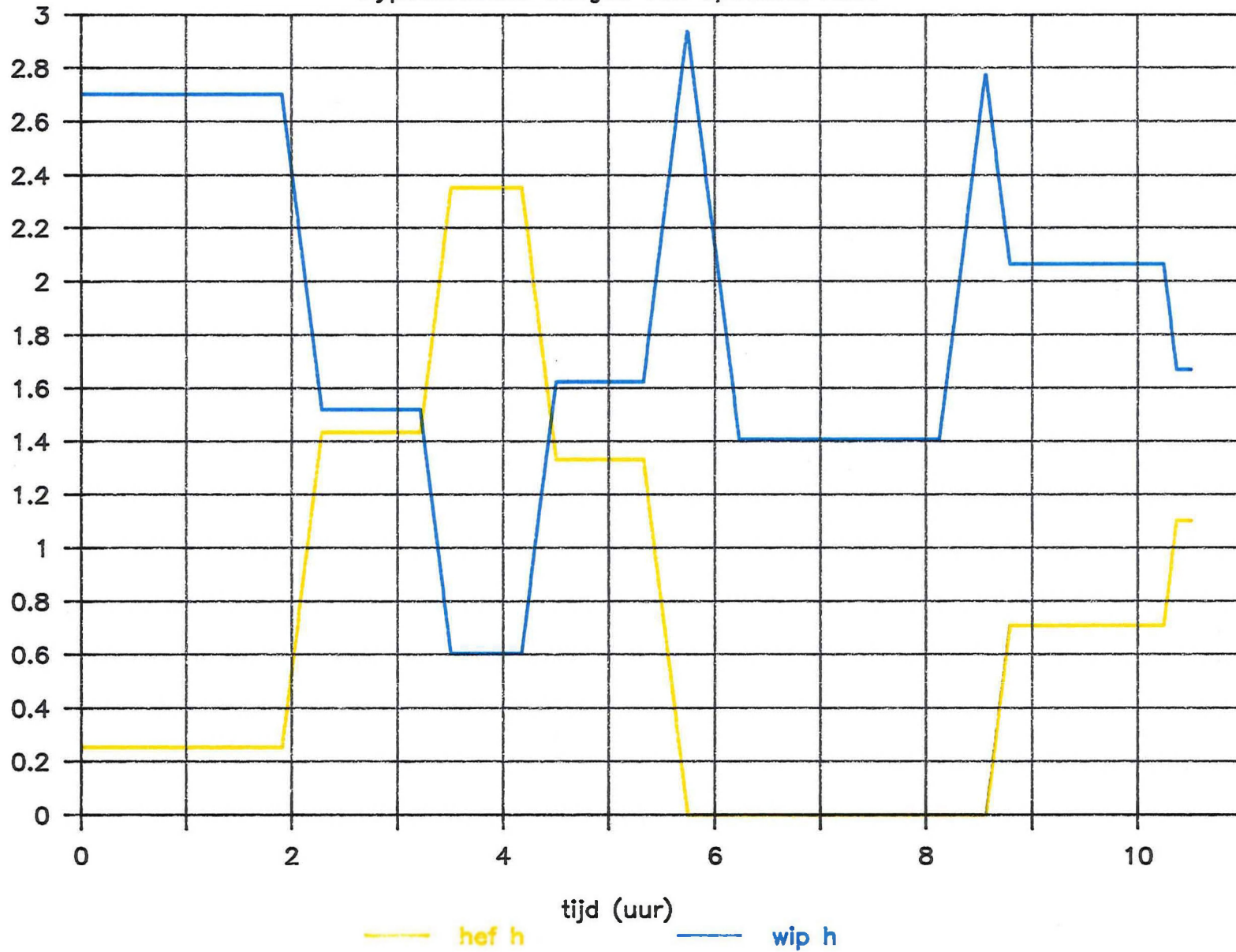


Figuur 4.6.

Peilsturing te Kain

Hypothetische wasgolf van opwaarts Kain

klepstanden stuw te Kain (m)



Figuur 4.7.

4.2.3. Simulatie 2

Om het "zelfregelend vermogen" van de sturingen te onderzoeken, is een simulatie uitgevoerd waarbij een constant debiet wordt afgevoerd bij een stuwstand die deze afvoer onmogelijk maakt.

Een dergelijk "zelfregelend vermogen" evalueert in welke mate een regelsysteem zich kan herstellen van een fout zonder menselijke tussenkomst. Een foute stuwstand kan bijvoorbeeld na een panne of een onderhoudsbeurt optreden. Het is van groot belang voor de waterstandsbeheersing dat een stuw vlug naar een stabiele evenwichtsstand evolueert.

4.2.3.1. Geometrie

De sturing van de stuw te Kain (het programma DIRECT) is als subroutine ingebouwd in het programma "ACCESSUS".

De afgeijkte geometrie uit de vorige simulatie is uitgebreid naar opwaarts toe, ten einde voldoende berging te kunnen garanderen en de invloed van opgelegde randvoorwaarden op de stuwdebieten uit te schakelen. Dit resulteert in de geometrie uit figuur 4.3.

4.2.3.2. Randvoorwaarden

i) Opwaarts

Als opwaartse randvoorwaarde is een hypothetische debietgolf (zie figuur 4.4.) gebruikt.

ii) Afwaarts

Ter plaatse van de stuw te Espierres is een $Q(Z)$ randvoorwaarde aangelegd. Dit $Q(Z)$ verband is berekend (op basis van de tabellen 1 en 2) als de best passende curve horend bij een te verwachten klepstand.

Hierbij is uitgegaan van de veronderstelling dat afwaarts Espierres het waterpeil constant is en dat de stuwstand afwaarts schommelt rond de initiële stand. Als initiële stand is de stand uit de afijking genomen.

iii) Inwendig

- $q_{\text{lateraal}} : 0 \text{ m}^3/\text{s}$
- stuw met bijhorende ijking te Kain, peilsturing

4.2.3.3. Berekeningsparameters

i) Tijdstap Δt

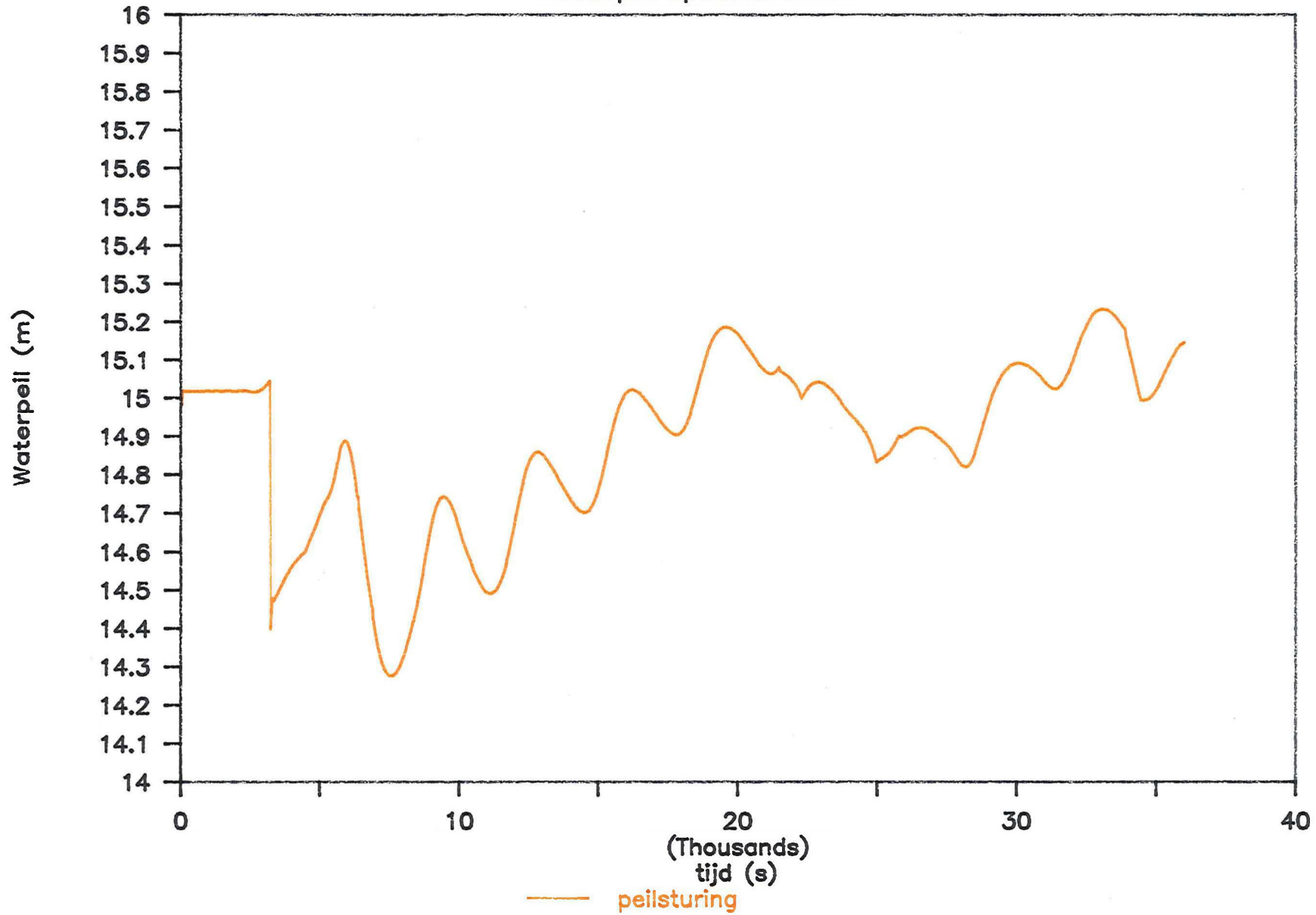
De tijdstap is begroot op 30 s als grootste gemene deler van 1200, 480 en 90 s (respectievelijk temporisation deport, temps de repos en temps de regulation). Hierdoor is een economisch evenwicht bereikt tussen resolutie en rekestijd.

4.2.3.4. Resultaten

De resultaten van de 2e berekening zijn samengevat in figuur 4.8. Het blijkt dat de stuw na 10.5 uur nog altijd niet tot rust gekomen is.

Waterpeil na verkeerde stuwstand

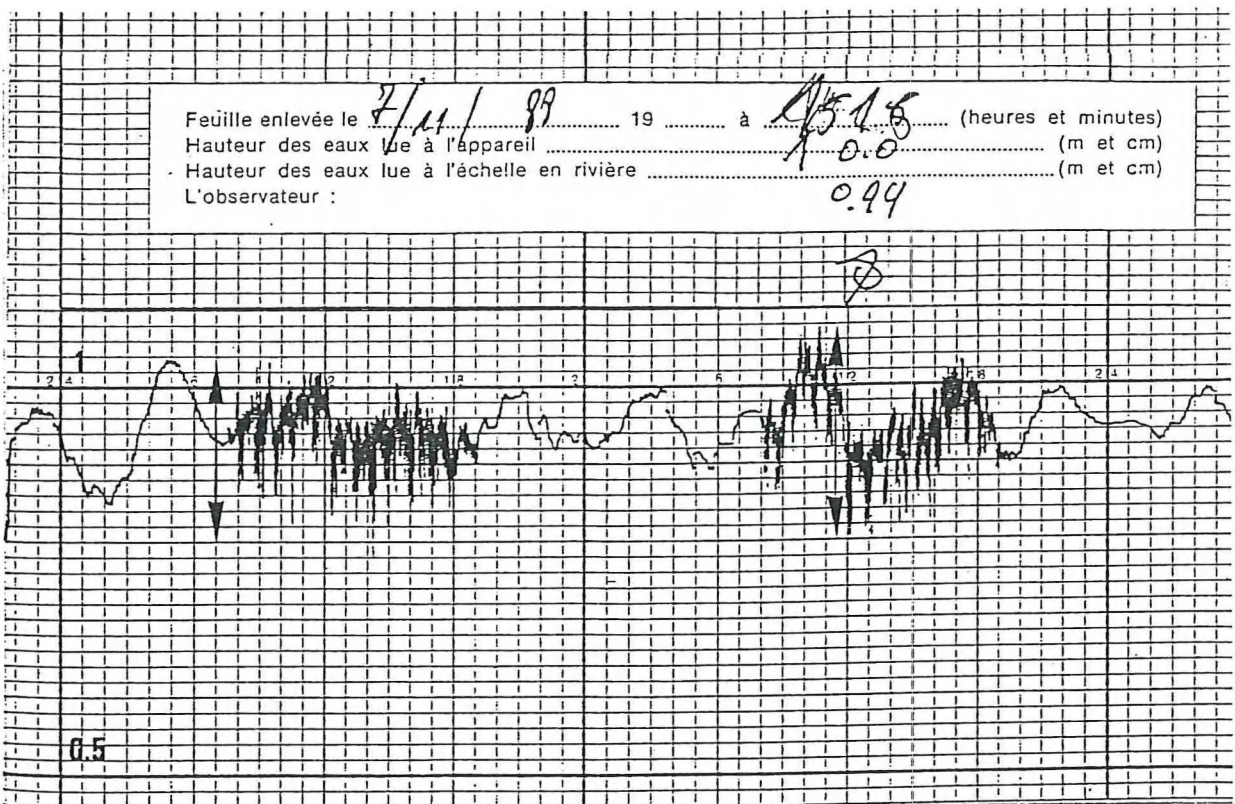
Waterpeil opwaarts Kain



Figuur 4.8.

4.2.4. Voorbeeld van metingen

Uit de limnigraafgegevens (zie figuur 4.9.) blijkt eveneens dat de waterpeilen niet optimaal geregeld worden. De waterpeilvariaties zijn van de grootte orde 10 à 15 cm.



Figuur 4.9.

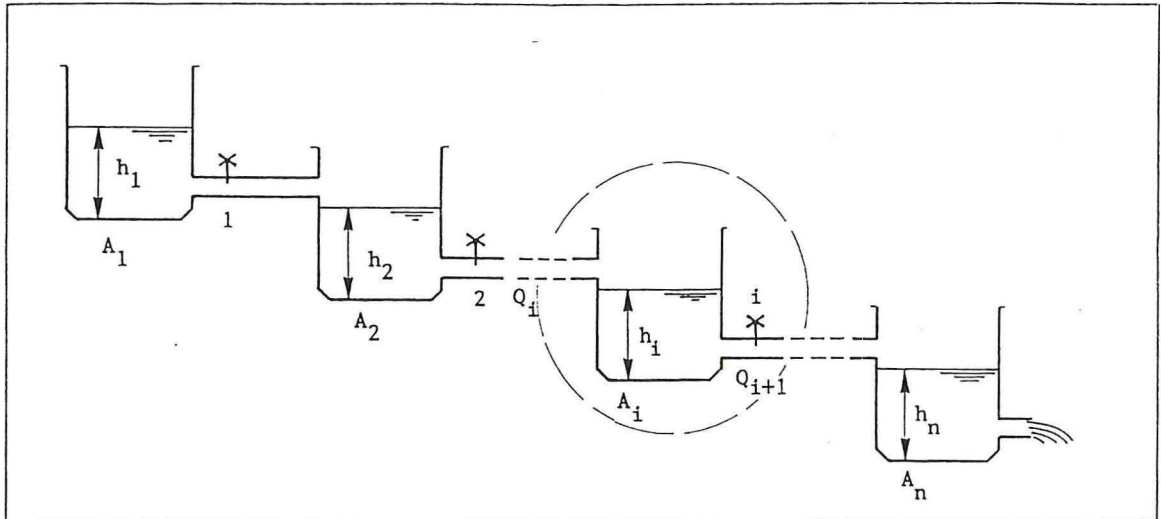
4.2.5. Conclusie

De resultaten van de simulatie bevestigen de gedetecteerde situatie op de Bovenschelde : vrij grote waterpeilschommelingen ondanks veelvuldige sturing.

Een verklaring voor deze variaties is het feit dat de sturing de afvoerbegingswetten (zie 4.3.1.) niet ten volle respecteert. De intermitterende werking van de stuw is weliswaar een gesofisticeerde trial and error methode om de optimale stuwstand te bepalen, doch er wordt geen rekening gehouden met de hydraulische wetmatigheden. De bekomen stuwstanden zijn om evidente redenen dan ook hoogst sporadisch onmiddellijk optimaal.

4.3. ONTWIKKELING VAN EEN VOORSTEL TOT STURING

4.3.1. Het reservoir analoogon



Figuur 4.10.

Het principe van waterpeilbeheersing steunt volledig op de beïnvloeding van de afvoer-bergingsrelatie van een rivier. Om dit fenomeen fysisch gemakkelijker te kunnen inschatten wordt uitgegaan van een analoogon zoals geschetst in figuur 4.10. Hierin wordt elk rivierpand geïdentificeerd met een reservoir i met vaste sectie A_i gekoppeld door leidingen i met kranen i waardoor een debiet Q_i stroomt. Beschouw het in stippellijn omkaderde controle volume, dan geldt de volgende vergelijking :

$$\Delta V_i = Q_i \Delta t - Q_{i+1} \Delta t$$

$$A_i \Delta h_i = (Q_i - Q_{i+1}) \Delta t$$

$$\Delta h_i = \frac{(Q_i - Q_{i+1}) \Delta t}{A_i}$$

Deze vereenvoudigde afvoer-bergingsrelatie geeft aanwijzingen om een sturingsprocedure te ontwikkelen : wanneer gestreefd wordt naar een constant waterpeil ($\Delta h_i = 0$), dan dienen de inkomende en uitgaande debieten optimaal op elkaar af gestemd te worden.

Voor rivieren dient er wel rekening gehouden te worden met rivier-specifieke processen. Enerzijds dient men rekening te houden met het

golfkarakter van de fenomenen en het tijdsverschil tussen debiet-variatiën op en afwaarts en anderzijds kunnen de waterpeilen afwaarts de debieten beïnvloeden (als $a_{\text{hef}} \neq 0$).

Toch kan intuïtief aangevoeld worden dat een sturing die op elk ogenblik instroming en uitstroming op elkaar afstemt een veel vlakker peilverloop zal genereren.

Een bijkomend voordeel is dat de debietgolven veel minder vervormd worden, zodat afwaarts de stuwen ongeveer volgens hetzelfde patroon zullen bewegen. In het geval van een veelvuldig vervormde en eventueel versterkte wasgolf zal de regeling grilliger en de afvoer-bergingsrelatie fel verstoord zijn. Een variatie in Q geeft een variatie in Δh en vice versa.

4.3.2. Uitgangspunt

Bij het ontwikkelen van een sturing zijn volgende eisen en hypothesen in acht genomen :

1. De vooropgestelde procedure moet zo dicht mogelijk liggen bij de huidige sturing, teneinde de bestaande meetapparatuur optimaal te benutten.
2. De sturing is een lokale sturing en houdt niet direct rekening met de andere stuwen. De beschikbare gegevens zijn de volgende :

- Opgemeten peilen :
 - * waterpeil metingen : Z_{opwaarts} en Z_{afwaarts}
 - * de stuwstand : - opening van de hefschuif (a_{hef})
- zakking van de wipschuif (a_{wip})
- Afgevoerd debiet :
Ijkingscurve : $Q = f(a_{\text{hef}}, a_{\text{wip}}, Z_{\text{opwaarts}}, Z_{\text{afwaarts}})$

4.3.3. Denkmodel

Uitgaande van het analogon is gepoogd een sturing te ontwikkelen die aanvoer en afvoer optimaal op elkaar afstemt (i.e. een optimale waterhoogte genereert).

Via berekening beschikt men over debietvariatie ter plaatse van de stuw. Om geen verandering in berging te hebben, moet men er voor zorgen dat dit debiet steeds afgevoerd wordt bij een optimale stand. Uitgaande van de veronderstelling dat afwaarts het waterpeil ongeveer constant blijft, dan dient men enkel de stuwstand te bepalen die dit debiet kan afvoeren bij het gewenste opwaartse waterpeil. Daartoe beschikt men over volgende vergelijkingen :

$$Q = f(a_{\text{hef}}, Z_{\text{opw}}, Z_{\text{afw}}, a_{\text{wip}})$$

$$Q = Q_{\text{gemeten}}$$

$$Z_{\text{opw}} = Z_{\text{optim}}$$

Dit geeft nog drie onbekenden (Z_{afw} , a_{hef} , a_{wip}). Voert men de hogervermelde hypothese in dat $Z_{\text{afw}} = \text{cte}$ dan blijven enkel a_{hef} en a_{wip} over. Om geometrische redenen zijn a_{hef} en a_{wip} gekoppeld zodat uiteindelijk uit de ijkingscurve de optimale stuwstand moet kunnen bepaald worden. Er dient wel rekening gehouden te worden met het feit dat deze vergelijkingen niet lineair zijn en de oplossingen niet uniek zijn.

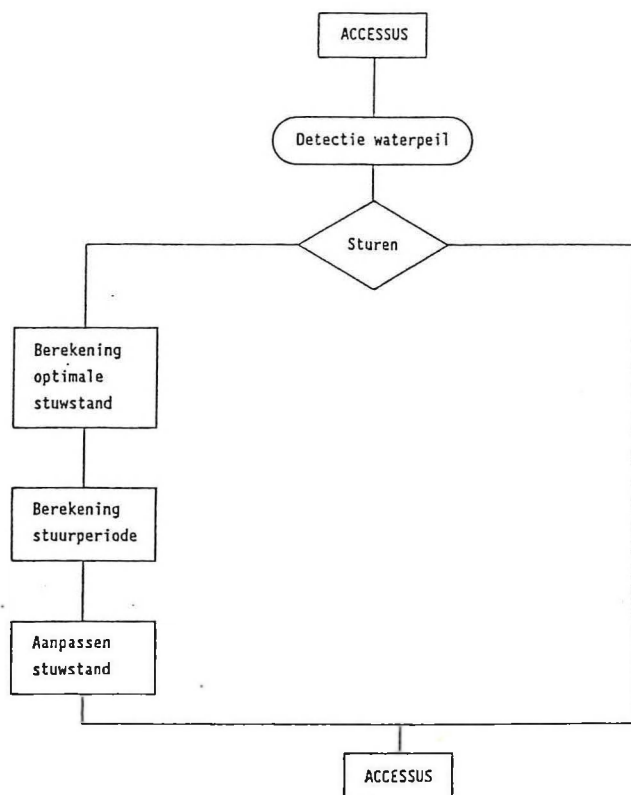
4.3.4. Inbouw van het programma

Deze sturingsprocedure is als volgt ingebouwd in het programma (zie flow chart) : Uitgaande van gegevens op tijdstip t worden de diverse parameters berekend volgens een model zoals beschreven in het verslag (d.d. 1 augustus 1989). Het berekende debiet dient dan als basis voor de sturing. Volgende stappen worden uitgevoerd :

- detectie van het waterpeil op t
- beslissing of al dan niet bijgestuurd wordt of gestopt wordt met sturen (op basis van tolleranties op het waterpeil zoals in de oude sturing).
- Indien niet gestuurd wordt, wordt doorgerekend met de bestaande stuwstand.
- Indien wel gestuurd wordt, wordt optimale stuwstand (her)berekend. De oplossing gebeurt door opeenvolgende mogelijke stuwstanden te

proberen tot wanneer het afvoerbaar debiet overeenstemt met het af te voeren debiet.

- Om de beweging te kunnen inbouwen in het programma, wordt berekend hoelang de stuw moet bewegen om deze stand te bereiken (= stuurperiode).
- De stuwstand en ook verwante karakteristieken worden per tijdstap aangepast tot wanneer het optimaal waterpeil bereikt is (einde stuurperiode).
- Het programma rekt door op tijdstip $t + \Delta t$.



Flowchart

4.4. SIMULATIE III

4.4.1. Doelstelling

Deze simulatie heeft tot doel de reactie op een was te begroten.

4.4.2. Geometrie

De sturing van de stuw te Kain (het programma DIRECT) is als subroutine ingebouwd in het programma "ACCESSUS".

De afgeijkte geometrie uit de vorige simulatie is uitgebreid naar opwaarts toe, ten einde voldoende berging te kunnen garanderen en de invloed van opgelegde randvoorwaarden op de stuwdebieten uit te schakelen. Dit resulteert in de geometrie uit figuur 4.3.

4.4.3. Randvoorwaarden

i) Opwaarts

Als opwaartse randvoorwaarde is een hypothetische debietgolf (zie figuur 4.4.) gebruikt.

ii) Afwaarts

Ter plaatse van de stuw te Espierres is een $Q(Z)$ randvoorwaarde aangelegd. Dit $Q(Z)$ verband is berekend (op basis van de tabellen 1 en 2) als de best passende curve horend bij een te verwachten klepstand. Hierbij is uitgegaan van de veronderstelling dat afwaarts Espierres het waterpeil constant is en dat de stuwstand afwaarts schommelt rond de initiële stand. Als initiële stand is de stand uit de afijking genomen.

iii) Inwendig

- $q_{\text{lateraal}} : 0 \text{ m}^3/\text{s}$
- stuw met bijhorende ijking te Kain, peilsturing

4.4.4. Berekeningsparameters

i) Tijdstap Δt

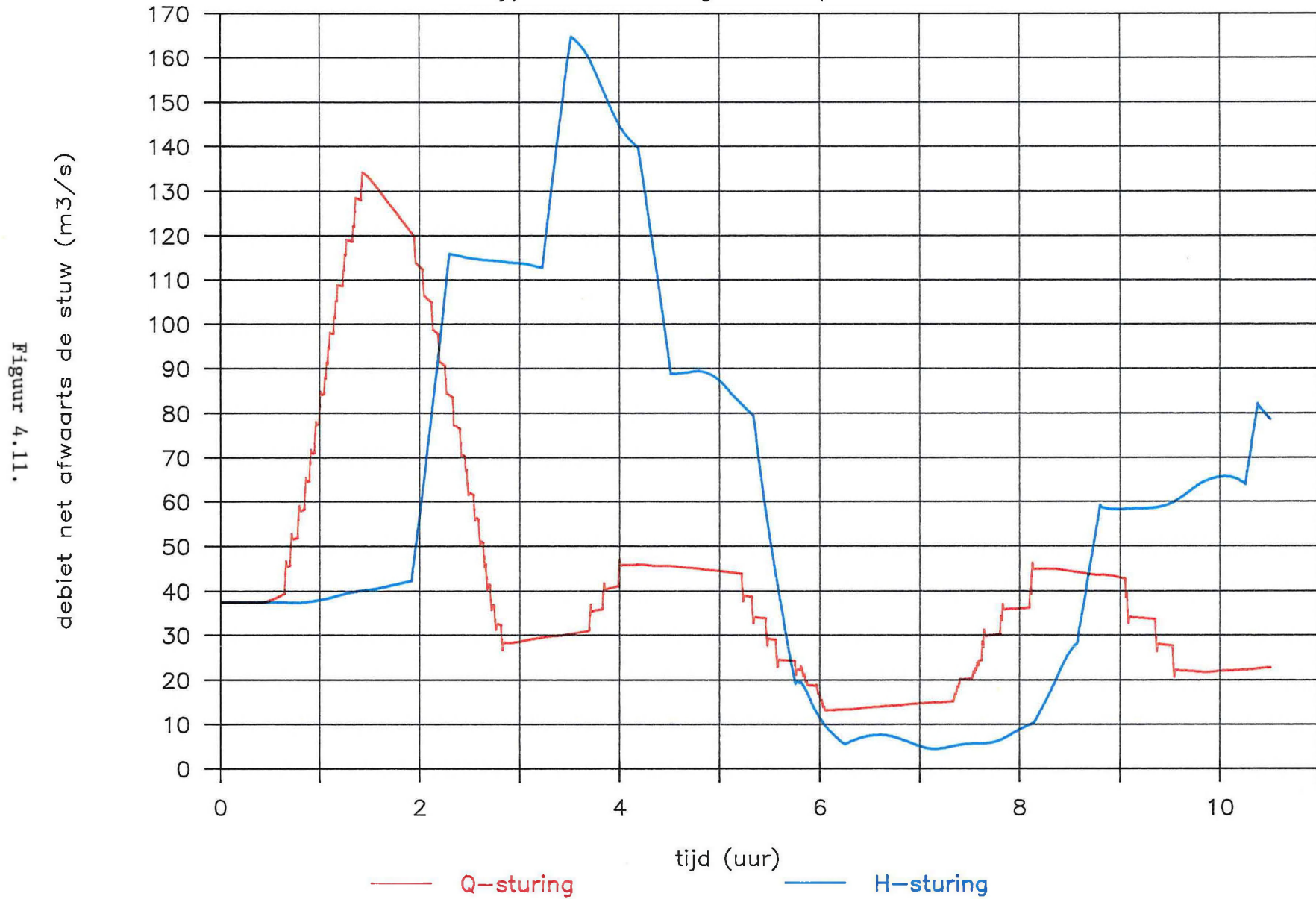
De tijdstap is begroot op 30 s als grootste gemene deler van 1200, 480 en 90 s (respectievelijk temporisation deport, temps de repos en temps de regulation). Hierdoor is een economisch evenwicht bereikt tussen resolutie en rekestijd.

4.4.5. Resultaten

De resultaten zijn samengevat in figuren 4.11. tot en met 4.13 en aangeduid als Q-sturing. Deze geven respectievelijk het verloop van het opwaarts peil, het afgevoerd debiet en de stuwstanden in functie van de tijd. De figuren bevatten tevens de resultaten van vorige simulaties (H-sturing) ten einde vergelijkingen mogelijk te maken.

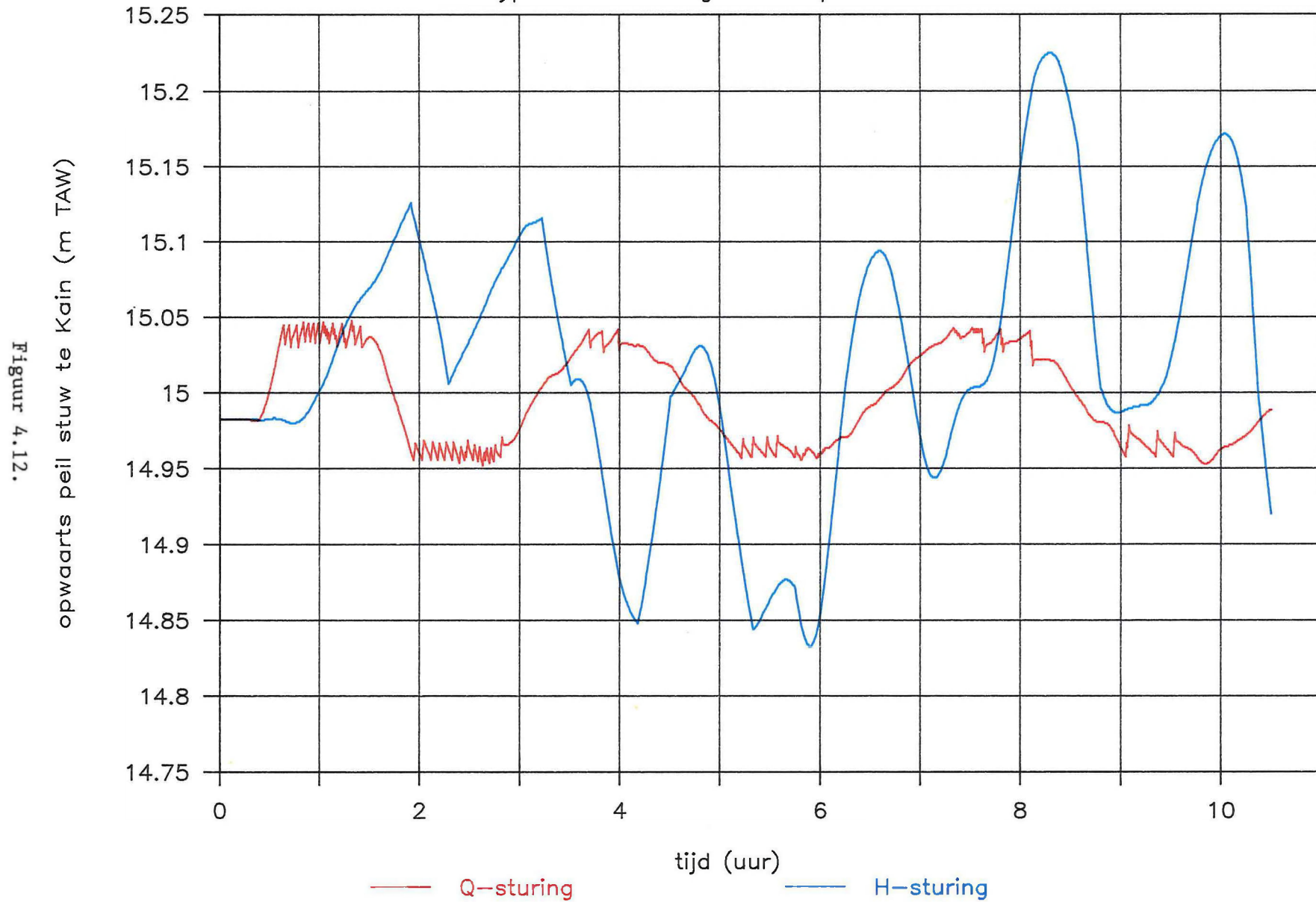
Vergelijking debiet/peilsturing te Kain

Hypothetische wasgolf van opwaarts Kain



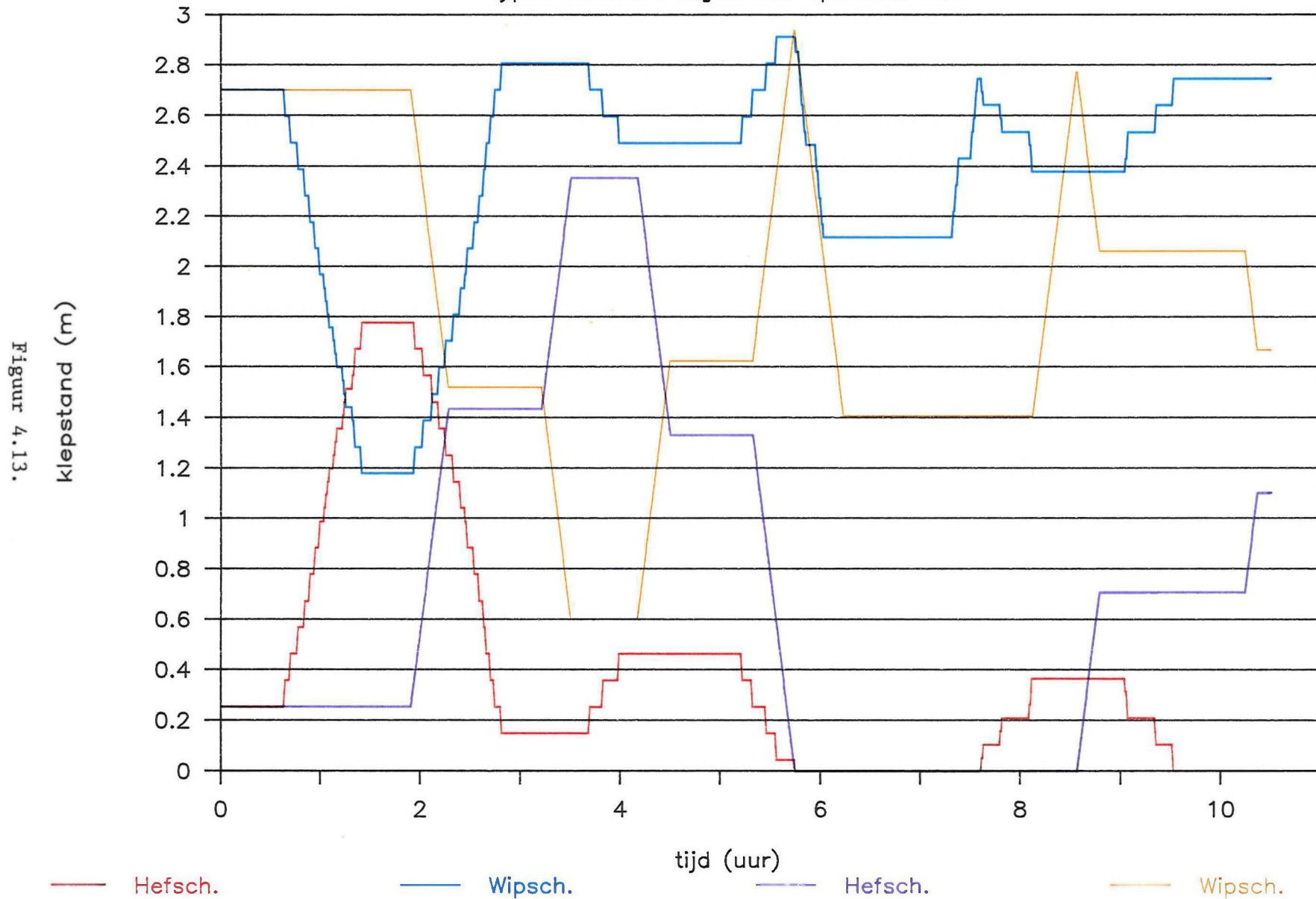
Vergelijking debiet/peilsturing te Kain

Hypothetische wasgolf van opwaarts Kain



Vergelijking debiet/peilsturing te Kain

Hypothetische wasgolf van opwaarts Kain



4.4.5.1. Analyse van de resultaten

1. De afgevoerde debietgolf wordt duidelijk minder vervormd door de sturing. Dit heeft positieve invloed op de situatie afwaarts waar de sturing een analoog patroon kan volgen (zie figuur 4.11).
2. De waterpeilvariaties zijn dermate gereduceerd dat de marge-overschrijdingen minder dan 2 cm bedragen. Deze zijn beduidend minder dan in het geval van een peilsturing (zie figuur 4.12).

4.5. SIMULATIE III

4.5.1. Doelstelling

Om het "zelfregelend vermogen" van de sturingen te onderzoeken, is een simulatie uitgevoerd waarbij een constant debiet wordt afgevoerd bij een stuwstand die deze afvoer onmogelijk maakt.

Een dergelijk "zelfregelend vermogen" evalueert in welke mate een regelsysteem zich kan herstellen van een fout zonder menselijke tussenkomst. Een foute stuwstand kan na bijvoorbeeld een panne of een onderhoudsbeurt. Het is van groot belang voor de waterstandsbeheersing dat een stuw vlug naar een stabiele evenwichtsstand evolueert.

4.5.2. Geometrie

De sturing van de stuw te Kain (het programma DIRECT) is als subroutine ingebouwd in het programma "ACCESSUS".

De afgeijkte geometrie uit de vorige simulatie is uitgebreid naar opwaarts toe, ten einde voldoende berging te kunnen garanderen en de invloed van opgelegde randvoorwaarden op de stuwdebieten uit te schakelen. Dit resulteert in de geometrie uit figuur 4.3.

4.5.3. Randvoorwaarden

i) Opwaarts

Als opwaartse randvoorwaarde is een hypothetische debietgolf (zie figuur 4.4.) gebruikt.

ii) Afwaarts

Ter plaatse van de stuw te Espierres is een $Q(Z)$ randvoorwaarde aangelegd. Dit $Q(Z)$ verband is berekend (op basis van de tabellen 1 en 2) als de best passende curve horend bij een te verwachten klepstand.

Hierbij is uitgegaan van de veronderstelling dat afwaarts Espierres het waterpeil constant is en dat de stuwstand afwaarts schommelt rond de initiële stand. Als initiële stand is de stand uit de afijking genomen.

iii) Inwendig

- $q_{\text{lateraal}} : 0 \text{ m}^3/\text{s}$
- stuw met bijhorende ijking te Kain, peilsturing

4.5.4. Berekeningsparameters

i) Tijdstap Δt

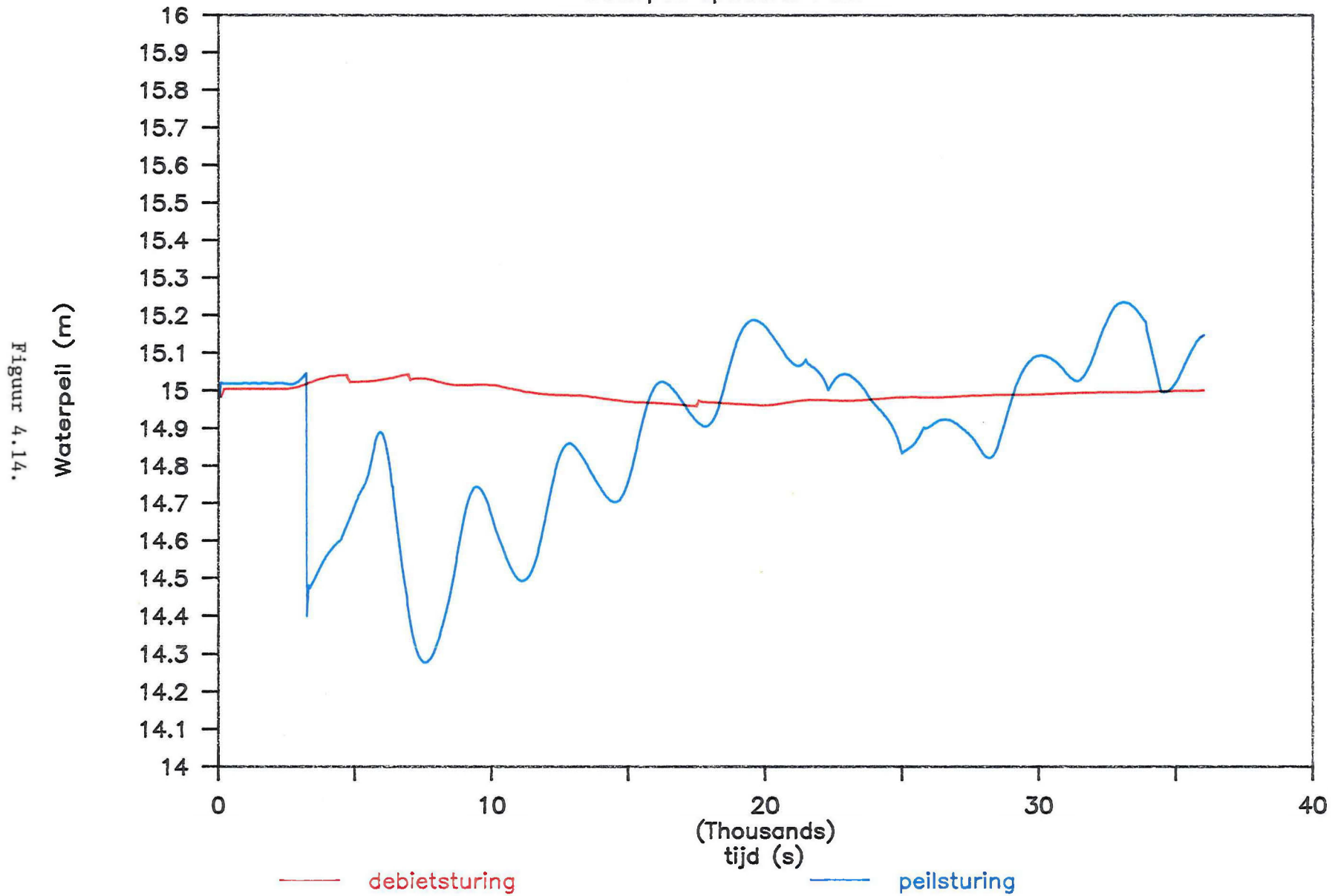
De tijdstap is begroot op 30 s als grootste gemene deler van 1200, 480 en 90 s (respectievelijk temporisation depart, temps de repos en temps de regulation te Espierres). Hierdoor is een economisch evenwicht bereikt tussen resolutie en rekentijd.

4.5.5. Resultaten

De resultaten van deze berekening zijn samengevat in figuur 4.14. De stuw reguleert zichzelf bijna onmiddellijk.

Waterpeil na verkeerde stuwstand

Waterpeil opwaarts Kain



4.6. CONCLUSIE

De debietsturing blijkt in deze twee hypothetische situaties aanleiding te geven tot zowel geringere waterpeilvariatiën als geringere debietvariatiën.

De naar afwaarts afgevoerde golf vertoont in vergelijking met de huidige sturingsprocedure een veel minder grillig verloop, zodat kan verwacht worden dat mits toepassing van de hier voorgestelde sturingsprocedure, het volledige beheer van de stuwen op de Bovenschelde in belangrijke mate kan geoptimaliseerd worden.

5. VOORSTEL VOOR EEN STURING

5.1. STURING

Volgende procedure wordt voorgesteld :

- meet een opwaarts peil (eventueel gemiddelde)
- beslis tot sturen op basis van dit peil
- bepaal het af te voeren debiet
- bereken de optimale stand
- beweeg de stuw naar die stand
- controleer tijdens de beweging de optimaliteit van de stand en pas de sturing eventueel aan op basis van geregistreeerde gegevens.
- stop de procedure wanneer de tolleranties bereikt zijn.

5.2. BELANGRIJKE RESTRICTIE

Aangepaste procedures moeten ontwikkeld worden om de metingen van ruis (hek en /of boeggolven, schutgolven) te ontdoen.

Mogelijke oplossingen voor dit fenomeen zijn :

1. Numerieke filtering : waarbij hoog frequente golven (periode \leq schutting) worden uitgefilterd.
2. Uitgaan van gemiddelden over langere periodes (tijd \geq periode schutgolf).
3. Reageren op voorspelde debieten (bijvoorbeeld extrapolatie op basis van kubische regressie op gemeten debieten).

Het opstellen van deze meetprocedures is echter pas mogelijk op basis van gegevens over parasitaire fenomenen en hangt tevens af van de gebruikte meetapparatuur.

6. BESLUIT

Uit vergelijking van de resultaten blijkt dat de sturing op basis van debieten belangrijke voordelen biedt ten opzichte van een sturing op basis van waterpeilen. De geviseerde optimale situatie wordt veel sneller bereikt en de peilschommelingen worden tot een minimum beperkt.

De naar afwaarts afgevoerde golf vertoont in vergelijking met de huidige sturingsprocedure een veel minder grillig verloop, zodat kan verwacht worden dat, mits toepassing van de hier voorgestelde sturingsprocedure, het volledige beheer van de stuwen op de Bovenschelde in belangrijke mate kan geoptimaliseerd worden.

Het is evenwel duidelijk dat een dergelijke aangepaste sturingsprocedure voor de volledige Bovenschelde slechts kan verwezenlijkt worden aan de hand van meer uitgebreide gegevens over en na studie van de verschillende rivierpanden.

ir. P. COSYN

ir. P. VERDONCK

Prof. Dr. ir. R. VERHOEVEN.

7. LITERATUURLIJST

- [1] P. COSYN : "Mathematische Simulatie van Tijgolven op rivieren"
Afstudeerwerk ingediend tot het behalen van de wettelijke graad van
burgerlijk bouwkundig ingenieur - Laboratorium voor Hydraulica-
Faculteit Toegepaste Wetenschappen - R.U.Gent, 1989
- [2] P.COSYN, P.VERDONCK, R.VERHOEVEN: Computational River Hydraulics as a
Tool for Watermanagement, Tweede Belgisch Nationaal Congres over
Theoretische en Toegepaste Mechanica, Brussel, 1990
- [2] J.A. CUNGE, F.M. HOLLY Jr, A. VERWEY : " Practical Aspects of Computati-
onal River Hydraulics "
Pitman Advanced Publishing Program, Boston - London - Melbourne, 1980
- [2] J.J. DRONKERS : " Tidal Computations in rivers and coastal waters ",
North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1964
- [3] K.MAHMOOD, V.YEVJEVICH, " Unsteady Flow in Open Channels ", Volume I,
Water Resources Publications , Fort Collins (Colorado),1975
- [4] L.J. TISON, " Cours D'Hydraulique II^e Partie Théorie des cours d'eau en
mouvement permanent - Phénomènes de filtration ",
Gent, 1953
- [5] ir F. DE TROCH, "FLOROT a one-dimensional floodrouting program",program-
mabeschrijving.
Laboratorium voor Hydraulica R.U.G., 1982

