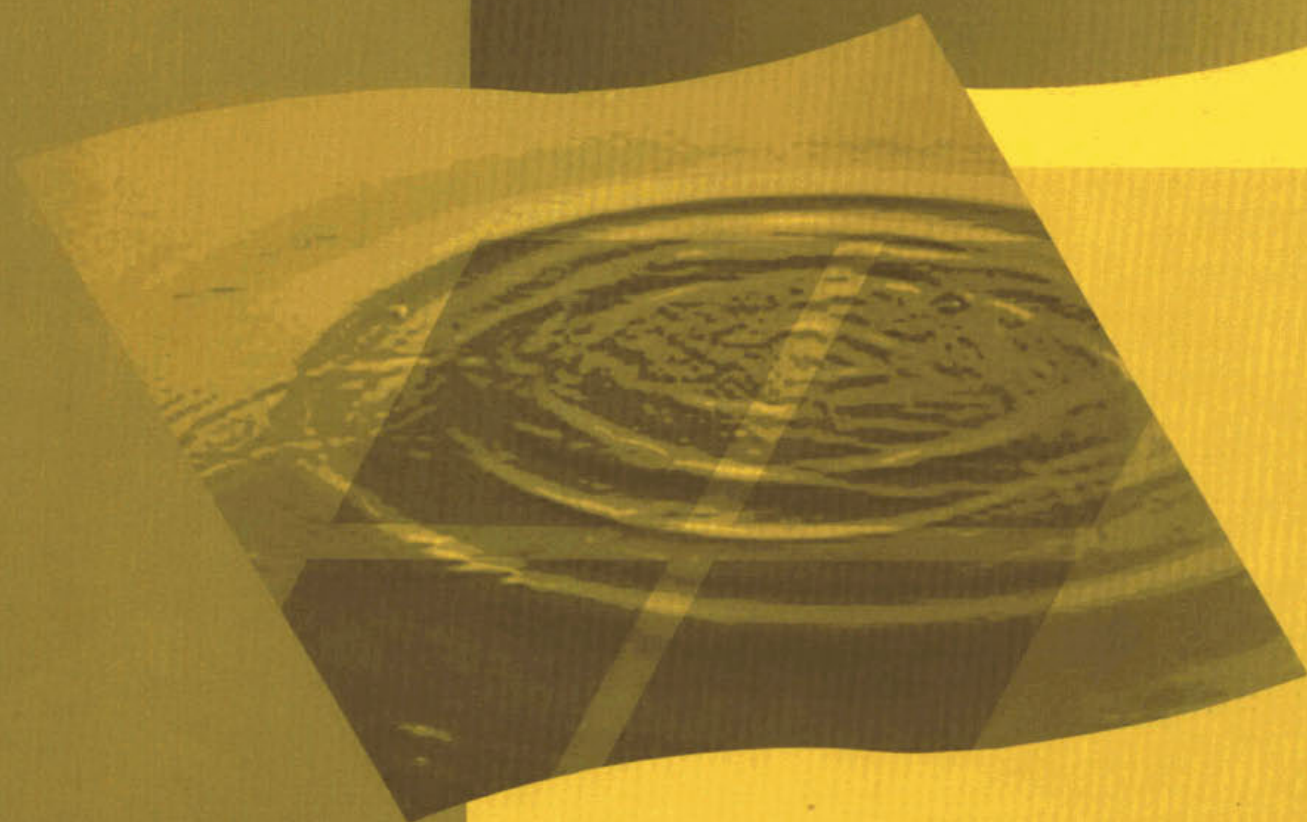


Duflow Procesbeschrijvingen
Aanvulling Stowa-rapport 99-21
- Variabele dispersie
- Stofoverdracht bij kunstwerken



2000

-w-01

TEN GELEIDE

In aanvulling op STOWA-rapport 99-21, waarin dertien waterkwaliteitsprocesbeschrijvingen worden behandeld, beschrijft dit werkrapport twee extra procesbeschrijvingen.

Bijgevoegd is een beschrijving van de variabele dispersie, hierbij wordt de dispersiecoëfficiënt beschreven als een functie van de stroomsnelheid en de waterdiepte. Deze uitbreiding is vooral van belang in dynamische situaties met sterk variërende debieten, bv na overstortingen in het stedelijk gebied of na afvoergolven in beeksystemen. Ook is de uitbreiding handig in netwerken, waarin wateren van sterk uiteenlopende dimensies voorkomen.

Eveneens bijgevoegd is een algemeen concept dat het mogelijk maakt de extra stofoverdracht tussen water en atmosfeer die optreedt bij kunstwerken te simuleren. Dit proces is vooral van belang voor de zuurstofhuishouding en voor de overdracht van vluchtige organische microverontreinigingen. Vooral bij stuwen kan afhankelijk van de vorm van de stuw, de valhoogte en de overstortende straal en het zuurstofdeficiet een aanzienlijke hoeveelheid zuurstof worden ingeslagen. De toepassingsmogelijkheden van dit proces moeten worden gezocht in het modelleren van de effecten van overstortingen uit rioolstelsels, afvoer van water uit door zuurstofloze kwel gevoede gebieden en het beschrijven van de zuurstofhuishouding in de vele gestuwde beken in Oost- en Zuid-Nederland.

DUFLOW is zo opgezet dat de gebruikers zelf processen kan definiëren en invoeren, maar in de praktijk hebben de meeste gebruikers daar veel moeite mee. Doel van dit project is om kant en klare modellen aan te bieden die gebruikt kunnen worden voor de analyse van een breed scala aan waterkwaliteitsproblemen.

De modellen zijn bewust zo eenvoudig mogelijk gehouden en gericht op toepassingen in de dagelijkse praktijk van het waterbeheer. Elke set procesbeschrijvingen is voorzien van een handleiding, waarin naast een beschrijving van de vergelijkingen aandacht wordt geschonken aan de benodigde invoer. Bij elk model is een uitgewerkt voorbeeld, ontleend aan de praktijk, toegevoegd.

De werkzaamheden zijn uitgevoerd door een projectteam, met als projectleider ir. R.H. Aalderink (Arcadis Heidemij Advies), ir. R.A. Nieuwenhuis (Grontmij Water) en ir. J. Noort (Septra). Het project is namens de STOWA begeleid door ir. L.R. Wentholt.

Alle informatie over DUFLOW en de procesbeschrijvingen zijn te vinden op: www.duflow.nl

Utrecht, september 2000

De directeur van de STOWA

Ir. J.M.J. Leenen

Inhoud

Dit boek is per hoofdstuk gepagineerd.
Elk hoofdstuk bevat een aparte inhoudsopgave.

Conservatieve stof	1
Eerste orde afbraak	2
Zuurstofhuishouding <i>in stromende en stagnante watersystemen</i>	3
Slibstroom <i>een slibtransportmodel voor stromende wateren</i>	4
Slibmeer <i>een slibtransportmodel voor ondiepe meren</i>	5
Het lichtklimaat onder water	6
EUTROF1A	7
EUTROF2A	8
Model PUT <i>simulatie van fosfaat- en licht-gelimiteerde algengroei ...</i>	9
OMIVE <i>model voor organische micro-verontreinigingen</i>	10
METAL <i>model voor zware metalen (As, Cu, Ni, Zn, Pb)</i>	11
Watertemperatuur	12
PCLake <i>eutrofiëringsmodel van het RIVM</i>	13
Variabele dispersie <i>'update' conservatieve stof</i>	14
Stofoverdracht bij kunstwerken <i>'update' zuurstofhuishouding</i>	15

PROCESBESCHRIJVINGEN DUFLOW VOOR WINDOWS

Variabele dispersie

9 november 1999

Ir. R.H. Aalderink, Arcadis Heidemij Advies
Ir. R.A. Nieuwenhuis, Grontmij Water
Ir. J. Noort, Sepra

STOWA

hoofdstuk

14

Inhoudsopgave

14.1 Variabele dispersie 5

14.1.1 Toepassingsmogelijkheden 5

14.2 Procesbeschrijvingen 5

14.3 Benodigde invoer 6

14.3.1 Parameters 6

14.3.2 Externe variabelen 6

14.4 Voorbeeld Oude Haven Hilversum 7

14.4.1 Situatieschets 7

14.4.2 DUFLOW invoer 8

14.4.3 Resultaten 9

Literatuur 12

Bijlagen

Bijlage 1 Procesbeschrijvingen variabele dispersie 13

14.1 Variabele dispersie

14.1.1 Toepassingsmogelijkheden

In het hoofdstuk over de procesbeschrijvingen voor een conservatieve stof (hoofdstuk 1) worden relaties gegeven, die de afhankelijkheid van de dispersiecoëfficiënt beschrijven als functie van de stroomsnelheid en de waterdiepte. In de toenmalige versie van DUFLOW, was het echter niet mogelijk op eenvoudige wijze te rekenen met een variabele dispersie. De dispersiecoëfficiënt kon worden ingegeven als een externe variabele en daarmee wel afhankelijk van tijd en plaats worden ingevoerd. Het was echter zeer omslachtig de afhankelijkheid van de stromingscondities in te voeren. Met deze nieuwe versie wordt deze mogelijkheid geïntroduceerd.

Deze uitbreiding van DUFLOW is vooral van belang in dynamische situaties met sterk variërende debieten. Bijvoorbeeld na overstorten in het stedelijk gebied of na afvoergolven in beeksystemen. Ook is de uitbreiding handig in netwerken, waarin wateren van sterk uiteenlopende dimensies voorkomen. Ook in dat geval biedt het model nu de mogelijkheid een schatting van de dispersiecoëfficiënt te maken, die past bij de dimensies van de watergangen.

Voor een uitgebreide beschrijving van de toepassingsmogelijkheden van het modelleren van het stoftransport, wordt verwezen naar hoofdstuk 1 (Conservatieve stof). De daar beschreven toepassingsmogelijkheden, blijven onverkort toepasbaar. Ook in de andere sets procesbeschrijvingen is het uiteraard mogelijk het concept van een variabele dispersie toe te passen.

14.2 Procesbeschrijvingen

Om de afhankelijkheid van stromingscondities te beschrijven wordt gebruikgemaakt van de relatie volgens Fischer. Het gaat hier om een semi-empirische uitdrukking voor de longitudinale dispersiecoëfficiënt. Er geldt:

$$[1] \quad D(x,t) = \alpha_k \cdot \frac{u_s^2 \cdot W^2}{Z \cdot u_*}$$

Waarin:

α_k	een evenredigheidsconstante [-]
W	de stroomvoerende breedte [m]
u_s	de gemiddelde stroomsnelheid over de dwarsdoorsnede [m.s ⁻¹]
Z	de waterdiepte [m]
u_*	de schuifspanningssnelheid [m.s ⁻¹].

Voor u_* geldt dat deze gelijk is aan:

$$[2] \quad u_* = u_s \cdot \frac{\sqrt{g}}{C}$$

Waarin:

g	de valversnelling van de zwaartekracht [m.s ⁻²]
C	de Chézy coëfficiënt [m ^{1/2} .s ⁻¹]

Substitutie van 2 in 1 levert:

$$[3] \quad D(x,t) = \alpha_k \cdot \left[\frac{u_s \cdot W^2 \cdot C}{Z \cdot \sqrt{g}} \right]$$

u_s , W , C en Z zijn variabelen, die de stromingscondities beschrijven en zijn allen bekende grootheden binnen het rekenhart van DUFLOW, met behulp waarvan de dispersiecoëfficiënt kan worden berekend. De evenredigheidsconstante α_k is een grootheid, die verschillende waarden kan aannemen. In paragraaf 14.3 worden hiervoor een aantal typische waarden gegeven.

Volgens vergelijking 3 zou $D(x,t)$ een waarde 0 aannemen indien de stroomsnelheid 0 wordt. In werkelijkheid zal dit niet het geval zijn. Ook in stagnante systemen zal er altijd enige menging aanwezig zijn, bijvoorbeeld onder invloed van de wind. Om te voorkomen dat de dispersiecoëfficiënt gelijk aan 0 wordt, is in vgl. 3 een minimale (achtergrond) dispersie D_0 geïntroduceerd. Hiermee wordt een altijd minimaal aanwezige dispersie gegarandeerd. De vergelijking die in DUFLOW wordt gebruikt wordt hiermee gelijk aan:

$$[4] \quad D(x,t) = D_0 + \alpha_k \cdot \left[\frac{u_s \cdot W^2 \cdot C}{Z \cdot \sqrt{g}} \right]$$

Waarin: D_0 de achtergrond dispersie [$m^2 \cdot s^{-1}$].

14.3 Benodigde invoer

De benodigde invoer hangt af van de toestandsvariabelen die in het model zijn gedefinieerd. Voor elke set procesbeschrijvingen zijn deze in het desbetreffende hoofdstuk weergegeven. In dit hoofdstuk wordt volstaan met het beschrijven van de invoer die specifiek is voor het rekenen met een variabele dispersiecoëfficiënt. Het gebruik van deze optie vraagt invoer van een tweetal coëfficiënten, die beide als externe variabelen kunnen worden ingevoerd.

14.3.1 Parameters

Voor het toepassen van variabele dispersie is het niet nodig extra parameters in te voeren. De constanten in de vergelijking moeten als externe variabelen worden ingevoerd.

14.3.2 Externe variabelen

Tabel 14.1 Benodigde invoer voor het rekenen met variabele dispersie

Type	Naam	Bron	Typische waarde & dimensies
Externe variabelen	D Achtergrond Dispersie	Literatuur	0.1 - 1.0 $m^2 \cdot s^{-1}$
	α_k Evenredigheidsconstante	Literatuur	[-] systeemafhankelijk (zie tabel 14.2)

De waarde van α_k is systeemafhankelijk. In tabel 14.2 worden een aantal typische waarden gegeven. Het symbool in DUFLOW, dat gebruikt wordt voor α_k is *alfak* en kan worden gevonden onder de object properties (External Variables). Alfak is net als de dispersie coëfficiënt D een standaard externe variabele en hoeft dus niet in het kwaliteitsmodel te worden gedefinieerd. Indien aan alfak een waarde nul wordt toegekend wordt met een constante waarde voor de dispersiecoëfficiënt gerekend.

Tabel 14.2 Typische waarden voor α_k

Systeem	Waarde voor α_k
Gladde kanalen	0.001
Rivieren	0.011
Rivieren met kribvakken	0.02

Binnen een netwerk kan α_k verschillende waarde aannemen. Bijvoorbeeld als er zowel kanalen als rivieren, met en zonder kribvakken aanwezig zijn in de schematisatie. De gebruiker kan α_k per sectie, of voor het hele netwerk in een keer opgeven.

14.4 Voorbeeld Oude Haven Hilversum

14.4.1 Situatieschets

Dit voorbeeld is ontleend aan een studie van de Grontmij naar de waterkwaliteit in de Oude Haven in Hilversum. Het onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van de Dienst Waterbeheer en Riolering.

De Oude Haven in Hilversum is een doodlopende watergang, waarop verscheidene uitlaten van gescheiden riolering uitkomen. Enkele rioleringsdistricten hebben echter foutieve aansluitingen [aankoppeling van huishoudelijk afvalwater (dwa) op het regenwaterstelsel (rwa)]. Om de verspreiding van dit vervuilde regenwater in beeld te brengen, is een model opgesteld, waarmee de fracties (herkomsten) waaruit het oppervlaktewater op een willekeurig moment bestaat, kunnen worden berekend.

In het model is aan iedere rwa-uitlaat een label gegeven. Het water uit de uitlaten heeft een eigen kwaliteit, die verwijst naar de herkomst. Zo heeft het water dat tijdens een regenbui uit rwa-district 32 komt, een concentratie van 100 mg/l van de tracer 'dis32'. De concentraties (labels) van de overige districten zijn in dit water niet aanwezig. Het water uit district 33 heeft een concentratie van 100 mg/l van de tracer 'dis33'. De concentratie 'dis32' is voor district 33 gelijk aan 0 mg/l. Het kwaliteitsmodel wordt weergegeven in bijlage 1

Voordat de regenbui begint, is de Oude Haven gevuld met 'eigen' water. De concentratie van de tracer 'eigen' is initieel 100 mg/l. Zodra uit de verschillende uitlaten regenwater binnen komt in het oppervlaktewatersysteem, daalt de concentratie 'eigen' en nemen de concentraties van bijvoorbeeld 'dis32' en 'dis33' toe.

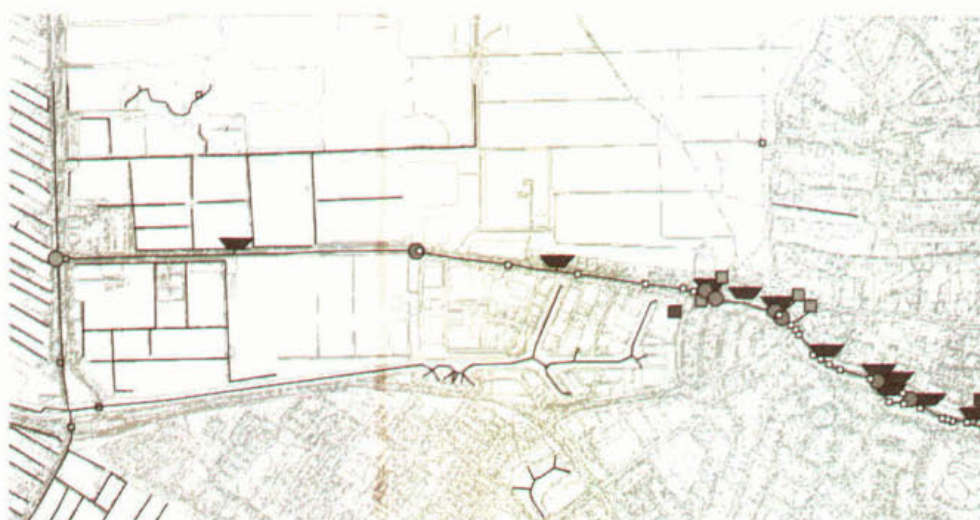
In dit voorbeeld zijn drie scenario's doorgerekend:

- 1 een berekening met een vaste hoge dispersiecoëfficiënt (van $25 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$);
- 2 een berekening met een vaste lage dispersiecoëfficiënt (van $1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$);
- 3 een berekening met een variabele dispersie (volgens vgl. 4).

Doel van de berekeningen is het illustreren van het effect van de dispersie op de verspreiding van het overstortwater. Daarnaast laat de laatste berekening duidelijk zien wat het belang is het van het rekenen met een variabele dispersie.

14.4.2 DUFLOW invoer

Figuur 14.1: Netwerk Oude Haven Hilversum op digitale ondergrond



HET NETWERK

Het DUFLOWIN-netwerk van de Oude Haven is opgezet met behulp van een digitale ondergrond. In het voorbeeld is gebruik gemaakt van een shapefile met de waterlopen en een shapefile met de stedenbouwkundige inrichting van Hilversum (zie figuur 14.1). De shapefile is afkomstig van DWR (Dienst Waterbeheer en Riolering) en gebaseerd op een bewerking van de TOP10vector bestanden van de Topografische Dienst in Emmen.

KNOPEN

De knopen in het netwerk zijn aangebracht op belangrijke punten in het systeem. Naast begin- en eindknopen zijn knopen opgenomen tussen veranderende dwarsprofielen.

SECTIES

De secties verbinden de knopen en kunstwerken.

DWARSDOORSNEDEN

Voor de modellering van de Oude Haven zijn de toekomstige dwarsprofielen (na sanering) ingebracht.

KUNSTWERKEN

In het model zijn geen kunstwerken opgenomen.

INITIËLE CONDITIES

Kwantiteit: als initiële waterstand is het streefpeil aangehouden. Aangenomen is dat de initiële stroming gelijk is aan nul.

Kwaliteit: initieel is de concentratie 'eigen' 100 mg/l. De concentraties van de rwa districten zijn 0 mg/l.

RANDVOORWAARDEN

Op de beginknoop van het model loost district 32. De andere rwa districten zijn met behulp van Qadds gemodelleerd. Op de eindknoop in de 's-Gravelandse Vaart is het streefpeil als vast peil gehanteerd (-0,14 m + NAP).

Alle districten hebben een concentratie van 100 mg/l van de tracer van hun district. De concentraties van de overige tracers en van 'eigen' zijn 0 mg/l.

EXTERNE VARIABLE

Voor D_0 is $0,5 \text{ m}^2/\text{s}$ ingevuld, als basisdispersie voor de Oude Haven. Voor a_k is een kanaalwaarde van 0,001 aangehouden. Voor de berekeningen met een vaste waarde voor de dispersiecoëfficiënt zijn respectievelijk een waarde van 1 en $25 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ gebruikt. Voor a_k is in dit geval een waarde van 0 gebruikt, zodat gerekend wordt met een constante waarde voor de dispersie.

PARAMETERS

In dit tracermodel treden geen processen op. Er zijn daarom geen parameters in het model opgenomen.

CALCULATION SETTINGS

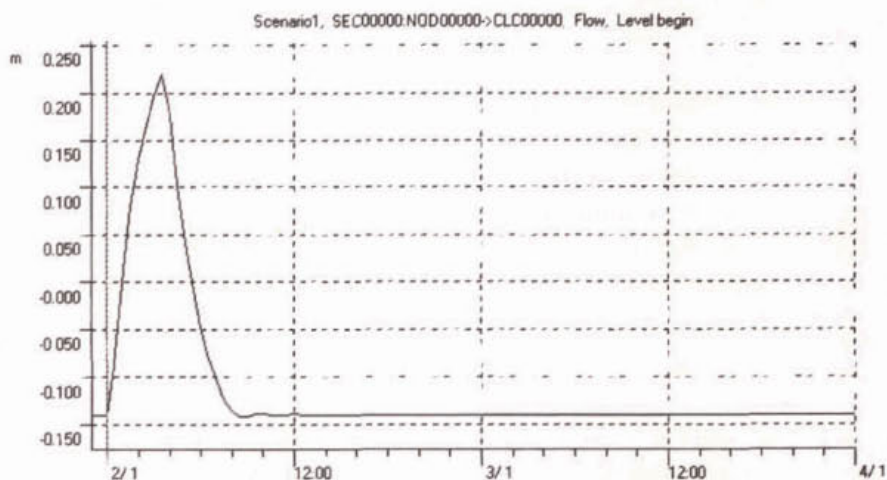
De rekentijdstappen zijn afhankelijk van de gehanteerde vaklengte en de te verwachten snelheden in het model. Hoe groter de gebruikte vaklengte, hoe groter de tijdstap mag zijn, bij dezelfde stroomsnelheid. Hier is gebruikt: flow: 1 minuut, quality: 5 minuten.

Als maximale sectielengte is een waarde van 50 m gebruikt. Deze is op te geven onder de Object Properties van de secties.

14.4.3 Resultaten

Figuur 14.2 toont het verloop van het waterpeil na een lozing uit de rwa districten. De gebeurtenis vangt aan na één dag (op 2-1-1900 om 0.00 u) en duurt in totaal 4 uur. Om een zo stabiel mogelijke simulatie te krijgen, zijn geen blokbuien gebruikt, maar

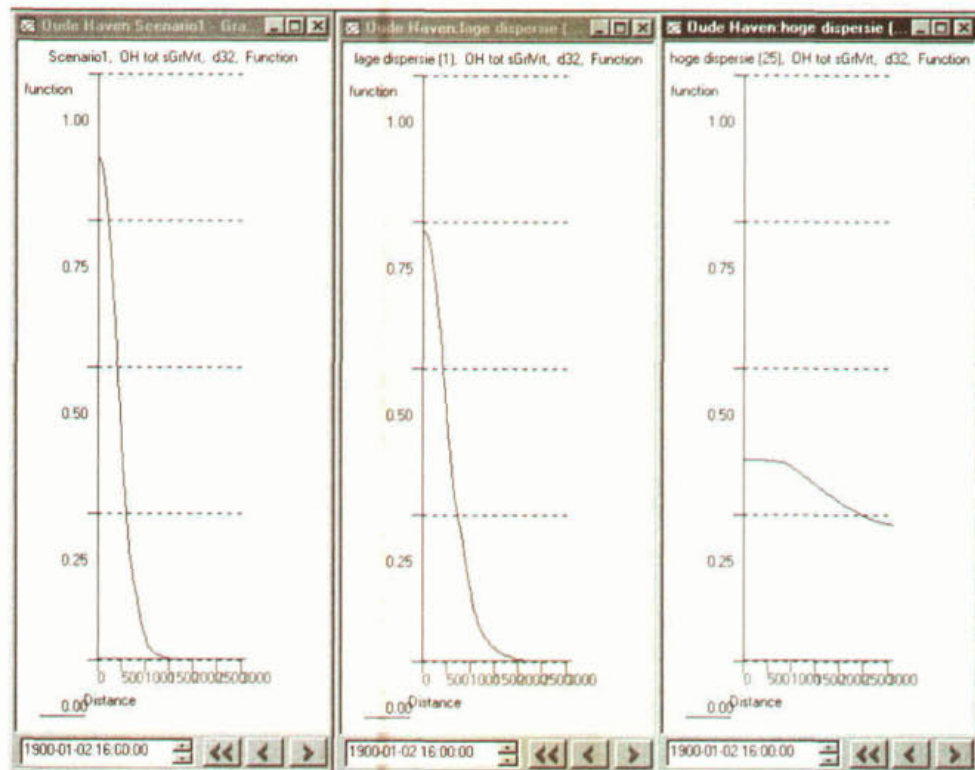
Figuur 14.2: Peilverloop Oude Haven als gevolg van $T=1$ bui



lopen de debieten van de Qadds in een half uur op van nul tot maximaal. Drie uur later nemen de debieten weer geleidelijk af van maximaal tot nul. Circa 4 uur na afloop van de bui is het waterpeil weer terug op het oorspronkelijke streefpeil.

In figuur 14.3 is de verspreiding van het water uit district 32 (tracer dis32), dat loost op het meest bovenstroomse deel van het watersysteem, weergegeven. De figuur toont de resultaten van de drie doorgekende scenario's. Weergegeven is de concentratieverdeling als functie van de afstand op het moment dat het peil weer normaal is. De linker grafiek toont het verloop bij toepassing van variabele dispersie (scenario 1). De middelste grafiek geeft het verloop bij een vaste dispersie van $1 \text{ m}^2/\text{s}$. De rechter grafiek geeft het resultaat bij een vaste hoge dispersie ($25 \text{ m}^2/\text{s}$).

Figuur 14.3: Aandeel water uit rwa-district 32 in de Oude Haven (lengteprofiel), nadat het waterpeil uitgezakt is tot streefpeil (16 uur na aanvang bui)



Duidelijk is te zien dat indien wordt gerekend met een hoge waarde van de dispersie ($25 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) concentratiegradiënten sterk worden afgevlakt. Door de grote menging wordt het water uit de lozing verspreid over grote afstanden. Dit gebeurt niet alleen door het verdringen van het oorspronkelijke water maar ook door menging, die ook door blijft gaan als het peil weer normaal is en de stroomsnelheden laag worden. Dit leidt tot resultaten, die niet realistisch zijn. Indien dergelijke hoge waarden voor D worden gebruikt bij simulatie van effecten van overstortingen, leidt dit tot een onderschatting van de ernst van het effect.

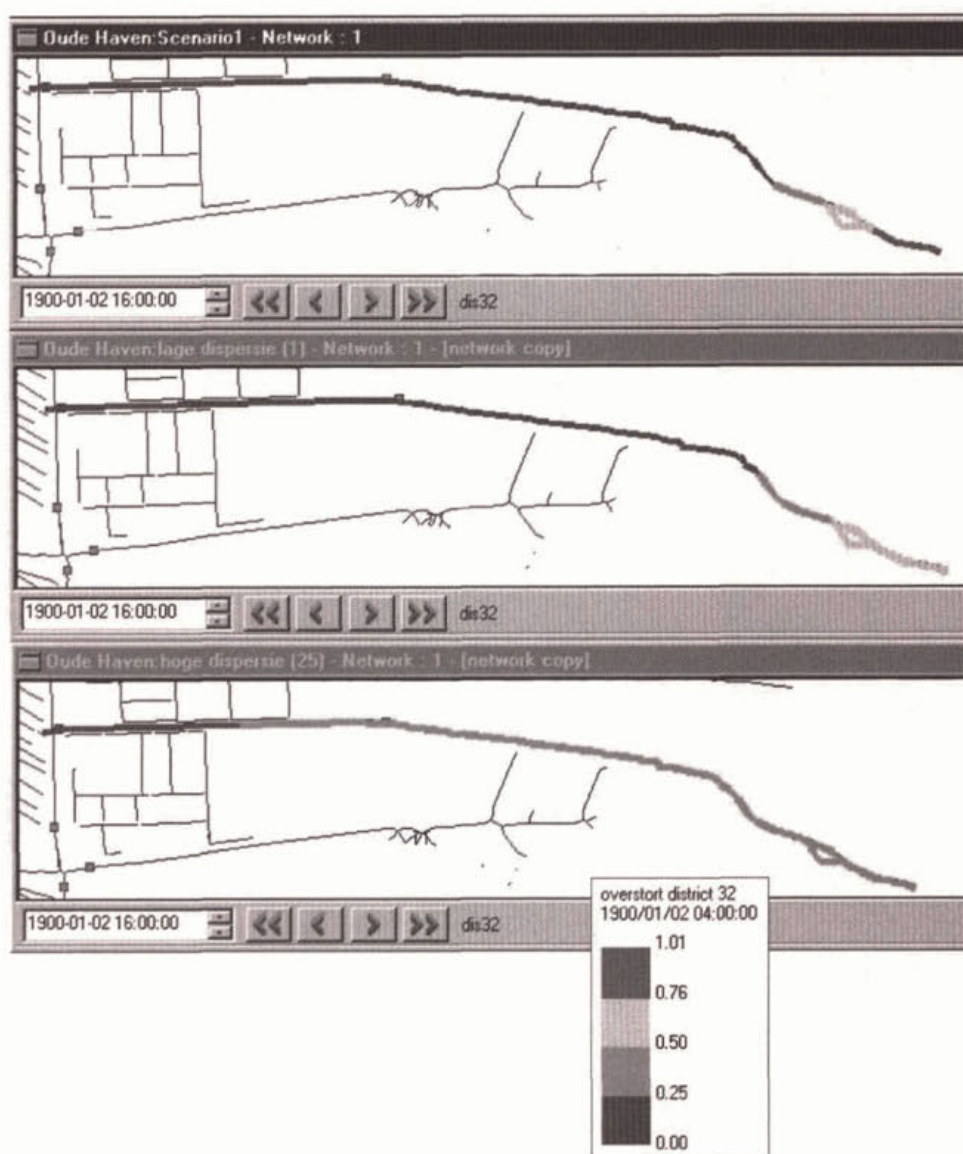
De simulatie met een vaste lage dispersie coëfficiënt toont al een heel ander beeld. De concentratie gradiënten worden veel minder afgevlakt. Wel blijkt dat ook nadat het

peil weer normaal is de verontreiniging nog steeds wordt verspreid. Dit komt omdat ook dan nog wordt gerekend met een vaste constante waarde van de dispersie.

De berekening met variabele dispersie laat zien dat de verspreiding nadat het peil weer normaal is zeer langzaam verloopt, omdat de dispersie gelijk wordt aan de (zeer lage) achtergrond dispersie. Dit levert een realistisch beeld, waarbij de vuilprop gelokaliseerd blijft in de buurt van het lozingspunt.

Deze resultaten worden in figuur 14.4 nogmaals getoond met behulp van de Presentation Mode van DufLOW. Hier is de situatie op 16 uur na aanvang van de overstort weergegeven.

figuur 14.4



Literatuur

Fisher, H.B., List, E.J., Koh, R.C.Y., Imberger, J., Brooks, N.H. 1979. Mixing in inland and coastal waters, Academic Press, New York.

Mazijk, A. van, 1996. One-Dimensional approach of transport phenomena of dissolved matters in rivers. Thesis Delft University of Technology; Community on Hydraulic and Geotechnical Engineering Report, No. 96-03.

■ Bijlage 1

Procesbeschrijvingen variabele dispersie

Hieronder wordt de *.MOD file weergegeven zoals die is gebruikt in het uitgewerkte voorbeeld voor de Oude Haven in Hilversum.

```

/* Fractiemodel voor Oude Haven Hilversum          */
/*                                                  */
/* Grontmij Advies & Techniek bv                    */
/* Adviesgroep Water                               */
/* Ir. R.A. Nieuwenhuis                             */
/* najaar 1999 / januari 2000                       */
/*                                                  */
/* alfak is door Jan Noort in duprol toegevoegd in verband met */
/* Stowa project uitbreidingen DUFLOW waterkwaliteit */
/* alfak dient voor toepassing variabele dispersie */

WATER      EIGEN      [0]      -      ; water dat bij aanvang in systeem aanwezig is
WATER      dis32      [0]      -      ; regenwater afkomstig uit rwa district 32
WATER      dis33      [0]      -      ; regenwater afkomstig uit rwa district 33
WATER      dis34      [0]      -      ; regenwater afkomstig uit rwa district 34
WATER      dis39a     [0]      -      ; regenwater afkomstig uit rwa district 39
WATER      dis39b     [0]      -      ; regenwater afkomstig uit rwa district 39
WATER      INlaat     [0]      -      ; inlaatwater

{
TOT=EIGEN+dis32+dis33+dis34+dis39a+dis39b+INlaat+0.000001;
EIG=EIGEN/TOT;
d32=dis32/TOT;
d33=dis33/TOT;
d34=dis34/TOT;
d39a=dis39a/TOT;
d39b=dis39b/TOT;
INL=INLAAT/TOT;
}

```


PROCESBESCHRIJVINGEN DUFLOW VOOR WINDOWS

Stofoverdracht bij kunstwerken

25 april 2000

Ir. R.H. Aalderink, Arcadis Heidemij Advies
Ir. R.A. Nieuwenhuis, Grontmij Water
Ir. J. Noort, Sepra

STOWA

hoofdstuk

15

Inhoudsopgave

15.1 Stofoverdracht bij kunstwerken 5

15.1.1 Toepassingsmogelijkheden 5

15.1.2 Beperkingen 5

15.2 Procesbeschrijvingen 5

15.3 Benodigde invoer 9

15.3.1 Initiële condities 9

15.3.2 Randvoorwaarden 9

15.3.3 Parameters 9

15.3.4 Externe variabelen 9

15.4 Voorbeeld Gooyergracht 9

15.4.1 Situatieschets 9

15.4.2 Duflow invoer 10

15.4.3 Resultaten 11

Literatuur 13

Bijlagen

Bijlage 1 Procesbeschrijvingen stofoverdracht bij kunstwerken 14

15.1 Stofoverdracht bij kunstwerken

15.1.1 Toepassingsmogelijkheden

In hoofdstuk 3 wordt een model voor de zuurstofhuishouding beschreven. Een tekortkoming van dit model is dat de zuurstofinslag bij stuwen niet kan worden berekend. In de toenmalige versie van DUFLOW was dit niet mogelijk. Met de uitbreiding van DUFLOW behoort dit nu wel tot de mogelijkheden.

Er is een algemeen concept geïntroduceerd dat het mogelijk maakt de extra stofoverdracht tussen water en atmosfeer die optreedt bij kunstwerken te simuleren. Dit proces is vooral van belang voor de zuurstofhuishouding. Vooral bij stuwen kan afhankelijk van de vorm van de stuw, de valhoogte van de overstortende straal en het zuurstofdeficiet een aanzienlijke hoeveelheid zuurstof worden ingeslagen.

De toepassingsmogelijkheden van dit proces moeten worden gezocht in het modelleren van de effecten van overstortingen uit rioolstelsels, afvoer van water uit door zuurstofloze kwel gevoede gebieden en het beschrijven van de zuurstofhuishouding in de vele gestuwde beken in Oost- en Zuid-Nederland.

Het concept is niet alleen toepasbaar voor de beschrijving van zuurstofinslag maar ook voor de overdracht van vluchtige organische micro-verontreinigingen. Ook hiervoor geldt dat tijdens overstorten over een stuw een aanzienlijke uitwisseling met de atmosfeer kan optreden.

In dit hoofdstuk wordt het ontwikkelde concept beschreven en nader uitgewerkt voor zuurstof. De nadruk ligt hierbij op de beschrijving van het proces van stofoverdracht. Voor een gedetailleerd overzicht van de andere processen in de zuurstofhuishouding wordt verwezen naar hoofdstuk 3.

15.1.2 Beperkingen

De toepasbaarheid beperkt zich tot die kunstwerken, waarbij het water tijdens de passage een vrije val maakt en waardoor er meer uitwisseling plaats vindt tussen het water en de atmosfeer. Het gaat hierbij om kunstwerken van het type weir (met vrije overlaat, niet verdronken) en duikers met een binnenonderkant (bob) hoger dan het waterpeil.

15.2 Procesbeschrijvingen

Er zijn een tweetal processen die verantwoordelijk zijn voor de extra stofoverdracht. In de eerste plaats vindt er tijdens de val van de straal overdracht plaats tussen de film en de lucht. Een belangrijker proces is echter de overdracht tussen de bellen die tijdens de val worden ingeslagen en het water. Het gaat hierom een tweetal processen, waarvoor de wiskundige beschrijving complex is en ondanks pogingen het gedrag theoretisch te beschrijven wordt in de praktijk meestal gebruikgemaakt van een simpele benadering.

waarbij de ratio tussen het boven- en benedenstroomse deficiet wordt gerelateerd aan de karakteristieken van het kunstwerk. Er geldt:

$$[1] \quad r_{20} = \frac{C_s - C_o}{C_s - C_e}$$

waarin: r_{20} deficietratio bij 20°C (–)
 C_s verzadigingsconcentratie in het water (g.m⁻³)
 C_o concentratie bovenstrooms de stuw (g.m⁻³)
 C_e concentratie benedenstrooms de stuw (g.m⁻³)

In de literatuur worden verschillende relaties weergegeven, die de deficietratio relateren aan de eigenschappen van de stuw en de stroming. Zo wordt de ratio bijvoorbeeld gerelateerd aan de valhoogte, debiet per meter stuwbreedte, diepte beneden stuw, stuwtype en de vervuilingsgraad.

Hieronder worden een aantal empirische vergelijkingen weergegeven voor de deficietratio. Een overzicht van deze relaties kan worden gevonden in Lakso (1987).

Gameson ('57):

$$[2] \quad r = 0.5 \cdot a \cdot a_1 \cdot h$$

waarin: a verontreinigingsgraad water (–)
 a_1 type stuw (–)
 h valhoogte (m)

Water Pollution Research Laboratory ('73):

$$[3] \quad r = 1 + 0.38 \cdot a \cdot h \cdot (1 - 0.11 \cdot h) \cdot (1 + 0.064 \cdot T)$$

waarin: a verontreinigingsgraad
 T temperatuur (°C)

Markofsky en Kobus ('78):

$$[4] \quad r = 0.1 \cdot f_T \cdot Fr^{1.2}$$

waarin: f_T functie van temperatuur (–)
 Fr Froudegetal (afhankelijk van de valhoogte en het debiet) (–)

Avery en Novak ('78):

$$[5] \quad r = 0.624 \cdot 10^{-4} \cdot Fr^{1.78} \cdot Re^{0.53}$$

waarin: Re het Reynoldsgetal (–)

Nakasone ('87):

$$[6] \quad \ln(r) = 5.39 \cdot h^{1.31} \cdot q^{-0.363} \cdot d^{0.310}$$

waarin: h de valhoogte (< 1.20 m)
 q het debiet (> 65 l/s/m)
 d diepte na stuw (m)

Lakso ('87):

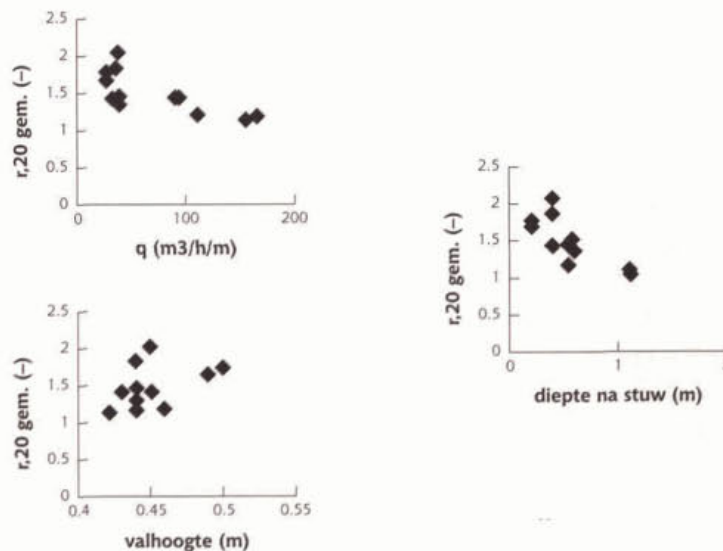
$$[7] \quad r = 0.866 + 0.602 \cdot h + P_1$$

$$P_1 = -0.107 \cdot q^{0.651} \cdot d^{-1.04} \cdot h^{0.612}$$

waarin: q debiet per meter stuwbreedte (m³/s/m)
 d diepte na stuw (m)
 h valhoogte (m)

Voor alle hierboven genoemde relaties geldt dat het gaat om empirische relaties. Dit betekent dat de relaties vaak een beperkt geldigheidsgebied hebben en specifiek zijn voor de data, waarvoor ze zijn afgeleid. Het is dan ook van belang de relaties te vergelijken met meetwaarden om na te gaan welke relatie de beste weergave geeft van de werkelijkheid. Makkinga et al. (1997) hebben voor een aantal stuwen in het beheersgebied van Waterschap Regge en Dinkel en van het Zuiveringschap Rivierenland gegevens verzameld. Het aantal gegevens is beperkt. Toch laten de resultaten een aantal belangrijke trends zien (zie figuur 15.1). Uit de gegevens blijkt dat de valhoogte, de diepte na de stuw en het debiet de belangrijkste verklarende factoren zijn. Een toenemende valhoogte leidt tot een hogere ratio. Een toenemend debiet over de stuw leidt tot een afnemend relatief effect van de stuwbeluchting. Ook bij toenemende diepte neemt de deficietratio af.

Figuur 15.1 Afhankelijkheid van de deficietratio met het debiet over de stuw en de valhoogte. Data Makkinga et al. (1997).



Op basis van deze bevindingen is gekozen voor de relatie van Lakso, waarin eveneens deze afhankelijkheden worden beschreven. Toepassing van de coëfficiënten zoals gevonden door Lakso leidt echter voor de door Makkinga et al. verzamelde gegevens tot een veel te lage waarde van de deficietratio. Daarom zijn op basis van de beschikbare gegevens de coëfficiënten opnieuw geschat. Op basis hiervan werd de volgende relatie afgeleid:

Aalderink, Nieuwenhuis en Makkinga (2000):

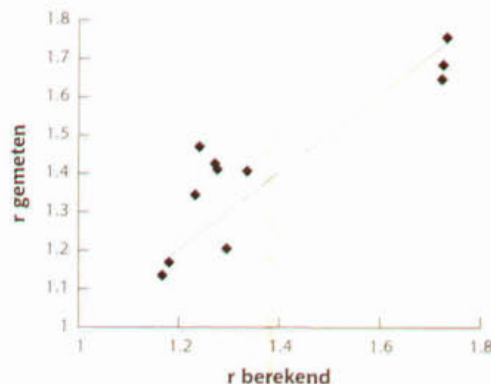
$$[8] \quad r = 0.866 + 0.602 \cdot h + P_1$$

$$P_1 = 0.107 \cdot q^{0.21} \cdot d^{-1.70} \cdot h^{0.06}$$

waarin: q debiet per meter stuwbreedte ($m^3/s/m$)
 d diepte na stuw (m)
 h valhoogte (m)

In figuur 15.2 worden de volgens vergelijking 8 berekende deficietratio's vergeleken met de gemeten waarden.

Figuur 15.2 Vergelijking van de gemeten en berekende deficietratio's



Deze aangepaste relatie volgens Lakso is ingebouwd in het zuurstofmodel dat in hoofdstuk 3 van deze handleiding is beschreven. Het modelbestand heet zuurstowa.mod. Deze model file is opgenomen in bijlage 1. Indien gewenst kan ook een andere relatie worden gebruikt. Deze moet dan in het bestand met de procesbeschrijvingen (*.MOD) worden weergegeven. Voor de wijze waarop de implementatie moet worden uitgevoerd wordt verwezen naar hoofdstuk 3 van de DufLOW Reference Manual.

Het blijkt dat de relatie van Aalderink, Nieuwenhuis en Makkinga niet altijd tot een r groter dan 1 leidt. Daarom wordt in DUFLOW het maximum van de berekende r en 1 aangehouden. Anders zou zuurstofuitslag het gevolg zijn, terwijl het water nog onderverzadigd is.

15.3 Benodigde invoer

De relaties voor de stofoverdracht bij stuwen is ingebouwd in het bestaande zuurstof model beschreven in hoofdstuk 3. Voor een overzicht van de benodigde invoer wordt dan ook verwezen naar hoofdstuk 3.

15.3.1 Initiële condities

Ten opzichte van het bestaande zuurstof model hoeven geen andere initiële condities te worden ingevoerd. Voor een overzicht wordt verwezen naar hoofdstuk 3.

15.3.2 Randvoorwaarden

Ten opzichte van het bestaande zuurstof model hoeven geen andere randvoorwaarden te worden ingevoerd. Voor een overzicht wordt verwezen naar hoofdstuk 3.

15.3.3 Parameters

Voor een overzicht van de parameters in het zuurstofmodel wordt verwezen naar hoofdstuk 3. De coëfficiënten in de vergelijking van de deficietratio worden niet als parameter ingevoerd, maar zijn als vaste constanten in het *.MOD bestand ingegeven.

15.3.4 Externe variabelen

Ook voor de externe variabelen wordt verwezen naar hoofdstuk 3.

15.4 Voorbeeld Gooyergracht

15.4.1 Situatieschets

Als voorbeeld is een model gebruikt van de Gooyergracht. Het voorbeeld is ontleend aan een studie van de Grontmij in opdracht van het Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht. De Gooyergracht is een sterk gestuwde beek (met een verval van enkele meters over een afstand van ca. 20 km. De beek loopt van Laren langs Blaricum en Huizen naar het Eemmeer (figuur 15.3). De Gooyergracht voert het effluent af van een tweetal RWZI's. Aan het begin van de beek loost RWZI Hilversum-West. Halverwege de beek loost RWZI Blaricum haar effluent.

De beek wordt gestuwd middels een aantal overlaten. Op deze manier wordt het water vastgehouden en vertraagd afgevoerd. Ten behoeve van dit voorbeeld zijn de overlaten (stuwen) vereenvoudigd opgenomen.

De in het effluent aanwezige zuurstofconsumerende stoffen (bzw. NH_4) zorgen voor een laag zuurstofgehalte in de beek. Door stroming treedt een verhoogde reaeratie op tussen de stuwen. Op de stuwen zelf (met vrij overvallende straal) wordt in dit voorbeeld extra zuurstof ingebracht.

15.4.2 Duflow invoer

HET NETWERK

Het Duflow-netwerk van de Gooyergracht is opgezet met behulp van een digitale ondergrond. In het voorbeeld is gebruik gemaakt van een shapefile met de waterlopen en een shapefile met de contouren van de aangrenzende dorpen en steden. Het netwerk is opgenomen in figuur 15.3.

KNOPEN

De knopen in het netwerk zijn aangebracht op belangrijke punten in het systeem. Naast begin- en eindknopen zijn knopen opgenomen tussen veranderende dwarsprofielen.

SECTIES

De secties verbinden de knopen en kunstwerken.

DWARSDOORSNEDEN

Voor de modellering van de Gooyergracht zijn de werkelijke dwarsprofielen ingebracht.

KUNSTWERKEN

In het model zijn stuwen, duikers en gemalen opgenomen. De stuwen zijn gemodelleerd als weir. De duikers zijn rechthoekige, forse culverts. De gemalen aan het einde van de beek zijn parallel aangebracht. Bij normale afvoer slaat alleen de eerste pomp af en toe aan. De tweede pomp schakelt automatisch bij als het peil te hoog wordt.

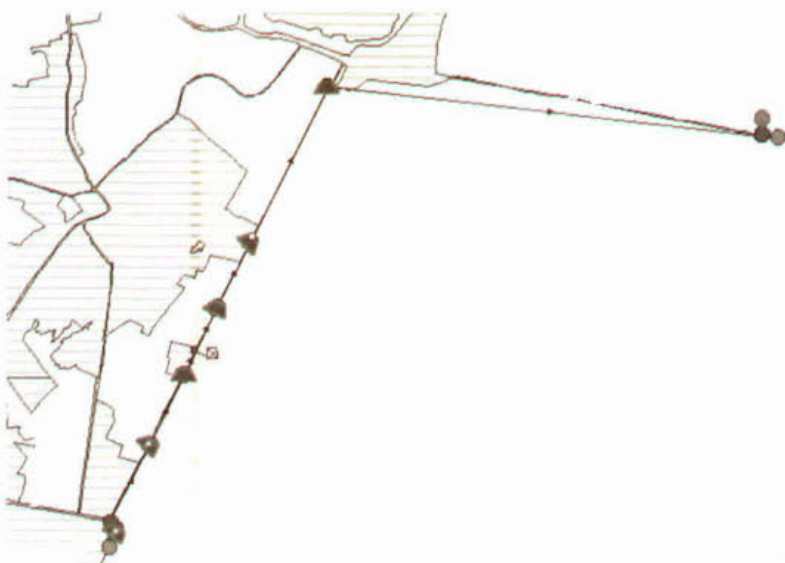
INITIËLE CONDITIES

Kwantiteit: als initiële waterstanden zijn de waterpeilen van de stuwvakken ingevoerd. Er is geen initiële stroming.

Kwaliteit: initieel een laag zuurstofgehalte aangenomen. Op deze wijze zijn na instelling van een evenwicht de effecten van zuurstofinslag bij iedere stuw goed zichtbaar.

figuur 15.3

Netwerk Gooyergracht in DUFLOWIN



RANDVOORWAARDEN

Aan het beginpunt van de Gooyergracht loost de RWZI Hilversum-West. Het debiet van deze lozing en de bijbehorende waterkwaliteit zijn als randvoorwaarden op de beginknoop ingevoerd.

Net voor Blaricum loost RWZI Blaricum haar effluent. Hier is een Qadd aangebracht, met het debiet en de waterkwaliteit van dit effluent.

Op de eindknoop na het gemaal is een vast peil aangebracht (peil van het Eemmeer).

EXTERNE VARIABLE

Er is dit voorbeeld gerekend met een variabele dispersie coëfficiënt. Voor D_0 is 0,5 m^2/s ingevuld, als basisdispersie voor de stromende beek. Voor α_k is een waarde van 0,011 aangehouden.

PARAMETERS

zie zuurstofmodel, hoofdstuk 3

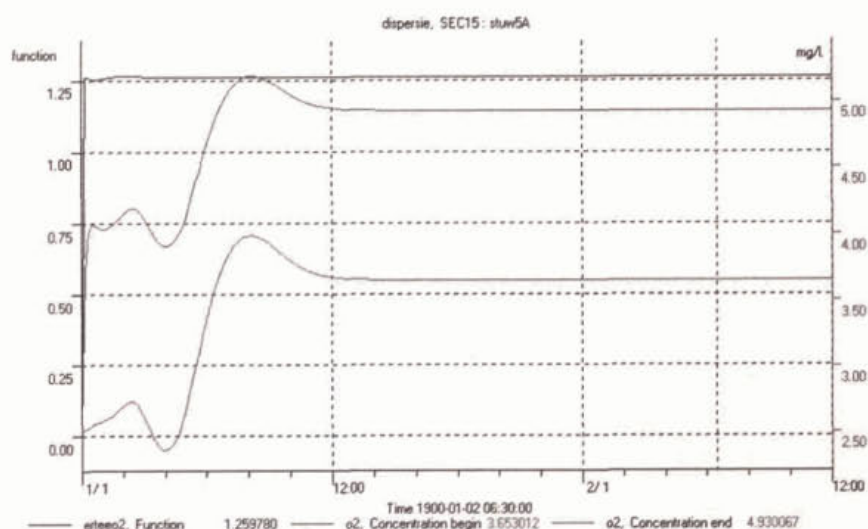
CALCULATION SETTINGS

De rekenstappen zijn proefondervindelijk vastgesteld. De rekestijdstappen zijn afhankelijk van de gehanteerde vaklengte. Hoe groter de gebruikte vaklengte, hoe groter de tijdstap mag zijn, bij dezelfde stroomsnelheid. Hier is gebruikt: flow: 1 minuut, quality: 5 minuten.

15.4.3 Resultaten

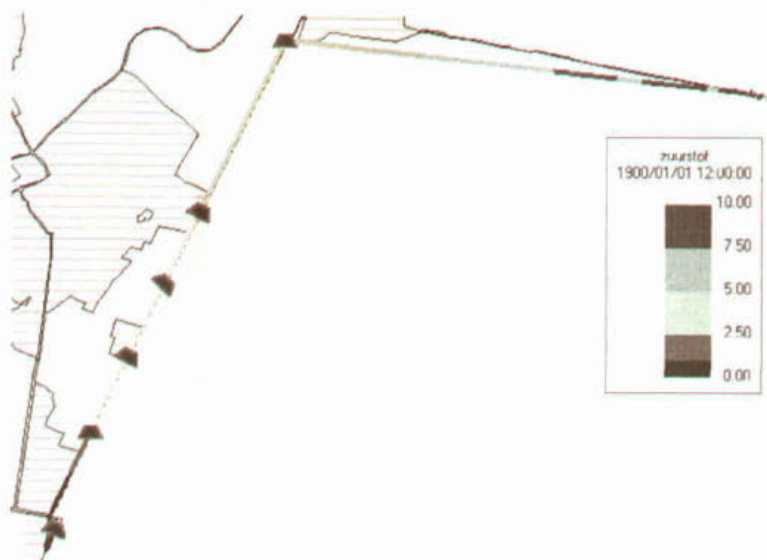
In het voorbeeld van de Gooyergracht blijken niet alle stuwen zuurstof in te slaan. Als een stuw verdrongen is, dat wil zeggen dat het waterpeil benedenstrooms hoger is dan de kruin van de stuw, is er geen sprake van een vrij vallende straal. Er is dan natuurlijk ook geen sprake van een verhoogde beluchting op die stuw. De stuwen met vrij vallende straal blijken goed zuurstof in te slaan. Als voorbeeld is in figuur 15.4 het zuurstofverloop over stuw 5a getoond.

Figuur 15.4 Zuurstofinslag op stuw 5a, Gooyergracht, erteo2 is de deficitratio.

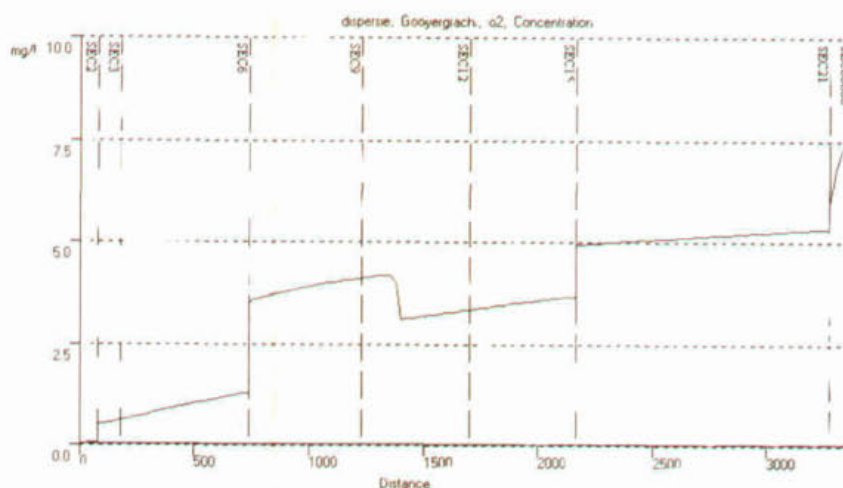


In figuur 15.5 wordt in de presentation mode het zuurstofgehalte aan het eind van de simulatieperiode getoond voor de hele Gooyergracht. Ditzelfde resultaat is in figuur 15.6 weergegeven als space related grafiek.

Figuur 15.5 eindresultaat voor zuurstof in de Gooyergracht, stationaire situatie aan het eind van de simulatieperiode.



Figuur 15.6 eindresultaat voor zuurstof in de Gooyergracht, lengteprofiel aan het eind van de simulatieperiode.



De concentratiesprongen in deze figuren worden veroorzaakt door zuurstofinslag op stuwen. De daling van de concentratie op circa 1400 m wordt veroorzaakt door de lozing van RWZI Blaricum.

Literatuur

Lakso, E., 1987. Aeration at overflow weirs. Publication of the Water and Environment Research Institute. Helsinki, Finland.

Makkinga, A.A., Nieuwenhuis, R.A. en Aalderink, R.H. (1997). Zuurstofinslag bij stuwen. Landbouwniversiteit Wageningen, vakgroep waterkwaliteitsbeheer en aquatische oecologie.

Procesbeschrijvingen stofoverdracht bij kunstwerken

/* MODEL VOOR DE ZUURSTOFHUISHOUDING IN	*/
/* STROMENDE EN STAGNANTE WATERSYSTEMEN	*/
/*	*/
/* Landbouwniversiteit Wageningen	*/
/* Vakgroep Waterkwaliteitsbeheer en Aquatische Oecologie	*/
/* Postbus 8080	*/
/* 6700 DD Wageningen	*/
/*	*/
/* STOWA project uitbreiding procesbeschrijvingen DUFLOW	*/
/*	*/
/* uitbreiding voor zuurstofinslag (stofoverdracht) bij stuwen	*/
/* 1999/2000	*/
/* Hans Aalderink, Arcadis Heidemij Advies bv	*/
/* Rob Nieuwenhuis, Grontmij Advies & Techniek bv	*/
/* Jan Noort, Sepra	*/

WATER O2	[10.0]	mg/l	:Zuurstof
WATER BZV1	[5.0]	mg/l	:Snel afbreekbaar BZV5
WATER BZV2	[5.0]	mg/l	:Langzaam afbreekbaar BZV5
WATER NH4	[1.0]	mg/l	:Ammonium
PARM Klmin	[0.1]	m/day	:Min.stofoverdrachtsconstante stromende systemen
PARM TKI	[1.024]	-	:Temperatuurcoefficient stofoverdracht
PARM Kd1	[0.6]	1/dag	:Snelheidsconstante BZV1 afbraak
PARM Kd2	[0.2]	1/dag	:Snelheidsconstante BZV2 afbraak
PARM Vs1	[1.0]	m/dag	:Sedimentatiesnelheid BZV1
PARM Vs2	[0.2]	m/dag	:Sedimentatiesnelheid BZV2
PARM fd1	[1.0]	-	:Fractie opgelost BZV1
PARM fd2	[1.0]	-	:Fractie opgelost BZV2
PARM KO2	[1.0]	mgO2/l	:Monodconstante O2 remming BZV afbraak
PARM TKd	[1.05]	-	:Temperatuurcoefficient BZV afbraak
PARM Knit	[0.1]	1/dag	:Snelheidsconstante nitrificatie
PARM TKnit	[1.05]	-	:Temperatuurcoefficient nitrificatie
PARM KNO2	[2.0]	mgO2/l	:Monodconstante O2 remming nitrificatie
PARM Beta	[0.001]	(gO2/mg Chl)/(W/m2)	:Zuurstofproductie constante
PARM TSZV	[1.060]	-	:Temperatuurcoefficient SZV
PARM OPTKI	[1.0]	-	:Optie stofoverdracht (0 = stagnerend 1 = stromend)
XT T	[20.0]	oC	:Watertemperatuur
XT SBZV1	[0.0]	g/m2.dag	:Diffuse belasting BZV1
XT SBZV2	[0.0]	g/m2.dag	:Diffuse belasting BZV2
XT SNH4	[0.0]	g/m2.dag	:Diffuse belasting NH4
XT I0	[0.00]	W/m2	:Instraling [PAR] wateroppervlak
XT A	[50.0]	ug Chl/l	:Algenbiomassa
XT SZV	[1.0]	g/m2.dag	:Sedimentzuurstofverbruik
XT W	[0.0]	m/s	:Windsnelheid
FLOW Q	[0.0]	m3/s	:Debiet
FLOW As	[20.0]	m2	:Stroomvoerende doorsnede
FLOW Z	[1.0]	m	:Waterdiepte
/* flow variabelen voor weirs:			*/
flow dt	[1]	s	:tijdstap
flow fallh	[1]	m	:valhoogte
flow hc	[1]	m	:dikte van de waterstraal
flow width	[1]	m	:breedte stuw

```

{
U=ABS(Q/As);
OS=14.652-0.41022*T+0.007991*T*T-0.000077774*T*T*T;
IF (OPTKI==0)
{KI20=0.0864*(8.43*W^0.5-3.67*W+0.43*W*W);}
IF (W<1.82)
{KI20=0.37+0.09*W;}
IF (OPTKI==1)
{KI20=5.33*U^0.67*Z^(-0.85);}
IF (KI20 < Klmin)
{KI20=Klmin;}

KIT=KI20*TKI^(T-20);
KA=KIT/Z;

BZV1U=BZV1/(1-EXP(-Kd1*5));
BZV2U=BZV2/(1-EXP(-Kd2*5));

PO2=Beta*I0*A;
SedO2=-SZV*TSZV^(T-20)/Z;
REAR=KA*(OS-O2);
Nitrif=-4.57*Knit*NH4*TKnit^(T-20)*O2/(O2+KNO2);

BZVox=-Kd1*BZV1U*TKd^(T-20)*O2/(O2+KO2)-Kd2*BZV2U*TKd^(T-20)*O2/(O2+KO2);

k1(O2)=-KA;
k0(O2)=KA*OS+PO2+SedO2+BZVox+Nitrif;
k1(BZV1)=-Vs1*(1-fd1)/Z-Kd1*TKd^(T-20)*O2/(O2+KO2);
k0(BZV1)=SBZV1/Z;
k1(BZV2)=-Vs2*(1-fd2)/Z-Kd2*TKd^(T-20)*O2/(O2+KO2);
k0(BZV2)=SBZV2/Z;
k1(NH4)=-Knit*TKnit^(T-20)*O2/(O2+KNO2);
k0(NH4)=SNH4/Z;

BZV5=BZV1+BZV2;

}

weirs
{
O2S=14.652-0.41022*T+0.007991*T*T-0.000077774*T*T*T;
rt(o2)=max(1,0.866+0.602*(fallh+hc)+0.107*(q/width)^0.21*z^(-1.7)*(fallh+hc)^0.06);
erteo2=max(1,0.866+0.602*(fallh+hc)+0.107*(q/width)^0.21*z^(-1.7)*(fallh+hc)^0.06);
debiet=q;
debperm=q/width;
breedte=width;
valhoogte=fallh+hc;
waterdiepte=z;
}

/* dit laatste was de relatie voor zuurstofinslag op stuwen */
/* deze code tussen accolades wordt voorafgegaan door de term 'weirs' */
/* om aan te geven dat deze code alleen op die plaatsen wordt gebruikt. */
/* waar een vrije val van het water mogelijk is: stuwen en duikers met */
/* de uitstroomopening boven het benedenstroomse waterpeil */
/* O2S wordt in duprol gebruikt als verzadigingsconcentratie */
/* de overige functies dienen ter controle van de dufloberekening */

```