

77088

MATHEMATISCH VOORSPELLINGSMODEL VAN WASDEBIETEN OP DE BELGISCHE MAAS

DEEL 2: HYDRAULISCHE FLOOD-ROUTING

D. VAN ERDEGHEM*

P.A. TROCH

F.P. DE TROCH

Laboratorium voor Hydrologie,

Cultuurtechniek en Agrarische

Waterbouwkunde

Universiteit Gent

*nu: Ingenieursbureau Soresma n.v.

REAL-TIME FLOOD FORECASTING MODEL OF THE BELGIAN PART OF THE RIVER MEUSE

PART 2: HYDRAULIC FLOOD-ROUTING

This second paper of a series of three contributions dealing with the theoretical backgrounds and off-line and on-line results of the real-time flood forecasting model of the Belgian part of the River Meuse discusses the development of the hydraulic flood-routing model. The flood-routing model is based on the full de St.-Venant

equations. A branched network is used to describe the main channels of the River Meuse and the River Sambre. The set of partial differential equations is solved numerically by means of the implicate Preissman scheme and the double sweep algorithm. The calibration of the hydraulic model is based on historical flood events.

1. INLEIDING

Deze bijdrage vormt het tweede deel in een reeks van drie artikelen die handelen over de ontwikkeling en de werking van het mathematisch voorspellingsmodel van wasdebieten op de Belgische Maas.

In deze bijdrage behandelen we het hydraulisch flood-routing model. Steunend op de 1-dimensionale hydrodynamische de St.-Venant vergelijkingen werd de loop van de Maas tussen Chooz (opwaartse randvoorwaarde) en Maaseik (afwaartse randvoorwaarde) gemodelleerd. Door gebruik te maken van een vertakt knooppuntennetwerk kan een gedeelte van de loop van de Sambre (tussen Mornimont en Namen) ook in rekening gebracht worden. De oplossing van het stelsel partiële differentiaalvergelijkingen steunt op het impliciete Preissmann schema. Het aldus bekomen stelsel van algebraïsche vergelijkingen wordt efficiënt opgelost d.m.v. het 'double sweep' algoritme. In het traject Luik-Maaseik spelen de scheepvaartkanalen een niet te verwaarlozen rol in de oppervlaktewaterhydrologie van de Maas. In het flood-routing model worden de scheepvaartkanalen in rekening gebracht als een zijrivier. De afijking van het model steunt op de keuze van de wrijvingscoëfficiënt, die bepaald wordt via de synchronisatie van de berekende en de waargenomen wasgolven. De nauwkeurigheid van het voorspellingsmodel werd uitgetest aan de hand van de simulatie en voorspelling van enkele historische wassen.

2. THEORETISCHE ACHTERGROND

De hydraulische flood-routing beschrijft het probleem van de niet-permanente stroming in een waterloop op een mathematische wijze. Als basis voor de mathematische behandeling van het probleem van de voortplanting van een wasgolf door een rivier kunnen de 1-dimensionale vergelijkingen van de St.-Venant genomen worden. Deze hydrodynamische vergelijkingen beschrijven het genoemde verschijnsel door middel van een wiskundige uitdrukking van het behoud van de massa (continuïteitsvergelijking) en van de hoeveelheid van de beweging (momentumvergelijking).

Het oplossen van St.-Venantvergelijkingen kan steunen op de eindige differentiemethode waarbij de differentiaalvergelijkingen omgevormd worden tot algebraïsche vergelijkingen gebruik makend van een impliciet schema. Het impliciet schema volgens de methode van Preissmann (Mahmood & Yevjevich, 1975) is volgens De Troch (1980) hiervoor een geschikte methode.

Steunend op de methode van Preissmann kunnen de differentiaalvergelijkingen van de St.-Venant uitgewerkt worden tot een stelsel van $2(N-1)$ lineaire algebraïsche vergelijkingen met $2N$ onbekenden. De twee ontbrekende vergelijkingen worden geleverd door de opwaartse en afwaartse randvoorwaarden. Voor de oplossing van het aldus bekomen stelsel van $2N$ vergelijkingen kunnen verschillende technieken aangewend worden. Klassieke methoden als de

Newton-iteratiemethode, de Gauss-eliminatie en andere types van matrix-inversie vertonen het nadeel een uitgebreide geheugencapaciteit en een grote rekentijd te vergen. Het progonka-algoritme, ook bekend als het 'double-sweep' algoritme (Abramov & Andrejev 1963), vertoont de voorgenoemde nadelen niet en is daarom te verkiezen. De randvoorwaarden kunnen onder één van de volgende vormen voorkomen: een waterhoogte in functie van de tijd, een debiet in functie van de tijd of een ijkingskromme. Naast de (uitwendige) randvoorwaarden kan het flood-routing model ook rekening houden met de volgende inwendige voorwaarden:

- bijdrage van een zijrivier (een al dan niet voorspeld hydrogram)
- samenvloeiing van twee takken
- laterale instroming, uniform verdeeld over een riviersegment (tussen 2 knopen)
- een hoogwaterreservoir in verbinding met de rivier

Om het flood-routing model met succes op te starten dienen op het tijdstip $t = 0$ de initiële condities voor alle knopen gekend te zijn. De begintoestand in elke knoop wordt geschat met de vergelijkingen die gelden voor de permanente niet-eenparige stroming (berekening van de verhanglijn) en rekening houdend met de heersende opwaartse en afwaartse randvoorwaarden.

3. FLOOD-ROUTING TOEGEPAST OP DE BELGISCHE MAAS

De keuze van het traject waarover flood-routing wordt toegepast wordt bepaald door de

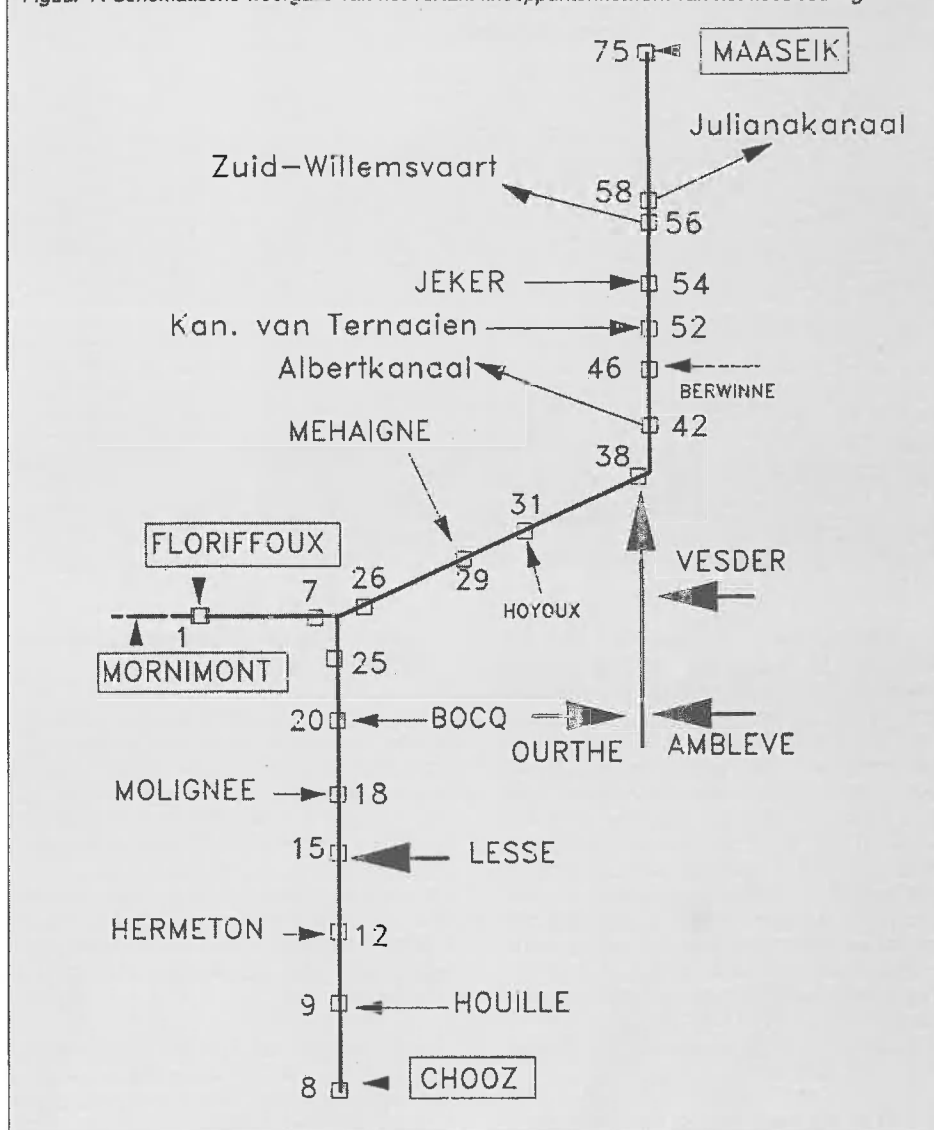
beschikbaarheid van telemetrische stations die in aanmerking komen voor het leveren van de uitwendige randvoorwaarden. Als afwaartse randvoorwaarde werd gekozen voor de ijkingskromme van het meetstation te Maaseik. Aangezien het de bedoeling is de waarden voor het debiet en de waterhoogte te voorspellen, kan men deze niet a priori opleggen en is de keuze van een ijkingskromme als afwaartse randvoorwaarde noodzakelijk. Als opwaartse randvoorwaarde wordt het debiet van het Franse meetstation Chooz genomen. Het debiet wordt bekomen uit de gemeten waterhoogte na omrekening via een éénduidige Q - H relatie.

Alle deelstroomgebieden van de Maas waarvoor een telemetrisch meetstation beschikbaar is, gelegen binnen het traject Chooz - Maaseik, worden als zijrivieren in het flood-routing model in rekening gebracht. Van opwaarts naar afwaarts zijn dit: de Houille, Hermeton, Lesse, Molinee, Bocq, Méhaigne, Hoyoux, Ourthe, Amblève, Vesder, Berwinne en de Jeker.

De Samber als voornaamste zijrivier van de Maas vormt op voorgaande aanpak echter een uitzondering. Daar er geen betrouwbaar meetstation aan de monding van de Samber beschikbaar is, kan de Samber moeilijk als zijrivier in rekening gebracht worden. In plaats daarvan leek het aangezien om voor de Samber eveneens flood-routing toe te passen wat resulteert in een vertakt knooppuntennetwerk (zie figuur 1). De moeilijkheid blijft evenwel om een geschikte opwaartse randvoorwaarde te vinden voor de 'Samber-tak'. Door de aanwezigheid van talrijke stuwen treedt in geen enkel pand van de Belgische Samber nog natuurlijke stroming op. Daardoor kunnen voor de Samber geen éénduidige Q - H relaties (ijkingskrommen) opgesteld worden.

Het probleem wordt echter hydraulisch opgelost door het berekenen van de hydraulische assen uit twee waterpeilmetingen bin-

Figuur 1. Schematische weergave van het vertakt knooppuntennetwerk van het flood-routing model



nen éénzelfde pand. Voorlopig wordt het debiet van het pand Mornimont-Floriffoux,

berekend via hydraulische assen, als opwaartse randvoorwaarde voor de Samber-tak genomen. In de toekomst is het de bedoeling om het berekend debiet in het pand La Buisserie-Fontaine Valmont als opwaartse randvoorwaarde te nemen. Hierbij kunnen dan de real-time bemeten deelbekkens van de Samber in rekening gebracht worden: de Biesme, Eau d'Heure, Bieme en de Orneau.

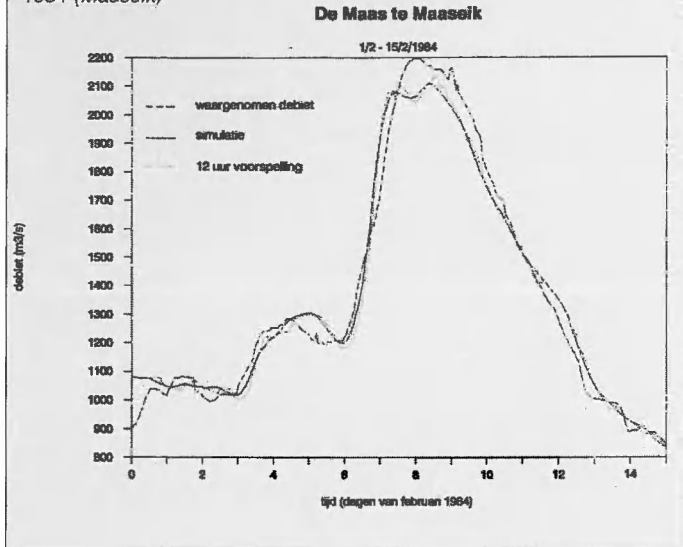


Foto 1: De Maas te Neerharen op 9 februari 1984 (met dank aan DiHO)

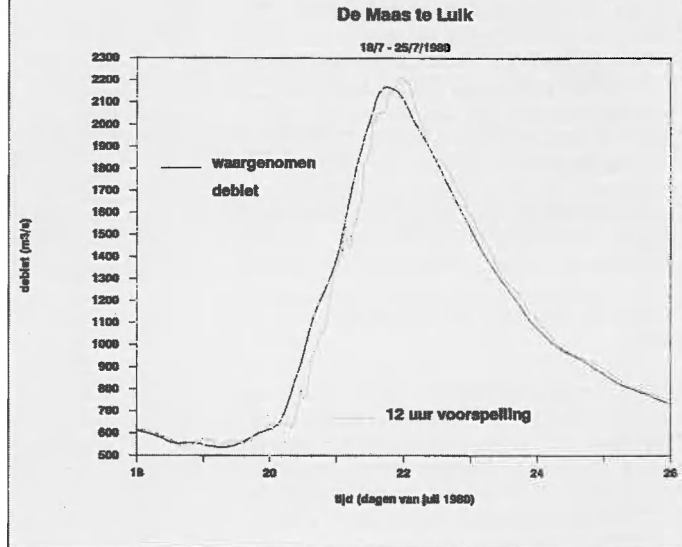
Met het oog op de toepassing van flood-routing over het beschouwde traject Chooz-(Floriffoux)-Maaseik is het noodzakelijk om een knooppuntennet samen te stellen. Het net bevat 75 knopen (zie figuur 1). De afvoer van deelstroomgebieden van de Maas waarvoor geen telemetrisch meetstation beschikbaar is, wordt in rekening gebracht als laterale instroming. Met uitzondering van de Geul zijn dit kleinere zijrivieren zoals de Samson, Burnot, Voer en vele andere beken die in de Maas uitmonden.

Met betrekking tot het traject Luik-Maaseik spelen de scheepvaartkanalen een niet te verwaarlozen rol in de (oppervlaktewater-)hydrologie van de Maas. Op de Maas treden discontinue verliesdebieten (voedingsdebieten voor de kanalen) op bij de ingang van

Figuur 2: 12 uur voorspelling en simulatie van het hoogwater van februari 1984 (Maaseik)



Figuur 3: 12 uur voorspelling van het hoogwater van juli 1980 (Luik)



het Albertkanaal te Monsin, de Zuid-Willemsvaart te Maastricht en het Juliana-kanaal te Borgharen. Anderzijds keert een deel van het verliesdebet naar het Albertkanaal terug naar de Maas, hoofdzakelijk via het kanaal van Ternaaien. De waterbeweging in de kanalen is zeer complex en heeft een groot stochastisch karakter door het uitvoeren van versassingen voor de scheepvaart. De verliesdebieten naar de scheepvaartkanalen zijn tijdstip-gebonden en zeer moeilijk te bepalen. In het flood-routing model worden de scheepvaartkanalen in rekening gebracht als een zijrivier waarbij een gemiddelde waarde voor het debiet wordt aangenomen afhankelijk van het uur en de dag waarvoor de simulatie of de voorspelling wordt berekend.

4. AFIJING VAN HET FLOOD-ROUTING MODEL

De calibratie van het flood-routing model omvat het vastleggen van de wrijvingskarakteristieken voor elke knoop, zodanig dat het berekend hydrogram zo goed mogelijk overeenstemt met het waargenomen hydrogram. Belangrijk is dat vooraf de geometrische karakteristieken van het kanaal zo nauwkeurig mogelijk moeten ingegeven worden. Ook de gegevens omtrent de zijrivieren, laterale instroming, waterreservoirs en kanalen moeten zo goed mogelijk in rekening gebracht worden. Pas daarna kan een geslaagde calibratie doorgevoerd worden, op voorwaarde dat men beschikt over voldoende en betrouwbare meetgegevens. Aangezien enkel Maaseik als een betrouwbaar meetstation kon gebruikt worden, werd een globale afijking aangenomen: éénzelfde wrijvingscoëfficiënt voor alle knopen over het gehele traject. De wrijvingscoëfficiënt (van Manning) wordt bepaald uit de synchronisatie van berekende en waargenomen wasgolven. De globale afijking werd uitgevoerd met de meetgegevens van het hoogwater van februari 1984. De laagste gemiddelde kwadratische afwijking werd bekomen bij een wrijvingscoëfficiënt van Manning met een waarde van $0,038 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$.

5. SIMULATIE EN VOORSPELLING VAN HISTORISCHE WASSEN

In het voorgaande artikel (Deel 1: Neerslag-afvoer modellen) werd beschreven hoe, voor elke bemeten zijrivier, afvoervoorstellingen verkregen worden met behulp van een transfer functie ruis (TFR) model. Anderzijds werd in de voorgaande paragrafen beschreven dat een zijrivier in rekening kan gebracht worden in het flood-routing model. Wanneer beide mogelijkheden worden gecombineerd, dan is het mogelijk om voorspelde afvoeren van de zijrivieren in rekening te brengen.

Aldus ontstaat een 'globaal voorspellingsmodel' dat zowel het flood-routing model als de hydrologische voorspellingsmodellen omvat. Het centrale gedeelte bestaat uit het flood-routing model, waarvoor de TFR-modellen zijn gebouwd. Op die manier worden ook voor de Maas zelf voorspellingsmodellen verkregen door de opwaartse veranderingen en de voorspelde bijdragen van de zijrivieren te 'routen' naar afwaarts toe.

De werking van het globaal voorspellingsmodel wordt gekenmerkt door een simulatiemodus en een voorspellingsmodus. Tijdens de simulatiemodus worden de gemeten debieten van de zijrivieren in rekening gebracht en is de afvoer van de Maas gesimuleerd. Tijdens de voorspellingsmodus worden de voorspelde debieten van de zijrivieren in rekening gebracht en is de afvoer van de Maas voorspeld. Het globaal voorspellingsmodel gaat vanuit de simulatiemodus over naar de voorspellingsmodus. Aangezien de voorspellingshorizont 12 uur bedraagt, worden in de voorspellingsmodus 12 stappen (van 1 uur) doorlopen. Daarna keert het globaal voorspellingsmodel terug naar de simulatiemodus.

De nauwkeurigheid van het voorspellingsmodel werd uitgetest aan de hand van de simulatie en voorspelling van enkele historische wassen. In figuur 2 wordt het gesimuleerde en het 12 uur vooruit voorspelde hydrogram vergeleken met het waargenomen

hydrogram te Maaseik. In figuur 3 wordt voor Luik het waargenomen hydrogram en de 12 uur vooruit voorspelling getoond.

6. BESLUIT

Dit artikel vormt het tweede deel van een reeks van drie bijdragen waarin de theoretische achtergronden en de on-line werking van het ware-tijds voorspellingsmodel van wasdebieten op de Belgische Maas beschreven worden. In dit tweede deel behandelen we het hydraulische flood-routing model dat het centrale deel in het globale voorspellingsmodel vormt. De toekomstige debieten van de verschillende zijrivieren berekend via de stochastische neerslag-afvoermodellen (zie deel 1) worden met behulp van dit flood-routing model doorgerekend tot in de afwaartse knoop (Maaseik). Historische wasgolven werden gebruikt voor de afijking en de verificatie van het hydraulische model. Op deze manier worden betrouwbare voorspellingsmodellen met een looptijd van 12 uur bekomen.

D. VAN ERDEGHEM
Ingenieursbureau SORESMA n.v.
Britselei 23 bus 1
2000 Antwerpen

P.A. TROCH,
F.P. DE TROCH
Universiteit Gent
Laboratorium voor Hydrologie
Cultuurtechniek en Agrarische Waterbouwkunde
Coupure Links 653
9000 Gent

7. REFERENTIES

- ABRAMOV, A.A. & ANDREJEV, V.B. (1963). Application of the Double Sweep Method, Journ. of Appl. Meth. and Math., 3, n° 2.
- DE TROCH, F.P. (1980). Numerieke methoden voor de berekening van de voorplanting van afvoergolven (niet gepubliceerd).
- MAHMOOD, K. & YEVJEVICH, V. (1975). Unsteady Flow in Open Channels, Water Resources Publ., Fort Collins, Colorado.