



Institutionen för vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola

Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology

ISSN 0348 - 1069

SIMULERING AV YTA VRINNING I DAGVATTENSYSTEM

*Grundläggande samband
Kinematisk vågteori
Tid-areametod
Generering av indata
Tillämpning på MOUSE-systemet*

av
Sven Lyngfelt

*Report
Series B:53*

Göteborg 1991



Institutionen för vattenbyggnad
Chalmers tekniska högskola

Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology

ISSN 0348-1069

SIMULERING AV YTAVRINNING I DAGVATTENSYSTEM

***Grundläggande samband
Kinematisk vågteori
Tid-areametod
Generering av indata
Tillämpning på MOUSE-systemet***

***av
Sven Lyngfelt***

Report
Series B:53

Göteborg 1991

Adress: Institutionen för vattenbyggnad
Chalmers tekniska högskola
412 96 GÖTEBORG

Telefon: 031-72 10 00

FÖRORD

I föreliggande rapport ingår två uppsatser:

SIMULERING AV YTVATTENAVRINNING I DAGVATTENSYSTEM MED KINEMATISK VÅGTEORI

och

SIMULERING AV YTVATTENAVRINNING TILL DAGVATTENSYSTEM MED MOUSE-SYSTEMET

Den första uppsatsen behandlar

grundläggande teori för simulering av ytavrinning i urbana områden
tillämpning av kinematisk vågteori för simulering av ytavrinning

Den andra uppsatsen behandlar

allmänt metodik vid generering av indata till urbana avrinningsmodeller
tillämpning av kinematisk vågteori för beräkning av koncentrationstider
metodik vid användning av MOUSE-systemets ytavrinningsmodell

Båda uppsatserna baseras på fältmätningar och modelltester utförda vid institutionen för vattenbyggnad vid CTH. Den första har inte publicerats tidigare medan den andra har publicerats i tidskriften Bygg & Teknik nr 5, Stockholm, augusti 1990.

SIMULERING AV YTVATTENAVRINNING I DAGVATTENSYSTEM MED KINEMATISK VÅGTEORI

INNEHÅLL	sid
Sammanfattning	1
Inledning	1
Grundläggande modeller för avrinning i delområden	3
Den kinematiska vågen - numerisk lösning och dämpning	8
Geometrisk modell för delområdet	10
Delområdesmodellen KW6S i tillämpning	11
Slutsatser	14
Referenser	15

SIMULERING AV YTVATTENAVRINNING I DAGVATTENSYSTEM MED KINEMATISK VÅGTEORI

av

Sven Lyngfelt

Sammanfattning

Valet av numerisk modell och formulering av indata som karakteriserar avrinningsområdets avrinningsegenskaper har avgörande betydelse för resultatet vid simulering av dagvattenavrinning. En metodik föreslås där området delas upp i delområden som vart och ett karakteriseras med sex parametrar. Den numeriska modellen baseras på kinematisk vågteori. Metodiken ger bra resultat vid jämförelse med en mer detaljerad beskrivning av området och utgör därmed ett effektivt sätt att arbeta med avrinningssimulering i urbana områden.

Inledning

Under den senaste 15-årsperioden har datormodeller alltmer kommit att användas för analys och dimensionering av dagvattenförande avloppssystem. Första generationens modeller (t ex ILLUDAS eller NIVANETT) /1/ introducerades under senare hälften av 70-talet och kördes normalt genom uppkoppling till större datacentraler. Persondatorns raska frammarsch under mitten av 80-talet ökade på ett mycket markerat sätt beräkningskapaciteten på den lokala nivån och skapade förutsättningar för en ny generation mer användarvänliga avrinningsmodeller.

Det PC-baserade modellsystem som kommit att dominera inom svensk va-teknik är det sk MOUSE-systemet /2/. Detta karakteriseras främst av en mycket omfattande och tillförlitlig delmodell för simulering av flöden i själva ledningsnätet. Omfattningen medför att för stora dagvattensystem erhålls tämligen långa beräkningstider. Detta kan vara ett skäl att söka generalisera/förenkla beskrivningen av systemet (indata till modellen). Ett annat mer generellt och viktigare motiv är den stora arbetsinsatsen/kostnaden att ta fram och dokumentera data om dagvattensystemen med stor detaljeringsgrad. Trots den mycket snabba utvecklingen av datorers kapacitet och beräkningshastighet kommer det därför under överskådlig tid att finnas ett behov av att förenkla indatasystemen.

De avrinningsmodeller som används i såväl forskningssammanhang som vid analys/dimensionering i praktisk tillämpning är så gott som uteslutande beräkningsmässigt uppdelade i en ytavrinningsdel och en ledningsnätsdel. Vid generering av indata görs motsvarande uppdelning av avrinningssystemet. Som framgår nedan beskriver beteckningarna väl uppbyggnaden av respektive modelldel men inte hur de används. I den normala analysituationen kan man inte beskriva varje enskild yta (t ex takyta eller gatuyta). Vanligen är man också mest intresserad av funktioner hos de centrala delarna av ledningssystemet.

Det är därför naturligt att definiera ett huvudledningssystem som innefattar en del av ledningssystemet från utloppet och uppströms. Eftersom ändpunkterna uppströms i huvudledningssystemet utgör inloppspunkter från delområdena avgör man systemets struktur dvs fördelningen mellan ledningsnät och delområden med valet av huvudledningssystem. Delområdena kommer att innehålla olika typer av ytor, rännstenar och sammanbindande ledningar. Avrinningen simuleras med ytavrinningsmodellen vilket innebär att de hydrauliska egenskaperna hos ett delområde trots dess komplexitet i modellen kommer att beskrivas med endast ett fåtal parametrar. Medan huvudledningssystemet oftast är väl definierat och dokumenterat är motsvarande för delområdena betydligt sämre. Vid formuleringen av indata är struktureringen och valet av parametrar för delområdena det moment där risken för misstag som ger upphov till skillnader mellan verkligt system och modellsystem är störst. Det finns således goda skäl att grundligt överväga dels valet av delområdesmodell vid modelluppbyggnaden dels allmänt vilken metodik och geometri som skall användas vid formuleringen av delområdets indata.

Avsikten med denna artikel är att principiellt diskutera dessa problemställningar samt presentera en delområdesmodell baserad på kinematisk vågteori. Erfarenheter från avrinningsmätningar i urbana områden /3/ visar att de flödesförlopp som är av störst intresse att analysera med urbana avrinningsmodeller (flödesförlopp i samband med intensiva regntillfällen) helt domineras av avrinning från hårdgjorda ytor. Volymförlusten på grund av fuktning/uppfillnad av ojämnheter på denna typ av ytor är liten och beskrivs tillräckligt noggrant som en punktförlust i början av regntillfället. En mycket viktig parameter är däremot storleken på den yta som deltar i avrinningen. Deltagande area och ytmagasin bestämmer helt storleken på den avrunna volymen för ett givet regn. Avrinningsmodellens egenskaper och övriga indataparametrar påverkar enbart fördelningen av vattenmängderna i tid och rum dvs formen på avrinningshydrografen. Kombinationer av numeriska

modeller och struktureringar av indata (val av delområdesmodell) kan därför diskuteras genom jämförelse mellan motsvarande simulerade hydrograferas form.

Det bör påpekas att delområdesmodellen inte är applicerbar på MOUSE-systemet. Artikeln kan uppfattas som ett inlägg i debatten om detta systems framtida utveckling. En metodik avpassad till MOUSE-systemet presenteras i en parallell artikel /3/.

Grundläggande modeller för avrinning i delområden

Simulering av avrinning från delområden kan göras med flera alternativa modellansatser som kan vara mer eller mindre förenklade. Gemensamt för de olika ansatserna är att de kan härledas ur de grundläggande ekvationerna för vattenströmning med fri vattenyta (St Venants ekvationer). Dessa ekvationer skall därför tas som utgångspunkt för diskussionen av lämpliga modeller.

De grundläggande ekvationerna består av en kontinuitetsekvation och en rörelsemängdsekvation. Om vi beskriver tillståndet i ett flödestvärnsnitt med flödet Q och tvärsnittsarean A samt utgår från Mannings formel kan ekvationerna skrivas på följande sätt

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (1a)$$

$$Q = M \cdot A \cdot R^{2/3} \left(\underbrace{S_b - \frac{\partial Y}{\partial x}}_{\text{term för vattenytelutningen}} - \underbrace{\frac{1}{gA} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + \frac{1}{gA} \cdot \frac{\partial Q}{\partial t}}_{\text{dynamiska termer}} \right)^{1/2} \quad (1b)$$

där q är lateralt tillflöde, R hydraulisk radie M Mannings råhetstal, S_b bottenlutning, Y vattendjup samt x och t längd respektive tidskoordinat.

Ekvationssystemet beskriver med hänsyn till de förutsättningar som antas gälla vid härledningen olika typer av flödessituationer förvånansvärt väl /6/. Flödesvariationen som erhålls på ytor och i ledningar orsakade av regn har karaktären av en vågrörelse. Olika ekvationers sätt att beskriva denna vågrörelse har därför fått ge

namn åt desamma. Ekvationerna 1a och b ger en fullständig dynamisk beskrivning av vågrörelsen och kallas därför ofta de dynamiska vågekvationerna.

Ekvationssystemet måste för praktiska applikationer lösas numeriskt. Härvid erhålles en omfattande lösningsalgoritm som i princip ger en mycket noggrann lösning men är känslig (numerisk instabilitet etc) och därmed svår att hantera praktiskt. Noggrannheten och omfattningen av modellen står inte heller i samklang med den tämligen grova förenklingen av delområdets geometri som måste göras. Genom att försumma de dynamiska termerna (ekvation 1b) erhålls ekvationerna för en diffusiv våg, vilka används i kombination med dynamisk våg i t ex MOUSE ledningsnätsmodell. Den diffusiva vågmodellen är mer stabil men kan inte beskriva ett vattensprängs rörelser och profil.

Försummas även termen för vattenytans lutning ($\partial Y/\partial x$) erhålls ekvationerna för en kinematisk våg

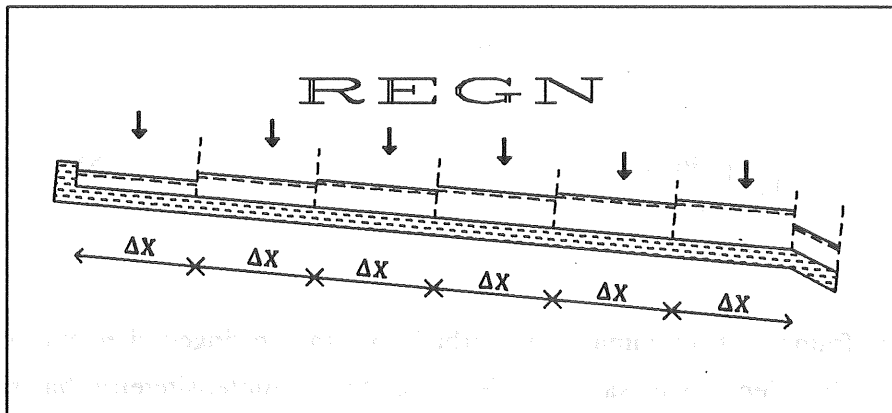
$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (2a)$$

$$Q = M \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S_b^{1/2} \quad (2b)$$

Jämfört med ekvationerna för diffusiv våg förenklas beräkningsalgoritmen härvid väsentligt. Dessutom erhålls ett entydigt samband mellan Q och A och den numeriska lösningen kan formuleras så att inga randvillkor nedströms erfordras. Det senare innebär att modellen inte beaktar dämning. Trots den relativa enkelheten ger den kinematiska vågmodellen en god beskrivning av vattenhastigheterna i systemet (förutsatt att dämningen inte är signifikant) – en mycket väsentlig modellegenskap.

De kinematiska vågekvationerna måste för praktiska fall lösas numeriskt. Den fysikaliska tolkningen av den numeriska lösningen ges i figur 1. För varje beräkningssektion Δx sker strömningen likformigt under ett tidssteg Δt .

Ytterligare förenklingar kan göras på i princip två sätt; antingen låses våghastigheten i tiden (motsvarande Tid–area metod) eller i rummet (motsvarande Reservoar– eller Magasinsmodell):



Figur 1 Fysikalisk tolkning av de kinematiska vågekvationernas numeriska lösning.

Första fallet motsvarar den numeriska lösningen av kinematisk våg med valet $\Delta x = L$ (jämför figur 1). För ett prismatiskt tvärsnitt som ett rör eller en yta är den magasinerade volymen $s = L \cdot A$ och ekvationerna 2a och 2b kan därmed skrivas på följande enkla form

$$ds = (Q_{in} - Q_{ut}) \cdot dt \quad (3a)$$

$$s = c_1 \cdot (Q_{ut})^{c_2} \quad (3b)$$

dvs Magasins- eller Reservoarmodellens ekvationer.

Om våghastigheten istället antas konstant i tiden kan följande ekvation härledas ur ekvation (2), se /5/

$$Q(L,t) = \int_{t-t_c}^t \frac{dA_c(t-\tau)}{d\tau} i(\tau) d\tau \quad (4)$$

där A_c är deltagande avrinningsyta, t_c den tid som åtgår för samverkan i området för ett regn med en föreskriven intensitet, $i(t)$ regnets intensitet. Ekvation (4) utgör Tid-areametodens matematiska formulering på kontinuerlig form. Lösningen förutsätter att $dA_c(\tau)/d\tau$ (tid-area kurvan) samt t_c är kända.

Om tid–areakurvan antas växa linjärt är $dA_c(\tau)/d\tau$ konstant och ekvation (4) kan skrivas

$$Q(L,t) = \frac{A_c}{t_c} \int_{t-t_c}^t i(\tau) d\tau \quad (5)$$

Av ekvation (5) framgår att maximalt flöde erhålls om integreringen sker över ett tidsintervall med längden t_c valt så att medelvärdet för regnintensiteterna har sitt maximala värde i_{max}

$$Q(L,t_c)_{max} = A_c \cdot i_{max} \quad (6)$$

Ekvation (6) kan därmed användas som överslagsmetod för beräkning av maxflöden eller oberoende kontroll av resultat från datorberäkningar. Ekvationen används traditionellt med statistiskt bestämda regnintensiteter för dimensionering av ledningssystem – den sk Rationella metoden.

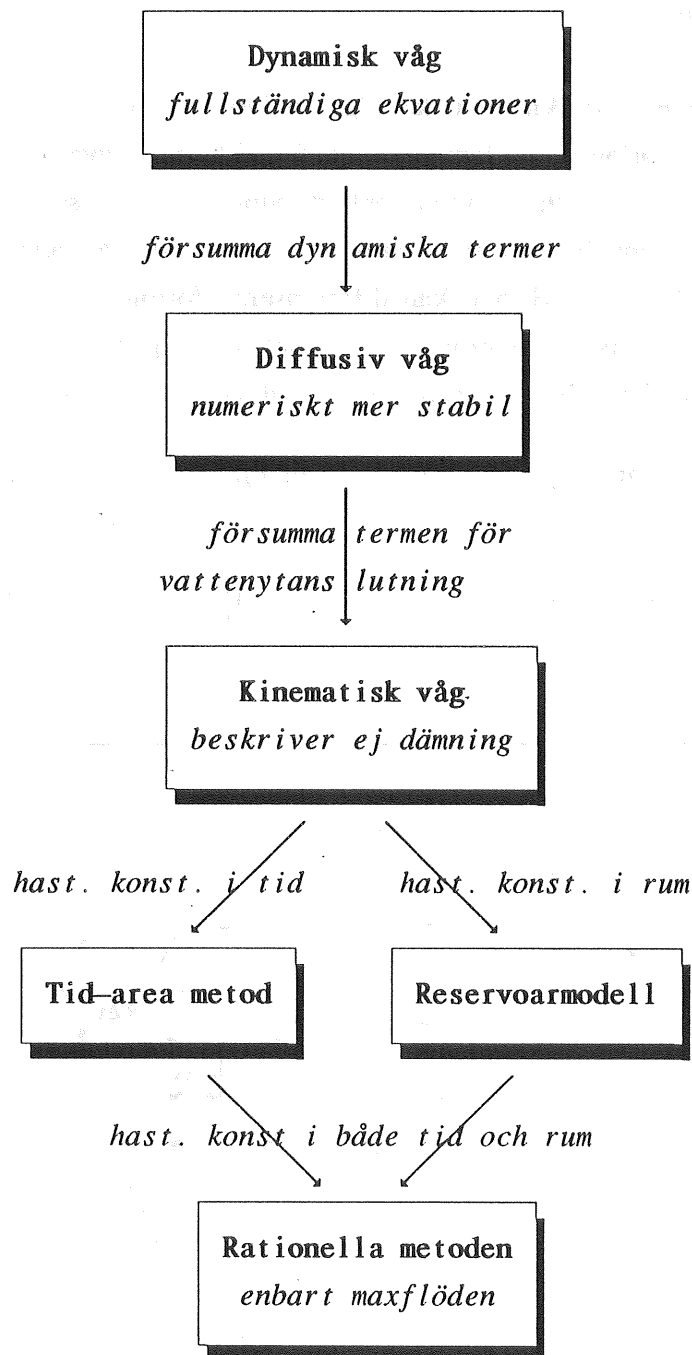
Parametrarna i Magasinsmodellen kan som framgår av ovan härledas ur t ex Mannings formel. Empiriska samband mellan parametrarna och geometriska uppgifter (såsom lutning, flytlängd etc) för mindre ytor finns också publicerade /4/. För ett normalt sammansatt delområde behöver emellertid kalibrering mot nederbörds/avrinningsmätningar utföras.

Tid–areametodens parameter t_c gäller egentligen bara för en flödessituation. När ett varierande flöde skall simuleras är det därför inte möjligt att anpassa denna så att överensstämmelse erhålls för hela förloppet.

Utgångspunkten för delområdesmodellering måste vid praktisk tillämpning vara att mätvärden för kalibrering av det enskilda delområdet saknas. Det är då viktigt att delområdesparametrarna har en fysikalisk innebörd. En förenkling av grund-ekvationerna mot den nivå som representeras av Magasinsmodellen eller Tid–areametoden ger uppenbarligen svårigheter i det här avseendet. Med hänsyn till att kinematisk vågteori inte erbjuder några egentliga svårigheter att använda ur lösningsteknisk synpunkt jämfört med ovan nämnda modeller framstår denna som den bäst avvägda modelltekniken för simulering av avrinning i delområden.

Nedan diskuteras därför simulering av avrinning i delområden enbart med utgångspunkt från de kinematiska vågekvationerna.

De olika modellansatser som diskuterats i detta avsnitt sammanfattas i figur 2.



Figur 2 Förenklade avrinningsmodeller och deras koppling till de grundläggande ekvationerna.

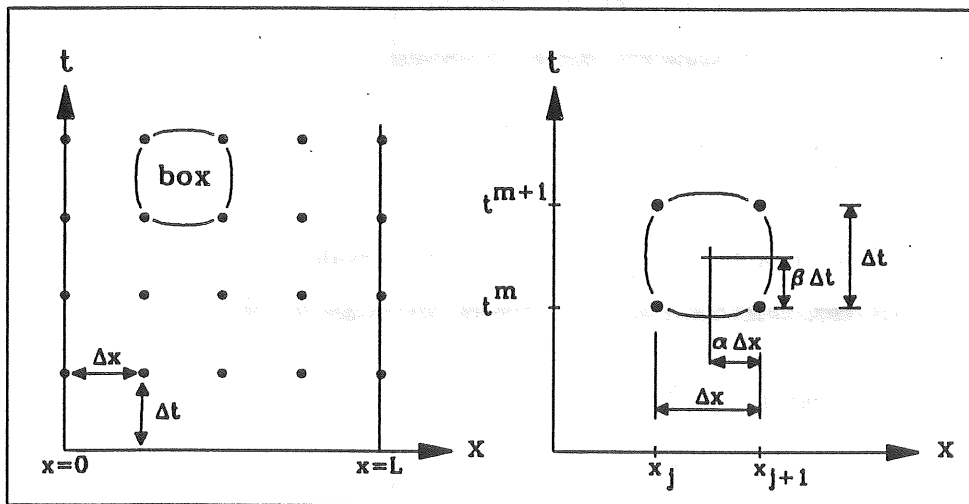
Den kinematiska vågen – numerisk lösning och dämpning

Den numeriska lösningen av ett system av differentialekvationer innebär att obekanta variabelvärden (här Q och A) bestäms i diskreta punkter i tid och rum. Differentialekvationens termer överförs till differenser mellan dessa punkter (differentiering). Differensbildningen kan ske på olika sätt och illustreras bäst i ett tid-rum plan enligt figur 3a.

Den numeriska lösningen av de kinematiska vågekvationerna erhålls via differentiering av kontinuitetsekvationen. En lämplig form för differentieringen ges av det sk boxschemat (figur 3a). I detta utnyttjas enbart punkter ett tidssteg och/eller längdsteg framåt, vilket innebär att fyra punkter i x - t -planet används i varje beräkningssteg, $m, m+1, j, j+1$. Härvid kan differenserna formuleras så att olika mycket hänsyn tas till de olika punkterna i x - t -planet. Detta görs med viktningsfaktorena α och β enligt figur 3b. Termerna i kontinuitetsekvationen ges då av

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \left(\beta(Q_{j+1}^{m+1} - Q_j^{m+1}) + (1-\beta)(Q_{j+1}^m - Q_j^m) \right) / \Delta x \quad (5a)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} = \left(\alpha(A_j^{m+1} - A_{j+1}^m) + (1-\alpha)(A_{j+1}^{m+1} - A_{j+1}^m) \right) / \Delta t \quad (5b)$$



Figur 3 Tid-rum-plan med boxschema (a), samt boxschema med viktningsfaktorer (b).

För $\alpha = 0.5, \beta = 0.5$ erhålls lika stor vikt för alla punkterna, medan $\alpha = 0, \beta = 1$ innebär att inflytandet från punkten $(j; m)$ helt försummas (lösningsschemat för

tex RRL-metoden /6/).

Friktionen gör att en flödesvåg över en yta eller i ett ledningssystem efterhand dämpas. Denna dämpning beskrivs väl med dynamisk och diffusiv vågmodell medan den kinematiska teoretiskt inte kan beskriva någon dämpning alls. I praktiken är detta ingen avgörande nackdel för den senare. Skälet är att den dämpning som orsakas av friktionen är förhållandevis liten. Det faktum att en flödesvåg nedströms i system normalt framstår som utflackad jämfört med motsvarande våg i uppströmsänden förklaras främst av denna genereras av 'tillflöden' med olika tillrinningstider (trädformade system). Viktigast är därför modellens förmåga att korrekt återge vattenhastigheter. På denna punkt har den kinematiska vågmodellen egenskaper fullt jämförbara med de mer avancerade, och har därmed ett viktigt principiellt försteg framför Magasinsmodellen och Tid-areametoden.

Den numeriska lösningen skapar en artificiell dämpning som i huvudsak styrs av $\Delta x/L$. Ju större $\Delta x/L$ desto större artificiell dämpning. Som nämnts ovan är den verkliga dämpningen förhållandevis liten och motsvarar uppskattningsvis $\Delta x/L \approx 1/15$. Detta medför stora krav på den beräkningsmässiga geometriska upplösningen och innebär att problemet i praktiken är att hålla den numeriska dämpningen på lägsta möjliga nivå. Det ovan diskuterade boxschemat erbjuder härvid en möjlighet att avväga dämpningen med någorlunda hanterbara val av Δx ; dämpningen påverkas även av valet av de numeriska parametrarna α och β . Enligt Lyngfelt /5/ erhålls en för praktisk tillämpning tillräckligt väl avvägd dämpning med $\Delta x/L = 1/4$ i kombination med α och β värden enligt tabell:

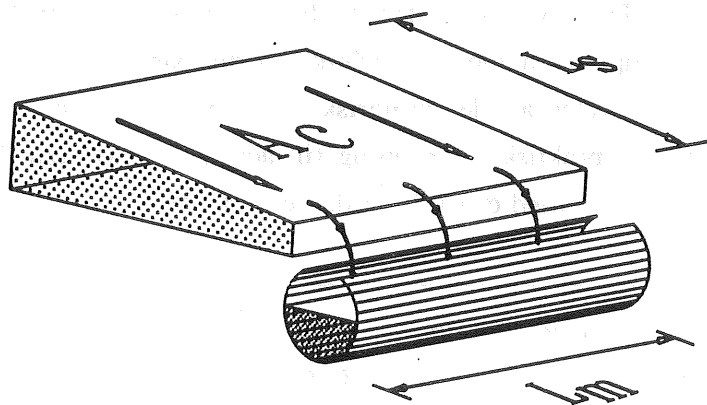
Δt (s)	L (m)	α	β
30	>15	0.5	0.61
30	10	0.5	0.66
30	5	0.5	0.71
60	>15	0.5	0.72
60	10	0.5	0.77
60	5	0.5	0.82

Av ovanstående framgår att Magasinsmodellen ($\Delta x = L$) ger alltför stor dämpning. Detta kan delvis kompenseras genom val av tex lägre råhetsvärde. Härvid erhålls emellertid en överskattning av våghastigheten som i ett förgrenat nät ger andra

dämpningseffekter.

Geometrisk modell för delområdet

Uppdelningen i huvudledningsnät och delområden medför en möjlighet att sammanfatta delområdets avrinningsegenskaper i ett fåtal parametrar. Vid användning av kinematisk vågteori är det både möjligt och lämpligt att ge alla dessa parametrar en fysikalisk innebörd (längd, lutning etc). Härvid är många olika schablonmässiga geometriska utformningar tänkbara. Ett alternativ framgår av figur 2 och utgörs av en rektangulär yta som avvattnas mot en enkel ledning. Den enkla ledningen representerar det huvudsakliga ledningsstråket i delområdet och beskrivs med parametrarna längd L_m , lutning $S_m = \Delta H / L_m$ och diameter D_m . Den rektangulära ytan (parametrar; deltagande area A_c , längd L_s och lutning S_s i flytriktningen) approximerar ytor rännstenar och grenledningar. Modellen har fått beteckningen KW6S eftersom den är anpassad för kinematisk vågteori, beskrivs med 6 parametrar och innehåller en ledningsdel (eng. sewer). Modellen har i jämförande tester med andra alternativa standardgeometrier visat sig ha en väl avvägd uppbyggnad /5/.



Figur 4 KW6S-modellen – en geometrisk representation av delområdet.

Om ledningsnätet är utpräglat förgrenat kan KW6S-modellen tillämpas på varje gren. Praktiskt kan de 6 parametrarna bestämmas på följande sätt;

- välj en huvudsträckning på delområdets ledningsnät
- uppskatta längd, medellutning för delområdets huvudledning ur kartmaterial

- välj en representativ flytväg för tillrinningen fram till delområdets huvudledning. Denna kan tänkas innehålla en yta (L_s), en rännsten (hängränna etc) (L_g) och en ledning (L_p).
- uppskatta ovan nämnda parametrar för respektive enhet
- beräkna den rektangulära ytans flytlängd med sambandet enligt nedan (förutsätter att verkliga ytan har samma lutning som KW6S modellen)

$$(L_s)_{KW6S} = \left(L_s^{3/5} + C_1 \cdot L_g^{3/4} + C_2 \cdot L_p^{3/4} \right)_{verkl}^{5/3} \quad (6)$$

med

$$C_1 = C_3 \cdot i^{3/20} \cdot S_s^{3/10} \cdot S_g^{-3/8} \cdot L_s^{-1/4}$$

$$C_2 = C_4 \cdot i^{3/20} \cdot S_s^{3/10} \cdot S_m^{-3/8} \cdot A_c^{-1/4}$$

där

$$C_3 = n_g^{3/4} \cdot (4(1/z+z))^{1/4}$$

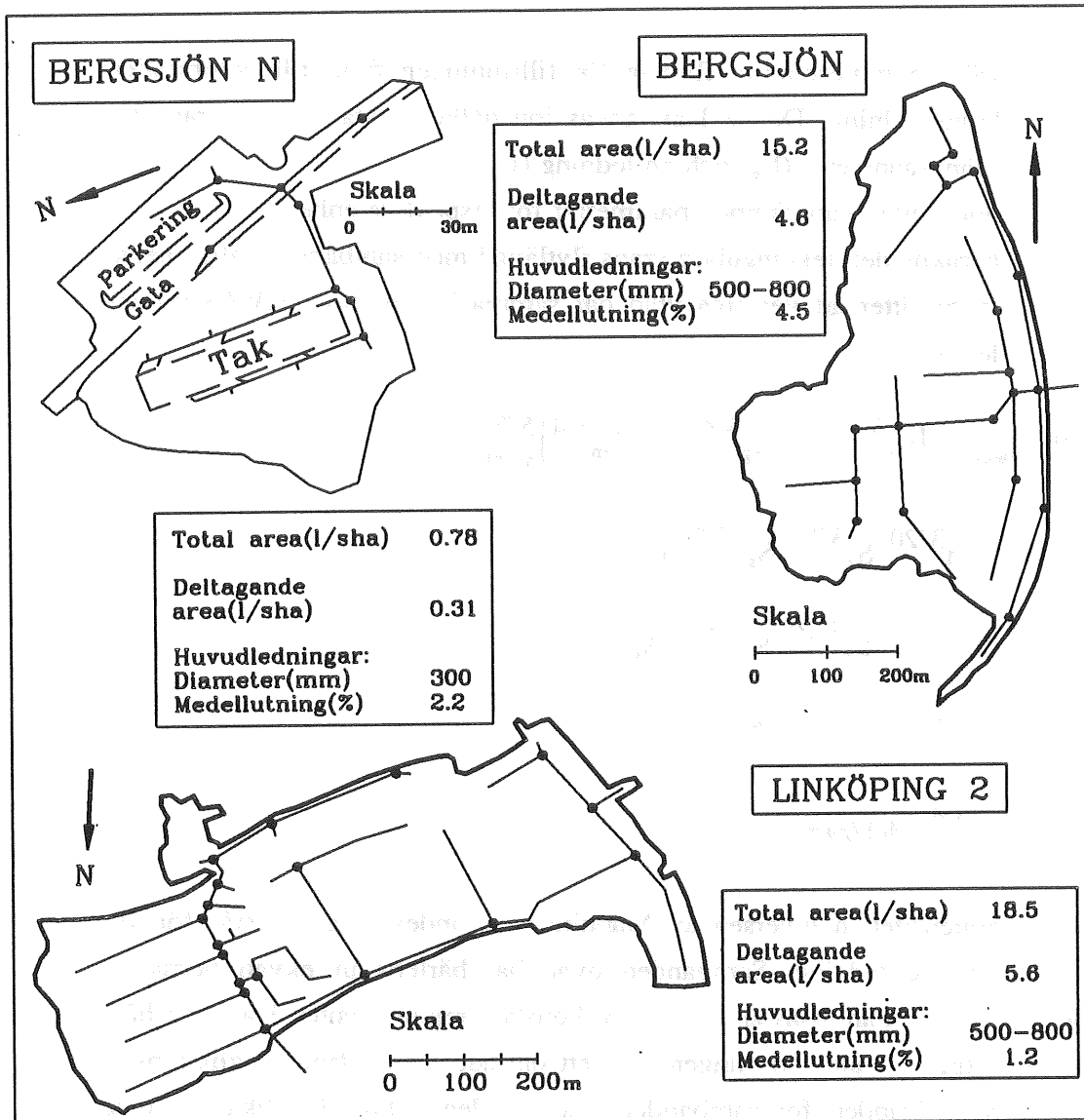
$$C_4 = n_p^{3/4} \cdot (4(1/z+z))^{1/4}$$

där i är regnintensitet, n inversen av Mannings tal, index s , g , m , står för yta, rännsten respektive ledning. Sambanden ovan har härletts ur ekvationerna för kinematisk våg som kan lösas analytiskt för konstant regnintensitet. Härvid erhålls den tid som åtgår för att avrinningen från ett område under denna regnintensitet skall samverka. Grunden för sambandet 6 är att denna tid sätts lika för ovan nämnda representativa flytväg och modellens rektangulära yta /5/. C_4 och C_5 sammanfattar rännstenens form och ytråheten som man normalt inte varierar från område till område. Parametrarna kan för normala svenska områden ges värdena 0.058 respektive 0.036.

Delområdesmodellen KW6S i tillämpning

KW6S-modellens förmåga att simulera avrinning från ett godtyckligt avrinningsområde undersöktes genom att KW6S-simuleringar jämfördes med motsvarande baserade på en mycket detaljerad beskrivning av avrinningsområdet. I den senare simulerades i princip avrinningen från varje yta och i varje rännsten och ledning med hjälp av kinematisk vågteori.

Som underlag för jämförelsen användes de tre områden som beskrivits i figur 5. Områdena är att betrakta som normala bostadsområden. Relevansen av den noggranna modellen har visats genom jämförelse mellan simulerade och uppmätta



Figur 5 Avrinningsområdena Bergsjön N, Bergsjön och Linköping 2.

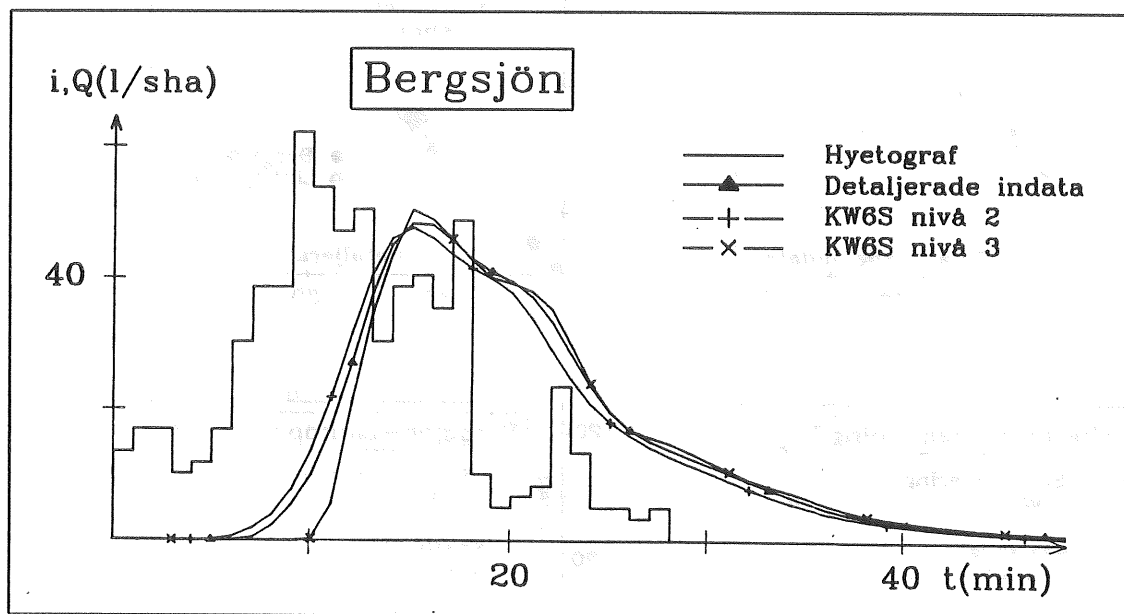
flöden för ett antal nederbördstillfällen /5/. I jämförelsen mellan KW6S och den detaljerade modellen har motsvarande verkliga nederbördstillfällen använts.

De två större områdena har med den metod som redovisats i föregående avsnitt delats in i delområden så att tre struktureringsnivåer erhållits:

- Nivå 1 storleksordningen 2ha (varav c:a 0.5ha deltagande yta)
- Nivå 2 storleksordningen 7ha (varav c:a 2ha deltagande yta)
- Nivå 3 storleksordningen 16ha (varav c:a 5ha deltagande yta)

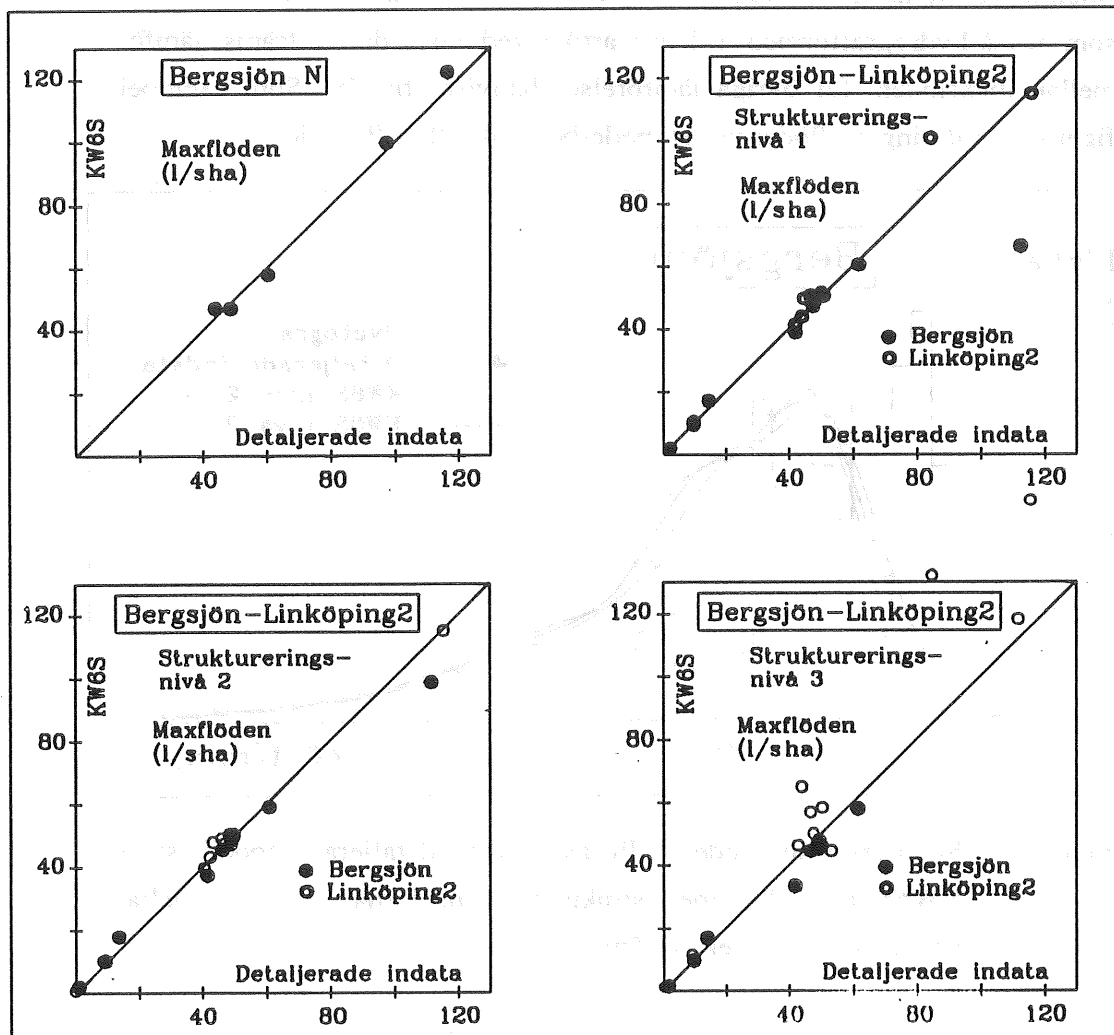
Parametrar av intresse för bedömningen av simuleringarna är; formen på hydrograferna samt nivåer och motsvarande tidpunkter för maximala flöden. Simuleringarna visade allmänt på en god koppling mellan dessa parametrar – vid en bra

överensstämmelse mellan flödestopparnas nivåer var också tidsöverensstämmelsen god liksom också hydrografformen. I denna artikel redovisas därför främst jämförelsen mellan maxflöden, för övriga jämförelser hänvisas till /5/. Som exempel visas i figur 6 simulering av flödet vid ett nederbördstillfälle i Bergsjön.



Figur 6 Simulering av flöden i Bergsjön med detaljerad modell, samt KW6S-modellen med struktureringsnivåerna 2 och 3 (deltagande area 2 respektive 5ha).

I figur 7 har maxflödena erhållna vid simulering med dels den detaljerade modellen dels KW6S-modellen plottats mot varandra. Av figuren framgår att överensstämmelsen på alla struktureringsnivåer är förvånansvärt god. Inte förrän vid nivå som svarar mot en deltagande yta för delområdena av 4ha (total yta c:a 15–20ha) tenderar spridningen att öka. Allmänt visar undersökningen på en svag men märkbar försämring av simuleringsresultatet vid ökad områdesstorlek (figur 6). Jämförelserna pekar inte på någon egentlig övre gräns för hur stora delområden som kan väljas vid användning av KW6S-modellen. För en fix indelning av ett område i delområden är i princip noggrannheten i flödessimuleringen större i nedströmsänden än uppströms vid översta inloppspunkten – noggrannheten ökar relativt sett nedströms i huvudledningsnätet. Struktureringsnivå bör därför knytas till var i huvudledningssystemet man är intresserad att analysera flödet. Den längst uppströms belägna analyspunkten bör ligga åtminstone ett par inloppsbrunnar nedströms första inloppspunkten på huvudledningsnätet. Det finns ofta en naturlig strukturering av ett avrinningsområde som underlättar bestämningen av delområdesparametrarna.



Figur 7 Jämförelse mellan maximala flöden genererade med dels detaljerad indatabeskrivning, dels med KW6S-modellen för tre struktureringsnivåer.

Slutsatser

För simulering av avrinning i delområden fram till huvudledningsnätet framstår kinematisk vågteori ur både teoretisk och praktisk synpunkt som en lämplig modellnivå.

Vid modelltillämpning är det vanligtvis nödvändigt att beskriva avrinningsområdets fysiska uppbyggnad på ett förenklat sätt. Detta kan göras genom indelning i delområden där varje delområde beskrivs med den sk KW6S-modellen dvs med 6 parametrar.

Ett bra simuleringsresultat kan på detta sätt erhållas men förutsätter då att modellens parametrar noggrant övervägts. Detta kan göras med utgångspunkt från kartmaterial och enkla fältobservationer. Det bör påpekas att första förutsättningen för ett bra simuleringsresultat är att storleken på de ytor som deltar i avrinningen kartlagts ordentligt.

Med den modellteknik som föreslås kan delområdenas storlek väljas nästan obegränsat stora (enkel och snabb indatauppsättning). Detaljeringsgraden i struktureringsnivån avgörs snarast av att man behöver analysera huvudledningsnätet fram till en viss nivå uppströms.

Referenser

- /1/ Sjöberg et al., Manual för ILLUDAS. Ett datorprogram för analys av dagvattensystem. Institutionen för vattenbyggnad, Chalmers tekniska högskola. Series B:14. Göteborg 1978.
- /2/ Lindberg S., Willemoës-Jørgensen T. Modelling of Urban Storm Sewer Systems. International Symposium on Comparison of Urban Drainage Models with Real Catchment Data, Dubrovnik 1986.
- /3/ Lyngfelt S. Simulering av ytavrinning med modellsystemet MOUSE. Tidskriften Bygg & Teknik, Stockholm, juni 1990.
- /4/ Falk, J. Niemczynowicz, J. Modellerings av avrinning från impermeabla ytor. Lunds Universitet, Institutionen för teknisk vattenresurslära, Report No 3024, Lund 1978.
- /5/ Lyngfelt S. On Urban Runoff Modelling. The Application of Numerical Models Based on the Kinematic Wave Theory. Chalmers tekniska högskola, Institutionen för vattenbyggnad. Series A:13. Göteborg 1985 (på engelska).
- /6/ Sjöberg A. Beräkning av icke stationära förlopp i reglerade vattendrag och dagvattensystem. Chalmers tekniska högskola, Institutionen för vattenbyggnad Report Series A:6. Göteborg 1976.

SIMULERING AV YTVATTENAVRINNING TILL DAGVATTENSYSTEM MED MOUSE-SYSTEMET

INNEHÅLL	sid
Sammanfattning	1
Inledning	1
Strukturering av delområden	2
Bestämning av aktiv avrinningsyta och initialförlust	3
Tid - areametoden	5
Magasinsmodellen	9
Tid - areametoden i tillämpning	10
Slutsatser	13
Referenser	14

SIMULERING AV YTVATTENAVRINNING TILL DAGVATTENSYSTEM MED MOUSE-SYSTEMET

av

Sven Lyngfelt

Sammanfattning

Strukturering och formulering av områdesindata är av avgörande betydelse för resultatet vid simulering av dagvattenavrinning. En metodik för generering av indata till dagvattenmodeller beskrivs. Denna är anpassad till MOUSE-systemet som använder Tid-areametod alternativt Magasinsmodell för modellering av avrinningen från delområden. Då någon av dessa metoder tillämpas i nästan alla modellsystem kan den beskrivna metodiken betraktas som generellt tillämpbar.

Inledning

De flesta modeller för simulering av dagvattenavrinning (inklusive MOUSE-systemet) består av en ytavrinningsdel och en ledningsnätsdel. Beteckningarna beskriver väl uppbyggnaden av respektive modelldel men inte hur de används. I den normala analysituationen kan man inte beskriva varje enskild yta (t ex takyta eller gatuyta). Vanligen är man också mest intresserad av olika funktioner hos de centrala delarna av ledningssystemet. Det är då naturligt att definiera ett huvudledningssystem som innefattar en del av ledningssystemet från utloppet och uppströms. Eftersom ändpunkterna uppströms i huvudledningssystemet utgör inloppspunkter från delområdena avgör man med valet av huvudledningssystem systemets struktur dvs fördelningen mellan ledningsnät och delområden.

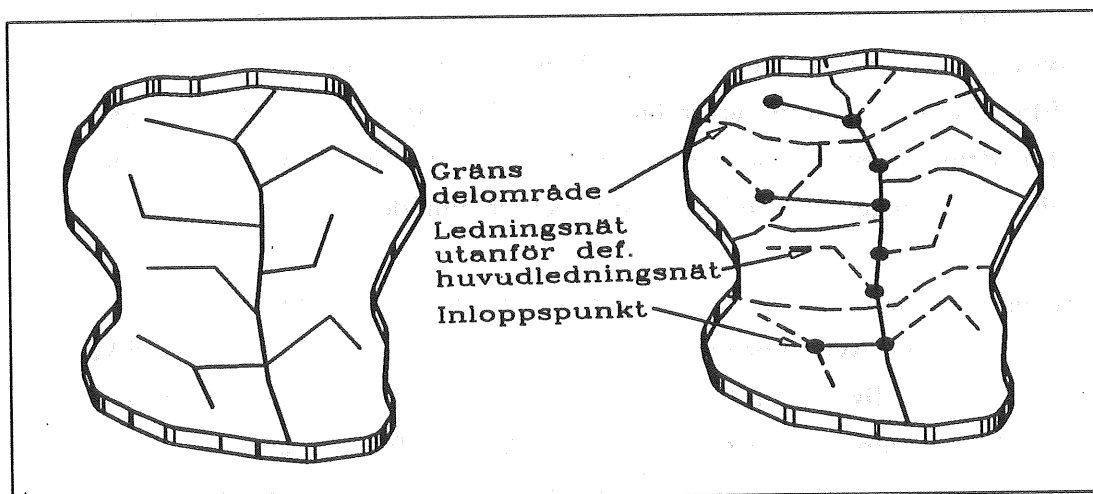
Delområdena kommer att innehålla olika typer av ytor, rännstenar och sammanbindande ledningar. Avrinningen simuleras med ytavrinningsmodellen vilket innebär att de hydrauliska egenskaperna hos ett delområde trots dess komplexitet i modellen kommer att beskrivas med endast ett fåtal parametrar. Medan huvudledningssystemet oftast är väl definierat och dokumenterat är motsvarande för delområdena betydligt sämre. Vid formuleringen av indata är struktureringen och valet av parametrar för delområdena därför det moment där risken för misstag som ger upphov till skillnader mellan verkligt system och modellsystem är störst.

Avsikten med denna artikel är att beskriva och diskutera lämplig metodik vid generering av relevanta indata för simulering av avrinning från delområden. En sådan metodik måste naturligtvis relateras till den simuleringsmodell som skall användas. I en parallell artikel /1/ analyseras alternativa delområdesmodeller och en metodik vid användning av kinematisk vågteori presenteras. Utgångspunkten i den här artikeln är att beskriva en metodik anpassad för MOUSE-systemet. I MOUSE-systemet finns två alternativa delområdesmodeller; Magasinsmodellen och Tid-areametoden. Teorin för dessa metoder och deras koppling till andra modeller diskuteras också i nämnda artikel.

Eftersom Magasinsmodellen eller Tid-areametoden utgör delområdesmodell i stort sett i alla tillgängliga modellsystem kan den metodik som beskrivs här betraktas som generell och applicerbar på de flesta modellsystem.

Strukturering av delområden

Genom valet av huvudledningssystem definieras delområdenas utloppspunkter; se figur 1. Ju längre uppströms huvudledningssystemets ändpunkter förläggs desto mindre delområden erhålls, vilket ökar noggrannheten i simuleringarna. Samtidigt erhålls emellertid också längre beräkningstider men framför allt ett stort merarbete med framtagning och inläsning av indata. En effektiv modellanvändning kräver med andra ord en balanserad strukturering.



Figur 1 Vänster; avrinningsområde med dagvattensystem. Höger; samma område med huvudledningssystem (heldraget), inloppspunkter och delområdenas ledningsnät (streckat) inlagda.

Det går inte att fastslå några generella regler för vilken nivå på struktureringen som skall väljas i olika situationer. Faktorer som bör beaktas är områdets avrinningsegenskaper, avsikten med analysen och vilken delområdesmodell som skall användas. Nedan ges några synpunkter och "exempel".

Om flyttiderna i huvudledningssystemet är förhållandevis långa kan delområdena göras större (t ex om de centrala delarna är flacka). Flyttiderna i delområdena bör helst vara mindre än hälften av områdets totala flyttid. Normalt är man intresserad av förhållandena i olika delar av huvudledningssystemet och inte bara utloppspunkten. Den längst uppströms belägna analyspunkten bör därför ligga på åtminstone något avstånd från längst uppströms belägna inloppspunkten (figur 1). En vanlig synpunkt är att effekten av en dålig delområdessimulering jämnas ut och försvinner nedströms i systemet. Detta stämmer i system med förhållandevis långa flyttider i huvudledningen. I snabbare system kan sammanlagringen av delområdeshydrograferna, dvs avrinningens tidsförlopp i delområdena och de perifera delarna av huvudledningssystemet, ha en avgörande betydelse för flödesutvecklingen i den centrala delen.

Allmänt ställer analyser där de dynamiska egenskaperna hos modellen är viktiga (t ex analys av höga korttidsbelastningar – typ dimensionering av ledningssystem) högre krav på detaljeringsgrad i struktureringen. I andra typer av analyser har tidsförloppet något mindre betydelse medan volymerna är fortsatt viktiga (t ex analys av utjämningsmagasin). Här kan större och mindre noggrant modellerade delområden eventuellt användas.

En viktig faktor är också hur väl ytavrinningsmodellen speglar avrinningen från delområdena. Med en väl utvecklad modell i kombination med väl underbyggda områdesdata kan större delområden användas.

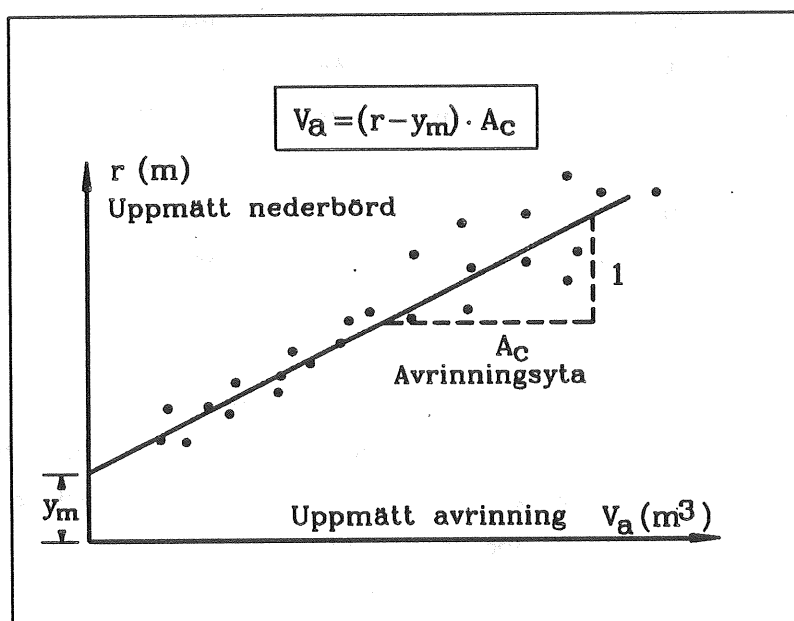
Bestämning av aktiv avrinningsyta och initialförlust

Det regn som faller över ett delområde kommer endast till en del att nå utloppet i form av direktavrinning. En del ytor genererar ingen märkbar avrinning. På de ytor som bidrar till avrinningen kommer en del av regnet att åtgå för fuktning av ytan samt uppfyllnad av ojämnheter. Vi kan definiera en deltagande yta för området A_c och en ytmagasinsförlust y_m för denna yta enligt

$$V_a = (r - y_m) \cdot A_c \quad (1)$$

där V_a och r är avrunnen volym (m^3) respektive regnmängd (m) under ett regntillfälle. Parametrarna deltagande area och ytmagasinsförlust behandlas separat i detta avsnitt eftersom de inte har någon koppling till vare sig Tid–areametoden eller Magasinsmodellen.

De båda parametrarna kan bestämmas genom mätning av regnmängden och avrunnen volym i ett område under ett antal nederbördstillfällen enligt den princip som visas i figur 2. Regressionslinjen fastställs tex genom minsta kvadratmetoden. Denna typ av analys har utförts vid institutionen för vattenbyggnad, CTH i fem områden med c:a två års nederbördstillfällen /2,3/.

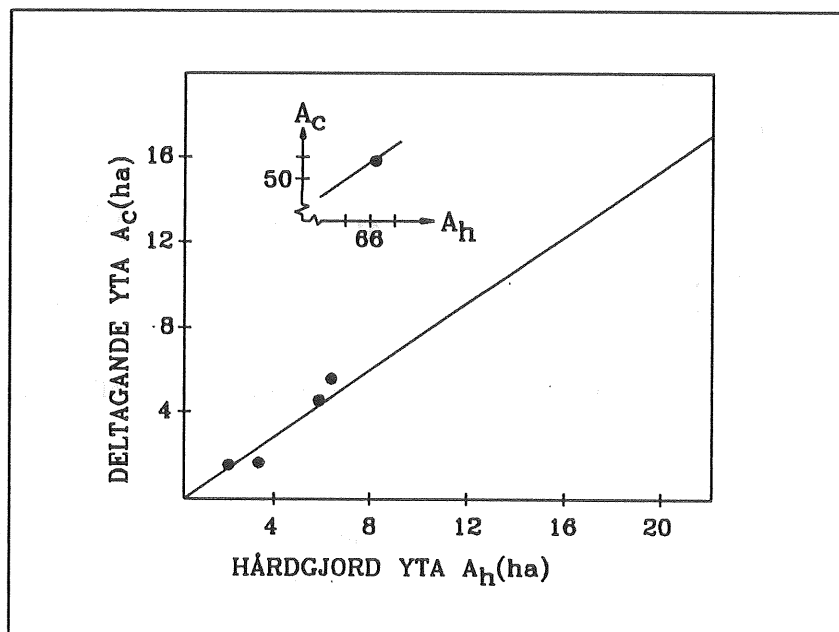


Figur 2 Bestämning av deltagande area och ytmagasinsförlust.

För de områden som undersökts vid CTH har en genomsnittlig ytmagasinsförlust av omkring 0.5 mm bestämts. Värdet är relevant för tämligen jämna asfaltytor med normal lutning (>0.01) och också för normala bostadsområden med blandade ytor (P-platser, gator och tak). I områden med mycket små ytlutningar <0.01 och där asfaltytorna är ojämna ökar ytmagasinförlusten och kan komma att uppgå till över 1 mm /4/. Vid analys med intensiva regn är ytmagasinsförlusten försumbar.

Den deltagande arean är en viktig parameter som påverkar t ex den simulerade flödestoppen i det närmaste direkt proportionellt. Egentligen borde flödesmätningar göras för att ordentligt fastlägga arean. Då man oftast inte har tillgång till mätningar måste bestämningen baseras på kartunderlag. I de områden som under-

sökts vid CTH relaterades därför den deltagande ytan till den karterade hårdgjorda ytan /5/. Som framgår av figur 3 var den deltagande ytan i dessa fall c:a 70–90% av den karterade ytan. Skillnaderna beror till största delen på hur väl 'uppsamlingsanordningar' som kantsten, hängrännor etc utformats. Det är därför önskvärt vid analys av befintliga områden att besöka dessa för att göra en bedömning. Att använda den karterade hårdgjorda ytan som deltagande yta kan alltså i ett normalt urbant område betraktas som en uppskattning på säkra sidan. Detta gäller främst för de kortvariga häftiga sommarregnen som normalt är dimensionerande i rena dagvattensystem. Om analysen av området avser mer volymsmässiga betraktelser t ex flödesvolym per dygn kommer indirekt anslutna ytor, ledningsnätets kvalitet mm in som viktiga faktorer. Flödesförloppen kan i dessa fall ur simuleringssynpunkt betraktas som stationära. De har därför ingen betydelse för strukturering och val av modell för simulering av avrinning från delområden, och berörs därför inte här.



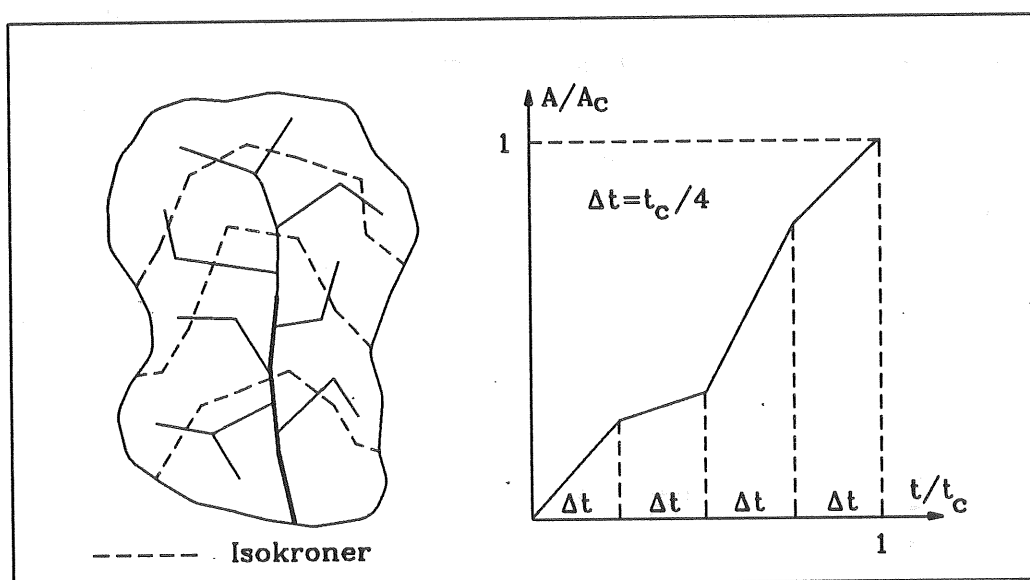
Figur 3 Samband mellan karterad hårdgjord yta och deltagande yta /4/.

Tid—areametoden

Det samband som ligger till grund för Tid—areametoden kan härledas ur kinematisk vågteori med förutsättningen att vattenhastigheten är konstant i tiden men tillåts variera i rummet /6/. Antagandet innebär att för varje punkt i systemet är flyttiden till utloppspunkten konstant. Om området indelas i isokroner (linjer genom punkter med samma flyttid till utloppet) med intervallet Δt enligt figur 4 erhålls flödet i utloppspunkten till

$$Q_{ut}(n \cdot \Delta t) = \sum_{j=1}^n (\Delta A_c^{(n-j)} \cdot j) \quad (2)$$

Vid praktisk tillämpning görs ingen indelning enligt ovan. Istället arbetar man med den totala flyttiden eller koncentrationstiden för området t_c samt en schablonfördelning inom området under denna tid i form av ett tid-areadiagram (figur 4). Tid-areadiagrammet beskriver hur stor andel av området som deltar i avrinningen efter en viss relativ tid t/t_c .



Figur 4 Ett avrinningsområde indelat i isokroner med intervallet Δt , samt motsvarande tid-areasamband.

I verkligheten karaktäriseras ett avrinningsförlopp av av mycket påtagliga hastighetsvariationer både i tid och rum. I Tid-areametodens perspektiv återspeglas denna tidsberoende variation som en variation av koncentrationstiden under avrinningsförloppet. Koncentrationstiden kan alltså inte betraktas som enbart en områdesparameter utan karaktäriserar också flödestillståndet. Eftersom flödestillståndet kan kopplas till regnintensiteten är det logiskt att betrakta koncentrationstiden som en funktion av både områdesparametrar och regnintensiteten.

De kinematiska vågekvationerna beskriver väl flödesförloppet på ytor, i rännstenar och i odämda ledningssystem. För konstant regnintensitet har ekvationerna en analytisk lösning. Ur denna lösning kan följande samband för koncentrationstider för yta, rännsten och ledning med lateralt tillflöde härledas:

yta

$$(t_c)_s = n_s^{3/5} \cdot \frac{(L_s)^{3/5}}{i^{2/5} \cdot S_s^{3/10}} \quad (3)$$

rännstenen

$$(t_c)_g = n_g^{3/4} (4(1/z+z))^{1/4} \cdot \frac{L_g^{3/4}}{S_g^{3/8} (i \cdot L_s)^{1/4}} \quad (4)$$

"ledning" med lateralt tillflöde

$$(t_c)_p = n_p^{3/4} (4(1/z+z))^{1/4} \cdot \frac{L_p}{S_p^{3/8} (i \cdot A_c)^{1/2}} \quad (5)$$

där t_c =koncentrationstid (s), n =inversen av Mannings tal, z =tvärsektionens sidolutning, L =flytlängd (m), S =lutning (m/m), i =regnintensitet (m/s), A_c =deltagande area (m^2). Indexbeteckningar; s för yta, g för rännsten och p för ledning. Första delen av sambanden som innehåller ytråhet (n) och tvärsnittets form (z) varierar normalt inte från område till område. För respektive samband kan dessa (i normala svenska områden) ges värdena 0.084, 0.097 och 0.061. En mer fullständig beskrivning av sambanden ges i /6/.

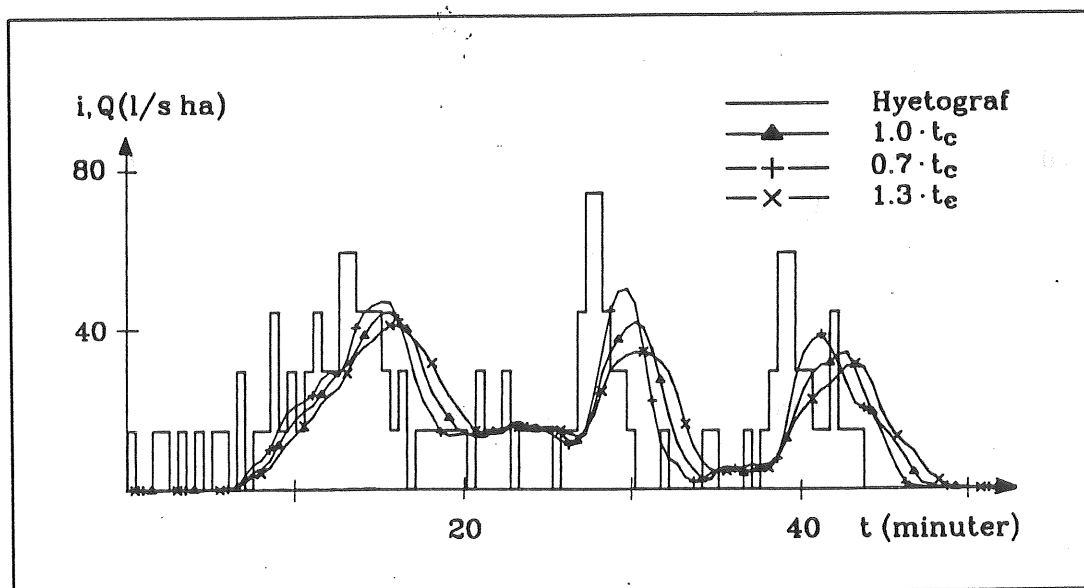
Praktiskt kan beräkning av ett delområdes totala koncentrationstid göras på följande sätt:

- * Välj en representativ yta och rännsten i delområdets uppströms del – beräkna $(t_c)_s$ och $(t_c)_g$ enligt samband (3) och (4) ovan.
- * Mät på ritningen upp flytlängden genom delområdets ledningssystem (från längst uppströms belägen punkt till inloppspunkten på huvudledningssystemet) – beräkna $(t_c)_p$ enligt samband (6) ovan.
- * Beräkna total flyttid för delområdet som summan av ovan bestämda deltider.

Som tidigare påpekats bör man för uppskattningen av deltagande yta i ett befintligt område besöka detta. Härvid kan man göra en bedömning av representativa yt- och rännstenslutningar. Om inga uppgifter på ledningssystemets lutning finns bör ovan nämnda uppströms punkt (i delområdets ledningssystem) avvägas. Vi förutsätter att nivån på inloppspunkten till huvudledningsnätet är känd.

I praktiken har va-ingenjören sällan möjlighet att med nederbörds/flödesmätningar kontrollera gjorda val av koncentrationstider för delområden. Förmågan att bedöma dessa tider tränas därför inte på ett önskvärt sätt. Att bestämma koncentrationstiden på det systematiska sätt som föreslås ovan har därför ett stort värde som ett sätt att bygga upp erfarenhet och känsla för hur koncentrationstiden varierar i olika delområden och för olika typer av regn. Efter en tids användning av metodiken bör va-ingenjören kunna göra betydligt mer rättvisande intuitiva bedömningar av koncentrationstiden.

Svårigheten att bestämma koncentrationstider med dåligt underlag illustreras av en test som gjordes vid Institutionen för vattenbyggnad, CTH i samband med en extern kurs för va-ingenjörer verksamma inom området flödesanalys. Gruppen (55st) fick uppgiften att utgående från en karta över två avrinningsområden (inga lutningsuppgifter) bedöma dessas koncentrationstider. Uppgiften avsåg att spegla en vanlig situation med avseende på underlag och metodik. I gruppen angav 40% flyttider utanför intervallet 0.5–1.5 · 'rätt' flyttid, dvs en stor spridning. När gruppen tillämpade metodiken ovan med förbättrat underlag (även lutningsangivelser och återkomstperiod vid dimensioneringen) försvann spridningen till stor del. Med dåligt underlag och olämplig metodik kan således felbedömningar på storleksordningen 50% av koncentrationstiden lätt göras. I figuren 5 visas för ett fall hur flödet i ett delområde påverkas av en 30% ökning respektive minskning av koncentrationstiden.



Figur 5 Exempel på hur koncentrationstiden påverkar avrinningen i området Bergsjön N med arean 0.9ha (figur 6).

Vid simulering med blockregn eller Sifalda-regn kan regnintensitetsvärdet i sambanden ovan väljas till motsvarande blockregnsintensitet. Det finns för närvarande inget underlag för att bestämma relevanta koncentrationstider vid användning av CDS-regn. Några enkla jämförande simuleringar som utförts antyder att dessa regns maximala medelintensiteter kan användas på samma sätt som blockregnsintensiteten (i i sambanden ovan). Vid simulering med verkliga regn bör en medelintensitet väljas för en varaktighet som är något kortare än områdets koncentrationstid och för den del av regnet där man är mest intresserad av resultatet (t ex vid en intensitetstopp om man söker maxflödet).

Tid-areakurvan påverkar den simulerade hydrografens form. Med en lämpligt vald S-form kan en god överensstämmelse mellan avrinning simulerad med Tid-areametod och verklig avrinning erhållas för själva stigfasen. Överensstämmelse med motsvarande recessionsdel kräver en helt annan form på tid-areakurvan. Detta beror naturligtvis på att hastighetsfördelningen i delområdet är olika i olika skeden av avrinningen. Eftersom en dagvattenavrinning består av omväxlande stigfaser och recessionsdelar och vår uppgift är att försöka att återge inte bara maximalt flöde utan också en realistisk form på avrinningshydrografen är det naturligt att söka en kompromiss mellan de optimala stigfas- och recessionskurvorna. Man kan säga att denna kompromiss blir ungefär en rät linje för en rektangulär yta och en svagt S-formad kurva för de flesta typer av områden. I nuvarande version av MOUSE finns ingen tid-area kurva med S-form och den räta framstår därmed som ett logiskt val.

Magasinsmodellen

Magasinsmodellen eller reservoarmodellen kan härledas ur de kinematiska vågekvationerna genom tillämpning av dessa i ett längdsteg över områdets hela flytlängd. Sambanden har följande enkla form

$$ds = (Q_{in} - Q_u) \cdot dt \quad (9a)$$

$$s = C_1 \cdot (Q_u)^{C_2} \quad (9b)$$

där ds = ändringen i magasinsvolym under tiden dt och C_1 och C_2 är konstanter. Dessa kan identifieras med hjälp av Mannings formel. I denna form (ekvation 9b som Mannings formel) betecknas ibland Magasinsmodellen Kinematisk våg (tex i MOUSE).

Modellen motsvarar fysikaliskt en avrinningsyta med konstant vattenstånd och hastighet i flytriktningen. I den verkliga avrinningssituationen varierar flödeshastigheterna i olika delar av systemet. Normalt är vattenhastigheterna minst dubbelt så höga i nedströmsänden jämfört med uppströms. En effekt av detta är att de fysiska parametrar som ingår i C_1 (längd, råhet, lutning etc) delvis mister sin fysikaliska innebörd. Det är med nuvarande kunskapsnivå svårt att bestämma konstanterna i Magasinsmodellen ur ett underlag motsvarande det som var utgångspunkten för bestämningen av koncentrationstiden t_c ovan. Konstanten C_1 bör därför bestämmas ur nederbörds/avrinningsmätningar /4/. Anpassningen kan t ex ske genom att ändra relationen mellan totalyta och flytlängd. Några enkla simuleringar har utförts för att relatera val av flytlängd L_s i MOUSE-systemets magasinmodell till koncentrationstider för ett område beräknat med sambanden 3–5. Inom intervallet $t_c = 4\text{--}15$ minuter kan följande samband användas som tumregel (ytans lutning förutsätts vara 0.01)

$$L_s = 7 \cdot 10^{-4} \cdot t_c^{5/3} \quad (10)$$

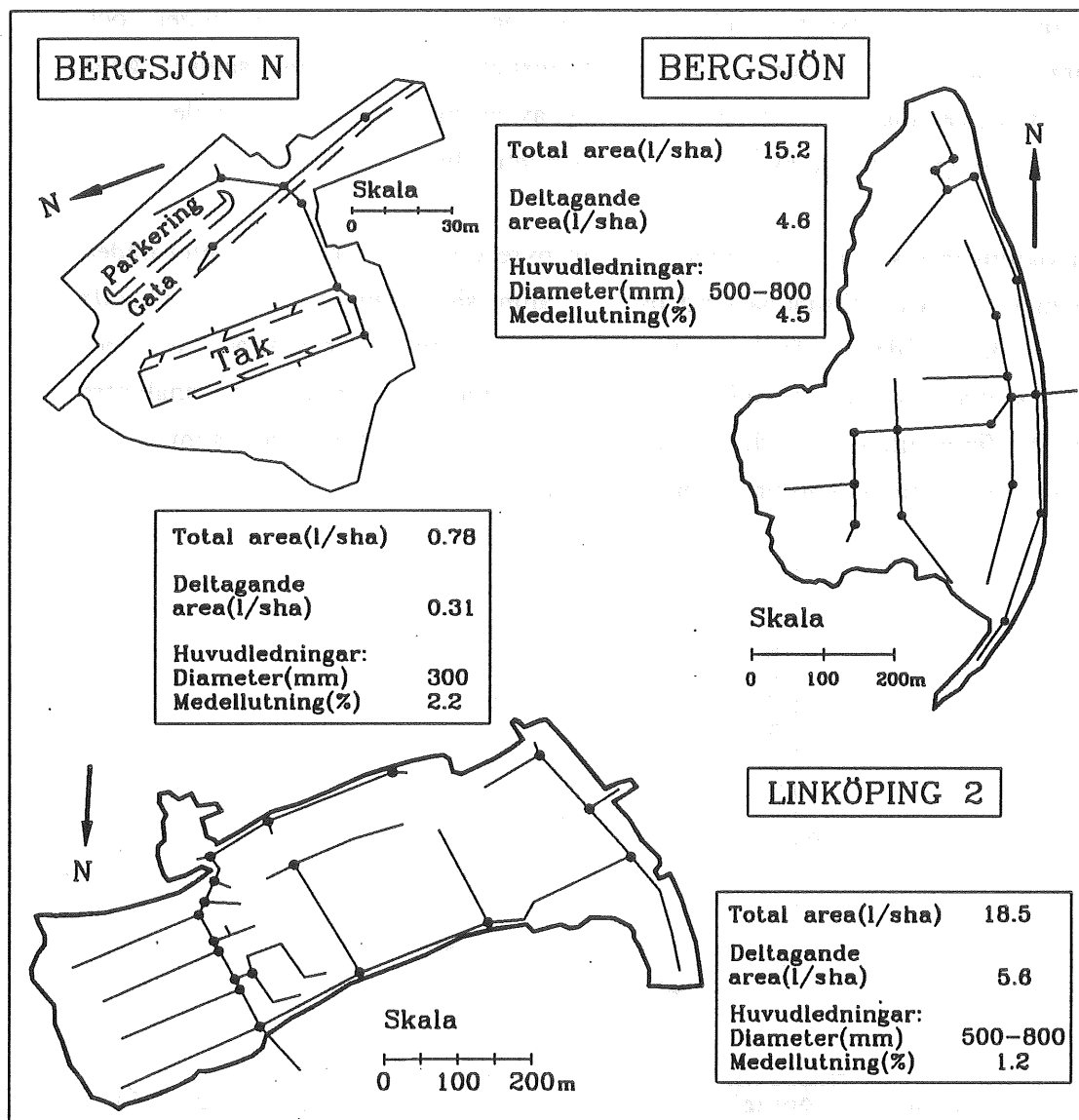
Värdet $7 \cdot 10^{-4}$ är betydligt lägre (c:a fyra gånger) än vad som kan förväntas utgående från sambanden 3–5.

Om man funnit ett lämpligt värde på C_1 framstår Magasinsmodellen som en teoretiskt bättre modell för simulering av avrinningsförloppet jämfört med Tid–areametoden eftersom den förra kan spegla hastighetsvariationerna vid förändrad regnintensitet. Magasinsmodellen kan därför förväntas ge en totalt sett bättre beskrivning av ett flödesförlopp med stora variationer i nederbördsintensitet.

Tid–areametoden i tillämpning

Tid–areametodens förmåga att simulera avrinning från ett godtyckligt avrinningsområde undersöktes genom att simuleringar med denna modell jämfördes med motsvarande baserade på en mycket detaljerad beskrivning av avrinningsområdet. I den senare simulerades i princip avrinningen från varje yta och i varje rännsten och ledning med hjälp av kinematisk vågteori.

Som underlag för jämförelsen användes de tre områden som beskrivits i figur 6. Områdena är att betrakta som normala bostadsområden. Relevansen av den noggranna modellen har visats genom jämförelse mellan simulerade och uppmätta flöden för ett antal nederbördstillfällen. I jämförelsen mellan Tid–areametoden och den detaljerade modellen har motsvarande nederbördstillfällen använts.



Figur 6 Avrinningsområdena Bergsjön N, Bergsjön och Linköping.

De två större områdena har delats in i delområden. Härigenom har två struktureringsnivåer erhållits:

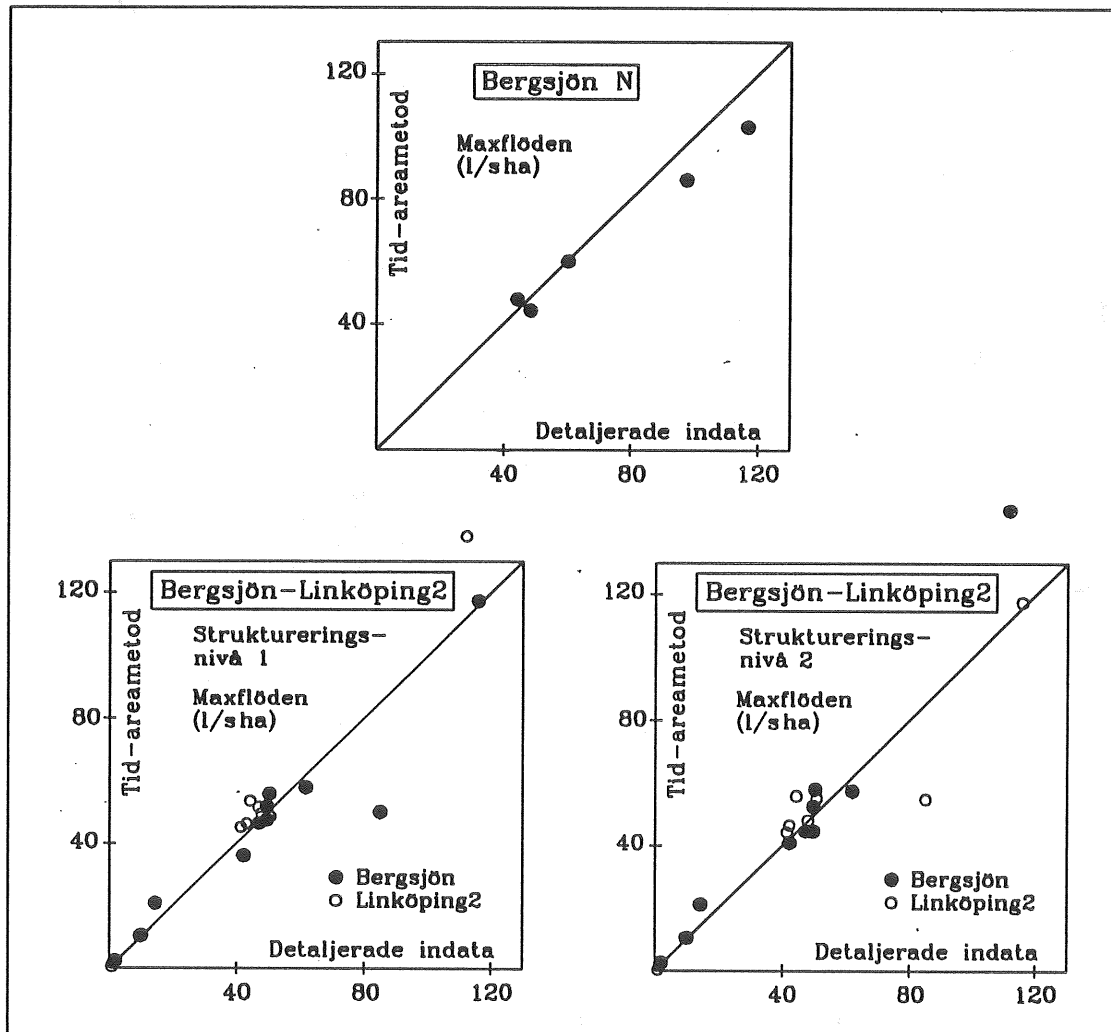
Nivå 1 – storlekordningen 2ha (varav c:a 0.5ha deltagande yta)

Nivå 2 – storlekordningen 16ha (varav c:a 5ha deltagande yta)

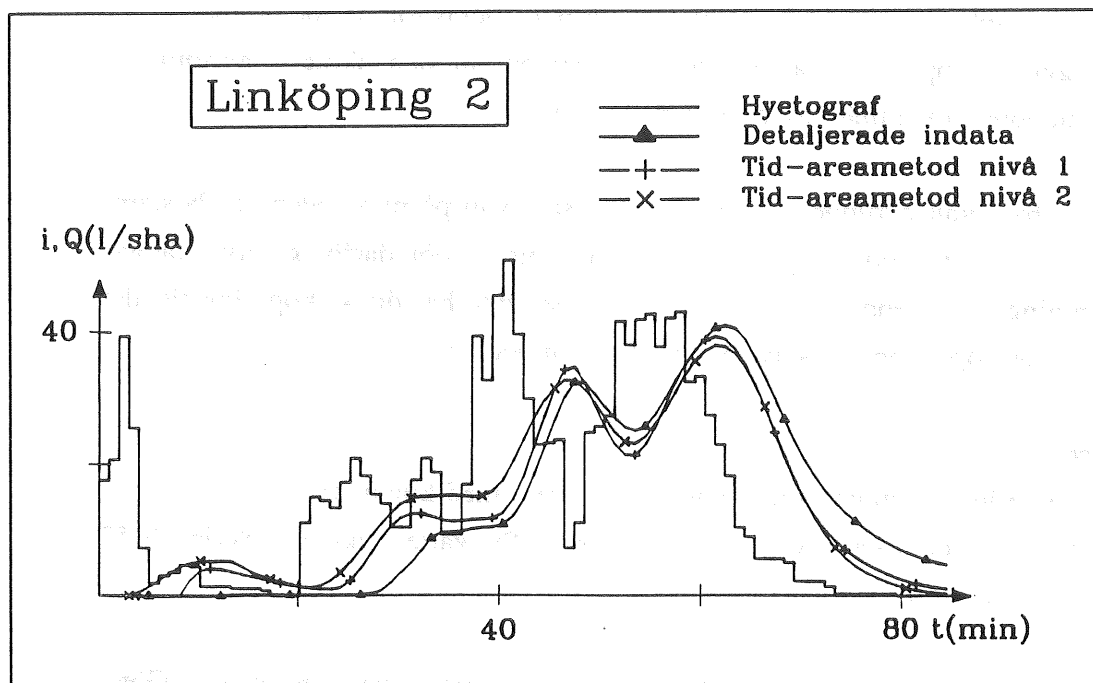
Parametrar av intresse för bedömningen av simuleringarna är; formen på hydrograferna samt nivåer och motsvarande tidpunkter för maximala flöden. I figur 6 har maxflödena erhållna vid simulering med dels den detaljerade modellen dels Tid-areametoden plottats mot varandra. Av figuren framgår att överensstämmelsen på alla struktureringsnivåer är förhållandevis god. Det bör påpekas att koncentra-

tionstiderna genomgående valts till den regnintensitet som svarar mot regntillfällenas maximala intensiteter enligt ekvationerna ovan. Tidsanpassningen och hydrograferas allmänna form vid lägre intensiteter uppvisar inte samma goda överensstämmelse. Figur 8 visar en simulering av avrinningen från ett nederbördstillfälle i Linköping där de avvikelser som normalt erhålls illustreras.

Undersökningen visar inte på någon egentlig övre gräns för hur stora delområden som kan väljas. Den allmänna tendensen – sämre simuleringsresultat vid ökande storlek på delområdena – är dock klar. Struktureringsnivån bör som antytts inledningsvis knytas till var i huvudledningssystemet man är intresserad att analysera flödet. Det finns ofta en naturlig strukturering av ett avrinningsområde som underlättar bestämningen av delområdesparametrarna.



Figur 7 Jämförelse mellan maximala flöden genererade med dels detaljerad indatabeskrivning, dels med Tid-areametod för tre områden och två strukturingsnivåer.



Figur 8 Simulering av flöden i Linköping med detaljerad modell, samt Tid-areametoden med struktreringsnivåerna 1 och 2 (delta-gande area 2 respektive 5ha).

Slutsatser

För att beskriva flödets fördelning i tiden och därmed också maximalt flöde är struktureringen av avrinningsområdet och val av indataparametrar som på ett bra sätt beskriver områdets avrinningsegenskaper avgörande. Förfaringssättet är härvid olika beroende på vilken avrinningsmodell för delområden som används.

Magasinsmodellen och Tid-areametoden är de två alternativa modellerna för simulering av avrinning från delområden som används i MOUSE-systemet. Det är också dessa som förekommer i de flesta avrinningsmodeller som används komersiellt.

Magasinsmodellen är den teoretiskt sett bättre modellen men fn är underlaget för bestämning av modellkonstanterna dåligt. Modellen bör därför användas i de fall där kalibrering kan ske mot nederbörds/avrinningsdata.

Tid-areametoden uppvisar i jämförelse med Magasinsmodellen och Kinematisk

vågmodell allmänt något sämre simuleringar. Med modellen kan dock acceptabla resultat erhållas genom

- * genomtänkt strukturering och val av förhållandevis mindre delområden
- * noggrann anpassning av koncentrationstiden till den aktuella avrinnings-situationen med hjälp av beskrivna samband

Avgörande för totalt avrunnen volym men också nivån på maxflödena är bestämningen av den deltagande eller anslutna ytan. Omsorg bör därför givetvis läggas på bestämningen av denna parameter även om den inte har direkt koppling till det dynamiska förloppet som beskrivs av avrinningsmodellen.

Referenser

- /1/ Simulering av ytavrinning i dagvattensystem med kinematisk vågteori. Chalmers tekniska högskola, Institutionen för vattenbyggnad. Series B:53 Göteborg 1991.
- /2/ Arnell V., Lyngfelt S. Nederbörds-avrinningsmätningar i Bergsjön, Göteborg 1973-1974. Chalmers tekniska högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, meddelande nr 13. Göteborg 1975.
- /3/ Arnell V. Description and Validation of the CTH-Urban Runoff Model. Chalmers tekniska högskola, Institutionen för vattenbyggnad. Series A:5. Göteborg 1985 (på engelska).
- /4/ Falk, J. Niemczynowicz, J. Modellering av avrinning från impermeabla ytor. Lunds Universitet, Institutionen för teknisk vattenresurslära, Report No 3024, Lund 1978.
- /5/ Lyngfelt S. Dimensionering av dagvattensystem. Rationella metoden. Chalmers tekniska högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, meddelande nr 56. Göteborg 1981.
- /6/ Lyngfelt S. On Urban Runoff Modelling. The Application of Numerical Models Based on the Kinematic Wave Theory. Chalmers tekniska högskola, Institutionen för vattenbyggnad. Series A:13. Göteborg 1985 (på engelska).

Report Series B

- B:1 Bergdahl, L.: Beräkning av vågkrafter. (Ersatts med 1979:07) 1977.
- B:2 Arnell, V.: Studier av amerikansk dagvattenteknik. 1977.
- B:3 Sellgren, A.: Hydraulic Hoisting of Crushed Ores. A feasibility study and pilot-plant investigation on coarse iron ore transportation by centrifugal pumps. 1977.
- B:4 Ringesten, B.: Energi ur havsströmmar. 1977.
- B:5 Sjöberg, A., Asp, T.: Brukar-anvisning för ROUTE-S. En matematisk modell för beräkning av icke-stationära flöden i floder och kanaler vid strömmande tillstånd. 1977.
- B:6 Annual Report 1976/77. 1977.
- B:7 Bergdahl, L., Wernersson, L.: Calculated and Expected Thermal Ice Pressures in Five Swedish Lakes. 1977.
- B:8 Göransson, C-G., Svensson, T.: Drogue Tracking - Measuring Principles and Data Handling. 1977.
- B:9 Göransson, C-G.: Mathematical Model of Sewage Discharge into confined, stratified Basins - Especially Fjords. 1977.
- B:10 Arnell, V., Lyngfelt, S.: Beräkning av dagvattenavrinning från urbana områden. 1978.
- B:11 Arnell, V.: Analysis of Rainfall Data for Use in Design of Storm Sewer Systems. 1978.
- B:12 Sjöberg, A.: On Models to be used in Sweden for Detailed Design and Analysis of Storm Drainage Systems. 1978.
- B:13 Lyngfelt, S.: An Analysis of Parameters in a Kinematic Wave Model of Overland Flow in Urban Areas. 1978.
- B:14 Sjöberg, A., Lundgren, J., Asp, T., Melin, H.: Manual för ILLUDAS (Version S2). Ett datorprogram för dimensionering och analys av dagvattensystem. 1979.
- B:15 Annual Report 1978/79. 1979.
- B:16 Nilsdal, J-A., Sjöberg, A.: Dimensionerande regn vid höga vattenstånd i Göta älv. 1979.
- B:17 Stöllman, L-E.: Närkes Svartå. Hydrologisk inventering. 1979.
- B:18 Svensson, T.: Tracer Measurements of Mixing in the Deep Water of a Small, Stratified Sill Fjord. 1979.
- B:19 Svensson, T., Degerman, E., Jansson, B., Westerlund, S.: Energiutvinning ur sjö- och havssediment. En förstudie. R76:1980. 1979.
- B:20 Annual Report 1979. 1980.
- B:21 Stöllman, L-E.: Närkes Svartå. Inventering av vattentillgång och vattenanvändning. 1980.

Report Series B

- B:22 Häggström, S., Sjöberg, A.: Effects of Distortion in Physical Models of Cooling Water Discharge. 1979.
- B:23 Sellgren, A.: A Model for Calculating the Pumping Cost of Industrial Slurries. 1981.
- B:24 Lindahl, J.: Rörelseekvationen för en kabel. 1981.
- B:25 Bergdahl, L., Olsson, G.: Konstruktioner i havet. Vågkrafter-rörelser. En inventering av datorprogram. 1981.
- B:26 Annual Report 1980. 1981.
- B:27 Nilsdal, J-A.: Teknisk-ekonomisk dimensionering av avloppsledningar. En litteraturstudie om datormodeller. 1981.
- B:28 Sjöberg, A.: The Sewer Network Models DAGVL-A and DAGVL-DIFF. 1981.
- B:29 Moberg, G.: Anläggningar för oljeutvinning till havs. Konstruktionstyper, dimensioneringskriterier och positioneringssystem. 1981.
- B:30 Sjöberg, A., Bergdahl, L.: Förankringar och förankringskrafter. 1981.
- B:31 Häggström, S., Melin, H.: Användning av simuleringsmodellen MITSIM vid vattenresursplanering för Svartån. 1982.
- B:32 Bydén, S., Nielsen, B.: Närkes Svartå. Vattenöversikt för Laxå kommun. 1982.
- B:33 Sjöberg, A.: On the stability of gradually varied flow in sewers. 1982.
- B:34 Bydén, S., Nyberg, E.: Närkes Svartå. Undersökning av grundvattenkvalitet i Laxå kommun. 1982.
- B:35 Sjöberg, A., Mårtensson, N.: Regnenveloppmetoden. En analys av metodens tillämplighet för dimensionering av ett 2-års perkolationsmagasin. 1982.
- B:36 Svensson, T., Sörman, L-O.: Värmeupptagning med bottenförlagda kylslangar i stillastående vatten. Laboratieförsök. 1982.
- B:37 Mattsson, A.: Koltransporter och kolhantering. Lagring i terminaler och hos storförbrukare. (Delrapport). 1983.
- B:38 Strandner, H.: Ett datorprogram för sammankoppling av ILLUDAS och DAGVL-DIFF. 1983.
- B:39 Svensson, T., Sörman, L-O.: Värmeupptagning med bottenförlagda slangar i rinnande vatten. Laboratieförsök. 1983.
- B:40 Mattsson, A.: Koltransporter och kolhantering. Lagring i terminaler och hos storförbrukare. Kostnader. Delrapport 2. 1983.
- B:41 Häggström, S., Melin, H.: Närkes Svartå. Simuleringsmodellen MITSIM för kvantitativ analys i vattenresursplanering. 1983.
- B:42 Hård, S.: Seminarium om miljöeffekter vid naturvärmesystem. Dokumentation sammanställd av S. Hård, VIAK AB. BFR-R60:1984. 1983.
- B:43 Lindahl, J.: Manual för MODEX-MODIM. Ett datorprogram för simulering av dynamiska förlopp i förankringskablar. 1983.

Report Series B

- B:44 Activity Report. 1984.
- B:45 Sjöberg, A.: DAGVL-DIFF. Beräkning av icke-stationära flödesförlopp i helt eller delvis fyllda avloppssystem, tunnlar och kanaler. 1984.
- B:46 Bergdahl, L., Melin, H.: WAVE FIELD. Manual till ett program för beräkning av ytvattenvågor. 1985.
- B:47 Lyngfelt, S.: Manual för dagvattenmodellen CURE. 1985.
- B:48 Perrusquía, G., Lyngfelt, S., Sjöberg, A.: Flödeskapacitet hos avloppsledningar delvis fyllda med sediment. En inledande experimentell och teoretisk studie. 1986.
- B:49 Lindahl, J., Bergdahl, L.: MODEX-MODIM. User's Manual. 1987.
- B:50 Mårtensson, N.: Dynamic Analysis of a Moored Wave Energy Buoy. 1988.
- B:51 Lyngfelt, S.: Styrning av flöden i avloppssystem. Begrepp - Funktion - FoU-Behov. 1989.
- B:52 Perrusquía, G.: Sediment in Sewers. Research Leaves in England. 1990.
- B:53 Lyngfelt, S.: Simulering av ytavrinning i dagvattensystem. 1991.

