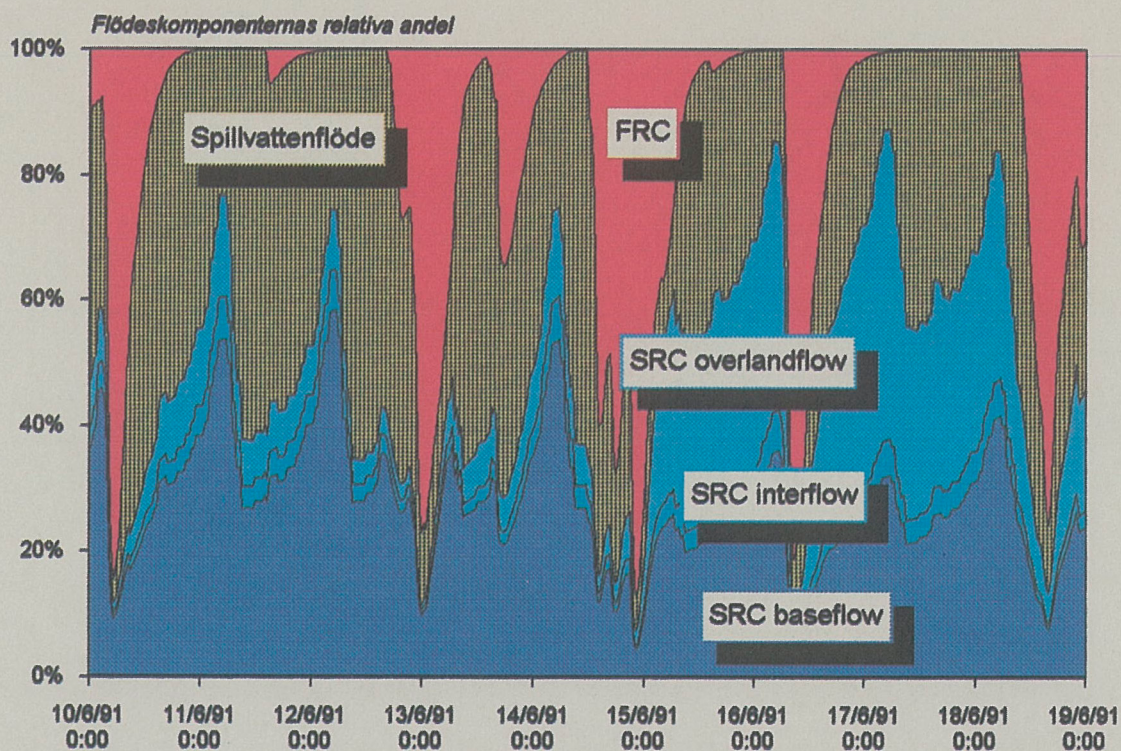




Simulering av hydrologin
inom urbana områden
Metodikmanual - MouseNAM

Lars-Göran Gustafsson



VA-FORSK

VA-FORSK är kommunernas eget FoU-program om kommunal va-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna, vilket är unikt på så sätt att statliga medel tidigare alltid använts för denna typ av verksamhet. FoU-avgiften är för närvarande en krona per kommuninnevånare och år. Avgiften är frivillig och intresset från kommunernas sida har varit mycket stort. Nästan alla kommuner är med i programmet, vilket innebär att budgeten årligen omfattar drygt åtta miljoner kronor.

VA-FORSK initierades gemensamt av Kommunförbundet och VAV. Verksamheten påbörjades år 1990. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning inom det kommunala va-området. Projekt bedrivs inom hela det va-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Ledningsnät
Avloppsvattenrening
Ekonomi och organisation
Utbildning och information

VA-FORSK styrs av en kommitté, som utsetts gemensamt av VAV och Kommunförbundet. Kommittén är underställd VAVs styrelse. Under perioden 1993-1995 har kommittén följande sammansättning:

Hans Mattsson, ordförande	Södertälje
Professor Peter Balmér	GRYAAB, Göteborg
Driftchef Sture Bergström	Gatukontoret, Skellefteå
Kommunalsråd Bert-Ove Bäckman	Lycksele
Avdelningschef Jane Cederqvist	Sv kommunförbundet
Tekn dr Jan Hultgren	Stockholm Vatten AB
Kommunalsråd Caisa Hörberg	Lidingö
Ordf i tekniska nämnden Thure Larsson	Gatukontoret, Visby
Tekn chef Peeter Maripuu	Lycksele
Va-chef Bengt L Persson	Gatukontoret, Malmö
Vd Lars Jansson	VAV

Forskningsledare Jan Falk, sekreterare	VAV
--	-----

VA-FORSK
Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, VAV
Regeringsgatan 86
111 39 STOCKHOLM
Tel: 08-23 29 35
Fax: 08-21 37 51

Rapport nr 1993-04



Simulering av hydrologin
inom urbana områden
Metodikmanual - MouseNAM

Lars-Göran Gustafsson

VA-FORSKs rapportserie

Rapportens titel:	Simulering av Hydrologin inom Urbana områden Metodikmanual — MouseNAM
Title of the report:	Modelling of Urban Hydrology User's Guide — MouseNAM
<i>Rapportens beteckning</i>	
Nr i VA-FORSK-serien:	1993-04
ISSN-nummer:	1102-5638
ISBN-nummer:	91-88392-44-9
Författare:	Lars-Göran Gustafsson
Utgivare:	Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, VAV
VA-FORSK projekt nr:	91-125
Projektets namn:	Metodik för flödessimulering
Projektets finansiering:	VA-FORSK
Rapporten beställs från:	Svensk Byggtjänst, Litteraturtjänst, 171 88 Solna, tel 08-734 51 00
<i>Rapportens omfattning</i>	
Sidantal:	
Format:	A4
Upplaga:	1500
Sökord:	Avloppsnät, avrinning, hydrologi, modell, modellering, simulering, kontinuerlig modellering, MouseNAM
Keywords:	Sewers, runoff, hydrology, model, modelling, simulation, continuous modelling, MouseNAM
Sammandrag:	Rapporten presenterar ett nytt modellkoncept, MouseNAM, som tar hänsyn till både snabb avrinning från hårdgjorda ytor och trög avrinning orsakad av exempelvis grundvatteninläckage. Praktiska erfarenheter från genomförda studier redovisas och exempel på intressanta användningsområden ges.
Abstract:	The report presents a new model concept, MouseNAM, taking into account both the fast response component from impervious areas and the slow response component caused by infiltration into the sewer system. The experiences from several studies are presented and examples on potential application areas are given.
Målgrupper:	Kommunala Va-förvaltningar Konsulter Miljövårdsmyndigheter
Utgivningsår:	1993
Pris 1993:	150 kr exkl moms

SAMMANFATTNING

De datormodeller som används vid traditionell simulering av flöden i avloppssystem är normalt tillräckliga vid analys av maxflöden i dagvattenförande system med stor andel direktanslutna hårdgjorda ytor. Effekterna av sk indirekt nederbördspåverkan samt läck- och dräneringsvatten har dock i de flesta system en avgörande betydelse för många problemställningar, speciellt vid volyms-studier som exempelvis simulering av tillrinning till reningsverk och bräddvolym. Då denna trögare avrinning inte bara är beroende av den aktuella nederbörden utan till stor del påverkas av den hydrologiska situationen, har det hittills varit svårt att simulera dessa fenomen med befintlig modellteknik.

Ett nytt modellkoncept, MouseNAM, har utvecklats och integrerats i MOUSE-systemet. MouseNAM är en generell hydrologisk modell för urbana områden. Modellen tar hänsyn till både snabb avrinning (FRC) från t ex hårdgjorda ytor och den trögare avrinningen (SRC) orsakad av exempelvis en mer eller mindre snabb dränering till ledningssystemet av omkringliggande mark. Den senare är starkt påverkad av tidigare hydrologiska händelser, det sk hydrologiska minnet.

Vid traditionell analys av tryck- och flödesförhållanden i dagvattenförande system används oftast typregn med relativt kort varaktighet baserade på nederbördsstatistik. Detta förfarings-sätt kan anses som rimligt i de fall då återkomsttiden för en nederbördshändelse ungefär överensstämmer med återkomsttiden för effekterna i ledningssystemet. Detta antagande gäller dock inte i de fall då SRC-komponenten är betydelsefull, vilket den ofta är då exempelvis bräddning och tillrinning till reningsverk studeras. I dessa fall krävs kontinuerlig modellering med historiska regnserier. Med MouseNAM är det möjligt att utföra kontinuerlig modellering av även mycket långa nederbördsserier (10-tals år). Detta innebär att statistik kan produceras utgående ifrån effekterna istället för ifrån nederbörden.

De individuella hydrologiska processerna är i MouseNAM ihopslagna till en begreppsmässig beskrivning, vilken är en imitation av vattnets kretslopp i och på marken. Vatten magasinerar i fyra olika typer av magasin: snö-, yt-, rotzons- och grundvattenmagasin. Mängden vatten i magasinen uppdateras kontinuerligt av processer som infiltration och avdunstning såväl som snösmältning och nederbörd. Dessutom finns två alternativa ytaavrinningsmodeller tillgängliga för simulering av FRC. Vissa av modellparametrarna är relaterade till motsvarande fysiska data, men det slutliga valet av parametervärden måste baseras på jämförelse mellan beräknade och uppmätta flödesdata.

Modellkonceptet har tillämpats i ett stort antal projekt, omfattande ca 40 urbana avrinnings-områden med varierande storlek från ca 1 till 200 km². MouseNAM har i samtliga dessa tillämpningar visat sig vara kapabel att, efter kalibrering, beskriva flödesförloppen i avloppssystemen. De praktiska erfarenheter som framkommit i dels genomförda projekt, dels vid detaljerade studier av modellens egenskaper vid Chalmers Tekniska Högskola, redovisas i denna rapport.

Introduktionen av MouseNAM innebär att en mängd intressanta användningsområden öppnar sig. Som exempel kan nämnas: vattenbalansstudier; trovärdigare simulering av brädd-avloppsförhållanden och tillrinning till reningsverk; etablering av samband mellan effekt och återkomsttid; kontroll av genomförda åtgärders effekter samt on-line baserade flödesprognoser för optimering av driften av ett avloppssystem.

FÖRORD

Föreliggande rapport är en sammanställning av de praktiska erfarenheter som framkommit i samband med genomförda projekt där MouseNAM har använts. Arbetet har finansierats med medel från VAV:s forskningsfond VA-FORSK.

En stor del av materialet i rapporten baseras också på resultat från detaljstudier av modellens beteende och funktion som genomförts inom ramen för ett pågående forskningsprojekt vid Chalmers Tekniska Högskola, Inst för Vattenbyggnad.

I samband med forskningsprojektet har två examensarbeten utförts vid Chalmers Tekniska Högskola, Inst för Vattenbyggnad. Resultaten från dessa examensarbeten har varit mycket värdefulla som underlag för föreliggande rapport.

Ett tack riktas till alla de som bidragit med värdefulla synpunkter och gjort denna kunskapssammanställning möjlig.

Avslutningsvis är det min förhoppning att denna rapport på ett tydligt och lättfattligt sätt illustrerar beräkningsmetodiken och dess användningspotential.

Göteborg i mars 1993

Lars-Göran Gustafsson

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	sida
1. INLEDNING	1
1.1 Problembild	1
1.2 Angreppsmetodik - Strategi	4
2. MODELLANSATS FÖR URBAN HYDROLOGI - MOUSENAM	7
2.1 Hydrologin inom urbana områden jämfört med naturmark	7
2.2 Modellstruktur - MouseNAM	8
2.2.1 Ytavrinningsmodell	8
2.2.2 Generell hydrologisk modell - NAM	10
2.3 Databehov	14
2.4 Modellparametrar - Beskrivning och fysikalisk tolkning	15
2.4.1 Ytavrinningsmodell	15
2.4.2 Generell hydrologisk modell - NAM	16
2.5 Modellparametrarnas beteende och känslighet	17
2.5.1 Allmän diskussion kring modellstrukturen och parametrarna	18
2.5.2 Betydelsefulla NAM-parametrar	20
2.5.3 NAM-parametrar av mindre intresse	22
3. METEOROLOGISKA DATA	27
3.1 Nederbörd	27
3.2 Temperatur	28
3.3 Potentiell avdunstning	28
4. VERIFIERINGS- OCH BERÄKNINGSMETODIK	30
4.1 Split sample test	30
4.2 Speciella problem vid urbana tillämpningar	31
4.2.1 Ej nederbördsberoende flödeskomponenter	31
4.2.2 Bräddning inom modellområdet	32
4.3 Verifieringskriterier	33
4.3.1 Flöde-varaktighetskurvor	34
4.3.2 Numeriskt kriterium med grafisk tolkning	35
4.3.3 Visuellt jämförelse av hydrograferna - Subjektiv kalibrering ?	36

4.4	Kalibreringsmetodik	39
4.4.1	Ytavrinningsmodellen	39
4.4.2	NAM - modellen	41
4.5	Konsekvenser av kalibreringsperiodens längd och typ	57
4.5.1	Kalibreringsperiodens inverkan på modellens trovärdighet	58
4.5.2	Kalibreringsperiodens inverkan på modellparametrarna	59
4.6	Speciella beräkningsdetaljer	60
4.6.1	Startbetingelser	60
4.6.2	Beräkningstidssteg	60
5.	SAMMANSTÄLLNING OCH UTVÄRDERING AV MODELLTILLÄMPNINGAR	61
5.1	Göteborgsregionen, Ryaverket - ett praktikfall	61
5.2	Parametervariationen	72
5.3	Konsekvenser av olika parameteruppsättningar	76
5.3.1	Varaktighetskurvor	77
5.3.2	Vattenbalanser	81
6.	INTRESSANTA ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN	84
7.	SLUTSATSER OCH FÖRSLAG TILL FORTSATTA STUDIER	88
	REFERENSER OCH ÖVRIG LITTERATUR	90
	BEGREPPSFÖRKLARINGAR	92

1. INLEDNING

1.1 Problembild

Ovidkommande vatten

I begreppet ovidkommande vatten inryms allt vatten som utöver spillvattnet tar sig in i avloppssystemen. Det ovidkommande vattnet kan indelas i "läck och dräneringsvatten" och "nederbördspåverkan". Nederbördspåverkan kan uppdelas i direkt- och indirekt nederbördspåverkan.

Med Direkt NEderbördspåverkan, DNE, avses flöden som orsakas av kända direktanslutna hårdgjorda ytor såsom asfaltytor, tak etc. Med Indirekt NEderbördspåverkan, INE, avses flödesökningar i samband med nederbörd som överstiger de flödesökningar som kan förklaras med direktanslutna ytor. Förloppet kan exempelvis förklaras med en mer eller mindre snabb grundvattenbildning som avleds till spillvattennätet via dräneringsledningar eller genom överläckning mellan otäta dagvatten- och spillvatten-ledningar på privat eller kommunal mark.

Den indirekta nederbördspåverkan har både en snabb komponent och en fördröjd komponent. Den snabba komponenten kan ej skiljas från direktanslutna hårdgjorda ytor genom flödesmätningar. Därför brukar man vid utvärderingar av nederbördspåverkan som ett samlat begrepp använda "fiktiv ansluten yta", dvs den motsvarande yta som skulle krävas för att generera den erhållna flödesökningen vid den aktuella nederbörden. Den fördröjda komponenten resulterar i en kvarstående flödespåverkan under flera dygn efter regnets slut.

Indirekt nederbördspåverkan skiljer sig också från den direkta nederbördspåverkan genom att den inte bara är beroende av den aktuella nederbörden utan till stor del påverkas av den hydrologiska situationen, dvs "minnet" från tidigare hydrologiska händelser. Därmed blir flödesökningen för ett visst regn annorlunda beroende på om perioden innan regnet varit nederbördsrik eller torr. Även andra meteorologiska faktorer som avdunstningen etc påverkar denna flödesökning.

Överbelastningsproblem

Kombinerade avloppssystem är dimensionerade för att hantera direkt nederbördspåverkan, spillvatten och dräneringsvatten. Vid överbelastningar uppstår skador då vattnet tränger upp genom källaravloppen via fastighetens spillvattenservis samtidigt som dräneringsledningarna också står dämnda.

Motsvarande skador som i det kombinerade ledningsnätet kan även uppträda i duplikata avloppssystem. Teoretiskt sett så borde överbelastningar till följd av kraftig nederbördspåverkan ej vara möjlig i det duplikata systemets spillvattenledning. Dessa är ej heller dimensionerade för att avleda nederbördsavrinningen, vilken istället skall avledas i dagvattenledningen. Motsvarande förhållande gäller även för sk separat-

system där nederbördsavrinningen istället skall ske i öppna diken. De flödesökningar som trots detta kan konstateras i spillvattenledningarna visar på att helt stringenta separerade avloppssystem i praktiken ej kunnat tillskapas med den tillämpade praxisen.

De tumregler som ofta använts för att uppskatta flödet på dräneringsvattnet har varit trubbiga och ej avspeglat de verkliga förhållandena. Det kan också konstateras att den indirekta nederbördspåverkan ej beaktats vid dimensionering för någon typ av avloppsnät. Orsaken till detta kan ha sin förklaring i att denna typ av avrinning ej följer några enkla regler utan blir en följd av hur pass olyckligt ledningsnätet utformats i förhållande till de geohydrologiska förutsättningarna. Andra bidragande orsaker kan vara bristande täthet i de privata och kommunala spill- och dagvattenledningarna. Se vidare ref./5/.

Traditionell datorsimulering

Vid traditionell datorsimulering av flöden i avloppssystem är det svårt att beakta den indirekta nederbördspåverkan. De sk urbana avrinningsmodellerna är konstruerade för att hantera direkt nederbördspåverkan, spillvattenflöde och till viss del dräneringsvatten. De två senare flödeskomponenterna brukar hanteras som konstantvärden under de relativt korta simuleringstiderna, oftast bara några timmar. Flödesdynamiken i modellen styrs då av nederbörden och av anslutna hårdgjorda ytor. Detta är normalt tillräckligt för analys av maxflöden (översvämningssstudier etc) i dagvattenförande system med stor andel direkt nederbördspåverkan. Effekterna av indirekt nederbördspåverkan och dräneringsvatten kan dock många gånger ha en avgörande betydelse, speciellt vid volymsstudier som exempelvis simulering av tillrinning till reningsverk och bräddvolymmer.

I de fall en urban modell har kalibrerats mot en noggrann flödesmätning kommer modellen även i viss mån att kunna hantera denna snabba komponenten av indirekt nederbördspåverkan. Stora osäkerheter kvarstår dock eftersom storleken på den "fiktiva ytan" för indirekt nederbördspåverkan kraftigt varierar beroende på den hydrologiska situationen. Det riskeras att en "sommar-modell" erhålls om flödesmätningar endast utförts under sommarperioden.

Den tröga indirekta nederbördspåverkan är ännu besvärligare att hantera i urbana modeller. I viss mån kan hänsyn tas till denna komponent genom att "öka på" konstantinläckningen i modellen under korta simuleringstidperioder. Detta förutsätter dock att tillgång finns till mycket omfattande och trovärdiga flödesmätningar från många olika hydrologiska situationer för att lämpliga värden skall kunna bedömas. I de fall då en datormodell skall användas för volymsstudier, som exempelvis uppskattning av årliga bräddvolymmer eller årlig belastningsituation för ett reningsverk måste naturligtvis modellen kunna användas året om och ta hänsyn till verkliga flödessituationer under både "blöta" och "torra" förhållanden.

En följd av ovanstående är också att det föreligger stora svårigheter då maxflöden, i avloppssystem som är kraftigt påverkade av indirekt nederbördspåverkan, skall relateras till återkomsttiden för ett visst nederbördstillfälle. Återkomsttidsbegreppet

måste här istället relateras direkt till effekterna i avloppsnätet. Exempelvis kan ett mindre regn som faller dagen efter ett mycket kraftigt regn orsaka större skada än det första regnet.

Begreppsbild för modellering

En viss del av den indirekta nederbördspåverkan kan hydrologiskt sett bete sig på samma sätt som avrinningen från direktanslutna hårdgjorda ytor. Exempelvis överläckning från dag till spillvattenledning i urspolade markkanaler. Det är därför både lämpligt och naturligt att andra begrepp används i modellsammanhang, baserade på den aktuella modellens uppbyggnad. För att beskriva en flödeshydrografs olika komponenter, utgående från deras hydrologiska beteende, har följande begrepp införts i denna rapport;

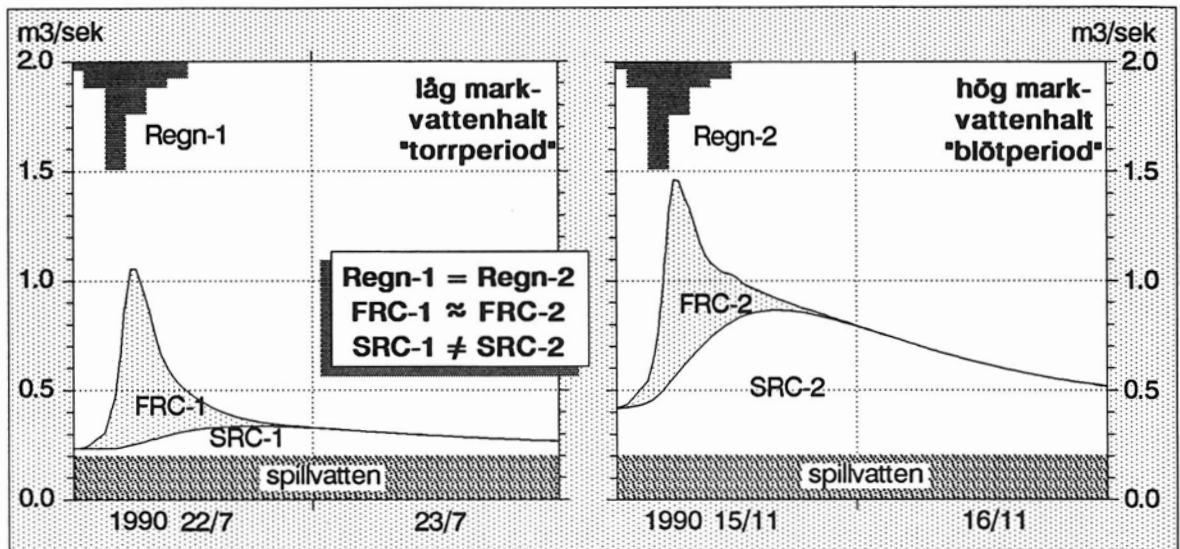
- o FRC - Fast Response Component
- o SRC - Slow Response Component

FRC-komponenten karakteriseras av att den ej påverkas av den hydrologiska situationen, hög eller låg markvattenhalt, samt att den oftast har en mycket snabb respons (snabb avklingning efter regnets slut). FRC-komponenten består av DNE och den snabba delen av INE som ej påverkas av tidigare hydrologiska händelser.

SRC-komponenten karakteriseras av att den är starkt beroende av den hydrologiska situationen samt att den oftast har en mycket trög respons. SRC-komponenten består av den resterande delen av INE (som påverkas av den hydrologiska situationen) samt läck- och dräneringsvatten.

I **figur 1.1** visas ett konstruerat exempel för att illustrera hur de två flödeskomponenterna, FRC och SRC påverkas av den hydrologiska situationen. Dessutom framgår skillnaden mellan de två flödeskomponenternas respons.

För att trovärdigt kunna beskriva de flödesfenomen som erhålls i SRC-påverkade avloppsnät krävs alltså ett beräkningsverktyg som kan hantera det sk minnet från tidigare hydrologiska händelser, dvs en mer generell hydrologisk modell än den enkla, men för dagvattensystem fullt tillräckliga, FRC-beskrivning som finns i traditionella avrinningsmodeller för avloppssystem, exempelvis MOUSE, ref./6/.



Figur 1.1 Exempel på hur flödeskomponenterna, FRC och SRC påverkas av den hydrologiska situationen.

1.2 Angreppsmetodik - Strategi

Modellöversikt

Modelleringsproblematiken kan generellt angripas utgående från två principiellt skilda synsätt. Det ena synsättet representeras av att en grundlig förståelse för de fysikaliska processerna krävs innan en modell kan etableras. Denna typ av modell kallas ofta för en fullt distribuerad fysikalisk modell, eller "White Box" modell. Begreppet kommer från att systemet uppfattas som ett avgränsat område (box), som är upplyst så att de ingående processerna kan studeras och beskrivas. Ett exempel på en hydrologisk modell av denna typ är den sk SHE-modellen, se ref./9/. Den hydrauliska modellen MouseRÖR är också av denna typ, se ref./6/.

Som motsats till den fullt distribuerade fysikaliska modellen är den sk "Black Box" modellen. Denna typ av modell grundar sig på det andra synsättet, där tidsserier för indata och utdata analyseras, där modellen byggs upp utan hänsyn till de verkliga fysikaliska egenskaperna för systemet. I detta fallet är systemet (boxen) inte upplyst, varför endast indata och utdata kan studeras. "Black Box" modellen är alltså en ren matematisk modell, där endast ett samband mellan indata och utdata skapas. Ett exempel på en hydrologisk modell av denna typ är den sk Enhetshydragrafimetoden, se ref./23/. Ett annat exempel är sk Neurala Nätverk, se ref./20/, vilka är extrema "Black Box" modeller.

Den största nackdelen med "Black Box" modellerna är deras oförmåga att ta hänsyn till den övergripande kunskapen som finns om exempelvis ett avrinningsområde. De

ger heller ingen information om orsaken till beräknade resultat. Detta innebär att exempelvis effekterna av en förändring i det studerade systemet ej kan studeras förrän de i verkligheten genomförts och alltså kan mätas. Att studera effekterna av en eventuell framtida åtgärd i det studerade systemet är dock ofta ett av syftena med modellering, vilket alltså ej kan genomföras med rena "Black Box" modeller.

Teoretiskt sett är därför "White Box" modellerna alltid att föredra, då det är möjligt att studera processerna detaljerat, och därmed få ökad kunskap om systemet. I praktiken är det dock inte alltid optimalt att använda denna typ av modell. Modellerna kräver ofta en mängd indata, vilka i vissa fall kan vara omöjliga eller åtminstone mycket tidskrävande att bestämma. Dessutom är beräkningstider etc oftast mycket tidskrävande i förhållande till "Black Box" modellerna.

Många modeller är, åtminstone vid den praktiska användningen, kompromisser mellan de två modelltyperna, "White Box" och "Black Box". Det är syftet med den aktuella tillämpningen som bör avgöra nyansen (andelen svart respektive vitt) för valt modellkoncept.

De ovan nämnda modellerna klassas som sk deterministiska, vilket innebär att två identiska indatauppsättningar alltid kommer att ge samma utdata, om dessa körs genom modellen under identiska betingelser. Som motsättning till de deterministiska modellerna finns sk stokastiska modeller, vilka baseras på statistisk analys av indata och utdata. Dessa modeller innehåller något av slumpkaraktär. Identiska indata kan mycket väl resultera i olika utdata.

NAM-modellen

Den aktuella problemställningen är, enligt kapitel 1.1, att skapa ett verktyg för trovärdig simulering av den sk SRC-komponenten och därmed en modell som kan beskriva samtliga avrinningskomponenter i ett avloppssystem.

Ett krav som ställts är att modellen skall kunna användas som ett ingenjörswerktyg med en lämplig avvägning mellan krav på indata och hanterbarhet. Förutom en trovärdig beskrivning av totalflödet från ett visst studerat avrinningsområde, finns också önskemål om att modellen skall kunna ge viss information om avrinningsområdets karakteristik.

Det förutsätts att modellen måste kalibreras, då detaljkunskap sällan finns om inläckagens karakteristik och storlek. För varje tillämpning måste alltså modellparametrar anpassas så att en så god överensstämmelse som möjligt erhålls mellan beräknade och uppmätta flöden för en lämpligt vald period. Efter kalibrering av modellen skall denna kunna simulera flödesförloppet för indata där motsvarande utdata ej finns tillgängliga. Det vill säga modellparametrarna skall ej variera med tiden, förutsatt att ingrepp ej görs som förändrar avrinningsområdets karakteristik.

Utgående från dessa förutsättningar testades ett helt nytt tillvägagångssätt i ett FoU-projekt, se ref./15/, där den icke-urbana avrinningsmodellen, NAM, används för att beskriva effekterna av SRC-komponenten, dvs effekterna av det hydrologiska minnet.

NAM-modellen är utvecklad av Dansk Hydraulisk Institut, Danmark, se ref./7/, och är ett väl beprövat ingenjörswerktyg för beskrivning av de hydrologiska förloppen inom icke urbana områden. Förutom i ett flertal tillämpningar i Danmark, har modellen använts för hydrologiska studier med olika syfte i ett flertal länder i olika klimatzoner runt om i världen. Exempelvis Indien, Tanzania och Grönland.

NAM-modellen är en sk konceptuell hydrologisk modell, vilket betyder att modellstrukturen innehåller delar av både "Black Box" och "White Box" typ. Denna typ av modell kan därmed analogt även kallas för en "Grey Box" modell. Den sk HBV-modellen, se ref./4/, som utvecklats och används vid SMHI, är också av denna typ.

NAM-metodiken bygger på att ett avrinningsområde beskrivs med ett begränsat antal hydrologiska modellparametrar vilka beskriver ytavrinning, infiltration, grundvattenflöde, markvattenhalt etc. Metodiken förutsätter att modellen kalibreras mot flödesstatistik där en så god överensstämmelse som möjligt, mellan uppmätt och beräknat flöde, eftersträvas.

Resultaten från FoU-projektet indikerar att NAM-modellen på ett trovärdigt sätt kan hantera det hydrologiska minnet och därmed effekterna av SRC. För att kunna föra ut metodiken i praktisk användning har det dock bedömts som angeläget:

- att NAM-modellens egenskaper och alternativa formuleringar av modellstrukturen studeras,

Detta arbete pågår inom ramen för ett forskningsprojekt vid Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för Vattenbyggnad.

- att en speciell hydrologimodul för MOUSE-systemet, MouseNAM, tas fram utgående från resultaten från dessa studier,

Denna utveckling har genomförts av Dansk Hydraulisk Institut och modulen finns nu tillgänglig för operativ användning.

- att en metodikmanual för användning av MouseNAM tas fram med bl a erfarenheter från genomförda tillämpningar.

Föreliggande rapport är resultatet av detta arbete. Innehållet i rapporten är i princip en sammanfattning av de praktiska erfarenheter som framkommit vid dels den detaljerade studien av modellens egenskaper vid Chalmers Tekniska Högskola, dels från genomförda praktiska tillämpningar med modellen.

I rapporten beskrivs och diskuteras modellstrukturen och dess beteende (kapitel 2), erforderliga tidsserier och lämplig verifieringsmetodik diskuteras (kapitel 3 och 4). En sammanställning av genomförda tillämpningar där bl a exempel på modellens trovärdighet visas och erhållna parametervärden diskuteras från olika utgångspunkter (kapitel 5). Slutligen diskuteras intressanta tillämpningsområden och modellens användningspotential (kapitel 6 och 7). Detta innebär att rapporten med fördel kan användas som en vägledning och uppslagsbok vid praktisk användning av MouseNAM.

2. MODELLANSATS FÖR URBAN HYDROLOGI - MOUSENAM

2.1 Hydrologin inom urbana områden jämfört med naturmark

Hydrologin för ett urbant område liknar på många sätt hydrologin för naturmark (icke urbana områden). Även ett urbant område innehåller komponenter som omättad och mättad markzon där processer som infiltration, transpiration, perkolation och grundvattenströmning sker. Det känns därför naturligt att en sk icke urban hydrologisk modell kan utgöra grundstommen för en urban hydrologisk modell. Det finns dock vissa väsentliga skillnader mellan renodlad naturmark och hydrologin inom ett urbant område;

- mer eller mindre stora delar av avrinningsområdet består av hårdgjorda ytor där vattnet snabbt avrinner på ytorna till olika typer av ledningssystem som slutligen mynnar i något vattendrag eller annan typ av recipient.
- mer eller mindre stora delar av grönytor och grundvatten dräneras via icke naturliga vägar som husgrundsdräneringar, ledningsgravar, ledningssystem och i vissa fall större tunnelsystem.

Detta innebär sammantaget att ett urbant avrinningsområde avvattnas via en mängd olika vägar, både vad gäller ytvatten och grundvatten, och därmed egentligen består av en mängd mindre avrinningsområden. Problemet är att gränserna för dessa delavrinningsområden styrs av ett komplext spel mellan topografi, geohydrologi, bebyggelse och ledningsnätets utformning och kondition, och därmed i de flesta fall är helt okända.

Detta forskningsarbete har fokuserats på en hydrologisk beskrivning av det delavrinningsområde som avvattnas till ett spillvattenförande avloppssystem. Enligt den inledande problembeskrivningen, se kapitel 1.1, kan en flödeshydrograf i ett sådant system generellt indelas i tre olika typer av flödeskomponenter, nämligen:

- o En flödeskomponent som ej påverkas av den hydrologiska situationen, den sk FRC-komponenten. Orsakad av avrinning från hårdgjorda ytor.
- o En flödeskomponent som påverkas av den hydrologiska situationen, den sk SRC-komponenten. Orsakad av exempelvis grundvatteninläckage.
- o En ej nederbördsberoende flödeskomponent, bestående av spillvatten och i vissa fall inläckande havsvatten.

Principerna för denna indelning borde dock vara allmängiltiga för samtliga vattenvägar i ett urbant område, dvs även för rena dagvattenförande ledningssystem och vattendrag. Andelen SRC i ett rent dagvattenförande ledningssystem är dock i de flesta fall mycket begränsad, då dessa system ligger ytligare än de spillvattenförande.

Dessutom styrs problembilden i ett rent dagvattenförande system oftast uteslutande av den mycket snabbare FRC-komponenten. Ett vattendrag påverkas naturligtvis av en stor andel SRC (avrinning från naturmark). Överbelastning av vattendrag kan dock även orsakas av kraftig FRC-påverkan från hårdgjorda ytor inom en tätort.

2.2 Modellstruktur - MouseNAM

Baserat på diskussionen i kapitel 2.1 är det naturligt att modellstrukturen för en urban hydrologisk modell, MouseNAM byggs upp enligt följande princip;

- o En ytvavrinningsmodell för beskrivning av FRC-komponenten.
- o En generell hydrologisk modell, NAM, för beskrivning av SRC-komponenten.
- o Ej nederbördsberoende flödeskomponenter, exempelvis spillvatten, hanteras utanför MouseNAM, via en tidsseriedatabas i MOUSE-systemet, se ref./6/.

Det finns en mängd olika forskningsarbeten och erfarenheter kring simulering av ytvavrinningsprocesserna på hårdgjorda ytor, se exempelvis ref./18/. I denna publikation diskuteras därför inte modellstrukturen för ytvavrinningsmodellen med mer än att den för fullständighetens skull beskrivs i kapitel 2.2.1. Det bör dock noteras att ytvavrinningsmodellen i MouseNAM utformats som en sk kontinuerlig modell genom att den sk vätningsprocessen av markytan beskrivits med ett ytmagasin där vattnet kontinuerligt avtar genom avdunstning. På så sätt tas det hänsyn till om det nyligen regnat och att markytan därmed redan är blöt, samt att markytan torkar upp snabbare under sommaren jämfört med vintern. Dessutom har ett snömagasin enligt samma princip som i NAM-modellen implementerats, se nedan.

MouseNAM har byggts upp som en sk rumsligt förenklad matematisk hydrologisk modell och består av ett antal kopplade matematiska ekvationer som beskriver beteendet hos vattnets kretslopp i och på marken. De enskilda processerna beskrivs med ett begränsat krav på indata. Detta innebär att modellen behandlar varje delområde som en enhet. Parametrarna och variablerna representerar därför medelvärden för hela delområdet.

Det bör också noteras att MouseNAM beräknar det totalt genererade flödet inom avrinningsområdet. Eventuella hydrauliska processer i ett avloppssystem, som exempelvis bräddning, beskrivs ej av modellen. Bräddning inom modellområdet kommer alltså att inkluderas i det beräknade flödet, se vidare kapitel 4.2.2.

2.2.1 Ytvavrinningsmodell

Modellstrukturen visas i **figur 2.1**. Vatten kan magasineras i två magasin:

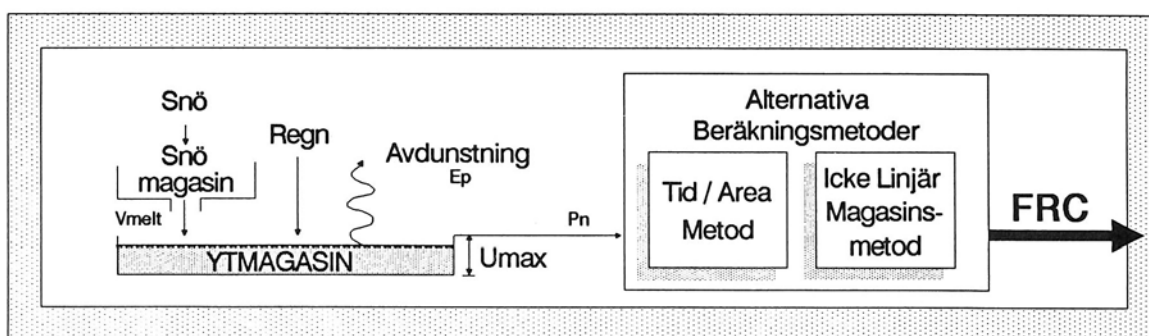
- snömagasinet och
- ytmagasinet.

Nederbörden som passerar genom snömagasinet styrs av temperaturförhållandena i enlighet med principerna för NAM-modellens snömagasin. Vatten lagras då temperaturen understiger noll grader Celsius och avtappas till ytmagasinet då temperaturen överstiger noll grader Celsius. Avtappningen, V_{melt} , från snömagasinet beräknas enligt den sk graddagsmetoden;

$$\begin{array}{ll} V_{melt} = C_{snow} \times T & T > 0 \text{ grader Celsius} \\ V_{melt} = 0 & T \leq 0 \text{ grader Celsius} \end{array}$$

där C_{snow} = graddagskoefficienten
 T = temperaturen (indata)

Den sk vätningsprocessen, uppsamling av vatten i håligheter på markytan, är beskrivet som ett ytmagasin. U_{max} anger det maximala vatteninnehållet i detta magasin. Mängden vatten i ytmagasinet avtar kontinuerligt genom avdunstning, vilken ansätts till den potentiella avdunstningen (indata). När ytmagasinet är fullt kommer det överflödiga vattnet att föras vidare som nettonederbörd, P_n , till två olika alternativa beräkningsmetoder för ytvavrinnings respons.



Figur 2.1 Modellstruktur för ytvavrinningsmodellen i MouseNAM.

o Tid/Area metod

Beräkningsmetoden baseras på följande formel;

$$Q_t = \sum_{n=1}^t (P_{n,t+n-1} \times A_n) = P_{n_t} \times A_1 + P_{n_{t-1}} \times A_2 \dots$$

där P_{n_t} = nettonederbörden mellan tidssteget $t-1$ och t
 A_t = ansluten area mellan rinntidsavståndet $t-1$ och t

A_t beskrivs med hjälp av sk tid/area-kurvor, vilka anger den totala medverkande arean som funktion av rinntidsavstånd. För närmare beskrivning, se ref./18/.

o Icke linjär magasinsmetod

Beräkningsmetodiken baseras på Mannings formel:

$$Q_t = A \times K \times h^{5/3}$$

$$dh/dt = (P_n - Q_t / A)$$

där A = area
h = nivå i magasinet vid tiden t
P_n = nettonederbörd vid tiden t
K = magasinskonstant

$$K = M \times \sqrt{S} / L$$

där M = Manningstal
S = lutning
L = avrinningslängd

Den förenklade magasinskonstanten, K, som inkluderar tre fysikaliskt baserade parametrar, möjliggör ett enklare kalibreringsförfarande.

2.2.2 Generell hydrologisk modell - NAM

NAM-modellen är baserad på dels fysikaliska och dels, till viss del, erfarenhetsmässiga ekvationer. På basis av meteorologiska data beräknas bl a avrinning, grundvattennivåer, relativ markvattenhalt och grundvattenflöde. Modellstrukturen, som är en förenklad beskrivning av vattnets kretslopp i marken, magasinerar vattnet i fyra magasin:

- snömagasinet
- ytmagasinet
- rotzonsmagasinet
- grundvattenmagasinet

Avrinningsförloppet simuleras genom att storleken och karaktären på dessa, olika djupt förlagda, magasin beskrivs. Genom hela beräkningsprocessen tar modellen hänsyn till vatteninnehållet i de fyra olika ömsesidigt beroende magasinerna, vilka representerar fysikaliska element av avrinningsområdet. Modellens uppbyggnad visas i **figur 2.2**.

Nederbörden som passerar genom snömagasinet styrs av temperaturförhållandena. Vatten lagras då temperaturen understiger noll grader Celsius och avtappas till ytmagasinet då temperaturen överstiger noll grader Celsius. Avtappningen, V_{melt} från snömagasinet beräknas enligt den sk graddagsmetoden;

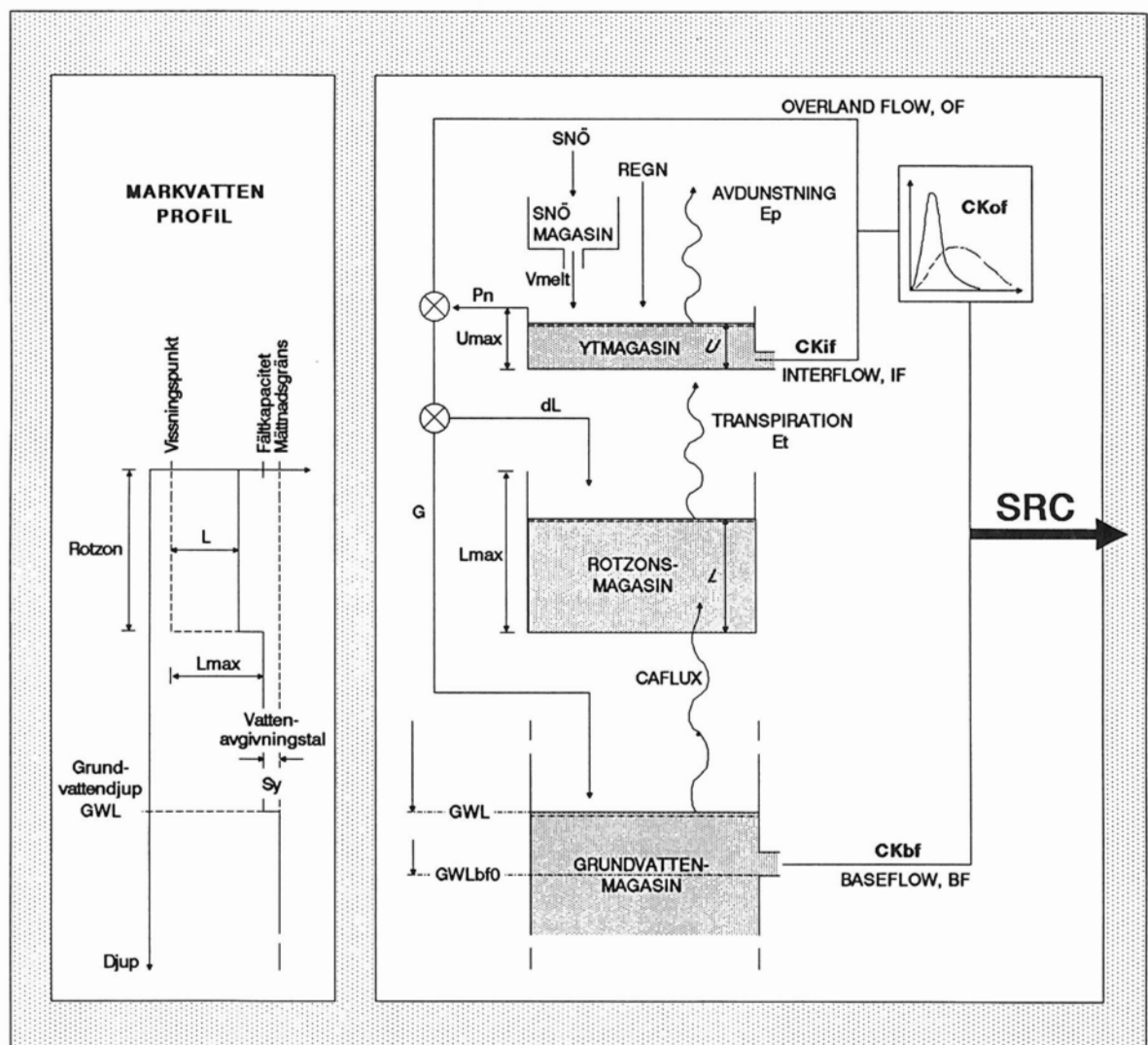
$$V_{melt} = C_{snow} \times T$$

$$V_{melt} = 0$$

$$T > 0 \text{ grader Celsius}$$

$$T \leq 0 \text{ grader Celsius}$$

där C_{snow} = graddagskoefficienten
T = temperaturen (indata)



Figur 2.2 Modellstruktur för NAM-modellen.

Fukt på vegetation samt vatten uppsamlat i håligheter på markytan och i det översta jordlagret är beskrivet som ett ytmagasin. U_{max} anger det maximala vatteninnehållet i detta magasin.

Markvattenhalten i rotzonen, ett marklager nedanför markytan från vilket vegetationen kan suga vatten för transpiration, är beskrivet som ett magasin i en nedre markzon, rotzonsmagasinet. L_{max} anger det maximala vatteninnehållet i detta magasin.

Mängden vatten i ytmagasinet, U , avtar kontinuerligt genom dels avdunstning, dels horisontell vattenströmning i det översta marklagret, sk **InterFlow**. Avdunstningen från ytmagasinet ansätts till den potentiella avdunstningen (indata) och mängden interflow, IF, beräknas enligt;

$$\begin{aligned} \text{IF} &= (L/L_{\max} - \text{Tif}) / (1 - \text{Tif}) \times U / \text{CKif} && \text{för } L/L_{\max} > \text{Tif} \\ \text{IF} &= 0 && \text{för } L/L_{\max} \leq \text{Tif} \end{aligned}$$

där CKif = tidskonstant för interflow
Tif = tröskelvärde för interflow ($0 \leq \text{Tif} \leq 1$)

Interflow transporteras via två linjära magasin i serie, båda med tidskonstanten CKof. Då denna parameter i de flesta fallen väljs så att CKof << CKif, kommer CKif att vara den klart dominerande tidskonstanten för transporten av interflow.

När ytmagasinet är fullt kommer en viss del av det överflödiga vattnet, Pn, att avrinna via sk **Overland Flow**, medan resten infiltrerar till rotzonsmagasinet respektive perkolerar till det djupare förlagda grundvattenmagasinet. Mängden overland flow, OF, beräknas enligt;

$$\begin{aligned} \text{OF} &= (L/L_{\max} - \text{Tof}) / (1 - \text{Tof}) \times \text{CQof} \times \text{Pn} && \text{för } L/L_{\max} > \text{Tof} \\ \text{OF} &= 0 && \text{för } L/L_{\max} \leq \text{Tof} \end{aligned}$$

där CQof = ytavrinningskoefficient ($0 < \text{CQof} < 1$)
Tof = tröskelvärde för overland flow ($0 \leq \text{Tof} \leq 1$)

Även transporten av overland flow baseras på konceptet med två linjära magasin i serie, men med variabla tidskonstanter enligt;

$$\begin{aligned} \text{CK} &= \text{CKpar} && \text{OF} \leq \text{OFmin} \\ \text{CK} &= \text{CKpar} \times (\text{OF} / \text{OFmin})^\beta && \text{OF} > \text{OFmin} \end{aligned}$$

där CKpar = modellparameter CKof för båda magasinerna
OFmin = 0.4 mm/h, nedre gräns för icke linjär transport
 β = -0.33, i överensstämmelse med Chezy's flödesteori

Effekten av de variabla tidskonstanterna för overland flow blir i praktiken att verklig ytavrinning följer teorin för en icke-linjär reservoar, medan mer underordnad ytavrinning (snabb ytlig grundvattenströmning) transporteras linjärt i överensstämmelse med Darcy's lag för vattentransport i mark, se ref./13/.

Andelen perkolerat vatten, G, som fyller upp grundvattenmagasinet beräknas enligt;

$$\begin{aligned} G &= (L/L_{\max} - \text{Tg}) / (1 - \text{Tg}) \times (\text{Pn} - \text{OF}) && \text{för } L/L_{\max} > \text{Tg} \\ G &= 0 && \text{för } L/L_{\max} \leq \text{Tg} \end{aligned}$$

där Tg = tröskelvärde för grundvattenuppfyllnad ($0 \leq \text{Tg} \leq 1$)

Mängden vatten för uppfyllning av rotzonsmagasinet, dL, blir följaktligen;

$$dL = (\text{Pn} - \text{OF}) - G$$

Grundvattenmagasinet töms kontinuerligt via grundvattenströmning, sk **BaseFlow**.
Mängden baseflow, BF, beräknas enligt;

$$BF = H \times S_y / CK_{bf}$$

där CK_{bf} = tidskonstant för baseflow
 S_y = markens vattenavgivningstal
 H = vattennivån i grundvattenmagasinet

Höjningen av vattennivån i grundvattenmagasinet, dH , beräknas som;

$$dH = G \times dt / S_y$$

där dt är tidssteget vid beräkningen.

Det aktuella grundvattendjupet, GWL , beräknas i modellen som;

$$GWL = GWL_{bf0} - H$$

där GWL_{bf0} = det maximala grundvattendjupet vid vilket baseflow genereras.

Mängden vatten i rotzonsmagasinet, L , avtar genom rotsugning till transpiration, E_t .
Denna process startar dock först då ytmagasinet är tomt och beräknas då som;

$$E_t = E_p \times L / L_{max}$$

där E_p = potentiell avdunstning (indata)

Dessutom kan följande processer aktiveras i NAM-modellen:

- En kapillär vattentransport, CAFLUX, från grundvattenmagasinet.
- Infiltrationen exkluderas när grundvattenytan når markytan (ytmagasinet).

Dessa processer diskuteras vidare i kapitel 2.5.3, se även ref./7/.

Av texten och ekvationerna ovan framgår att responsfunktionerna för både overland flow, interflow och baseflow baseras på teorin för ett linjärt magasin i överensstämmelse med Darcy's lag för vattentransport i mark, se ref./13/. Hastigheten, V , vid tiden, t , för de olika komponenterna beskrivs alltså enligt principen;

$$V = h \times CK^{-1}$$

där h = nivå i magasinet vid tiden t
 CK = tidskonstant för magasinet

Samtliga beräkningar i NAM-modellen är alltså oberoende av avrinningsområdets storlek, A . Områdets area används endast för att beräkna flödet, Q , utgående från hastigheten, V , enligt;

$$Q = V \times A = h \times CK^{-1} \times A$$

Av ekvationerna ovan framgår också att det relativa vatteninnehållet i rotzonsmagasinet styr ett flertal av de olika delprocesserna. Av speciellt intresse är att höjningen av respektive flödeskomponents magasinsnivå, dh, styrs av det relativa vatteninnehållet i rotzonsmagasinet. Under kalibreringsprocessen är det därför av stor vikt att variationen av vatteninnehållet i detta magasin studeras, se kapitel 4.4.2.

I kapitel 2.1 konstaterades att arean för den del av det urbana avrinningsområdet som avvattnas till det studerade avloppsnätet ej är känd, åtminstone vad gäller arean för SRC-komponenten, men i vissa fall även arean för FRC-komponenten. Detta innebär att arean ej längre kan tolkas som en bunden parameter (vilket den kan vid icke urbana tillämpningar) och alltså måste uppskattas via kalibrering mot uppmätta flödesdata, även om den har en fysikalisk tolkning. I övrigt borde dock NAM-modellen kunna användas, för beskrivning av SRC-komponenten, enligt samma principer som vid icke urbana tillämpningar, utan justering av modellstrukturen.

2.3 Databehov

Erforderliga indata till MouseNAM är enligt följande:

- modellparametrar
- startbetingelser för NAM-modellen
- meteorologiska data

Modellparametrarna beskrivs i kapitel 2.4.

Startbetingelserna består av vatteninnehållet i magasinen, värden på interflow och overland flow samt grundvattendjupet vid starten för simuleringen. Se vidare kapitel 4.6.1.

Erforderliga meteorologiska data är nederbörd, potentiell avdunstning och temperatur. Se vidare kapitel 3.

Vissa av modellparametrarna i MouseNAM är relaterade till motsvarande fysiska data. Det slutliga valet av parametervärden måste dock baseras på jämförelse mellan beräknade och uppmätta flödesdata, sk kalibrering. Det är därför nödvändigt att uppmätt avrinning från studerat område finns tillgänglig, se vidare kapitel 4.4.

MouseNAM beräknar den nederbördsavhängiga flödeskomponenten. Vid jämförelse mot uppmätta flödesdata skall därför det totalt uppmätta flödet reduceras med de flödeskomponenter som ej är nederbördsberoende, exempelvis spillvattenflöde, se vidare kapitel 4.2.1.

2.4 Modellparametrar - Beskrivning och fysikalisk tolkning

Nedan följer en kort beskrivning av modellparametrarna och deras fysikaliska tolkning. För NAM-modellen har endast de parametrar som anses lämpade för urbana tillämpningar tagits med, se vidare kapitel 2.5.

Totalt avrinningsområde

- Aurb [ha] Storleken på det urbaniserade område som avleder vatten till den punkt där flödet skall simuleras.

Area för ytavrinningsmodellen

- Afrc [%] Andel av det totala avrinningsområdet som avrinner via FRC-komponenten. Arean för ytavrinningsmodellen beräknas alltså som; $Aurb \times Afrc / 100$.

Area för NAM-modellen

- Asrc [%] Andel av det totala avrinningsområdet som avrinner via SRC-komponenten. Arean för NAM-modellen beräknas alltså som; $Aurb \times Asrc / 100$.

2.4.1 Ytavrinningsmodell

Magasineringskapacitet

- Umax [mm] Definierar det maximala vatteninnehållet i ytmagasinet. Värdet på Umax skall åskådliggöra att ytmagasinet i huvudsak representerar håligheter i marken.

Graddagskoefficient

- Csnow [mm/C/dygn] Parametern styr tömningen av snömagasinet. Högre värde ger snabbare tömning. Tömning sker när temperaturen överstiger noll grader Celsius.

Tid/Area metod

Koncentrationstid

- tc [min] Den tid det tar för vattnet att rinna från den mest avlägsna punkten i delområdet till delområdets nedströmspunkt.

Typ av tid/area kurva

- TAtype I nuvarande version finns tre olika standardkurvor att välja mellan; konvergent, divergent och rektangulär.

Icke linjär magasinmetod

Magasinskonstant

- K Magasinskonstanten är en funktion av Manningstal (M), lutning (S) och avrinningslängd (L), $K = M \times \sqrt{S} / L$.

2.4.2 Generell hydrologisk modell - NAM

Magasineringskapacitet

- U_{max} , L_{max} [mm]

Definierar det maximala vatteninnehållet i yt- och rotzonsmagasin.

Värdet på U_{max} skall åskådliggöra att ytmagasinet representerar interceptionsmagasinet (magasinet för nederbörd som fastnar i vegetationen), håligheter i markytan och de översta centimetrarna av marken.

L_{max} kan tolkas som den maximala markvatten halten i rotzonen som är tillgänglig för rotsugning till vegetationens transpiration (avdunstningen från inre ytor i vegetationen).

L_{max} kan, i renodlade områden, uppskattas genom att multiplicera skillnaden mellan fältkapacitet och vissningspunkt för den aktuella jordtypen med det effektiva rot-djupet. L_{max} representerar dock medelvärden för hela avrinningsområdet; medel för olika jordtyper och rotdjup för olika vegetationstyper. Därför kan L_{max} i praktiken inte uppskattas från fältdata. Ett förväntat intervall kan dock uppskattas.

Ytavrinningskoefficient

- CQ_{of}

CQ_{of} bestämmer hur stor del av avrinningen (efter att ytmagasinet är fullt) som skall avrinna som overland flow respektive infiltrera.

En rumslig förenklad fysikalisk tolkning är att parametern skall åskådliggöra infiltrationen inom ett område.

Större värden på CQ_{of} kan förväntas för områden med lågpermeabel jord, såsom lera etc, samt områden med mycket tunnt jordlager, såsom berg i dagen etc. Mindre värden kan förväntas för flacka områden med grovsandiga jordar och en stor omättad zon.

Tidskonstant för overland flow

- CK_{of} [tim]

Tidskonstanterna bestämmer hur snabbt flödet reagerar vid nederbörd. Tidskonstanterna påverkar till viss del även flödet av interflow.

Tidskonstant för interflow

- CK_{if} [tim]

Tidskonstanten bestämmer tillsammans med U_{max} mängden interflow. Denna tidskonstant dominerar påverkan av flödet från interflow då CK_{if} i normala fall är mycket större än CK_{of} .

Tidskonstant för baseflow	
- CKbf [tim]	Tidskonstanten bestämmer flödets avklingning under torrperioder.
Tröskelvärden	
- Tof, Tif, Tg [%]	Påverkar avrinningen så att det inte genereras overland flow, interflow respektive påfyllning av grundvattenmagasinet förrän det relativa vatteninnehållet i rotzonen, L/Lmax, överstiger Tof, Tif respektive Tg.
Graddagskoefficient	
- Csnow [mm/C/dygn]	Parametern styr tömningen av snömagasinet. Högre värde ger snabbare tömning. Tömning sker när temperaturen överstiger noll grader Celsius.

2.5 Modellparametrarnas beteende och känslighet

För givna meteorologiska data, styrs modellens beräkningsresultat av modellparametrarnas värden. Om något av parametervärdena justeras, erhålls en förändring i beräkningsresultatet. Beroende på vilken parameter som justeras kommer denna förändring att vara mer eller mindre kraftig för en viss relativ justering. Detta beroende på att parametrarna har olika känslighet. En parameters känslighet kan därmed beräknas utgående från den förändring i beräkningsresultatet som erhålls vid justering av parametrarnas värde med en viss faktor medan övriga parametrar hålls konstanta. Känsligheten kan alltså beräknas utgående från skillnaden mellan två hydrografer.

Modellen styrs genom samverkan mellan de olika parametrarna och därmed också av deras gemensamma påverkan. För att få en uppfattning om parametrarnas eventuella påverkan på varandras känslighet bör därför studier även genomföras där flera parametrar varieras samtidigt i ett speciellt mönster.

En känslighetsanalys av modellparametrarna har som syfte att ge en djupare kunskap om de enskilda parametrarnas inbördes förhållande och påverkan i modellen. Denna kunskap kan vara användbar för bedömning av lämpliga modifieringar av modellstrukturen, exempelvis förenkling av modellstrukturen genom att utesluta en modellparameter vid ett konstaterat samspel (koppling) mellan två parametrar. Framförallt ger resultaten från en känslighetsanalys ett värdefullt underlag för framtida kalibrering och tillämpning av modellen, exempelvis erhålls kunskap om vilka parametrar som kräver större noggrannhet under kalibreringsfasen.

I detta kapitel återges resultaten från en genomförd känslighetsanalys av NAM-modellens parametrar, se ref./2/ för detaljer. Dessutom diskuteras modellparametrarnas allmänna beteende. Dock behandlas endast NAM-modellens parametrar. För djupare studie av de ingående processerna i ytvavrinningsmodellen hänvisas till befintliga forskningspublikationer inom området, se exempelvis ref./6/.

2.5.1 Allmän diskussion kring modellstrukturen och parametrarna

NAM-modellen beräknar den totala avrinningen som summan av overland flow, interflow och baseflow. I **tabell 2.1** har det markerats vilka parametrar som i huvudsak påverkar respektive flödeskomponent. I **figur 2.3** visas ett exempel på hur fördelningen mellan de olika flödeskomponenterna kan se ut. Exemplet är taget från Ryaverkets avrinningsområde, Göteborg.

	Overland flow	Interflow	Baseflow	Referensvärde
Area	■	■	■	50 km ²
Csnow	■	■	■	0.0 mm/C,d
Umax	■	■	■	10 mm
Lmax	■	■	■	150 mm
CQof	■		■	0.20
Tof	■			15 %
Tif		■		15 %
Tg			■	15 %
CKof	■			25 h
CKif		■		400 h
CKbf			■	2000 h
GWLf1			■	0.00 m
GWLmin	■		■	0.00 m
GWLbf0				10.00 m
Sy				0.1
Carea			■	1.0

Tabell 2.1 NAM-parametrarna och de flödeskomponenter som respektive parameter i huvudsak påverkar. Area = $A_{urb} \times A_{src} / 100$, se kapitel 2.4.

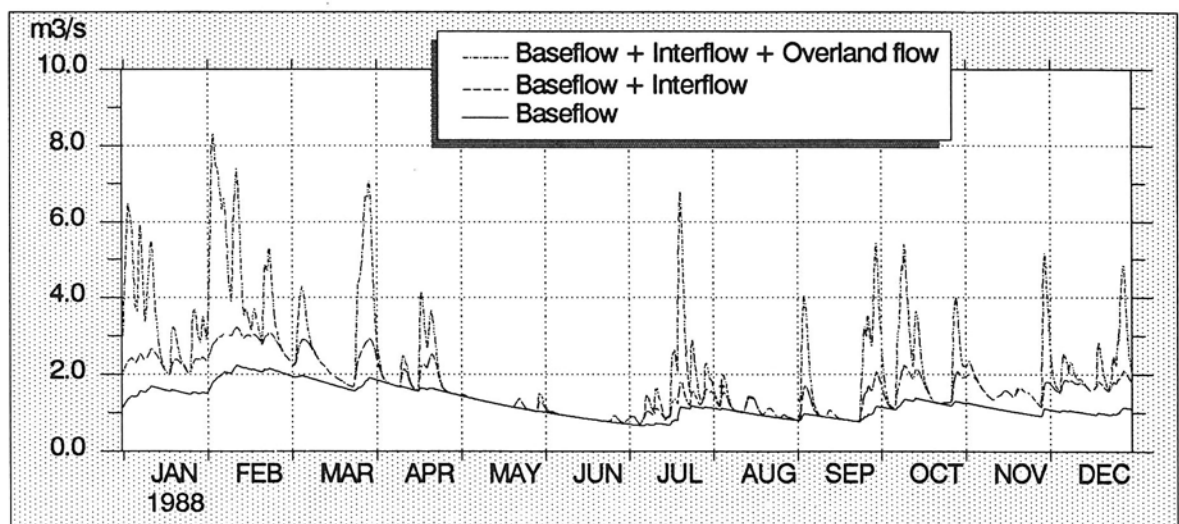
I denna rapport förekommer hänvisningar till de sk referensparametrarna. Vid den genomförda känslighetsanalysen användes dessa som utgångspunkt för samtliga parameterjusteringar. Referensparametrarna framgår av **tabell 2.1**.

I detta kapitel och kapitel 2.5.2 diskuteras beteende, funktion och känslighet för parametrarna i den övre delen av **tabell 2.1**. Utgående från genomförda studier kan

det konstateras att de övriga parametrarna kan elimineras från modellen vid urbana tillämpningar, dvs sättas till konstanta värden enligt nedan:

- GWLfl1 = 0.0 m
- GWLmin = 0.0 m
- GWLbf0 = 10.0 m
- Sy = 0.1
- Carea = 1.0

Detta diskuteras mer ingående under kapitel 2.5.3. Motivet är dock i första hand att effekterna av de flesta av dessa parametrar till stor del kan beskrivas med de övriga modellparametrarna. I andra hand beroende på det faktum att dessa parametrar vid samtliga urbana tillämpningar ej behövt användas. Det kan därför antas att de mindre effekter av dessa parametrar som ej kan beskrivas med de övriga parametrarna, endast försumbart påverkar inläckaget till ett ledningsnät.



Figur 2.3 Exempel på fördelning mellan de olika flödeskomponenterna i NAM-modellen. Ryaverkets avrinningsområde, Göteborg.

Vid studie av modellstrukturen kan ett antal viktiga delprocesser urskiljas, nämligen:

- o Avdunsningsprocessen från ytmagasinet och rotzonsmagasin.
- o Fördelningsprocessen mellan overland flow och infiltration, den sk övre växeln.
- o Fördelningsprocessen mellan perkolation och påfyllning av rotzonsmagasinet, den sk nedre växeln.
- o Responsfunktionerna för respektive flödeskomponent, dvs processerna som styr formen på respektive flödeskomponent.

Nedan redovisas vilka parametrar som i huvudsak påverkar respektive delprocess:

Avdunstningsprocessen

Avdunstningsprocessen påverkas i huvudsak av parametrarna U_{max} , L_{max} och T_g . Även CK_{if} , CQ_{of} , T_{if} och T_{of} påverkar avdunstningsprocessen, dock i mindre omfattning.

Övre "växeln"

Fördelningsprocessen överland flow kontra infiltration påverkas i huvudsak av parametrarna CQ_{of} och T_{of} . Men även U_{max} genom att mängden vatten fram till "växeln" i huvudsak styrs av denna parameter.

Nedre "växeln"

Fördelningsprocessen perkolation kontra påfyllning av rotzonsmagasinet påverkas i huvudsak av parametrarna T_g och L_{max} . Men även CQ_{of} genom att mängden vatten fram till "växeln" i huvudsak styrs av denna parameter.

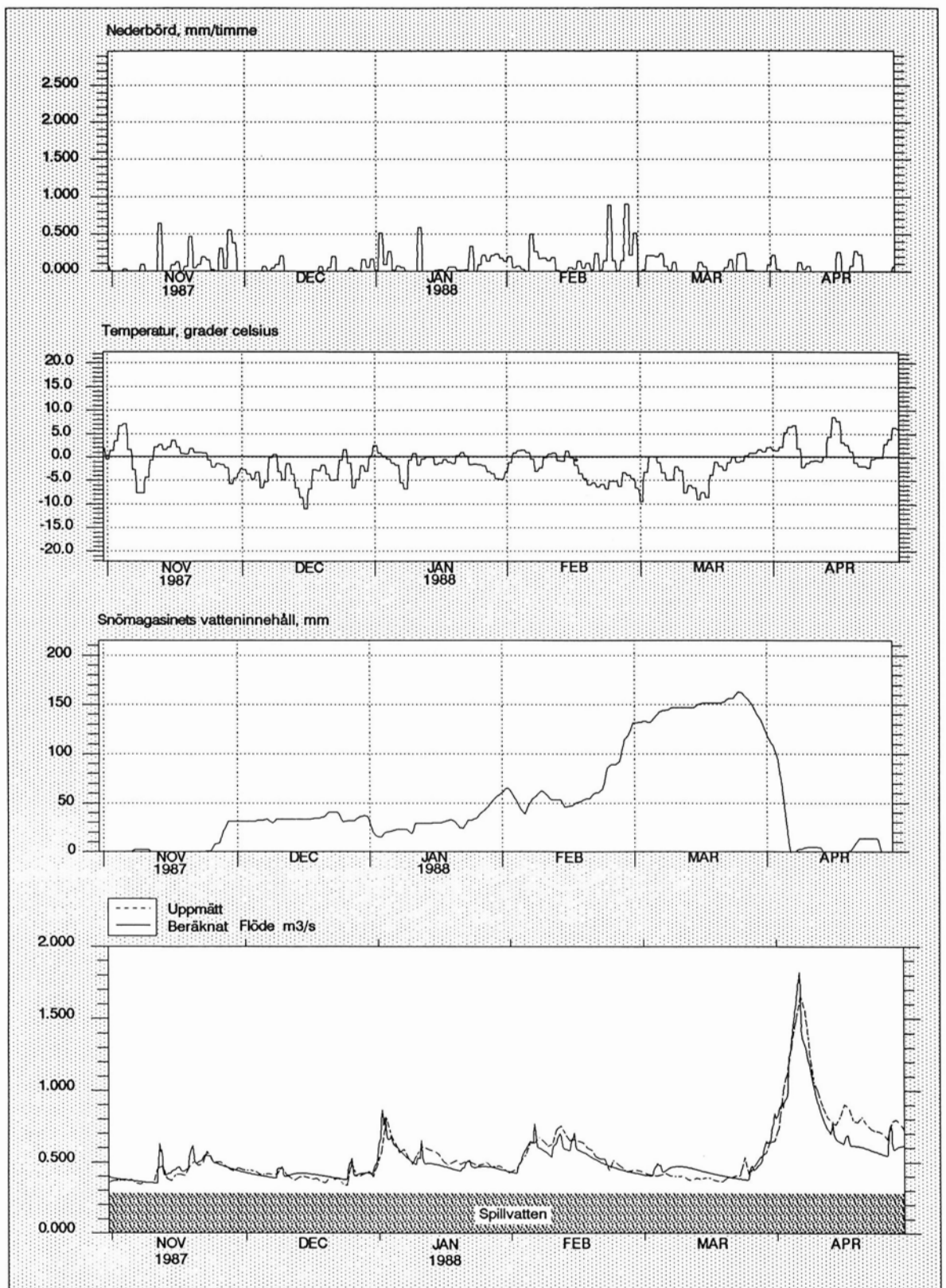
Responsfunktionerna

CK_{of} styr responsen på överland flow, medan CK_{bf} styr responsen på baseflow. Fördelningen mellan dessa flödeskomponenter styrs i huvudsak av parametern CQ_{of} . Responsen på interflow styrs i huvudsak av CK_{if} . Denna parameter styr även, tillsammans med parametern U_{max} , mängden interflow. U_{max} har dock den avgörande betydelsen för mängden interflow. Fördelningen mellan interflow och summan av överland flow och infiltration styrs därmed i huvudsak av parametern U_{max} .

2.5.2 Betydelsefulla NAM-parametrar

Area-parametern anger storleken på den del av avrinningsområdet som skall simuleras med NAM-modellen. I MouseNAM anges den via parametrarna A_{urb} och A_{src} , se kapitel 2.4. Samtliga beräkningar av NAM-modellens delprocesser sker först med enheten nivå per tidsenhet [mm/timme]. Flödeskomponenterna omräknas därefter till enheten volym per tidsenhet [m^3/sec] genom multiplikation med Area-parametern. Detta innebär att Area-parametern helt saknar betydelse för beteende och funktion av de olika delprocesserna och strikt tolkat ej tillhör själva modellstrukturen. Av naturliga säll är dock parametern den viktigaste av alla då en korrekt vattenbalans, dvs korrekt total volym ej kan erhållas utan parametern.

Då temperaturen är under noll grader Celsius anses nederbörden falla i fast form (snö etc) och lagras i snömagasinet. C_{snow} är graddagskoefficienten för snösmältningsrutinen och styr tömningen av snömagasinet. Tömning sker när temperaturen överstiger noll grader Celsius. Parametern påverkar därmed inte de övriga processerna i modellen men är av stor betydelse i de fall då ett större relativt långvarigt snötäcke förekommer. I dessa fall kan parametern inverka mycket kraftigt på hydrografens utseende. I **figur 2.4** visas ett exempel på dels uppbyggnaden av snötäcket med efterföljande snösmältningsförlopp, dels beräknad och uppmätt flödesreaktion under motsvarande period. Exemplet är taget från Duvbackens reningsverk, Gävle, se ref./15/. Som synes orsakade snösmältningsförloppet den avgjort största flödestoppen, vars respons kraftigt påverkas av graddagskoefficienten, C_{snow} .



Figur 2.4 Exempel på simulering av uppbyggnaden av snötäcket med efterföljande snösmältningsförlopp. Duvbackens reningsverk, Gävle.

Bortsett från Area-parametern och C_{snow} erhålls störst påverkan på toppflöden vid justering av parametrarna CK_{of} och CQ_{of}. Detta gäller även den generella inverkan på hydrografens utseende, dock ej så markant då även CK_{bf} och U_{max} har stor inverkan på hydrografens övergripande utseende. Minst påverkan fås för T_{if}.

Störst påverkan på totalt avrunnen volym erhålls, bortsett från Area-parametern, vid ändring av parametrarna U_{max} och L_{max}, vilka båda ger ökad avrinning för minskade värden. Även T_g ger en liknande effekt. Minst känsliga med avseende på totalt avrunnen volym är parametrarna CK_{of}, CK_{bf} och T_{of}, där CK_{of} och CK_{bf} ej påverkar totalt avrunnen volym under en längre hydrologisk period.

Parametrarna CK_{of}, CK_{bf}, U_{max}, L_{max} och CK_{if} uppvisar alla större känslighet för minskande parametervärden. Tröskelvärdena T_{of}, T_g och T_{if} uppvisar alla större känslighet för ökande parametervärden. CQ_{of} är lika känslig för ökande som minskande värden.

Den genomförda känslighetsanalysen visar att betydelsen av parametrarna U_{max}, L_{max}, T_{if} och T_g minskar med minskande värden på parametern CQ_{of}. Detta är av speciellt intresse då relativt låga värden erhållits på parametern CQ_{of} vid genomförda urbana tillämpningar, se kapitel 5.2. Vid minskande CQ_{of} kan dessutom följande fenomen konstateras:

- Betydelsen av U_{max} ökar i förhållande till L_{max}.
- Betydelsen av CK_{bf} ökar i förhållande till CK_{of}.

Trots att parametern CQ_{of} är av mycket större betydelse än parametrarna T_g och T_{of} är det intressant att konstatera att en ökning av CQ_{of} till viss del kan kompenseras av en minskning av T_g och/eller en ökning av T_{of}. Betydelsen av tröskelvärdena är dock av underordnad karaktär under blöta perioder, dvs då rotzonsmagasinet är nära fullt.

Med ledning av resonemanget ovan kan det konstateras att parametrarna Area, CQ_{of}, CK_{of}, CK_{bf}, U_{max} och i vissa fall C_{snow} är av störst betydelse och därmed bör ägnas störst uppmärksamhet vid kalibrering av NAM-modellen.

2.5.3 NAM-parametrar av mindre intresse

För fullständighetens skull beskrivs i detta kapitel funktion och beteende för de modellparametrar som ej anses nödvändiga vid urbana tillämpningar med MouseNAM. Detta motiveras nedan genom att bland annat ge exempel på hur beteendet hos parametrarna nedan kan beskrivas med de övriga modellparametrarna.

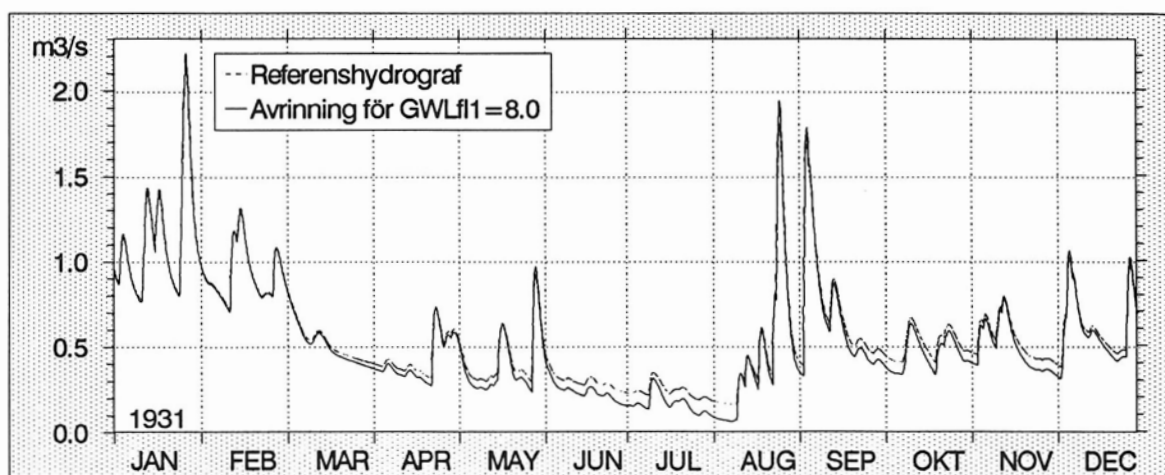
GWL_{fl1}

Parametern GWL_{fl1} anger det grundvattendjup som orsakar en kapillär strömning på 1 mm/dygn från grundvattenmagasinet till rotzonsmagasinet när detta är helt tomt. Den kapillära strömningen, CAFLUX [mm/dygn] beräknas enligt;

$$\text{CAFLUX} = (1 - L/L_{\text{max}})^{1/2} \times (\text{GWL} / \text{GWLf11})^{-\alpha}$$

där $\alpha = 1.5 + 0.45 \times \text{GWLf11}$
 GWL = beräknat grundvattendjup
 L = nivån i rotzonsmagasinet
 Lmax = maximal nivå i rotzonsmagasinet

En aktivering av denna process, dvs vid ett parametervärde större än 0.0 m, erhålls ett minskat baseflow. Framförallt märks detta under perioder med ett lågt vatteninnehåll i rotzonsmagasinet. Under perioder då rotzonsmagasinet nästan är fullt erhålls endast en försumbar effekt. I **figur 2.5** visas erhållen skillnad i beräkningsresultat då endast parametern GWLf11 justerats från 0.0 till 8.0 m, i övrigt har referensparametrarna använts, se **tabell 2.1**.

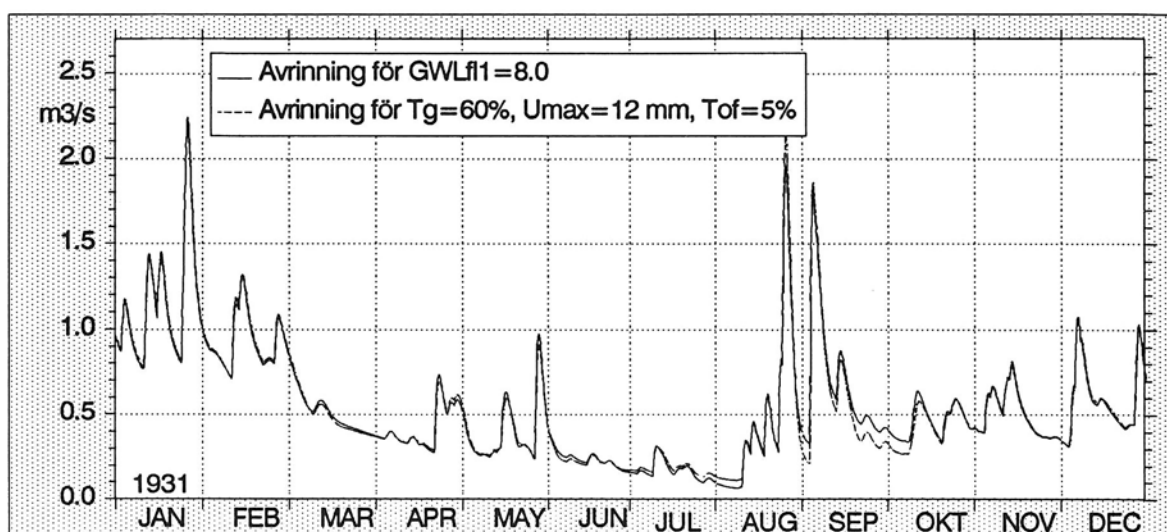


Figur 2.5 Effekterna av en justering av parametern GWLf11 från 0.0 till 8.0 m.

Vid hittills genomförda urbana tillämpningar med NAM-modellen har aktivering av denna process ej visat sig nödvändig. Sannolikt beror detta på att motsvarande effekter kan erhållas med de övriga modellparametrarna. En annan anledning skulle kunna vara att denna process endast i mindre omfattning påverkar inläckaget till ett ledningsnät.

I **figur 2.6** visas överensstämmelsen mellan den tidigare hydrografen där endast GWLf11 justerats och en hydrograf där istället parametrarna Tg, Umax och Tof justerats. Tg har justerats från 15 till 60 %, Umax från 10 till 12 mm och Tof från 15 till 5 %. Figuren visar att en justering av GWLf11 enligt ovan i stort sett kan ersättas av en justering av parametrarna Tg, Umax och Tof.

Detta indikerar att parametern GWLf11 sannolikt kan elimineras från modellen, dvs sättas till konstant 0.0 m, åtminstone för urbana tillämpningar.



Figur 2.6 Jämförelse av den hydrograf som erhöles då endast GWLfl1 justerades och en hydrograf där istället parametrarna Tg, Umax och Tof justerats.

GWLmin

Parametern GWLmin anger det minsta grundvattendjupet vid vilket grundvattennivån når markytan, resulterande i att grundvatten börjar läcka in i ytmagasinet. Detta innebär att infiltrationen kommer att sättas noll under dessa perioder och strömma av via overland flow istället.

Vid hittills genomförda urbana tillämpningar med NAM-modellen har denna process ej behövt utnyttjas, dvs parametern har i samtliga tillämpningar satts till 0.0 m i kombination med parametervärden på GWLbf0 och Sy enligt nedan. Sannolikt beror detta på att denna process endast i mindre omfattning påverkar inläckaget till ett ledningsnät.

Detta indikerar att parametern GWLmin troligen kan elimineras från modellen, dvs sättas till konstant 0.0 m, åtminstone för urbana tillämpningar.

Sy och GWLbf0

Parametern Sy anger markens vattenavgivningstal. Parametern används i modellen för att beräkna grundvattennivåns faktiska höjning, dH utgående från den mängd vatten som perkolerar till grundvattenmagasinet, G enligt:

$$dH = G \times dt / Sy,$$

där dt är tidssteget vid beräkningen. Baseflow, BF beräknas enligt:

$$BF = H \times Sy / CKbf = (GWLbf0 - GWL) \times Sy / CKbf,$$

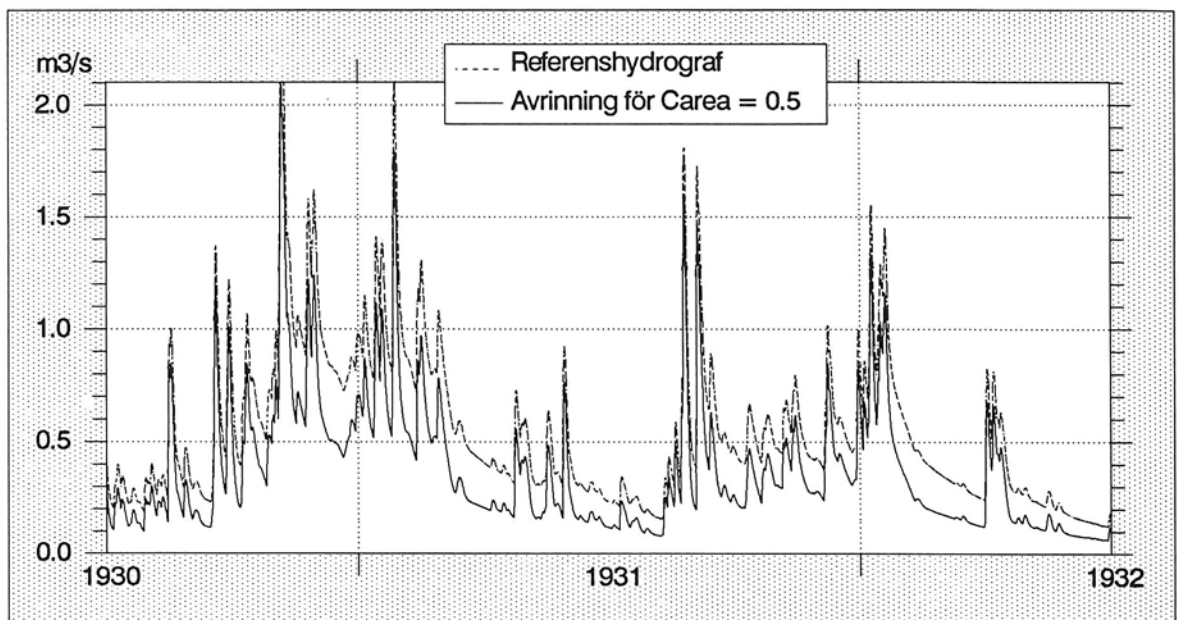
där GWL är beräknat grundvattendjup och $GWLbf0$ är den parameter som anger det maximala grundvattendjup som orsakar baseflow.

Därmed kommer parametern Sy ej att påverka baseflow, utan endast beräknat grundvattendjup. Även parametern $GWLbf0$ påverkar endast beräknat grundvattendjup.

I områden där grundvattennivån aldrig når markytan och där parametern $GWLfl1$ satts till 0.0 m (dvs kapillär strömning från grundvattenmagasinet har eliminerats) saknar både parametern Sy och $GWLbf0$ betydelse. Enligt diskussionen ovan kring parametrarna $GWLfl1$ och $GWLmin$ borde detta påstående kunna generaliseras för samtliga urbana tillämpningar. Parametern $GWLbf0$ borde därför kunna sättas till konstant 10.0 m och parametern Sy till konstant 0.1. Dessa värden kommer att säkerställa att grundvattennivån aldrig når markytan.

Carea

Parametern beskriver förhållandet mellan arean inom grundvattendelaren och arean inom ytvattendelaren. Parametern anges som en relativ faktor och påverkar baseflow genom att detta kontinuerligt multipliceras med $Carea$. Detta innebär att den totala avströmmade volymen minskar vid ett parametervärde mindre än 1.0. I **figur 2.7** visas erhållen skillnad i beräkningsresultat då endast parametern $Carea$ justerats från 1.0 till 0.5, i övrigt har referensparametrarna använts, se **tabell 2.1**.

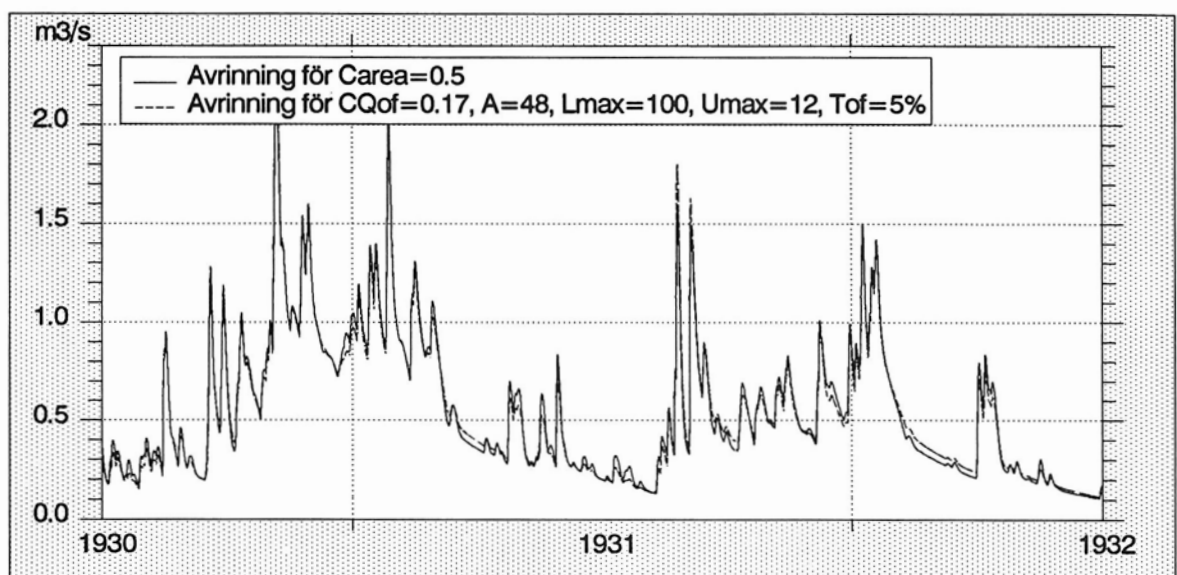


Figur 2.7 Effekterna av en justering av parametern $Carea$ från 1.0 till 0.5.

Vid hittills genomförda urbana tillämpningar med NAM-modellen har $Carea$ genomgående satts till värdet 1.0. Detta beroende på att effekten som erhålls med $Carea$ kan erhållas med de övriga modellparametrarna.

I **figur 2.8** visas överensstämmelsen mellan den tidigare hydrografen där endast Carea justerats och en hydrograf där istället parametrarna CQof, Area, Lmax, Umax och Tof justerats. Cqof har justerats från 0.20 till 0.17, Area från 50 till 48 km², Lmax från 150 till 100 mm, Umax från 10 till 12 mm och Tof från 15 till 5 %. Figuren visar att en justering av Carea enligt ovan i stort sett kan ersättas av en justering av parametrarna CQof, Area, Lmax, Umax och Tof ($\text{Area} = \text{Aurb} \times \text{Asrc} / 100$, se kapitel 2.4).

Detta indikerar att parametern Carea sannolikt kan elimineras från modellen, dvs sättas till konstant 1.0.



Figur 2.8 Jämförelse av den hydrograf som erhöles då endast Carea justerades och en hydrograf där istället parametrarna CQof, Area, Lmax, Umax och Tof justerats.