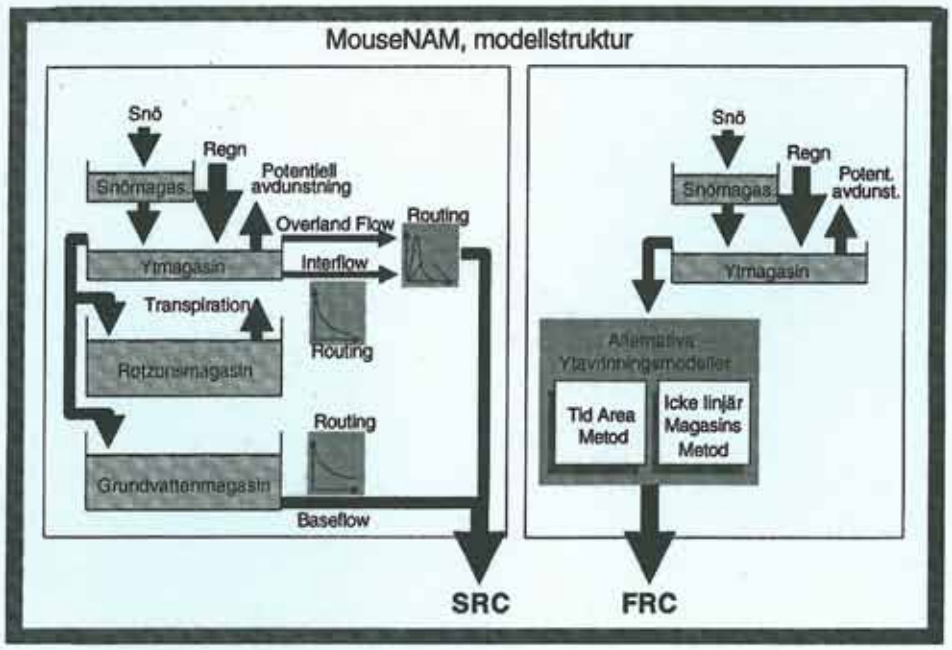
Modellering av ekologisk dagvatten-hantering

Cecilia Wennberg



VA-FORSK RAPPORT 1997 • 11

7 • 11

Utgiven av VAV AB

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
Enhetschef Bengt Göran Hellström	Stockholm Vatten AB
Kommunalråd Nina Jarlbäck	Eskilstuna
Tekn chef Peeter Maripuu	Lysekil
Ledamot i KS o KF Håkan Mattsson	Ystad
Ledamot i KS Åsa Möller	Sundsvall
VA-chef Bengt L Persson	VA-verket Malmö
Sektionschef Jan Söderström	Sv kommunförbundet
VD Håkan Westerlund	VAV
Forskningschef Jan Falk, sekreterare	VAV

Författaren är ensam ansvarig för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande VAVs ståndpunkt.

VA-FORSK
VAV AB
101 53 STOCKHOLM
Tel: 08-677 25 70
Fax: 08-677 25 75

Servicebolag till Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen

Modellering av ekologisk dagvatten-hantering

Cecilia Wennberg

VA-FORSK RAPPORT 1997 • 11

Utgiven av VAV AB

VAV

VA-FORSKs rapportserie

Rapportens titel:	Modellering av ekologisk dagvattenhantering
Title of the report:	Models for ecological management of stormwater
Rapportens beteckning	
Nr i VA-FORSK-serien:	1997-11
ISSN-nummer:	1102-5638
ISBN-nummer:	91-88392-33-3
Författare:	Cecilia Wennberg, VBB Viak AB
Utgivare:	VAV AB
VA-FORSK projekt nr:	–
Projektets namn:	Dagvatten i urbana grönområden - markbyggnadstekniska systemlösningar för samverkan mellan mark, vatten och vegetation
Projektets finansiering:	VA-FORSK, Byggforskningsrådet
Rapporten beställs från:	AB Svensk Byggtjänst, Litteraturtjänst, 113 87, Stockholm, tel 08-457 11 00
Rapportens omfattning	
Sidantal:	60
Format:	A4
Upplaga:	1100
Sökord:	Dagvatten, ekologisk dagvattenhantering, modeller, föroreningar, flödesbelastning, avrinning, infiltration, perkolation
Keywords:	Stormwater, ecological management of stormwater, models, pollutants, flow peaks, runoff, infiltration, percolation

Sammandrag:

Rapporten innehåller en beskrivning av vilka krav som bör ställas på modeller för ekologisk dagvattenhantering. Utifrån den definierade kravspecifikationen preciseras behov av forskning och utveckling. I rapporten redovisas också ett antal verkliga fall som beskriver erfarenheter kring dagvattenmodellering.

Abstract:

The report describes the demands which should be made on computer models for the ecological management of stormwater. On the basis of the required criteria recommended in this report, further research and development are suggested. The report also includes a number of actual cases which describe the circumstances surrounding stormwater simulation.

Målgrupper:	Forskare Förvaltare Planerare Projektörer
Utgivningsår:	1997
Pris 1997:	110 kr, exkl moms

SAMMANFATTNING

Denna rapport innehåller en beskrivning av vilka krav som bör ställas på modeller för *modellering av ekologisk dagvattenhantering*. Utifrån den definierade kravspecifikationen ges i rapportens sista kapitel förslag på behov av vidare forskning och utveckling.
Vidare exemplifieras några modellsystem och deras struktur och funktion. De exemplifierade modellsystemens begränsningar och möjligheter jämförs med kravspecifikationen. I rapporten redovisas också ett antal verkliga fall som beskriver erfarenheter kring dagvattenmodellering.

Utifrån de anläggningar som beskrivits har ett antal olika processer/system som är aktiva i dessa anläggningar identifierats. Dessa processer kan indelas i två huvudgrupper som behandlar kvantitativa (flöden) och kvalitativa (föroreningar) aspekter på dagvattenhantering. För modellering av dessa processer har historiskt större insatser lagts på att bygga upp modeller för kvantifiering av flödesbelastningar än modeller för beskrivning av biologiska och kemiska processer.

De tillämpningsexempel som redovisas i denna rapport är huvudsakligen exempel på modellberäkningar av tillrinningen och flödesbelastningen av dagvatten. Vidare redovisar de exempel på hur effekterna av olika åtgärder på flödesbilden kan studeras. Avsaknaden av tillämpningsexempel för modellberäkningarna av effekten av olika åtgärder på föroreningstransporten försvårar bedömningen av om erforderliga processer är tillräckligt väl beskrivna.

Utifrån de exemplifierade modellsystemen kan konstateras att det finns goda möjligheter till modellering av flödesbilden vid analys av ekologisk dagvattenhantering. Därmed innefattas också en beskrivning av de flödesrelaterade processer som skall omfattas i en studie av ekologiska dagvattenanläggningar. Beroende på syftet och därmed detaljeringsgraden i en viss tillämpning kan olika modelltyper vara användbara.

Följande områden med behov av ytterligare forskning för modellering av ekologisk dagvattenhantering har identifierats;

- Hur sker avskiljning av partiklar och föroreningar vid infiltration och perkolation i markbäddar med olika uppbyggnad?
- Om och hur nedbrytning av olika föroreningar sker i marklagren vid infiltration och perkolation?
- Vilken betydelse har växternas för den ekologiska dagvattenhanteringen m a p förorenings- och vattenupptag? I vilken utsträckning förekommer nedbrytning eller ackumulation i växtmassan?

SUMMARY

This report describes the demands which should be made on computer models for the ecological management of stormwater. On the basis of the required criteria recommended in this report, a final chapter gives recommendations for further research and development. Examples are given of some model systems and their structure and function. The limitations and capabilities of these model systems are compared against the required criteria identified in this report. The report also includes a number of actual cases which describe the circumstances surrounding stormwater simulation.

Using the installations described, a number of various processes which apply in these installations were identified. these processes can be divided into two main groups dealing with quantitative (flow) and qualitative (pollutant) aspects of stormwater management. Previous simulations of these processes have consisted mainly of models quantifying the flow patterns rather than models describing the biological and chemical processes.

The applied cases described in this report are primarily simulations of runoff and flow peaks of stormwater. These cases also show how to study the effects of various measures on the flow profile. The lack of cases simulating the effect of various measures on the transport of pollutants makes it difficult to judge if the requisite processes are sufficiently well identified.

The examples of model systems described here show that it is possible to simulate the flow profile in analysis of ecological stormwater management. A description is given of the flow-related processes which should be included in studies of stormwater installations. Depending on the aim, and therefore the degree of detail required, different types of model can be used.

The following areas of future research into simulation of ecological stormwater management were identified:

- How separation of particles and pollutants occurs during infiltration and percolation in soil beds of various constructions?
- If and how degradation of pollutants take place in the soil layers during infiltration and percolation.
- The influence of vegetation on ecological stormwater management with regard to pollutant and water uptake and the extent to which degradation or accumulation occurs in the biomass.

FÖRORD

Föreliggande rapport är finansierad av Byggforskningsrådet. Rapporten är en redovisning av resultatet från ett delprojekt inom projekt nr 920254-1 som genomförts vid SLU (Sveriges Lantbruksuniversitet), Avdelningen för park- och trädgårdsteknik vid Institutionen för lantbrukskteknik, i Alnarp.

Författare till rapporten är Cecilia Wennberg (tidigare Appelgren) vid VBB Viak (Stockholm). Materialet till rapporten har tagits fram genom en arbetsgrupp bestående av förutom Cecilia Wennberg, Göran Lundgren (VBB Viak), Lars-Göran Gustafsson (VBB Viak) och Berit Mattson (SLU). Dessutom anordnades ett slutseminarium vars resultat redovisas i rapporten. Utöver ovanstående arbetsgrupp deltog Tilla Larsson (Malmö kommun), Gabriella Lönngren (Movium), Cristiano Piga (SLU) och Peter Stahre (Malmö kommun) vid seminariet. Projektet som helhet har genomförts med Håkan Schroeder (Inst för lantbrukskteknik, SLU) som projektledare.

Alnarp i april 1997

Håkan Schroeder

1 BAKGRUND 1

2 EKOLOGISK DAGVATTENHANTERING 2

2.1 Orientering 2

2.2 Naturanpassad dagvattenhantering 3

2.3 Framtida inriktning vid hantering av dag- och dränvatten 5

3 DAGENS MODELLERINGSTEKNIK 7

3.1 Modelleringsprinciper 7

3.2 Krav på indata 8

3.3 Exempel på tillgängliga modellkoncept 9

4.MÅLSÄTTNING OCH MÖJLIGHETER 10

4.1 Generella krav på modellverktyg 10

4.2 Processbeskrivande krav 11

4.3 Befintlig kunskap 16

4.4 Problemställning - tillämpning 18

4.5 Projekterfarenheter 19

5 DISKUSSION OCH SLUTSATSER 20

6 FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNING OCH UTVECKLING 23

REFERENSER & ÖVRIG LITTERATUR 26

BEGREPPSFÖRKLARING 28

BILAGA 1. EXEMPEL PÅ TILLGÄNGLIGA MODELLKONCEPT 30

BILAGA 2. PROJEKTERFARENHETER 44

1 BAKGRUND

Vid Sveriges lantbruksuniversitet(SLU) i Alnarp, Institutionen för lantbrukstekniк, har en projektbeskrivning avseende "Dagvatten i urbana grönområden - markbyggnads-tekniska systemlösningar för samverkan mellan mark, vatten och vegetation" formulerats som ett forskningsprojekt finansierat av Byggforskningsrådet (proj nr 920254-1).

En del i forskningsprojektet är; " Att inventera och bedöma befintliga vatten-flödesmodeller med avseende på deras tillämpbarhet vid analys av systemlösningar för dagvatten från källa till recipient".
Huvudsyftet med denna uppgift har vidare definierats som att klarlägga vilka krav som bör ställas på de modeller som skall användas vid analys av ekologiska lösningar för dagvatten. Utifrån dessa krav kan befintliga modellers tillämpbarhet bedömas. I de fall där önskvärda processer inte är inkluderade eller möjliga att beskriva skall förslag ges på vidare forskning och utveckling.

Denna rapport innehåller en beskrivning av vilka krav som bör ställas på modeller för modellering av ekologisk dagvattenhantering. Vidare exemplifieras i rapporten ett antal exempel på modeller och hur de kan användas. De exemplifierade modellsystemen har bedömts utifrån etablerad kravspecifikation och dess begränsningar och möjligheter.

Denna rapport har sammanställts av en arbetsgrupp bestående av Berit Mattson från SLU, samt Cecilia Appelgren, Göran Lundgren och Lars-Göran Gustafsson från VBB Viak. Under arbetet har arbetsgruppen träffats under ett arbets-möte. Dessutom anordnades ett slutseminarium med redovisning av rapporten med intresserade och berörda personer från Malmö kommun samt deltagare från SLU. Resultatet av diskussioner och slutsatser från detta mötet har också infogats till rapportens senare delar.

2. EKOLOGISK DAGVATTENHANTERING

2.1 Orientering

Dagvatten är ett ytligt avrinnande regn- och smältvatten från naturmark och hårdgjorda ytor (tak-, parkerings- och vägytor). Nederbörden som faller i form av regn och snö innehåller föroreningar från det atmosfäriska nedfallet. Vid urbanisering av marken kommer föroreningar från trafik och bebyggelse att ytterligare tillföra vattnet föroreningar.

Tidigare har dagvattnet inte ansetts nämnvärt förorenat utan detta har släppts ut i närmaste vattendrag. Vid bebyggelse tas ofta naturmarkens vegetation och de ytliga marklagren bort. Därefter förseglas markytan genom att ersättas av täta material såsom asfalt och betong. På dessa ytor blir vattenavrinningen mycket snabb. Vattnet tas omhand via rännstensbrunnar, takutlopp och stuprör för insamling och vidare transport i ett slutet ledningssystem till naturliga vattendrag, recipienter. Effekten av detta blir en alltför stor belastning beträffande flöden, näringsämnen, tungmetaller och kolväten på våra naturliga vattendrag, sjöar och hav.

I och med att kraven på ledningsnätens funktionssäkerhet och reningskraven hos reningsverken har ökat kommer även betydelsen för föroreningarna som orsakas av dagvattenutsläppen att öka. Avledning av dagvatten till en recipient kan innebära att vattnet här blir så kraftigt förorenat att denna blir otjänlig för att exempelvis utnyttjas som rå-vattentäkt eller bli olämplig att bada i. Om dagvattnet avleds via kombinerade avlopps-ledningar till reningsverk kan slammet från verket innehålla tungmetaller och andra föroreningar som medför att slammet inte tillåts spridas ut för gödning av åkermark.

De problem som orsakas av dagvattnet är bl a

- källar- och marköversvämningar
- bräddning av obehandlat avloppsvatten
- stor vattenbelastning på reningsverk
- förorenat dagvatten belastar vattendrag

Källar- och marköversvämningar

1 I samband med kraftiga regn kan hydraulisk överbelastning erhållas och orsaka en uppdämning i avloppsledningarna som medför att vatten tränger upp i lågt liggande avloppsenheter. Likaså kan en dämning av vattnet ske upp över markytan. Motsvarande kan bristande kapacietet i öppna vattendrag vid stora belastningar orsaka stigande nivåer och marköversvämningar som följd.

Bräddning av obehandlat avloppsvatten

1 För att bl a hindra avloppsvatten att dämma upp i källare finns bräddavlopp, anordnade på ledningsnätet, som skall förhindra källaröversvämningar. Detta innebär att i samband med stora flöden i ledningarna bräddar avloppsvattnet orenat ut i recipienter och vattendrag.

Stor vattenbelastning på reningsverk

1 Om stora momentana flöden belastar reningsverket i samband nederbörd eller stor belastning av läck- och dränvatten, kan detta innebära att avsedd reningseffekt inte uppfylls

under en längre tid i samband med överbelastningen.

Förorenat dagvatten belastar recipienten

1 Vatten som avrinner från trafikytor och andra hårdgjorda ytor till vattendrag och sjösystem kommer på sikt att kraftigt förorena recipienterna.

2.2 Naturanpassad dagvattenhantering

Med dagens miljömedvetenhet och kännedom om dagvattnets innehåll av föroreningar har den direkta avledningen av vatten från hårdgjorda ytor (tak-, parkerings- och väg-ytor) till ledningar ifrågasatts. I dag är ambitionen att låta naturen ta hand om dagvattnet där detta bildas "där droppen faller"och ge vattnet möjlighet att infiltrera i vegetationsytor. Vattnets avrinning fördröjs samtidigt som eventuella föroreningar tas upp och binds i marken och vegetationen.

I kontrast mot vårt "traditionella" sätt idag fördröjs dagvattnets avrinning och bort-transport. En minskad avrinningshastighet erhålls och vegetation och mark får möjlighet att ta upp och binda näringsämnen såsom kväve och fosfor samt föroreningar.

Denna teknik har fått namnet lokalt omhändertagande av dagvatten (LOD).
Även namn som "Naturlig dagvattenhantering", "Naturanpassad dagvattenhantering" och "Ekologiska dagvattenhantering" förekommer i olika sammanhang. Dessa metoder har alla gemensamt avsikten att utnyttja mark och vegetation för att ta hand om dagvattnet.

För att kunna minska avledandet av stora dagvattenflöden och i vattnet förekommande föroreningar måste vattnet tas omhand på platsen och få möjlighet att infiltrera i vegetationsytor. Bäst är om den befintliga vegetationen och det underliggande humus-skiktet kan bevaras och utnyttjas för att infiltrera dagvattnet i. Anledningen till detta är att en redan etablerad vegetation har en stor infiltrations- och magasineringsförmåga. Växter inom och i anslutning till våtmark är viktiga att bevara beroende på att dessa har anpassat sig till den fuktiga miljön och kan därför förutsättas ha förmåga att ta upp och binda eventuella föroreningar i ett dagvatten.

De i naturen tillgängliga resurserna skall tas tillvara redan på planeringsstadiet.
Det är t ex viktigt att bevara:

* Naturliga infiltrationsområden
* Befintliga våtmarker
* Bäckar och diken
* Vattenkrävande och övrig vegetation
* Övriga miljömässigt värdefulla partier

Genom att utnyttja de naturliga resurserna och samtidigt skapa nya grön- och infiltrationsytor kan en stor del av dagvattnet ges möjlighet att avdunsta, tas upp av vegetationen och infiltrera i den underliggande jorden. För att klara denna målsättning är det viktigt att skapa förutsättningar för att infiltrera dagvattnet, längst upp i avrinningssystemet, redan inom tomtmarken.

Vid hantering av dagvattnet är det lämpligt att vattnet tas omhand i följande turordning inom tomtmark och allmän mark.

- Infiltration i gräsförsedda markytor
- Överskottsvatten tas omhand i dräneringsstråk
- Avvattning via grunda avrinningsveck eller diken
- Vattnet tas omhand i dammar, våtmark, rotzons- eller infiltrationsanläggningar

Infiltration i gräsförsedda markytor

1 Den grundläggande förutsättningen för dagvattenhanteringen skall vara att en direktanslutning av dagvatten från hårdgjorda ytor (tak-, parkerings-, väg- och gårdsytor) till avloppsledningar skall undvikas. Dagvattnet skall alltid ges möjlighet att rinna ut över en gräsyta eller annan vattengenomsläpplig yta där vattnet får möjlighet att infiltrera. För att lyckas med detta skall byggnader, vägar, parkeringsplatser och andra hårdgjorda ytor höjdsättas så att vattnet från dessa kan rinna ut över angränsande infiltrationsytor. Kantstenar får inte hindra vattnet att rinna ut över ytorna. Parkeringsytor och kvartersvägar kan förslagsvis förses med en vattengenomsläpplig beläggning typ gräsarmeringssten eller asfalt (typ drainor) kombinerad med en dränerad makadamöverbyggnad.

Överskottsvatten tas omhand i dräneringsstråk

1 Det vatten som inte infiltrerar i gräsytor eller dylikt får rinna fram på ytan eller via grunda rännor till skålade dräneringsstråk där vattnet ges möjlighet att infiltrera. Stråken förses med grovt grus och makadam samt en bottendränering.

2 Dräneringen tjänstgör också som områdesdränering och håller på så vis ned (maximerar stighöjden för) grundvattenytan och underlättar härmed för infiltration av dagvattnet.

Avvattning via grunda avrinningsveck eller diken

1 Ambitionen skall vara att se till att dagvattnet avrinner "högt" i förhållande till markytan. För att inte tappa höjd skall avrinningsvecken förläggas så grunt som möjligt för att inte uppsamlingsdiken och eventuell våtmark skall bli för djup. Härmed är det lättare att infiltrera vattnet i marken och låta vegetationen komma i kontakt med vattnet.

2 Diken utformas så att vattenavledningen i dessa får en fördröjd avrinning och förses med lämplig vegetation som har förmåga att ta hand om eventuella föroreningar i dagvattnet.

Dammar

1 Inom områden där dagvattenledningarnas kapacitet inte är tillräckligt kan det vara möjligt att utjämna eller fördröja vattnet i dammar. Utformningen av en damm kan göras så att den blir ett miljötillskott för närområdet. Dammens botten kan läggas på olika nivåer och slänternas lutningar varieras så att etablering av lämpliga växter kan ske i dammen.

Naturlig våtmark

1 Där naturliga lågpartier och fuktiga områden förekommer skall en strävan vara att utnyttja dessa för att ta hand om dagvattnet. Här finns ofta vegetation som har anpassat sig till fuktiga förhållanden och som har förmåga att ta upp vatten och skapa en omättad zon där vattnet ges möjlighet att infiltrera och magasineras. För att ytterligare binda föroreningar i vattnet kan våtmarken utformas på ett effektivt sätt och kompletteras med vegetation som har förmåga att binda föroreningar som finns i vattnet.

Avsikten med att avleda dagvatten till våtmark är i första hand att utnyttja

- marken för infiltration
- bl a vegetationen för rening
- utjämning

Konstgjord våtmark

1 Där höjdförhållandena är sådana att dagvattnet kan avledas ut över mark (översilningsytor) kan det vara möjligt att också skapa en våtmark. Med viss nivåjustering och plantering av lämplig vegetation kan en effektiv fördröjning och rening av dagvattnet erhållas.

Rotzonsanläggning

1 Denna typ av anläggning kan liknas vid en våtmark. Det som skiljer dem åt är att för rotzonsanläggningen sprids dagvattnet fördelat ut över en större yta med hjälp av ett grövre jordmaterial på vilket fuktighetsälskande växter har planterats. I bädden infiltreras vattnet samtidigt som växtbädden tar upp eventuella föroreningar som finns i dagvattnet.

Infiltrationsanläggning

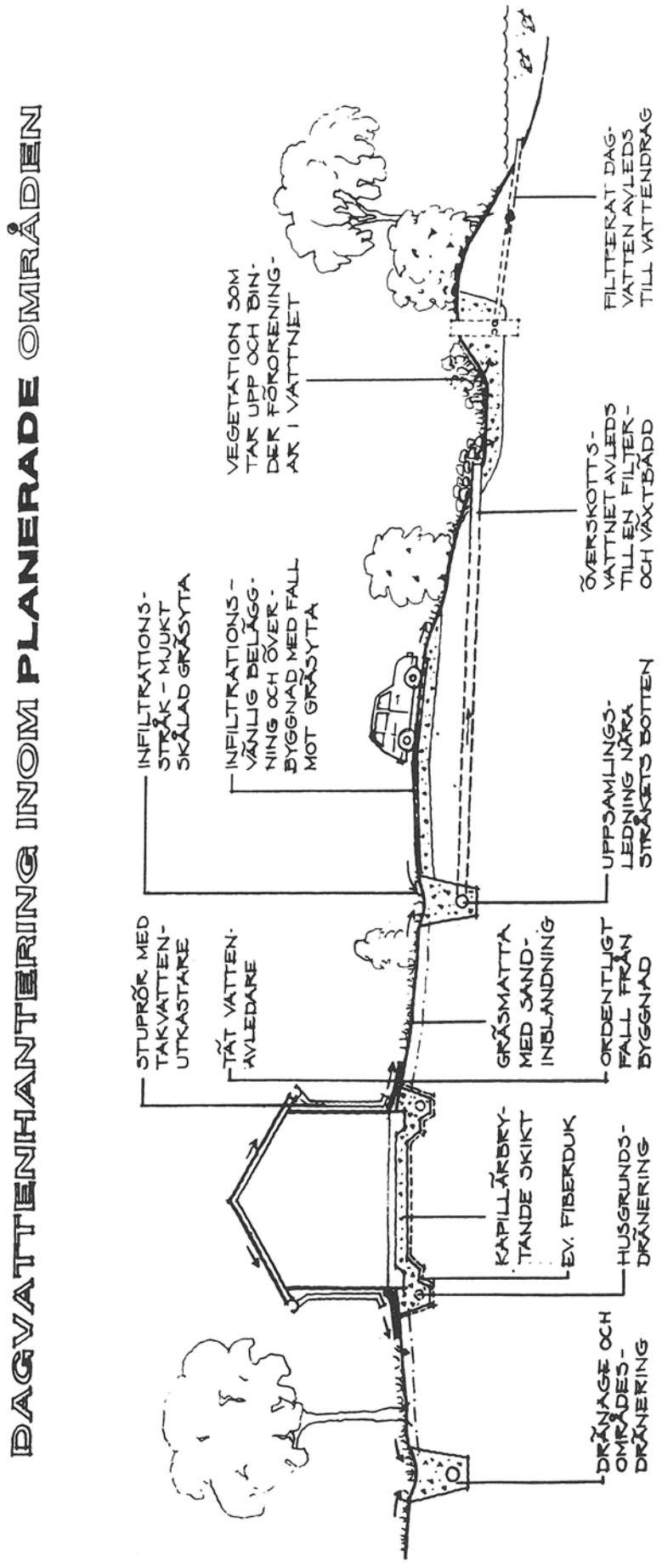
1 Som ett slutsteg innan dagvattnet släpps ut i en recipient kan vattnet samlas upp i en konstgjord våtmark eller översilningsyta. Ambitionen skall vara att avleda vattnet högt och ut över en filterbädd som består av sand med en lämplig fraktion och filtertjocklek. Överytan av filtersanden kan förses med lämpliga växter. Vattnet infiltrerar i sanden och den växtförsedda ytan. Härefter dräneras det filtrerade vattnet slutligen ut i recipienten. Härvid har vattnet erhållet en viss rening.

2.3 Framtida inriktning vid hantering av dag- och dränvatten

För att kunna uppfylla dagens inriktning då det gäller hantering av dag- och dränvatten måste samtliga kommunala förvaltningar vara representerade då målsättning och riktlinjer för ett planområde bestäms. Detta skall ske innan något skissande påbörjats angående planutformningen. Målsättningen för dag- och dränvattenhanteringen skall anges redan i översiktsplaneringen.

Vid planerings- och projekteringsarbetet bör därför detaljerad och samlad kunskap om ett markområdes naturliga förutsättningar inhämtas. En inventering av natur, vegetation, markens beskaffenhet samt grundvattnets högsta läge och rörelser bör göras i initialskedet. Vidare bör dag- och dränvattnets flöden beräknas bl a för dimensionering av dammar och magasin. Detta kan göras när man kan bedöma omfattning och placering av blivande bebyggelse samt omfånget av dagvattenbildande ytor inom ett exploateringsområde. Se exempel i fig 1.

Figur 1. Exempel på dagvattenhantering inom planerade områden.



3. DAGENS MODELLERINGSTEKNIK

3.1 Modelleringsprinciper

En modell kan generellt beskrivas som ett verktyg där de verkliga processerna beskrivs på ett lätthanterligt och för ändamålet tillräckligt trovärdigt sätt. Detta innebär i dagsläget för de flesta teknikområden användarvänliga datorprogram, anpassade för "vanliga" ingenjörer. Fördelen med dessa typer av datormodeller är framförallt flexibiliteten att enkelt kunna testa effekterna av olika alternativa åtgärder och förändringar i det studerade systemet. Detta innebär att datormodellerna som en sekundär effekt ger en ökad kunskap kring de verkliga processerna.

Modelleringsproblematiken kan generellt angripas 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 fysikaliskt baserad 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. Den hydrauliska modellen MouseRÖR är av denna typ (se bilaga B1.1).

En motsats till den fullt distribuerade fysikaliska modellen är den sk "Black Box" modellen. Denna typ av modell grundar sig på det andra synsättet där modellen byggs upp utan hänsyn till de verkliga fysikaliska egenskaperna för systemet. Utgångspunkt tas istället från analys av sammanhörande tidsserier för indata och utdata. 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.

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 ofta ett av huvudsyftena 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 stor mängd indata, vilka i vissa fall kan vara tidskrävande att bestämma.

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.

3.2 Krav på indata

Med hänsyn till vilken typ av modellbeskrivning som tillämpas kan behovet av indata variera starkt från ganska enkla antaganden till behov av långa serier av uppmätta data samt detaljerad information om systemet som skall beskrivas. Innan framförallt en omfattande datainsamling påbörjas är det viktigt att identifiera syftet med modellstudien och vilken typ av resultat som är önskvärda samt modellens framtida användning.

Studier och analys av dagvatten och hantering av dess problembild omfattar att kunna beskriva flödes- och föroreningsbelastningen i det aktuella systemet.

Används en *fysikalisk distribuerad modell* krävs indata i form av information om systemets uppbyggnad, exempelvis ett ledningssystems utformning, ett vattendrags geometri, geologisk lagerföljd och områdesvegetation. Insamling av denna information kan bli ganska krävande och trots en stor arbetsinsats i vissa fall ändå ofullstän-dig.Vidare skall beskrivningen av hydrologin och hydrauliken i systemet, dvs flödesbelastningen samt transportförutsättningarna i bästa fall verifieras mot verkliga uppmätta tidsserier (nivå/flöden) i systemet.Detta kan vid brist i tillgången på historiska mätserier erfodra en mätinsats under arbetets gång.

På motsvarande sätt skall data samlas in för föroreningsbelastningen på systemet och förutsättningarna för den föroreningstransport och de nedbrytningsprocesser som sker. Generellt är denna typ av data betydligt mera svårtillgänglig om den överhuvudtaget existerar. Att genomföra ett tillfälligt provtagningsprogram som underlag för modell-beskrivningen kan också utgöra en relativt stor kostnad i projektet.

I de fall där man använder en mer *förenklad konceptuell modell* för att beskriva tex flödesbelastningen erfodras inte samma mängd indata. Däremot så är det för en sådan tillämpning av betydligt större vikt med tillgången på längre mätserier för kalibrering av modellen.

Det är inte alltid som en stor mängd tillgängliga indata är en garanti för goda resultat i från modellberäkningarna, då dessa till stor del kan vara/är beroende av kvaliten på indatan. Speciellt känsligt är detta vid användning av icke fysikaliska eller konceptuella modeller där någon form av kalibrering mot uppmätta data erfodras. Förekommer det systematiska fel i de mätdata som används för kalibrering av modellen kommer felet att implementeras i modellbeskrivningen.Med den fullständigt fysikaliskt distribuerade modellen ökar möjligheten till att den fysiska systembeskrivningen i sig själv vid beräkningar kommer att påvisa eventuella systematiska fel eller motsägelser i mätdata.

I de fall där man saknar tillräckligt med mätdata för att på ett trovärdigt sätt kunna kalibrera en icke fysikalisk/konceptuell modell finns det anledning att fundera på möjligheten till en fysikalisk teoretisk modellbeskrivning. Om systemet beskrivs fysikaliskt korrekt genom dess geometri kombinerat med uppskattningar på avrinningsområden etc så har en ganska stor del av förutsättningar för vatten och föroreningstransporten beskrivits. Utifrån en sådan beskrivning som inte har verifierats mot uppmätta data kan ändå en hel del information erhållas utifrån hur systemet fungerar.

3.3 Exempel på tillgängliga modellkoncept

Denna rapport gör inte anspråk på att fullständigt redovisa samtliga tillgängliga modellkoncept. En sådan sammanställning vore mycket omfattande att formulera med hänsyn till det stora utbudet av program. Här redovisas istället ett exempel på programpaket som kan användas för modellbeskrivningar och analys av dagvattensystem både med hänsyn till flödesbeskrivningen och vattenkvalitet. En av fördelarna med de här redovisade programpaketen är möljligheten att delvis koppla samman dem vilket möjliggör en studie av samtliga system som påverkas och samverkar sinsemellan. Detta innebär att en integrerad beskrivning kan fås av processerna i avloppsledningsnät, vattendrag/recipient samt omkringliggande mark med hänsyn både till kvantitativa och kvalitativa aspekter. Tillsammans ger de en överblick över samliga enheter kring dagvatten- problematiken som berörs.

MOUSE står för Modelling Of Urban Sewers, se ref./3/. MOUSE är i Europa ett av de mest spridda och använda verktygen för analyser av problem i avloppssystem och är i Sverige ansett som standardverktyget för denna typ av studier, se bilaga B1.1.

MIKE11 är ett system för beräkning av strömningsförhållanden och vattenkvalitet i öppna vattendrag, se bilaga B1.2.

MIKE SHE är ett distribuerat, fysikaliskt baserat modellsystem för simulering av hydrologiska processer i markdelen av den hydrologiska cykeln, se bilaga B1.3.

4. MÅLSÄTTNING OCH MÖJLIGHETER

4.1 Generella krav på modellverktyg

Med den allt ökade användningen av modeller för att studera olika processer erbjuds också ett allt större utbud av verktyg med varierande komplexitet. Valet av modelltyp vid en tillämpning kan kraftigt påverka både erfoderlig arbetsinsats och resultatets kvalitet.
Valet av program bör baseras på problemställningen och därmed vilken systembeskrivning som är aktuell i nuläget och i framtiden. Förutom kraven på att programmet skall vara tillämpbart för den aktuella problemställningen kan ett antal mer generella krav formuleras som bör uppfyllas av systemet som väljs.

- *Detaljeringsnivå;*

1 Inom programmet bör alternativa detaljeringsnivåer vara tillgängliga för att tillgodose kraven för så väl mer övergripande som mycket detaljerade tillämpningar. Trots att en del processer mycket väl kan beskrivas i en förenklad form kan det vara av intresse att beskriva dessa mer detaljerat i syfte att öka förståelsen. Genom att erbjuda olika nivåer för beskrivningen förhindrar man att även en relativt enkel studie kräver onödiga förberedande insatser, samtidigt som vid behov, vissa delsystem eller delprocesser kan beskrivas på en mer detaljera nivå.

- *Användarvänlighet;*

1 Det är önsvärt att programmets grundstruktur är såpass användarvänligt att en normal datoranvändare med rimliga baskunskaper inom ämnet någorlunda snabbt kan komma igång och använda programmet.

Möjligheten till inledande handledning eller kurs i de fall där det anses nödvändigt i kombination med hjälpmanualer är önskvärt.

- *Arbetsmiljö;*

1 Datormiljön (tex PC eller UNIX-miljö) som programmet finns tillgängligt i kan vara av intresse om mycket stora system skall studeras där stor datorkraft är nödvändig. Om det är nödvändigt att modellbeskrivningen blir mycket detaljerad kommer den också att vara mycket krävande vid beräkningarna. Eventuellt kan systemet bli såpass trögt (långa beräkningstider) att det är nödvändigt att kunna arbeta med det i en kraftigare datormiljö. Samtidigt kan det finnas fördelar med system som är persondatorbaserade mht användarens datorvana och tidigare erfarenheter, samt kostnader för hårdvaru-anskaffning. Finns möjligheten att välja olika miljöer så ökar också flexibiliteten för programmets användningsområden.

- *Redovisning/presentation;*

1 Resultaten från modellberäkningar ligger ofta till grund för en bedömning eller beslut om åtgärd. Därmed är det viktigt att resultaten kan presenteras på ett sådant sätt att berörda parter kan förstå och värdera resultaten. Ofta studeras ett antal olika alternativ som skall jämföras och värderas mot varandra. Arbetsinsatsen med resultatbearbetning och presentation kan bli ganska krävande om någon sådan anpassad funktion inte innefattas i programmet. Det är därför önskvärt med någon form av mer genomtänkt

resultatpresentation baserat på grafisk redovisning eventuellt kopplat till geografisk information.

- *Utvecklingspotential*

1 Vid anskaffningen av ett program är ofta syftet att använda den för en aktuell planerad tillämpning. Förhoppningsvis har också programmets användningsområde för andra troliga framtida tillämpningar värderats och funnits lämplig. Det kan dock finnas framtida behov av användning av programmet som för den aktuella versionen inte är fullt möjliga. Dessa tillämpningar är kanske inte identifierade vid anskaffningen av programvaran eller så anses övriga möjligheter med programmet ändå vara tillräckligt allmängiltiga och generella.

2 Programmets framtida utveckling och användbarhet styrs till stor del av kraven från dess användare. En stor och spridd marknad och grupp användare av programmet ökar möjligheten och förutsättningen till en positiv vidareutveckling av programvaran.

4.2 Processbeskrivande krav

För att kunna modellera de effekter som kan uppnås genom ekologisk dagvatten-hantering måste processer som är av vikt och framförallt dess funktion kunna beskrivas i modellen. Det är inte nödvändigt med en fullständigt fysikaliskt beskrivning utan troligen kan vissa processer förenklas kraftigt, men dess effekter måste ändå vara väl beskrivna. Utifrån ett antal olika ekologiska lösningar för dagvattenhantering skall här diskuteras vilka processer som är aktuella och därmed bör innefattas i modell-beskrivningen. Bedömningen av vad som inkluderas från fall till fall bör baseras på erfarenheter från tillämpningar. Utifrån det kan en värdering göras av hur noggrannt systemet och de ingående processerna måste beskrivas för den aktuella frågeställningen.

I detta kapitel kommer huvudsakligen att fokuseras på VAD det är man vill beskriva snarare än HUR med utgångspunkt från hela det verkliga systemets uppbyggnad. I kapitel 4.3 redogörs dock kort för den befintliga kunskapsnivån.

Vid modellering av ekologisk dagvattenhantering så är det två principiella system som skall beskrivas för kvantitet (flöde etc) samt kvalitet (föroreningstransport). Dessa sker i öppna system ovan mark eller i slutna uppsamlingssystem i marken alternativt som "öppna" system under mark. De krav som här specificeras har rangordnats i en speciell ordning. Först kommer de processer som berör hela systemet i stort , varefter delprocesserna inom systemet succesivt studeras mer i detalj och därmed ställer ytterligare krav på processbeskrivning. Indelning av detta är också gjord med hänsyn till kvantitet och kvalitet.

Infiltration i gräsförsedda markytor

Infiltration i gräsförsedda markytor skapas genom att dagvattnet medvetet leds ut på dessa ytor. Dagvattnet ges en möjlighet att infiltrera på en vattengenomsläpplig yta, tex gräs alternativt genomsläppligt material. Systemet som skall beskrivas består av den avrinning som erhålls i samband med nederbörd och huruvuda den tillförs avloppsledningssystemet eller ej. Syftet med ett sådant system är naturligtvis att reducera flödesbelastningen på det befintliga avloppsledningsnätet, och i slutändan dess mottagare. Följande processer skall beskrivas;

1 Förändringen i flödesbelastningen till mottagare (avloppsledningsnät/vattendrag) orsakad av ett förändrat avrinningsbeteende hos en del av ytorna i systemet;

2 Förändrad föroreningsbelastning till mottagare (avloppsledningsnät/vattendrag) orsakad av förändrad flödesbelastning;

3 Vart det infiltrerade vattnet tar vägen och hur det påverkar de geohydrologiska förhållanden. För att göra detta krävs beskrivning av infiltrationsytor och under-liggande marklager och grundvattenförhållanden, dvs vattentransporten i både omättad och mättad zon;

4 Dagvattnets kvalitet och risken för påverkan i mark och på grundvatten genom föroreningstransporten i ytvatten, marklager och grundvattnet;

5 Den avskiljning som erhålls genom infiltration, adsorption, mikrobiell ned-brytning och filtrering, samt eventuell nedbrytning av ämnen genom biologiska processer;

Överskottsvatten tas omhand i dräneringsstråk
Dräneringsstråken förläggs så att dessa ligger lägre än omgivande mark och tjänstgör som uppsamlare av yt- och grundvatten. Stråkets gräsförsedda överyta och dess underliggande dränerande del har en stor fördröjande och upptagande effekt på dag-vattenflödena. Dessutom har stråken en renande effekt på vattnet.
Följande processer skall beskrivas;

1 Förändringen i flödesbelastningen till mottagare (avloppsledningsnät/vattendrag) orsakad av ett förändrat avrinningsbeteende hos en del av ytorna i systemet;

2 Förändrad föroreningsbelastning till mottagare (avloppsledningsnät/vattendrag) orsakad av förändrad flödesbelastning;

3 Mark- och grundvattenförhållanden, dvs förutsättningarna för ytvatten- respektive grundvattentransporten till dräneringstråken;

4 Dräneringsstråken hydrauliska kapacitet och deras infiltrationskapacitet beroende på material samt grundvattenförhållanden:

5 Vart det infiltrerade vattnet tar vägen och hur det påverkar de geohydrologiska förhållanden. För att göra detta krävs beskrivning av infiltrationsytor och underliggande marklager och grundvattenförhållanden, dvs vattentransporten i både omättad och mättad zon;

6 Dagvattnets kvalitet och risken för påverkan i mark och på grundvatten genom föroreningstransporten i ytvatten, marklager och grundvattnet;

7 Den avskiljning som erhålls genom infiltration, adsorption, mikrobiell nedbrytning och filtrering, samt eventuell nedbrytning av ämnen genom biologiska processer och växtupptag;

Avvattning via grunda avrinningsveck eller diken
Vid avledning av dagvatten i diken är det intressant att se effekten av andelen vatten som infiltreras i diket och vegetationens förmåga att fördröja och ta upp föroreningar i dagvattnet.
Följande processer skall beskrivas;

1 Förändringen i flödesbelastningen till mottagare (avloppsledningsnät/vattendrag) orsakad av

ett förändrat avrinningsbeteende hos en del av ytorna i systemet;

2 Förändrad föroreningsbelastning till mottagare (avloppsledningsnät/vattendrag) orsakad av förändrad flödesbelastning;

3 Dikenas hydrauliska kapacitet och deras infiltrationskapacitet beroende på material samt grundvattenförhållanden;

4 Vart det infiltrerade vattnet tar vägen och hur det påverkar de geohydrologiska förhållanden. För att göra detta krävs beskrivning av infiltrationsytor och underliggande marklager och grundvattenförhållanden, dvs vattentransporten i både omättad och mättad zon;

5 Växtlighetens utjämnande effekt på flödet;

6 Dagvattnets kvalitet och risken för påverkan i mark och på grundvatten genom föroreningstransporten i ytvatten, marklager och grundvattnet;

7 Den avskiljning som erhålls genom infiltration, adsorption, mikrobiell nedbrytning och filtrering, samt eventuell nedbrytning av ämnen genom biologiska processer och växtupptag;

Dammar
Dammar skapade som ett öppet system med en permanent vattenyta utjämnar dagvattnet samt har en avskiljande effekt på partiklar och därtill bundna föroreningar genom sedimentering. Följande processer skall beskrivas;

1 Flödesbelastningen på dammen från uppströms beläget system;

2 Partikel- och föroreningsbelastning på dammen från uppströms beläget system;

3 Strypningsanordning vid dammens utlopp och dess utjämnande effekt på avrinningen från dammen;

4 Sedimentering av partiklar och därtill kopplade föroreningar i dammen. Effekten av att genererade bottenlager med sediement rensas alternativt icke rensas bort;

5 Nedbrytnings processer som är aktuella mht uppehållstiden för vattnet i dammen och som påverkar vattenkvalitet, tex nedbrytning av organisk material, syreförhållanden;

6 Transporten genom och ut ur dammen av partiklar och föroreningar;

Våtmarker
Genom att leda dagvatten till en våtmark är syftet att avskilja sediment och föroreningar ur vattnet. I en våtmark uttnyttjas växtlighet för upptag av ämnen samt att skapa en miljö med goda förutsättninga för olika omvandlings- och nedbrytningsprocesser. Följande processer skall beskrivas;

1 Flödesbelastningen på våtmarken från uppströms beläget system;

2 Partikel- och föroreningsbelastning på våtmarken från uppströms beläget system;

3 Eventuellt utjämnande effekter på utflödet pga utloppets utformning.

4 Strömningsbilden i våtmarken och vattenytans utbredning vid större flödesbelastningar med hänsyn till växtlighet i våtmarken;

5

6 Sedimentering av partiklar och därtill kopplade föroreningar. Effekten av att bottenlager av sediment rensas alt. icke rensas bort.

7 Nedbrytnings processer som är aktuella mht uppehållstiden för vattnet i dammen och som påverkar vattenkvalitet, tex nedbrytning av organisk material, syreförhållanden;

8 Växters näringsupptag och kapaciteten hos olika typer av vattenväxtlighet genom rotsugning;

9 Transporten genom och ut ur våtmarken av partiklar och föroreningar beroende på skörd av växtmaterial eller ej;

Rotzonsanläggningar
Vid en rotzonsanläggning leds dagvattnet till en jordbädd som planterats med sådana vattenväxter som har stor förmåga att ta upp närsalter och tungmetaller ur dagvattnet. Processer som sker är dels flödes- och föroreningsbelastningen till rotzonsanläggninen, dels eventuella avskiljande effekter på vattnet vid transporten innan det når själva jordbädden. I jordbädden sker en infiltration av dagvatten, i kombination med växtupptag av ämnen. Förutsättningarna för denna process är årstidsberoende med varierande verkningsgrad under olika säsonger. Processerna inkluderar olika växters rotuppsugningsfömåga under olika årstider och åldrar. Infiltrationskapaciteten i jordbädden är viktig mht vilken belastning som kan påföras. Följande processer skall beskrivas;

1 Flödesbelastningen på rotzonsanläggningen, dvs på jordbädden på uppströms beläget system;

2 Partikel- och föroreningsbelastning på anläggningen från uppströms beläget system;

3 Infiltrationskapaciteten i jordbädden och omgivande mark. För att göra detta krävs beskrivning av infiltrationsytor och underliggande marklager och grund-vattenförhållanden, dvs vattentransporten i både omättad och mättad zon;

4 Den avskiljning som erhålls genom infiltration, adsorption, mikrobiell nedbrytning och filtrering, samt eventuell nedbrytning av ämnen genom biologiska processer;

5 Växters näringsupptag och kapaciteten hos olika typer av vattenväxtlighet genom rotsugning;

6 Transporten genom och ut ur anläggningen av partiklar och föroreningar;

Infiltrationsanläggningar
Dagvatten infiltreras över marken alternativt över skapade magasin av grövre material och filtrerar sedan genom magasinet och därefter ner i naturlig mark. Följande processer skall beskrivas;

1 Förändringen i flödesbelastningen till mottagare (avloppsledningsnät/vattendrag) orsakad av ett förändrat avrinningsbeteende hos en del av ytorna i systemet;

2 Förändrad föroreningsbelastning till mottagare (avloppsledningsnät/vattendrag) orsakad av förändrad flödesbelastning;

3 Infiltrationskapaciteten i jordbädden och vart det infiltrerade vattnet tar vägen och hur det påverkar de geohydrologiska förhållanden. För att göra detta krävs beskrivning av infiltrationsytor och underliggande marklager och grundvattenförhållanden, dvs

vattentransporten i både omättad och mättad zon;

4 Dagvattnets kvalitet och risken för påverkan i mark och på grundvatten genom föroreningstransporten i ytvatten, marklager och grundvattnet;

5 Den avskiljning som erhålls genom infiltration, adsorption, mikrobiell nedbrytning och filtrering, samt eventuell nedbrytning av ämnen genom biologiska processer och växtupptag;

4.3 Befintlig kunskap

Genom att jämföra beskrivningen av exempel på modellkoncept och beskrivningen av vilka processer som är aktuella kring ekologisk dagvattenhantering kan en bild fås av vad som kan beskrivas idag och vilka processer som inte är tillräckligt väl definierade. Samtidigt skall det kommas ihåg att denna rapporten inte syftar till att ge någon full-ständig överblick över samtliga programverktyg som kan vara aktuella för modellering av ekologisk dagvattenhantering.

Avrinning från hårdgjorda ytor och naturlig mark

Beskrivningen av ytavrinningen som genereras i samband med nederbörd och därmed flödesbelastningen på systemet, har sedan länge kunnat modelleras Kunskapen kring dessa avrinningsmodeller är stor, med god erfarenhet och kännedom om dess tillämpbarhet. Det är idag inte några svårigheter att med relativt enkla modellbeskrivningar generera avrinningen från ett område och dess variation under längre perioder (år). En sådan modellbeskrivning förutsätter dock att det finns mätdata att kalibrera mot. Förändringar i systemet som tex reducerad ansluten yta kan enkelt läggas in i modellbeskrivningen.

Grundvattenflödet från ett avrinningsområde

Att modellera grundvatten flödet från ett område är idag möjligt både med mycket detaljerade modellbeskrivningar som omfattar en detaljerad beskrivning av avrinningsområdet eller med mera förenklade konceptuella modellbeskrivningar där endast det totala flödet från hela avrinningsomårdet beräknas.

Vattentransporten i ledningsnät alternativt öppna vattendrag

Kunskapen kring ytavrinning och dess tillrinning till dagvattennät är väl förankrad. Utifrån det har kunskapen byggts upp kring flödesutvecklingen i dagvatten-ledningar utifrån en viss ytavrinningbelastning. Följdaktligen kan man idag modellera stora dagvattensystem och den flödesbelastning som fås på mottagande recipient nedströms i systemet vid nederbörd.

Vattentransporten i utbredda vattendrag (2D) och sjösystem

Kunskapen kring modellering av flöden och nivåer i öppna vattendrag såsom floder har funnits länge. Erfarenheten kring detta området har utvecklats så att man idag har mycket sofistikerade verktyg för modellering av mera utbredda vattendrags-system liknande sjösystem. Det finns kunskap för att modellera 2-dimensionell strömning i system, med olika vattenlager vilket möjliggör beskrivning av t ex sjöar.

Vattenomsättning i bevuxna vattendrag

Vattenomsättningen i bevuxna vattendrag kan idag beskrivas med den vanliga hydrauliska beskrivningen där hänsyn tas till strömningsmotståndet orsakat av växtligheten.

Flödesutjämning av avrinningstoppar, effekter av flödesbegränsningar (strypningar)

I de befintliga modellerna för beskrivning av flödesbelastningen antingen från ett ledningsnät eller i ett vattendrag finns möjligheter att beskriva strypningar i systemet. Detta i kombination med geometrin för systemet gör det fullt möjligt att beskriva och återge den strypningseffekt och därpå följande dämning som skapas i verkligheten.

Grundvattenförhållanden, mättade zonen

Som en följd av god kunskap kring jordens egenskaper finns också en djup kunskap om förutsättningarna för grundvattenströmning och vilka processer som styr denna. Dessa processer finns inkluderade i modellbeskrivningar som kan användas för att beskriva ett specifikt område eller system. På motsvarande sätt som för infiltrations- och

perkolations-processerna kan en sådan modell beskrivning bli mycket detaljerad. Arbetet med modellbeskrivningen omfattar en verifiering av de specifika områdesparametrar som styr processerna. Det finns också möjlighet att beskriva dessa processer genom modellbeskrivningar som bygger på förenklade antaganden om marklagrens egenskaper och förutsättningar för grundvattenströmning. En sådan modellbeskrivning kräver oftast längre perioder av mätdata för kalibrering av modellparametrar.

Infiltrations- och perkolationskapaciteten med hänsyn till jordart, vattenmättnad och grundvattenytans höjdläge

Kunskapen om markens och jordlagrens egenskaper och dess betydelse för infiltrationen och perkolationen i de övre marklagren är mycket god. Denna kunskap har också överförts till modeller som omfattar de olika geohydrologiska processer som sker. En sådan modellbeskrivning innefattar en ganska detaljerad beskrivning av marklagers geologiska egenskap. En sådan modellbeskrivning omfattar en verifiering av de områdes specifika parametrar som styr delprocesserna genom jämförelse mot uppmätta data.
Det finns också möjlighet att beskriva dessa processer genom modellbeskrivningar som bygger på förenklade antaganden om marklagrens beskaffenhet och funktion. En sådan modellbeskrivning kräver oftast längre perioder av mätdata för att kalibrera modellparametrarna.

Förorenings/partikel-innehållet i dagvattnet (punktkällor, diffusa källor)

I syftet att studera belastningen från dagvattnet kan kvaliteten på ytavrinningen beräknas. Det finns idag tillgängliga modeller för att återskapa en sådan belastning. Beskrivningen bygger på en uppbyggnad av partiklar på beskrivna ytor under torrväder, med avspolning vid nederbördstillfället.

Sediment- och föroreningstransporten i ledningsnätet alternativt öppna vattendrag

Under de sista åren har utvecklingen allt mer fokuserats på inte bara flödesbelastningen men framför allt analys av föroreningsbelastning/transport. Utifrån de modellbeskrivningar som finns för flödesanalyser av ledningsnät och öppna vattendrag har kunskap om sediment -och föroreningstransport knutits. Därmed finns kunskapen idag definierad i en fysikalisk distribuerad modell för analys av sediment- och föroreningstransport i ledningar och öppna vattendrag. Sedimentransporten innefattar erosions- och depositionsprocesser av partiklar under varierande flödesförhållanden. Föroreningar som är kopplade till partiklar kan också beskrivas och deras transport studeras.
Den rena föroreningstransporten beaktar lösta ämnens transport i vatten samt effekten av utspädning på föroreningskoncentrationerna.

Biologiska och kemiska processer i öppna vattendrag

I de modellbeskrivningar som finns för vattenomsättningen i öppna vattendrag finns också en del av kunskapen kring de biologiska och kemiska processer som sker i vattendraget beskrivna.Exempel på det är syreförbrukande processer såsomnedbrytning av organiskt material. Procesesser som nitrifikation och denitrifikation kan beskrivas och risken för syrebrist analyseras.

Föroreningstransporten i marken vid infiltration samt i omättad och mättad zon

Genom att kombinera kunskapen om de geohydrologiska processerna samt kunskapen om den rena transporten och utspädningen av ämnen i vatten kan motsvarande transport beskrivas i marklagren. Föroreningstransporten är här liksom i ledningsnät eller i ytvatten en funktion av flödesförhållanden och de kan beräknas utifrån de geohydrologiska processerna i ytskikten, omättade och mättade zonen.

Avskiljning av partiklar och föroreningar vid infiltration och perkolation
Processerna som är verksamma vid partikelavskiljning vid infiltration och perkolation är t ex adsorption, filtrering etc. Det finns kunskap kring skeendet i dessa processer men det är osäkert om motsvarande processer finns implementerade i någon modellbeskrivning.

Nedbrytning av föroreningar i marklagren vid infiltration och perkolation
Kunskapen kring de omvandlingsprocesser som sker vid infiltration och perkolation av ämnen i vattnet är kända. Mineralisering av tex organiskt material kväve kan beskrivas såväl som kvävets omvandling i dess olika faser. Begränsningar finns i vilka olika ämnen som kan beskrivas.

Effekter av växtplantering genom processer såsom rotsugning och näringsupptag
Kunskapen kring effekterna av växters kväve- och vattenupptag finns och har också implementerats i tillgängliga modeller. Inverkan av växtligheten på interception och transpirationen och dess årstidsvariation kan också beskrivas. Kunskapen om växtupptaget av andra ämnen. olika växters kapacietet och effekten av t ex avverkning är mer oklara.

4.4 Problemställning - tillämpning

Vid en jämförelse enligt kapitel 4.3 så uppstår frågan om inte förenklade beskrivningar och beskrivning av effekten, snarare än hur den skapas, är tillräcklig i vissa fall. Vid vissa tillämpningar så kommer det att vara fullt tillräckligt att endast beskriva effekten av en åtgärd. Ett exempel på det är t ex. infiltration på gräsytor genom att förändra avrinningsbeteendet från hårdgjord yta till naturlig mark för den reducerade anslutna ytan. På så sätt fås effekten beskriven för att beräkna korrekt avrinning utan att de lokala lösningarna faktiskt beskrivs modellmässigt. På motsvarande sätt skulle det säkert i vissa fall vara fullt tillräckligt att beskriva växtupptaget av tex metaller såsom en minskad halt ut ur systemet av metaller mht nedströms system, utan att innefatta alla processdelar som sker.

Valet av detaljeringsgraden på ett verktyg vid en tillämpning styrs bla av två saker:

- Kravet på att beskriva delprocesser inom ett område för en *detaljerad resultatbild inom systemet* (hög upplösning i resultaten) /alternativt att resultat endast erfodras från nedströms punkten i systemet som *ett samlat resultat från hela systemet*.

- Kravet/önskemålet om en *fysikalisk beskrivning* av systemet och därmed en *träning i förståelsen* av systemets funktion och känslighet för olika parametrar.

Problemet med en förenklad modellbeskrivning är förutsättningen att effekten av en åtgärd är känd och därmed direkt kan infogas i modellbeskrivningen. Kring en del av anläggningarna för ekologisk dagvattenhanteringen och de processer som sker finns en viss osäkerhet kring vilka effekter som kan uppnås i termer av tex procentuell reduktion av föroreningshalter etc. Skall effekten av dessa processer beskrivas i en förenklad modellbeskrivning krävs således vissa antaganden om anläggningens verkningsgrad.

Det leder tillbaka till diskussionen kring fördelarna med en fullt distribuerad fysikalisk modell och dess egenskaper att öka förståelsen för, samt visa funktionen kring dessa processer. Även om tillgången på verifieringsdata är begränsad eller till och med avsaknas helt kan ofta mycket

information erhållas ur analyser av en systemmodifierad modellbeskrivning med erfarenhetsmässiga värden på parametrar.

4.5 Projekterfarenheter

I bilaga 2 ges en sammanfattande beskrivning av ett antal projekt kring dagvattenproblematiken där modeller har använts för analys av systemen. Där anges vilken problemställningen som var aktuell och vilket modellverktyg som har använts. Desssutom redovisas vilka slutsatser och förslag till åtgärder som har erhållits från modellberäkningarna.

5. DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Denna rapport skall diskutera vilka krav som bör ställas på ett programsystem för modellering av ekologisk dagvattenhantering. Utifrån de kraven kan också en bedömning göras av inom vilka områden som tillgängliga modellsystem idag har en begränsad möjlighet att uppfylla dessa krav.

Generellt kan utifrån de exemplifierade anläggningsalternativen ett antal processer identifieras som bör/måste beskrivas för att kunna modellera dessa anläggningars verkningsgrader och effekter. Dessa processer kan indelas i två huvudgrupper som behandlar kvantitativa (flöden) och kvalitativa (föroreningar) aspekter på dagvatten-hanteringen. Inom de två huvudgrupperna sker processerna i olika delsystem.

A. Kvantitet	a) ytvatten, ledningssystem, öppna vattendrag b) infiltration, perkolation, grundvattenströmning
B. Kvalitet	a) ytavspolning, ledningssystem, öppna vattendrag b) infiltration, perkolation, grundvattenströmning

För modellering av dessa processer har större insatser historiskt lagts på att bygga upp modeller för kvantifiering av flödesbelastningar. Delvis har detta kanske berott på de omfattande skador som överbelastningar kan orsaka men också deras mycket mera uppenbara obehag jämfört med de kvalitativa skadorna i många fall. Den kraftigt ökade föroreningsbelastningen från urban miljö men även i den icke urbana miljön från mänskliga aktiviteter skapar dock andra förutsättningar inte minst genom synliga skador.
Därför har under senare år intresset, men även kraven på kvalitativa förbättringar och minskade skadeverkningar skapat en motsvarande utveckling av modeller för beskrivning av biologiska och kemiska processer.

Utifrån de anläggningar/lösningar som är aktuella inom området ekologisk dagvattenhantering kan ett antal processer urskiljas som måste inkluderas i en modellbeskrivning av dessa system. Följande processer har definierats;

- Ytavrinning från hårdgjorda ytor och naturlig mark
- Grundvattenflödet från ett avrinningsområde
- Vattentransporten i ledningsnät alternativt öppna vattendrag
- Vattentransporten i utbredda vattendrag (2D) och sjösystem
- Vattentransporten i bevuxna vattendrag
- Flödesutjämning av avrinningstoppar, effekter av flödesbegränsningar (strypningar)
- Infiltrations- och perkolationskapaciteten med hänsyn till jordart, vattenmättnad och grundvattenytans höjdläge
- Grundvattenförhållanden, mättade zonen
- Förorenings/partikel-innehållet i dag-/grund-vattnet (punktkällor, diffusa källor)
- Sediment- och föroreningstransporten i ledningsnätet alternativt öppna vattendrag
- Biologiska och kemiska processer i öppna vattendrag
- Föroreningstransporten vid infiltration, perkolation och grundvattenströmning
- Avskiljning av partiklar och föroreningar vid infiltration och perkolation
- Nedbrytning av föroreningar i marklagren vid infiltration och perkolation
- Effekter av växtplantering genom processer såsom rotsugning och näringsupptag

De tillämpningsexempel som redovisas i denna rapport är huvudsakligen exempel på

modellberäkningar av tillrinningen och flödesbelastningen av dagvatten. Vidare redovisar de exempel på hur effekterna av olika åtgärder på flödesbilden kan studeras. Avsaknaden av tillämpningsexempel för modellberäkningarna av effekten av olika åtgärder på föroreningstransporten försvårar bedömningen om erfoderliga processer är tillräckligt väl beskrivna.

Utifrån de exemplifierade modellsystemen kan konstateras att det finns goda möjligheter till modellering av flödesbilden vid analys av ekologisk dagvattenhantering. Därmed innefattas också en beskrivning av de flödesrelaterade processer (AD) som skall omfattas i en studie av ekologiska dagvattenanläggningar. Beroende på syftet och därmed detaljeringsgraden i en viss tillämpning kan varierande modelltyper vara lämpliga.

MOUSE-systemet, se bilaga B1.1, med dess olika delmoduler utgör en god bas för att studera dagvattensystem både kvantitativt och kvalitativt. Transporten i ledningsnätet kan här beskrivas mycket väl och därför också väl tillfredställa de krav som ställs för att beräkna tex belastningen från ett dagvattensystem på en ekologisk dagvattenanläggning. Systemet omfattar ingen beskrivning av omgivande mark och är därför inte lämpad för modellering av själva anläggningar utan snarare av dess effekter som kan beskrivas i modellen.

MIKE11-systemet, se bilaga B1.2, med dess delmoduler utgör ett system för att studera t ex dammar och ev. våtmarker. Flödesbeskrivningen i MIKE11-systemet ger en detaljerad beskrivning av flödesutvecklingen i systemet och därmed belastningen på nedströms liggande anläggning. I de fall där man har mycket komplexa dammar eller våtmarker med komplicerade strömningsbild kan MIKE11 beskrivning vara ofullständig. Flödesberäkningen bygger på antagandet om en 1-dimensionell strömning, varför en blandad strömningsbild inte inkluderas. Vidare har den sina begränsningar i att beskriva "passiva" delar av systemet där vattnet i stort sett är stillastående. Framförallt begränsas möjligheterna i att beskriva de kvalitativa effekterna i dessa stillastående delar.
Som det har nämnts tidigare i rapporten finns det förfinade system av MIKE11 där en 2-dimensionell strömningsbild kan beakttas (MIKE21).
Möjligheterna till användning av MIKE11 för beskrivning av vattenkvalitet i dammar och tex våtmarker är fullt möjlig för den fria vattendelen av systemet. Omgivande mark och grundvattenförhållanden kan däremot inte inkluderas eller beaktas i en modell-beskrivning med MIKE11.

MIKE SHE-modellens, se bilaga B1.3, användbarhet inom området "ekologisk dagvattenhantering" såväl som generell urban hydrologi visar tillämpningen i Vittskövle visar på, se bilaga B2.5. En distribuerad fysikaliskt baserad modell som MIKE SHE ställer dock större krav på relevans och upplösning av indata än en konceptuell modell, som t ex MouseNAM. Detta medför att modellformuleringen tar betydligt längre tid än vad som är fallet med t ex MouseNAM, vilket i många fall talar för användandet av den enklare modellen, under befintliga förhållanden och då bara traditionella åtgärder övervägs.

Jämfört med konceptuella modeller är MIKE SHE framförallt användbar då man önskar studera effekterna av en förändring i det studerade systemet innan den är genomförd,speciellt förändringar som påverkar de geohydrologiska processerna och därmed systemets dränerande funktion. Dessutom finns det i MIKE SHE-modellen goda förutsättningar för att modellera vattenkvaliteten då denna inkluderar ett stort antal av de aktuella processerna.
Sammanfattningsvis bör MIKE SHE vara mycket användbart som verktyg vid tillämpningar som berör tex:

- studie av föroreningsspridning via yt- och grundvatten från punktutsläpp av dagvatten, bräddat avloppsvatten, våtmarker, etc;
- studie av de naturliga geohydrologiska förhållandena inom ett nytt exploateringsområde samt effekterna på dessa förhållanden av framtida bebyggelse och vice versa.

Dock är det osäkert om MIKE SHE möjliggör en korrekt beskrivning av den avskiljning som erhålls vid infiltration och perkolation av förorenat dagvatten i marklager.

I praktiken så kommer det finnas ett antal processer som man inte kan beskriva fulltständigt fysikaliskt i modeller. Förklaringen till det kan vara bristande kunskaper kring en viss process. Ytterligare ett skäl vilket nog ofta blir begränsande är att en sådan beskrivning (styrande ekvationer) skulle kräva oherhört många modellparametrar och bli mycket svårhanterlig. En sådan modellbeskrivning blir mycket arbetsam att arbeta med och risken är att dess syfte som inlärningsredskap snarare förhindras. Sådana begräns-ningar kräver någon form av vidareutveckling eventuellt både inom det teoretiska kunskapsområdet och modellering. Utifrån kravspecifikationen har följande områden med behov av ytterligare forskning för modellering av ekologisk dagvatten-hantering identifierats;

- Avskiljning av partiklar och föroreningar vid infiltration och perkolation
- Nedbrytning av föroreningar i marklagren vid infiltration och perkolation
- Effekter av växtplantering genom processer såsom rotsugning och näringsupptag

Saknas grundkunskapen kring processerna kan slutsater dras från utvärdering av praktiska erfarenheter under tiden som vidare forskning bedrivs. Utifrån sådana praktiska utvärderingar kan förenklade empiriska samband för processers effekter utformas och användas tillsammans med förenklade modellsystem.

6. FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNING OCH UTVECKLING

I de föregående kapitlena i denna rapport har ett antal olika områden som är aktuella kring ämnet modellering av ekologisk dagvattenhantering beskrivits och diskuterats.
En kravspecifikation på vilka processer som bör kunna beskrivas har definierats. Några exempel på modellsystem har redovisats och dess tillämpbarhet för de definierade kraven har belysts.Utifrån kapitlena i denna rapport samt diskussioner och slutsatser från avslutande möte har följande behov identifierats.

FoU-verksamhet och informationssatsningar

Med anledning av de omfattande satsningar på ekologisk dagvattenhantering som kommer att genomföras under de närmaste åren är det viktigt att snabbt nå ut med kunskap inom området. Den fortsatta FoU-verksamheten måste därför tillgodose kunskapsbehovet både på kort och lång sikt. Denna rapport tydliggör behovet av att utveckla datorbaserade modeller för utvärdering av dagvattenanläggningar i befintliga miljöer eller inför nyanläggning. Det finns också ett behov av enklare planeringshjälpmedel med tillhörande råd och anvisningar. En handbok med praktiska exempel på anläggningar för behandling av dagvatten, med normalvärden för olika systemparametrar, utgör ett efterfrågat verktyg i samband med projektering av nya anläggningar.
Det övergripande syftet med det långsiktiga forskningsarbetet är att förbättra kunskapen om de system och delprocesser som innefattas vid ekologisk dagvattenhantering och överföra den kunskapen till modellbeskrivningen. Därmed kan modellerna utgöra ett värdefullt verktyg för bedömning och val av rätt anläggning för dagvattenhantering.
Med dessa kunskaper som underlag blir det möjligt öka precisionen hos modellerna.

Nedanstående förslag till fortsatt FoU-verksamhet grundar sig på redogörelsen av kunskapsläget i denna rapport. Behovet av kunskap inom ekologisk dagvattenhantering diskuterades också vid ett projektmöte på Alnarp 1995-04-03. I denna diskussion deltog Cecilia Appelgren (VBB Viak), Lars-Göran Gustavsson (VBB Viak), Tilla Larsson (Malmö kommun), Gabriella Lönngren (Movium), Göran Lundgren (VBB Viak), Berit Mattsson (SLU), Cristiano Piga (SLU) och Peter Stahre (Malmö kommun).

Dagvattnets kvalitet och flöde - processbeskrivning

Det är viktigt att forskning initieras för att studera samspelet mark/vatten/växt så att de långsiktiga effekterna kan bedömas för olika alternativ för omhändertagande av dagvatten. Exempel på kunskapsluckor är:

- Hur avskiljning av partiklar och föroreningar sker vid infiltration och perkolation i markbäddar med olika uppbyggnad?
- Om och hur nedbrytning av olika föroreningar sker i marklagren vid infiltration och perkolation.
- Vilken betydelse har växternas för den ekologiska dagvattenhanteringen m a p förorenings- och vattenupptag? I vilken utsträckning förekommer nedbrytning eller ackumulation i växtmassan?

Kunskapen om vilken inverkan olika typer av dagvattenanläggningar har på vattnetskvalitet och flöde är i dagsläget otillräcklig. Det är angeläget att studera de olika typfall (byggstenar) som anläggningar med ekologisk dagvattenhantering kan bestå. I rapporten finns dessa byggstenar beskrivna som t ex avvattning via grunda avrinningsveck, dammar etc. Målet är att

kunna förutsäga flöden och reningseffekten på dagvatten av en viss kvalitet i en viss anläggning. Denna kunskap gör det möjligt att anpassa dagvattensystemets sammansättning efter aktuell vattenkvalitet.

Utveckling av planeringsverktyg

Kunskapsläget inom modellering av ekologisk dagvattenhantering som presenteras i denna rapport visar att det finns flera kommersiellt tillgängliga modeller inom angränsande tillämpningsområden som är av intresse. Modellerna behöver emellertid verifieras genom studier av verkliga anläggningar. I ett första skede verifieras modellerna mot verkliga anläggningar med ambitionen att få en grov bild av deras giltighet. Man bör också nöja sig med att plocka ut vissa delar av systemet, då det skulle bli alltför omfattande och komplext att verifiera hela modellen mot det verkliga systemet.

På kort sikt bör man sträva efter att utveckla enkla planeringsverktyg som kan utgöra en mycket god hjälp i många situationer. "Verktyget" behöver inte bestå av en datorbaserad modell för att vara användbart. I ett första skede kan man nöja sig med att sammanställa kunskapen i en matrisform som utrycker olika anläggningars påverkan på vattnet i form av riktvärden. Syftet är att projektören med tillgång till dessa riktvärden på ett enkelt sätt ska kunna få en indikation om effekten av olika anläggningsalternativ. Tillförlitligheten hos en modell styrs till stor del av kunskapen om de system och delprocesser som modellen beskriver. Detta talar för att mer avancerade datorbaserade modeller blir mer intressanta att använda på sikt när kunskapen om ekologisk dagvattenhantering är mer utvecklad.

Insamling av data

Genom att initiera, samordna och standardisera en kontinuerlig datainsamling kan man få fram schablonvärden som bättre överensstämmer med verkligheten än de i många fall teoretiska antaganden som används. Denna satsning är av inresse för att både utvärdera funktionen hos befintliga anläggningar och bygga upp en indatabank för användning i modeller. Instruktionerna ska ge upplysningar om vad som är intressant att registrera och hur man kan gå till väga. Det är viktigt att resultaten av de provtagningar som redan görs runt om i landet kan komma till användning i samband med planering av nya anläggningar. Som ett hjälpmedel för att underlätta detta arbete behöver en handledning för datainsamling sammanställas.

Centrum för ekologisk dagvattenhantering

Vid tillämpning av ekologisk dagvattenhantering i urbana grönområden inför man en ny dimension i den urbana grönstrukturen som kräver ny kunskap. Denna rapport visar kunskapsläget och behovet av kunskap när det gäller modellering av ekologisk dagvattenhantering. Modeller utgör viktiga planeringsverktyg för dimensionering och projektering av anläggningar för ekologisk dagvattenhantering. En ökad kunskap om deolika delprocesser som är verksamma i olika anläggningstyper är också nödvändig. I samband med projektering av dagvattenanläggningar är området ingenjörsbiologi centralt. Det är därför nödvändigt att utveckla kunskapen om markbyggnadsteknik, växtmaterial, etableringsmetoder, skötsel etc. För att göra informationen tillgänglig i en planerings- och projekteringssituation bör informationen sammanställas i en handbok.

För att framgångsrikt kunna bygga upp en kunskapsplattform inom området ekologisk

dagvattenhantering krävs det en samlad tvärvetenskaplig forsknings- och utvecklingssatsning. Våren 1996 bildades "Centrum för ekologisk dagvattenhantering"(CED). I samarbetet ingår inledningsvis Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Lunds universitet samt Malmö och Halmstad kommun. Vid SLU i Alnarp bedrivs forskning och utbildning inom planering, byggande och förvaltning av det urbana och rurala landskapet. Flera pågående forskningsprojekt är inriktade mot ekologisk dagvattenhantering. Vid Lunds Tekniska Högskola (LTH) har man sedan början av 1970-talet studerat dagvatten i olika forskningsprojekt. Kontaktperson för CED är Kaj Rolf vid SLU Alnarp.

Det finns även goda möjligheter att genomföra undersökning i fält i regionen. I Alnarp, i anslutning till SLU. finns en försöksanläggning anlagd 1994 tillgänglig för forskningsverksamhet. Malmö kommun har ett stort antal olika typer av anläggningar i drift för behandling av dagvatten, varav "Toftanäs" studeras i ett större forskningsprojekt. Kommunen planerar också att bygga ett större antal nya anläggningar under de kommande åren bl a i anslutning till Öresundsbron.

REFERENSER & ÖVRIG LITTERATUR

1 Abbott, M., et al (1986): **An Introduction to the Eurpean Hydrological System, Système Hydrologique Européen "SHE": History, philosophy and structure of a physically based distributed modelling system.** Journal of Hydrology, 87, 45-59, 61-77.

2 Bäckman, H., (1993): **Indirekt nederbördspåverkan i duplikata spillvattensystem.** Rapport nr 1993-08, VA-FORSK, VAV

3 DHI, (1993): **MOUSE. Technical Reference & User´s Guide.** Dansk Hydraulisk Institut, Hörsholm, Danmark.

4 DHI (1993): **Mouse NAM. Technical Reference & Users Guide**. Dansk Hydraulisk Institut, Hørsholm, Denmark

5 DHI (1994): **Mouse TRAP. Technical Reference & Users Manual**. Dansk Hydraulisk Institut, Hørsholm, Denmark

6 DHI (1992): **Mike 11. Reference Manual and & User Manual??**. Dansk Hydraulisk Institut, Hørsholm, Denmark

7 DHI (1993): **MIKE SHE Pre- and Postprocessing Module. User´s Guide.** Dansk Hydraulisk Institut, Hörsholm, Danmark.

8 DHI (1993): **MIKE SHE Water Movement Module. Technical Reference & User´s Guide.** Dansk Hydraulisk Institut, Hörsholm, Danmark.

9 DHI, (1991): **SHE. Système Hydrologique Europeen. European Hydrological System.** Dansk Hydraulisk Institut, Hörsholm, Danmark.

10 Grip, H., Rohde, A., (1988): **Vattnets väg från regn till bäck.** 2:a upplagan, Hallgren & Fallgren Studieförlag AB, Uppsala.

11 11.Gustafsson, L.G., (1993): **Simulering av hydrologin inom urbana områden. Metodikmanual - MouseNAM.** Rapport nr 1993-04, VA-FORSK, VAV.

12 Larm. T (1994): **Dagvattnets sammansättning, recipientpåverkan och behandling.** VA-FORSK Rapport nr. 1994-06. VAV

13 Stahre. P, Larsson.T, (1993): **Dagvattnets roll i framtidens stadsplanering.** Malmö VA-verk.

14 Storm, B., (1991): **Modelling of saturated flow and the coupling of the surface and subsurface flow. In recent advances in the modelling of hydrologic system.** Ed. Bowles D.S. and P.E. O´Connell. Kluwer, Nederländerna.

15 VBB Viak (1995). **Analys av översvämningsrisken för Risebergabäcken i Malmö**.

16 VBB Viak (1995): **Analys av dag- och dräneringsvattenavledning i Gärsnäs**.

17 VBB Viak (1995). **Regnvandsafstrømning ved Ingefærshaven, Herlev. Principforslag til forbedret vandstrømsudjævning og olieudskillelse.**

18 VBB Viak (1994). **Regnvandsafstrømning ved Vingekrogen, Herlev. Principforslag til forbedret olieudskillelse.**

19 Westerström, G., (1986): **Estimating urban snowmelt runoff by the temperature index approach.** Licentiatavhandling, Inst. för Vattenresursteknik, Luleå Tekniska Högskola, Luleå.

20 Wilson, E. M., (1990): **Engineering Hydrology**. 4th edition, Macmillan Education Ltd, London, England.

21 Winberg, S., Gustafsson, L-G., Bengtsson, L. (1994): **MIKE SHE i Urban Miljö, Tillämpningsexempel Vittskövle**. Rapport nr 1994-14, VA-FORSK, VAV.

BEGREPPSFÖRKLARING

adsorption
Vidhäftning av vattenmolekyler tilljordpartiklar orsakat av elektrostatiska krafter

akvifär
Geologisk bildning som är grundvattenförande.

artesiskt (grundvatten)
Grundvatten under så högt tryck att det vid genombrytning av ovanliggande marklager stiger över markytan.

avdunstning
Den fysikaliska process varvid vatten omvandlas till vattenånga. **Potentiell avdunstning** är den möjliga avdunstningen från en vatten- eller markyta. **Verklig avdunstning** (aktuell evapotranspiration) är den totala aktuella avdunstningen, dvs summan av avdunstningen från snö och markytor av olika slag, interception i vegetationen samt växternas transpiration.

avrinningsområde
Ett genom höjdryggar eller andra geologiska bildningar avgränsat område varifrån vatten avrinner till en viss punkt.

denitrifikation
Reduktion av nitrat till kvävgas.

infiltration
Vattnets genomträngande av markytan. Ibland används begreppet även för den vidare transporten nedåt genom markens omättade zon, egentligen perkolation.

interception
Den del av nederbörden som inte når marken utan fastnar i vegetationen och sedan avdunstar direkt därifrån.

kalibrering (av en modell)
Fria (empiriska) modellparametrar justeras för att erhålla så god översens-stämmelse som möjligt mellan beräknade utdata och motsvarande uppmätta data.

markvatten
1 Allt vatten i den omättade zonen mellan markytan och grundvattenytan.

mineralisering
1 Omvandling av organiskt mateial till koldioxid, vatten och näringsämnen.

modell
Kan definieras som en förenklad beskrivning av ett komplext system. En **matematisk modell** kan definieras som en uppsättning av matematiska uttryck och logiska påståenden kombinerade för att simulera beteendet för ett givet system. En **deterministisk modell** är en modell där två identiska indata-uppsättningar alltid kommer att ge samma utdata. En **stokastisk modell**innehåller något av slumpkaraktär, där identiska indata mycket väl kan

resultera i olika utdata. En **Black Box-modell** är utvecklad utan någon hänsyn till de fysikaliska processerna i ett system. En **konceptuell modell** (Grey Box-modell) eller begreppsmässig modell baseras på vissa överväganden om de fysikaliska processerna i ett system. En **White Box-modell** är baserad på en grundlig beskrivning av de ingående processerna i systemet. Ibland kallas denna typ av modell för en fullt distribuerad fysikalisk modell. En **rumsligt förenklad modell** är en modell där i detta fallet avrinningsområdet behandlas som en enhet utan hänsyn till den geografiska variationen. En **distribuerad modell** tar hänsyn till den geografiska fördelningen av egenskaperna i systemet.

nitrifikation
Oxidation av ammoniumkväve till nitratkväve.

parameter
En konstant i ett matematiskt uttryck för en matematisk modell. En parameter förblir konstant i tiden. Värdet på en fri eller **empirisk parameter** erhålls erfarenhetsmässigt under kalibreringen av modellen. En bunden eller **fysikalisk parameter** uppskattas från kartan, geofysiska mätningar eller annan information om området. Den hålls konstant under kalibreringsprocessen.

rotzon
Den del av den omättade zonen där vegetationen kan ta upp vatten (kallas ibland även för markvattenzon, se dock markvatten).

transpiration
Vattenavdunstning från inre ytor i växternas blad och barr.

validering (av en modell)
Test av en modell mot oberoende data som ej påverkar valet av parameter-värden. Genomförs efter kalibrering av en modell.

variabel
En kvantitet som varierar med tiden. Det kan vara en serie av indata eller utdata från modellen men även en beskrivning av förhållandena i de olika del-processerna i modellen.

vattendelare
Höjdrygg (**ytvattendelare**) eller annan geologisk bildning (**grundvattendelare**) som skiljer ett avrinningsområde från ett annat.

vattnets kretslopp (hydrologisk cykel)
Vattnets vandring från atmosfären till jordytan och tillbaka. Innefattar nederbörd, avrinning, avdunsting och transport i atmosfären.

verifiering (av en modell)
Bestyrkande av en modells trovärdighet.

BILAGA 1. EXEMPEL PÅ TILLGÄNGLIGA MODELLKONCEPT

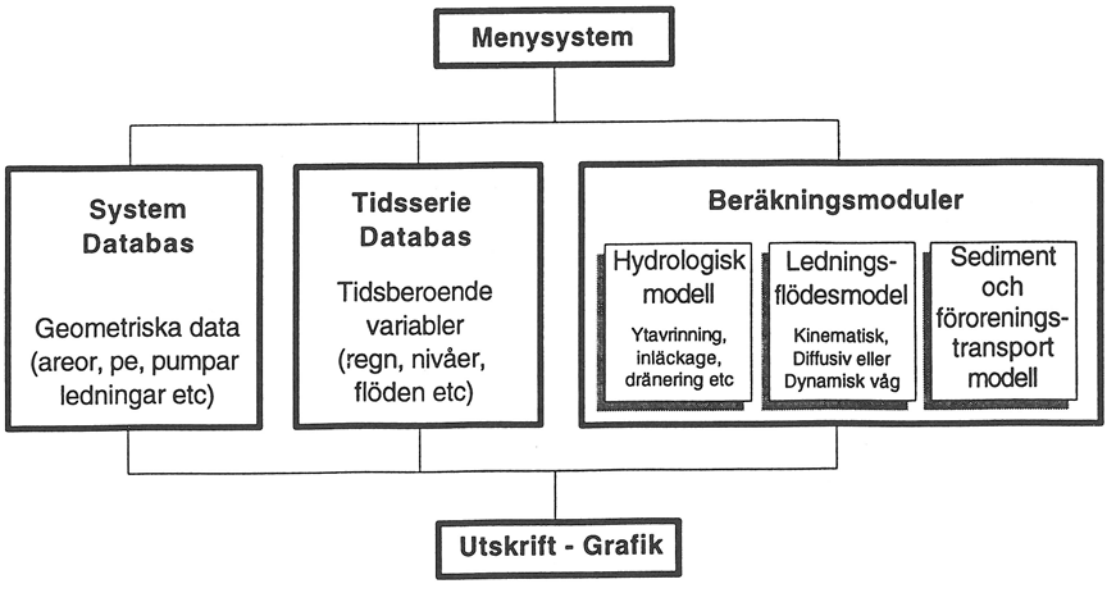
B1.1 MOUSE

MOUSE står för Modelling Of Urban Sewers, se ref./3/. MOUSE är i Europa ett av de mest spridda och använda verktygen för analyser av problem i avloppssystem och är i Sverige ansett som standardverktyget för denna typ av studier. Den första versionen av MOUSE-paketet släpptes 1985, och var då endast anpassat för PC. Idag finns programmet också tillgängligt under UNIX-miljö och är spritt i mer än 30 länder med totalt flera hundra installationer.

MOUSE-systemet innehåller ett antal delmoduler med varierande komplexitet och möjliggör beskrivning av ytavrinning, olika typer av inläckage till ledningssystem, flödes- och nivåutvecklingen i ledningssystem samt föroreningsbelastningar på avloppsreningsverk och recipient. Både förenklade och generella ekvationer och samband finns inkluderade i systemet, vilket ger användaren möjlighet att välja den bäst lämpade beräkningsmetoden för den aktuella problemställningen. Följande faciliteter utgör grunden för systemet.

- Ett interaktivt menysystem för redigering, beräkning och redovisning av data, där en användarmanual finns integrerad i systemet via "hjälpmenyer";
- En databas för områdes- och ledningssystemsdata;
- En tidsseriedatabas för samtliga tidsberoende parametrar såsom nederbörd, flöden etc, vilken bl a möjliggör direkt jämförelse av beräknade och uppmätta flödesserier, sammankoppling av flera modeller i serie etc;
- Rutiner för tabellering och grafisk presentation av in- och utdata, inklusive möjlighet för grafisk redovisning av såväl ledningssystemdata (plan och profil) som tidsserier och rörliga trycklinjer för valfria ledningsprofiler;
- Beräkningsmodeller som medger generell hydrologisk modellering (avloppssystemets belastning), generell hydraulisk modellering (flödes- och nivåutvecklingen i avloppssystemet) samt generell kvalitetsmodellering (sedimenttransport, föroreningstransport etc i avloppssystemet).

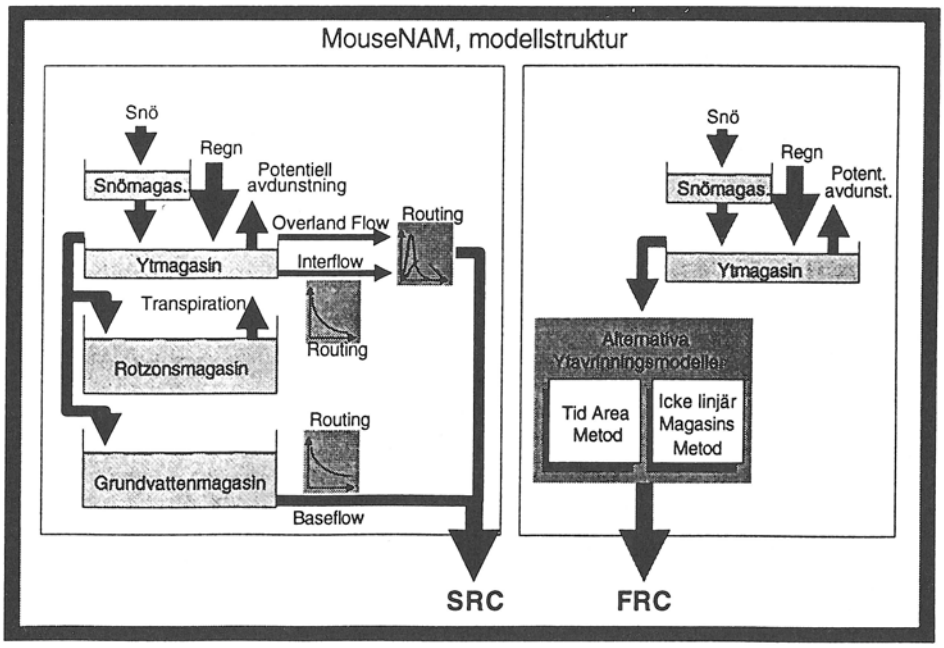
Systemet är uppbyggt kring en grundmodul bestående av menysystem, områdes- och ledningsdatabas, tidsseriedatabas och presentationsfaciliteter enligt beskrivningen ovan. Till denna kopplas sedan de specialmoduler och beräkningsmoduler som är aktuella för respektive användningsområde.



Mouse NAM - hydrologisk modell

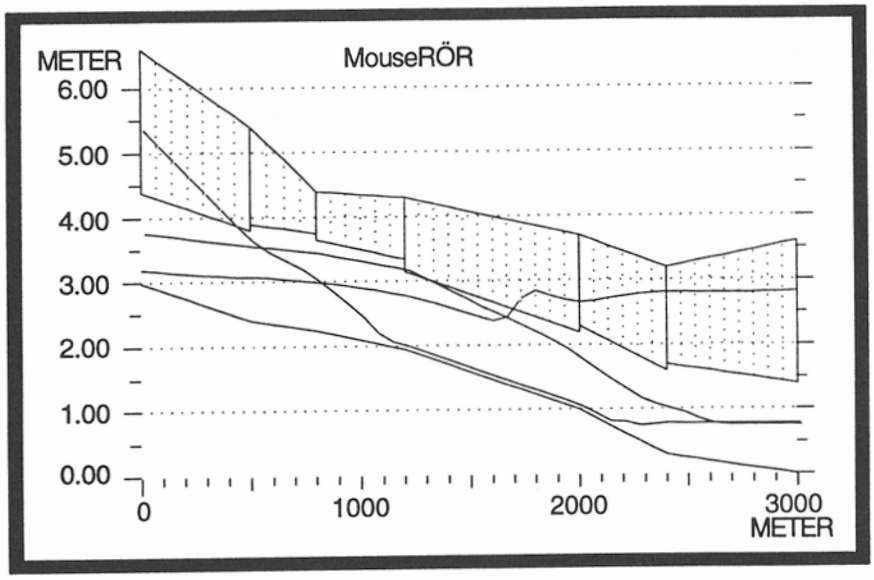
Mouse NAM är en generell hydrologisk modell för beskrivning av avrinningsförloppen från både urbana och icke urbana områden, se ref./4/. Modellen tar hänsyn till både den snabba avrinningskomponenten från exempelvis hårdgjorda ytor (dagvatten), och den tröga avrinningskomponenten orsakad av exempelvis en mer eller mindre snabb dränering till ledningssystemet av omkringliggande mark. Den senare är starkt påverkad av om markvattenhalten är hög eller låg, dvs om man befinner sig i en blöt eller torr period. Med Mouse NAM är det alltså möjligt att även simulera den del av regnvattnet som inte avrinner omedelbart vid regntillfället. Fördröjningens storlek kan handla om allt från timmar till dagar och veckor. En korrekt beskrivning av denna flödeskomponent är ofta mycket viktig då exempelvis bräddning och tillrinningtill reningsverk studeras. I dessa fall krävs därför sk kontinuerlig modellering med historiska regnserier, där avrinningsförloppet beskrivs under både regntillfällena och mellanliggande torrperioder. Med Mouse NAM är det möjligt att utföra kontinuerlig modellering av även mycket långa nederbördsserier (10-tals år). Detta innebär att statistik kan produceras utgående från effekterna istället för ifrån nederbörden.

De individuella hydrologiska processerna är i Mouse NAM ihopslagna till en begreppsmässig konceptuell beskrivning, vilken är en imitation av vattnets kretslopp i och på marken. Vatten magasineras i fyra olika typer av magasin: snö-, yt-, rotzons- och grundvatten-magasin. Mängden vatten i magasinen uppdateras kontinuerligt av processer som infiltration och avdunstning såväl som snösmältning och nederbörd. Dessutom finns två alternativa ytavrinningsmodeller tillgängliga för simulering av dagvattenavrinning, nämligen tid-areametoden och en icke linjär reservoar. Vissa av modellparametrarna är relaterade till motsvarande fysiska data, men det slutliga valet av parametervärden måste baseras på jämförelse mellan beräknade och uppmätta flödesdata (kalibrering).



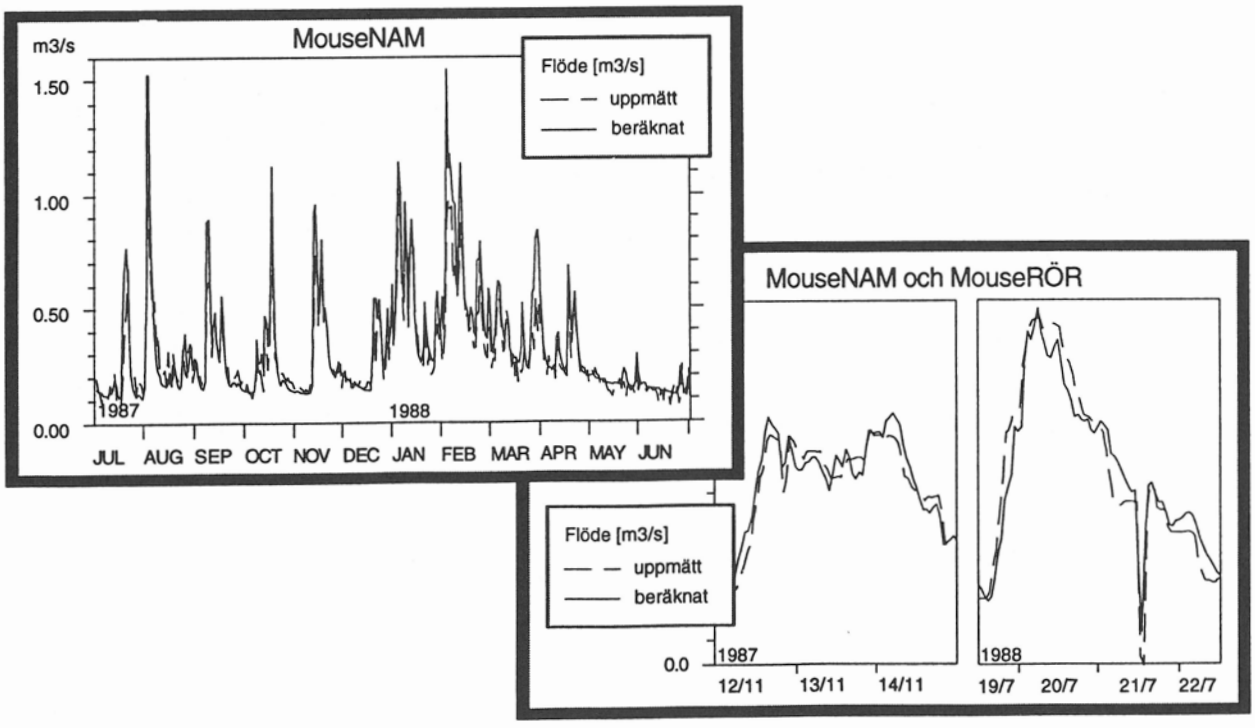
Mouse RÖR - Ledningsflödesmodell

Denna modul beräknar flöden och nivåer i ledningsnätet, dvs de hydrauliska processerna, och utgör en mycket viktig grundsten för flera av de övriga modulerna.



MouseRÖR kan exempelvis användas för detaljerade studier av hydrauliska fenomen som bräddning, magasinering, dämning etc för olika typer av belastningssituationer som beräknats med en verifierad Mouse NAM-modell (se ovan).

En korrekt beskrivning av flödes- och nivåutvecklingen i ledningsnätet är också en av förutsättningarna för att processer som sediment- och föroreningstransport skall kunna studeras med hjälp av Mouse TRAP-modulen (se nedan).

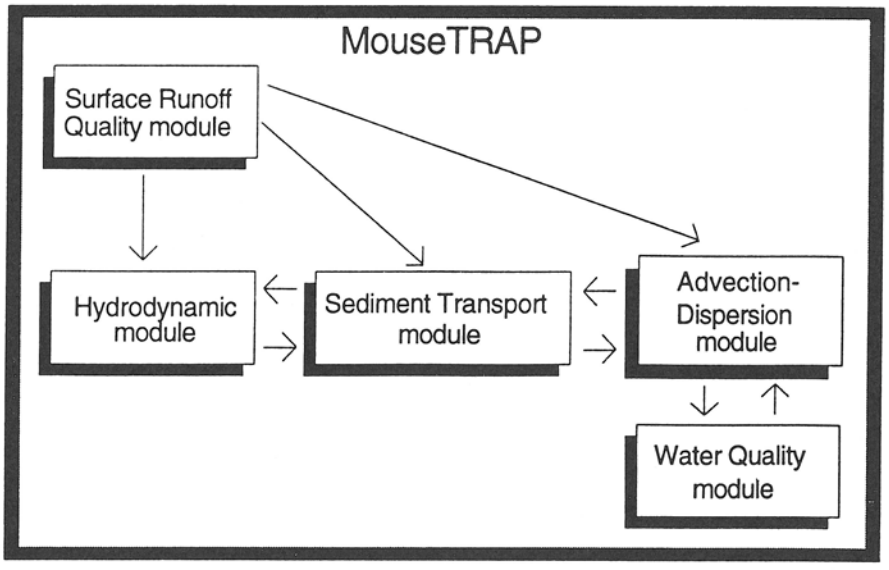


Beräkningsmetoden i MouseRÖR grundar sig på St Venants differentialekvationer, se ref./3/. Tre olika nivåer av komplexitet i beräkningsmetoden kan väljas:
sk Kinematisk våg, Diffusiv våg och den fullständiga beskrivningen, sk Dynamisk våg. Den sistnämda ger den mest korrekta beskrivningen av trycklinjer och dämningsförhållanden och möjliggör hydrauliska analyser av även mycket komplexa loopade system med bräddavlopp, utjämningsmagasin, pumpar etc. Modulen kan även användas för beräkning av tunnlar och öppna diken, och det finns möjlighet att "backa" i tiden och simulera en viss del av exempelvis ett regntillfälle med ändrade förhållanden, sk hot-start.
Eftersom det verkliga systemet är väl definierat fysiskt i modellen är den också väl anpassad för att beskriva eventuella förändringar i systemet och på så sätt kunna beräkna effekterna av dessa.

Mouse TRAP - Föroreningstransportmodul

De senare årens ökade krav från allmänheten på förbättrad vattenkvalitet i recipienter har skapat ett behov av verktyg för studier av inte bara kvantitativa aspekter men även kvalitativa. Med Mouse TRAP, se ref./5/, kan en detaljerad beskrivning av förorenings- och sedimenttransport göras för hela avloppssystemet, från belastande ytor, via avloppssystemet, till mottagande recipient för bräddvatten. Modellen beskriver mer specifikt följande typer av processer:

- Avspolning av sediment från ytor (Surface Runoff Quality module);
- Sedimenttransport och avsättningar samt transport av till sediment bundna föroreningsämnen (Sediment Transport module);
- Transport och utspädning av lösta ämnen (Advection Dispersion module)
- Biologiska processer såsom nedbrytning och syreutbyte (Water Quality module).



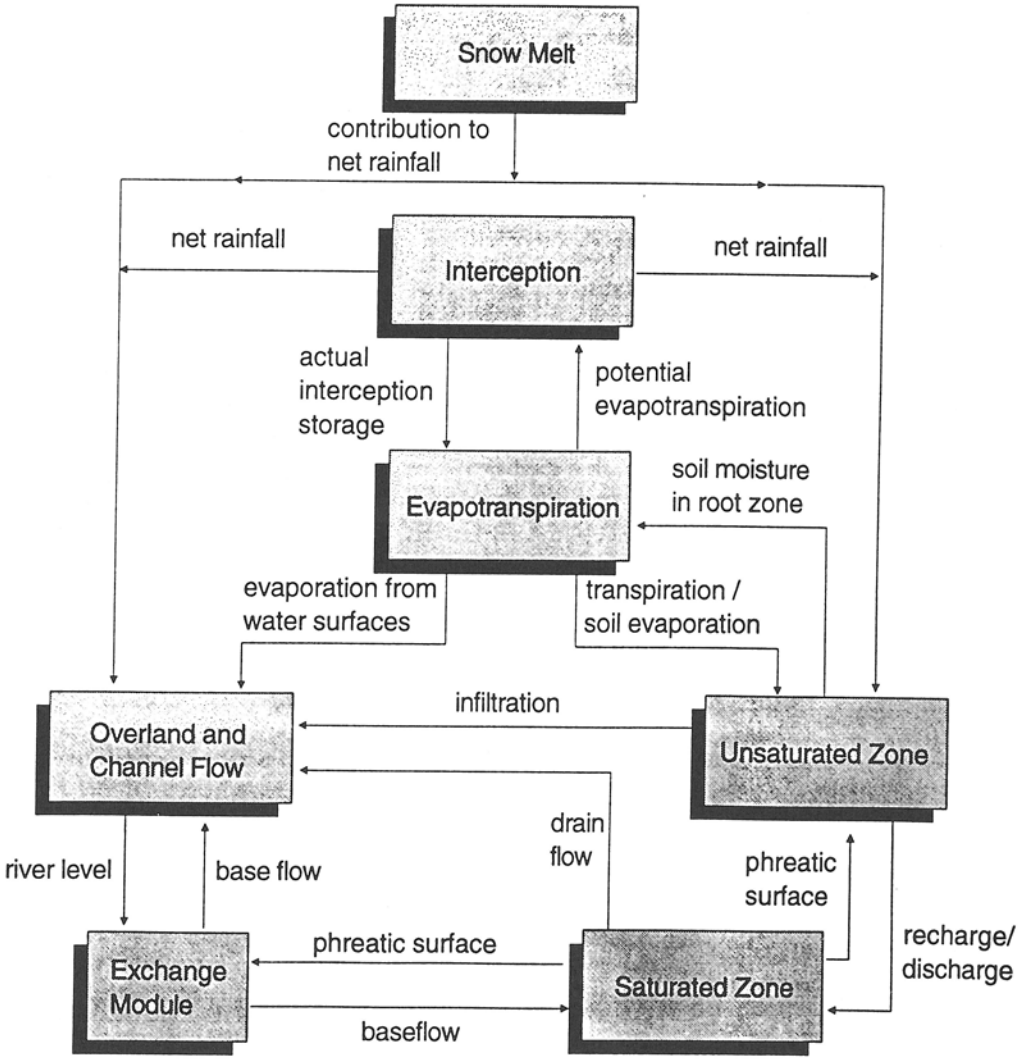
Exempel på praktiska problemställningar som kan studeras med modulen är:

- Inom vilka delar av ledningsnätet lagras sediment och vad innebär detta för den hydrauliska kapaciteten;
- Hur påverkas sedimentationsförhållandena av utökad magasinering via exempelvis reglering och styrning av avloppsnätet;
- Hur ser föroreningsbelastningen på avloppsreningsverket ut vid urspolning av ledningar med sediment;

- Vad är den totala föroreningsbelastningen på recipienten från bräddavloppen-/utlopp för nuvarande förhållanden, alternativa systemutformningar eller olika typer av regleringsstrategier;
- Optimering av regleringsstrategier med hänsyn till inte bara kvantitativa aspekter utan även kvalitativa aspekter.
- Vilka effekter kan uppnås genom nedbrytning alternativt utspädning vid transport av föroreningar, mht mottagande system.

B1.2 MIKE11

MIKE11 är ett system för beräkning av strömningsförhållanden och vattenkvalitet i öppna vattendrag. MIKE11 systemet utvecklades under 1980-talet och är härstammar från det tidigare System 11. Den första officiella versionen av MIKE 11 släpptes 1986 anpassad för PC. Idag finns MIKE11-systemet även tillgängligt under UNIX miljö och är installerat hos användare i ett 40-tal länder över hela världen.
MIKE11-systemet är baserat på antagandet om 1-dimensionell strömning i ett homogent vattenlager.



MIKE11-systemet omfattar ett antal delmoduler som möjligör beskrivning av systemet genom tvärsektioner och hydrauliska data samt belastning från avrinningsområden genom en hydrologisk modell i syfte att studera vattenomsättningen. Vidare omfattas olika aspekter och detaljeringsnivåer på vattenkvaliteten genom delmoduler för sedimenttransport och därtill kopplade föroreningar, transport och utspädning av lösta föroreningar samt ett antal biologiska processer relevanta för simulering av vattenkvalitet i öppna vattendrag.

Den generella programstrukturen är uppbyggd kring följande grundstruktur:

- Ett interaktivt menysystem för redigering, beräkning och redovisning av data, där en användarmanual finns integrerad i systemet via "hjälpmenyer";
- En hydrologisk databas "HIS" för lagring och statistisk bearbetning av hydrologiska och meteorologiska tidsserier;
- En databas för områdes och systemdata i form av tvärsektioner och hydrauliska data;
- Tidseriedatabas för historiska data såsom flöden, nivåer, koncentrationer etc;
- Grafisk presentationsmodul för uppritning av beskrivet system (plan och profil) och plottning av resultat såsom trycklinjer och föroreningshalter;
- Ett antal beräkningsmoduler för generell hydrologisk modellering (belastning på vattendraget), generell hydraulisk modellering (flödes- och nivåutvecklingen i vattendraget) samt generell kvalitetsmodellering (sedimenttransport, föroreningstransport etc i vattendraget);

Utifrån systembeskrivning i form av geometri (tvärsektioner) och hydrauliska parametrar kan de olika beräkningsmodulerna inkluderas eller uteslutas beroende på tillämpningens komplexitet.

Mike NAM - hydrologisk modell

Mike NAM är en generell hydrologisk modell för beskrivning av avrinningsförloppet från icke urbana avrinningsområden, se ref./6/. Modellen tar hänsyn till avrinningens fördelning på olika flödeskomponenter mellan den snabbare ytavrinningen såväl som den trögare grundvatten-strömningen via infiltration i marklagret.Den trögare grundvatten-strömningen är starkt påverkad av hög eller låg markvattenhalten, dvs om man befinner sig i en blöt eller torr period. Mike NAM beskriver den effekt som föregående perioder har på avrinningen, dvs effekten av föregående periods hydrologi. För att studera effekten av mycket blöta alternativt mycket torra nederbördsår krävs simulering av långa tidsperioder. Med Mike NAM är det möjligt att utföra kontinuerlig modellering av även mycket långa nederbörds-serier (10-tals år).
De individuella hydrologiska processerna är i Mike NAM ihopslagna till en begreppsmässig beskrivning, vilken är en imitation av vattnets kretslopp i och på marken. Vatten magasineras 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. Vissa av modellparametrarna är relaterade till motsvarande fysiska data, men det slutliga valet av parametervärden måste baseras på jämförelse mellan beräknade och uppmätta flödesdata.

Mike NAM-modellens struktur är identisk med den delen i Mouse NAM som beskriver den trögare avrinningen. Modellbeskrivningen i Mouse NAM är anpassad till urban hydrologi genom att vissa av de icke-urbana parametrarna inte är verksamma.

Mike11 HD - hydraulisk modell

Med den hydrauliska beskrivningen i Mike HD beräknas de hydrauliska processerna i systemet med resultat i form av flöden och nivåer för en viss belastning. Tillflödet till systemet beskrivs antingen via genererade tidsserier (tex beräknade bräddhydrografer beräknade med MouseRÖR), alternativt såsom avrinningen från avrinningsområden beräknade med den hydrologiska modellen Mike NAM.

Beräkningsmetoden i Mike HD grundar sig på St Venants differentialekvationer, se ref./6/. Utifrån lösningen av dessa kan tre olika nivåer av komplexitet i beräkningsmetoden väljas: sk Kinematisk våg, Diffusiv våg och den fullständiga beskrivningen Dynamisk våg. Med den fullständiga beskrivningen erhålls den mest korrekta beskrivningen med hänsyn till dämda system, och samtliga effekter på hydrauliken i systemet utav regleringsanordningar såsom tex överfall, pumpar etc.

Det aktuella systemet beskrivs genom indata i form av geometrin för tvärsektioner som samlas i en databas där antalet tvärsektioner styr detaljeringsgraden för system-beskrivningen. Tvärsektionerna länkas ihop till ett sammanhängande system som omfattar nedströms randvillkor (tex nivå) och uppströms randvillkor (tex belastning från avrinningsområde). Möjligheten ges också att beskriva anslutande delsystem både i form av tvärsektioner och/eller delavrinningsområden, samt parallella system inom huvudsystemet.

Systembeskrivningen omfattar också beskrivning av reglerbara strukturer såsom luckor och skibord vilka kan styras (öppnas och stängas) under en simulering. Pumpar i systemet kan också definieras liksom om delar av systemet är kulverterat. I syftet att studera översvämningar kan tillgängliga ytor beskrivas antingen i form av passiva magasin eller som sidomagasin där viss strömning förekommer.

Eftersom det verkliga systemet är väl definierat fysiskt i modellen är den också väl anpassad för att beskriva eventuella förändringar i systemet och på så sätt kunna beräkna effekterna av dessa.

Mike ST/AD/WQ - Sediment-och föroreningstransport för öppna vattendrag

I MIKE11-systemet finns ett antal olika delmoduler för beräkning av förorenings-transport och de biologiska processer som sker i vattendrag. Dessa kopplas samtliga till den hydrauliska beskrivningen i Mike HD.
Med Mike ST kan sedimentransporten i systemet beräknas samt den andel föroreningar som är kopplade till sedimentet. I sedimentransporten är också erosions- och depositionsprocesserna inkluderade. Andelen föroreningar som ör kopplade till sediment kan vara av mycket stor betydelse när man studerar vattenkvaliteten i systemet utifrån föroreningsbelastningen på systemet. Transporten och utspädningen av föroreningar kan beskrivas både för konservativa och icke-konservativa ämnen, dvs olika biologiska och kemiska omvandlingsprocesser kan inkluderas. I vattenkvalitets-modulen, Mike WQ, finns möjligheter att beskriva syreförbrukande processer i vattendrag med hänsyn till belastningen av organiskt material, kväve, etc. Följande omvandlingsprocesser är några av de som kan beskrivas;

- Nedbrytning av organiskt material
- Syreutbytet med atmosfären
- Utbyte mellan bottenlager och omgivande vattenmassa
- Nitrifikation och denitrifikation
- Bakteriell avklingning beroende av solstrålning, temperatur och salthalter.

Processerna kan studeras på olika nivåer med varierande komplexitet genom att kombinera respektive utesluta vissa processer.

I MikeWQ finns också några specialmoduler för speciella tillämpningar;

- Beskrivning av transporten av partikulärt och löst fosfor i vattendrag.
- Studera och beskriva processerna kring eutrofieringprocessen.
- Transport och utspädning av metaller

MOUSE- och MIKE11-modeller kan enkelt integrereras genom överföring av ut- och indata tidsserier mellan de två systemen. Beräknade utloppsmängder från t ex ett dagvattensystem beskrivet i Mouse RÖR kan överföras som belastning på ett vattendrag (mottagande recipient) beskriven i Mike HD. PÅ motsvarande sätt kan belastningar i form av koncentrationer i utgående dag-/bräddvatten från ledningssystemet beräknade med Mouse TRAP överföras som föroreningsbelastning på recipienten och dess påverkan studeras med Mike AD/WQ. Resultat från MIKE11- systemet i form av t ex nivåer eller flöden alternativt föroreningshalter kan återföras som randvillkor till en systembeskrivning i Mouse RÖR.

B1.3 MIKE SHE

MIKE SHE är ett distribuerat, fysikaliskt baserat modellsystem för simulering av hydrologiska processer i markdelen av den hydrologiska cykeln. MIKE SHE är resultatet av en fortsatt utveckling av det sk SHE-konceptet, tidigare utvecklat av ett europeiskt konsortium bestående av tre organisationer; the Institute of Hydrology i England, det franska konsultföretaget SOGREAH samt Dansk Hydraulisk Institut, se ref./6/.

Resultatet av den fortsatta utvecklingen vid DHI är ett användarvänligt modellpaket med en uppsättning pre- och postprocessorer för att underlätta indatahantering och analys av simuleringsresultat, se ref./7/. Dessa innefattar bland annat:

- Digitalisering av konturer från kartor, såsom topografi, geologiska lager, etc.
- Digitalisering av vattendrags utformning.
- Digitalisering av areellt fördelad information, såsom vegetationstyp, jordtyp, etc.
- Interpoleringsrutiner från punktinformation.
- Grafisk inläsning och korrigering av data i plan (2-dimensionell) och vattendragsdata.
- Plot av isolinjer, exempelvis topografi eller grundvattendjup.
- Plot av variationerna i rummet av olika variabler, exempelvis grundvattennivån vid
- en viss tidpunkt.
- Plot av tidsserier av olika variabler, exempelvis grundvattennivån i en viss punkt.
- Statistikfunktioner för indata och beräkningsresultat.
- Animering (rörlig grafik) av olika variabler, exempelvis grundvattennivån, för presentation av det dynamiska beteendet för det simulerade systemet.

MIKE SHE är tillämpbar för vattenresurs- och miljöproblem relaterade till yt- och grundvattensystem och det dynamiska samspelet mellan dessa. Modellen är tillämpbar på olika tids- och rymdskalor och har använts både för korttidsvärderingar och långtids-studier.

MIKE SHE WM (Water Movement Module), se ref./8/, är grundmodulen för hela MIKE SHE systemet. Den förser andra tilläggsmoduler med information om tryck- och flödesförhållanden etc i olika delar av ett studerat område. De övriga tillgängliga tilläggsmodulerna är:

- MIKE SHE AD (Advektion-/Dispersionsmodulen)
- MIKE SHE GC (Geochemical Module)
- MIKE SHE CN (Crop growth and Nitrogen Module)

- MIKE SHE SE (Soil Erosion Module)
- MIKE SHE IR (Irrigation Module)
- MIKE SHE DP (Dual Porosity Module)

(MIKE SHE SE, IR och DP beskrivs ej ytterligare i denna rapport)

Med MIKE SHE WM beräknas vattentryck, flöden och vattenmagasinering på markytan, i vattendrag samt i de omättade och mättade markzonerna. Den areella variationen för meteorologiska indata och avrinningsområdets karakteristik representeras i horisontalplanet av ett nätverk av gridrutor. Inom varje gridruta delas markprofilen upp i en serie av horisontella lager. Systemet löser de gällande differentialekvationerna med hjälp av implicit finit differens metod.
Möjligheten finns att integrera/koppla en MIKE SHE modell med en MIKE 11 modell, En motsvarande koppling mot Mouse-systemet finns ännu ej, men har utvärderats inom ramen för ett VA-FORSK projekt, se kapitel 4.5.5 och ref./21/.

MIKE SHE WM - Water Movement Module

MIKE SHE WM har konstruerats med en modulstruktur innehållande sex process-orienterade komponenter där var och en beskriver de viktigaste fysiska processerna i de individuella delarna av den hydrologiska cykeln så att de tillsammans beskriver hela markdelen av den hydrologiska cykeln. Dessa komponenter är:

- Snösmältning
- Interception och Evapotranspiration
- Ytavrinning och Kanalströmning
- Omättad zon
- Mättad zon
- Utbyte mellan Akvifärer och Vattendrag

Modulformen på systemstrukturen säkerställer en stor flexibilitet i beskrivningen av de individuella fysiska processerna. Genom att säkerställa att dataflödet mellan de olika komponenterna hålls oförändrat kan alternativa metoder, som är generellt accepterade i en speciell geografisk region och/eller bättre anpassade för de lokala förutsättningarna, vid behov inkluderas i MIKE SHE WM systemet.

Nederbörd, avdunstning, infiltration, grundvattenflöde, ytavrinning och kanalströmning sker med olika intensitet. Trots olika tidsskalor för de olika hydrologiska processerna kan man få en integrerad beskrivning av avrinningen. Denna integration har troligen varit det största problemet vid utvecklingen av MIKE SHE WM. Den beräkningsmässigt kanske svåraste kopplingen är den mellan den omättade zonen och grundvatten-komponenterna, vilket beskrivs i ref./14/.

Individuella komponenter (moduler) kan användas separat i MIKE SHE WM för att beskriva individuella processer. Detta kan vara relevant för en rad tillämpningar där endast grova uppskattningar av andra delar av den hydrologiska cykeln är nödvändiga, t ex en grundvattenstudie där endast ungefärliga uppskattningar av infiltrationen behövs och en full sammankoppling med den omättade zonen ovanför grundvattennivån är mindre intressant. Nedan följer en kort beskrivning av respektive komponent.

Snösmältning

Det korrekta sättet att beräkna mängden snösmältning är genom en energibalans. De olika källor och processer som påverkar värmetransporten från och till snöpacken är dock svåra att uppskatta. En mer praktisk och lättanvänd metod är att låta temperaturen vara den parameter som styr smältförloppet, den sk graddagarsmetoden, se ref./19/. Denna metod används i MIKE SHE.

Interception och evapotranspiration

Under ett nederbördstillfälle kommer en del av nederbörden att fastna på vegetationen och därefter endera avgå som avdunstning eller droppa ner på marken. Detta förlopp benämns interception. Interceptionens betydelse beror till stor del på vegetationen och klimatförhållandena. Täta skogar kan tillräknas stora interceptionsförluster medan lägre och glesare vegetation, som gräs och jordbruksgrödor, har mycket lägre avdunstning och ofta saknar betydelse.

Evapotranspirationen definieras som den totala avdunstningsprocessen från mark- och vattenytor medan transpirationen är det vatten som tagits upp genom växtrötterna och transpirerar från växternas löv och barr. Den rymd- och tidsmässiga variationen i evapotranspirationen i ett avrinningsområde beror på en mängd faktorer såsom vattentillgänglighet i rotzonen, aerodynamiska transportförhållanden, växtfysiologiska faktorer etc. Evapotranspiration innebär en förflyttning av stora mängder vatten. I tempererade områden returneras ungefär 70 % av den årliga nederbörden till atmosfären, medan i arida områden nästan 100 % returneras. Det är av denna anledning som den verkliga evapotranspirationen spelar en nyckelroll i många vattenresursstudier.

För närvarande finns två alternativa formuleringar för interceptions- och evapotrans-pirationsprocesserna tillgängliga i MIKE SHE WM; Rutters modell med Penman-Monteith ekvationen samt Kristensen-Jensen modellen, se vidare ref./8/.

Ytavrinning och kanalströmning

Vatten som ackumuleras på markytan under kraftiga nederbördstillfällen eller när grundvattennivån stiger upp till markytan söker sig över landytan mot lättast tillgängliga vattendrag. Under ytavrinningen till vattendragen kan det avrinnande vattnet försvinna genom avdunstning eller infiltration i områden med mer permeabla jordar.

Ytavrinningsprocessen beskrivs med hjälp av Saint Venants differentialekvationer i två dimensioner (horisontalplanet) enligt sk diffusiv vågteori, se vidare ref./8/. Kanalströmningen beskrivs som endimensionell strömning med samma typ av differentialekvationer.

Omättad zon

Den omättade zonen är ofta en avgörande del i ett avrinningsområdes hydrologiska system. Den spelar en viktig roll i många modellapplikationer, t ex för flödes-uppskattning, yt- och grundvattensamspelet samt vid många föroreningsstudier. Den omättade zonen definieras här som den omättade markprofil som sträcker sig mellan markytan och grundvattenytan. Denna profil är oftast heterogen, bestående av olika jordlager i vilka det finns mikroporsystem och makroporer. Den omättade zonen karakteriseras av cykliska variationer i jordfuktigheten genom att vatten avgår från markprofilen genom evapotranspiration och perkolation och sedan återfylls vid nederbördstillfällen. Perkolation kan ge en höjning av grundvattennivån, medan en

uppåtgående vattenström från grundvattnet kan ske som följd av kapillärsugning.

Flödet i den omättade zonen är nästan uteslutande vertikalt eftersom gravitationen spelar en stor roll för perkolationen. Flödet i den omättade zonen representeras därför enbart aven vertikal flödeskomponent i MIKE SHE WM. Beräkningarna baseras på Richards ekvation för endimensionellt vertikalt flöde, se vidare ref./8/.

Mättad zon

Den mättade zonen, d v s grundvattnet, spelar en viktig roll i den hydrologiska cykeln. Under torra perioder upprätthålls flödet i vattendragen genom basflöde. Även vid nederbördstillfällen kan flödet i vattendragen domineras av grundvatten. Grundvattenytan kan stiga till markytan och då också påverka storleken på ytavrinningen. Akvifärer i avrinningsområden kan innehålla stora vattenmagasin som, förutom pga naturliga förändringar, kan utsättas för uttag i form av vattenförsörjning och bevattning. Sådana mänskliga aktiviteter kan påverka den naturliga balansen mellan återfyllnad och tömning och därigenom förändra flödestillståndet i avrinningsområdet.

De tids- och rymdmässiga variationerna på den hydrauliska trycknivån i grundvattnet beräknas genom att lösa den partiella differentialekvationen för tredimensionell grundvattenströmning, se vidare ref./8/.

Utbyte mellan akvifärer och vattendrag

Vattendragssystemen påverkar ofta en stor del av grundvattensystemen när det genomkorsar avrinningsområdet i olika riktningar. Vattendragen kontrollerar grund-vattennivån i både horisontell och vertikal riktning och definierar inströmnings- och utströmningsområdena. Eftersom ett vattendrags yta ofta är liten jämfört med det totala avrinningsområdet kan det i de flesta applikationer representeras av ett separat knutsystem längs med gränserna på gridrutorna och fungera som en avtappningspunkt eller vid mycket extrema nederbördstillfällen som en källa. Modulen innehåller två alternativ som beskriver utbytet mellan akvifärer och vattendrag:

- Vattendraget är i full kontakt med grundvattenakvifären
- En lågpermeabel bädd skiljer vattendraget från grundvattenakvifären.

I båda fallen är det med hjälp av Darcy´s lag som hänsyn tas till tryckförlusten runt vattendragets botten.

MIKE SHE AD - Advection-Dispersion Module

Med MIKE SHE AD kan transporten och utspädningen av lösta konservativa ämnen från punktkällor och diffusa källor beräknas. Den kan sammankopplas med beskrivning av de kemiska processerna och därmed beskriva motsvarande transport och utspädning av icke-konservativa ämnen. Transporten och utspädningen av lösta ämnen kan beräknas i ytvatten, den omättade zonen såväl som den mättade zonen.

MIKE SHE GC - Geochemical Module

Den geokemiska modulen GC i MIKE SHE används för att beräkna de kemiska och mikrobiella processer såsom;
- Oorganiska reaktioner i den omättade zonen och i grundvattnet.
- Biologisk nedbrytning i grundvattnet.
- Syretransport och syreförbrukning i den omättade zonen.

Den geokemiska beskrivningen kan sammankopplas med WM- och AD-beskrivningen.

MIKE SHE CN - Crop Growth and Nitrogen Module

Med MIKE SHE CN kan grödors tillväxt såväl som vatten och kvävets transport och omvandling i rotzonen i jordbrsmark beskrivas. Varierande strategier för tex gödning, bevattning, och uppodling av mark kan beskrivas och dess effekter analyseras.

Modellen är en apassad version av DAISY, en avancerad beräkningsmodell för jord-växt-atmosfär-system utvecklad vid Danska Kungliga Veterinär- och Jordbruks-Universitetet.

Modellen innefattar ett antal olika processer såsom:
- Plantor och grödors tillväxt
- Värmeväxling och marktemperatur
- Markvattenflöde i rotzonen
- Markvattenupptag hos växter och evapotranspiration
- Mineralisering (mikrobiologiska processer) av organiskt material och kväve
- Nitrifikation och denitrifikation
- Nitrat och ammoniakflödet i rotzonen
- Växters kväveupptag

Kombinerad med WM och AD erbjuder CN ett kraftfullt verktyg för analys av den regionala påverkan som fås av styrning av jordbrukssystemen på vattenkvaliteten i marken och grundvatten.

BILAGA 2. PROJEKTERFARENHETER

B2.1 VALLÅS-SJÖN

Stadsdelen Vallås i Halmstad byggdes på 1960-talet där dagvattnet då skulle avledas till den naturliga recipienten Nissan. För att hålla nere dimensionerna på dagvatten-ledningarna för transporten till Nissan anlades ett ca 17 000 m^2 stort utjämningsmagasin i området. Magasinet har sedan det byggdes utvecklats till uppskattat inslag i Halmstads parkliv med ett rikt djurliv och fin växtlighet och kallas för Vallåssjön. Idag avvattnas ett avrinningsområde på 215 ha till Vallåssjön. 1991 påbörjades en analys av flödesbelast-ningen från uppströms belägna områden som tillfördes Vallåssjön för att få underlag för en planerad våtmark nedströms sjön. Beräkningen av flödesbelastningen i termer av volymer per dygn skulle ligga till grund för beräkning av förorenings-belastningen på våtmarksanläggningen. Detta innebar att det var önskvärt att kunna generera flödesbelastningen på området med tillgängliga uppmätta nederbördsvolymer (dygnsvärden) även i framtiden så att årliga föroreningsbelastningar skulle kunna beräknas utifrån dygnsmedelflöden till anläggningen.

För att kunna beskriva effekterna av varierande nederbördsår på tillrinningen och därmed kunna beräkna avrinningen för varje år beslöts att beskriva tillrinningen till våtmarks-anläggningen genom användning av den hydrologiska avrinningsmodellen Mouse NAM. Historiska uppmätta flödesdata liksom uppmätt nederbörd för en gemensam period fanns tillgängliga för kalibrering av modellbeskrivningen för tillrinningen till området. Belastningen på anläggningen beskriven med den hydrologiska avrinningsmodellen Mouse NAM omfattar både den snabbare direkta flödesbelastningen i direkt anslutning till nederbörd, såväl som det trögare dräneringsvattnet. Totalt har belastningen i modellen beskrivits som 800 ha (0.8 km^2) hårdgjorda ytor och 12400 ha (1.24 km^2) trögare avrinningsmark. Denna beskrivningen innefattas inga av de geohydrologiska eller hydrauliska proces-serna. Istället användes en för tillämpningen fullt trovärdig och tillräcklig detaljerad be-skrivning av tillrinningen genom en förenklad modellbeskrivning. Idag har ytterligare ett utjämningsmagasin nedströms våtmarken anlagts för att utjämna den utökade belast-ningen på anläggningen.

B2.2 RISEBERGABÄCKEN

Risebergabäcken inom Malmö kommun utgör ett biflöde till Segeå med sammanflöde 3 km uppströms Segeås utflöde i Öresund. Huvuddelen av Risebergabäckens avrinningsområde utgörs av åker- och parkmark men också av de östra delarna av Malmö tätort. Hela avrinningsområdet omfattar ca 2900 ha (2,9 km^2). Av dessa är ca 350 ha hårdgjorda ytor.

För närvarande planeras exploatering av industri- och bostadsområden om totalt ca 430 ha inom avrinningsområdet. Den härigenom ökade andelen hårdgjorda ytor befaras medföra en ökad översvämningsrisk i området. Detta har vidare studerats inom ramen för ett projekt,se ref./15/.

Målsättningen med tillämpningen har varit att beskriva Risebergabäckens hydrologiska och hydrauliska funktion med avseende på översvämningsrisken och beskriva effekterna av den planerade exploateringen. Detta har varit möjligt genom att utnyttja en verifierad vattendragsmodell för Risebergabäcken (Mouse NAM+ Mouse RÖR). Målsättningen har också varit att precisera möjliga principlösningar så att risken för översvämningar minskar

till en acceptabel nivå.

Vid beräkningarna har ett antal regntillfällen ur en 20 års historisk nederbördsserie från Malmö utnyttjats. Det största av dessa regn motsvarar statistiskt sett ett regn med återkomsttiden 100 år. Beräkningarna visar att för nuvarande förhållanden skulle stora områden översvämmas vid detta nederbördstillfälle. Framförallt är det områden vid Jägersro och vid Fosieby industriområde som översvämmas. Orsaken till översväm-ningarna är otillräcklig kapacitet längs vissa sträckor i bäcken. Beräkningarna visar vidare att vid ett regntillfälle som uppskattas motsvara en 5-10-årssituation inträffar inga översvämningar inom området.

De planerade exploateringarna kommer att ge en ökad översvämningsrisk i området. Enligt beräkningarna kommer exploateringarna medföra att det mest kritiska området, vid Jägersro, kommer att översvämmas även vid en 5-10-årssituation.

För att minska översvämningsrisken i området rekommenderas att dagvatten från hårdgjorda ytor i de nyplanerade områdena i möjligaste mån tas om hand lokalt inom området genom att dagvattnet avleds över gräs eller andra infiltrationsytor. Denna åtgärd ger dock inte någon avgörande effekt på översvämningsrisken, eftersom översväm-ningarna längs bäcken i huvudsak orsakas av vattenmängderna från de stora naturmarksområdena.

För att nå större effekt föreslås utjämning av vattnet i bäcken genom anläggande av utjämningsmagasin. För att klara en 100-årssituation krävs flera utjämningsmagasin längs bäcken motsvarande en total volym om ca 205 000 m^3. Dessutom erfordras utjämningsvolymer (ca 40 000 m^3) för de planerade områden öster om Toftanäs.

De från beräkningarna erhållna högsta vattennivåerna i bäcken, för ett regn med en återkomsttid av 100 år, rekommenderas att ligga till grund för bestämning av bebyggelse och anläggningars plan- och höjdläge i området kring Risebergabäcken.

B2.3 GÄRSNÄS

Gärsnäs samhälle är beläget i de östra delarnma av Simrishamns kommun. Dräneringen av åkermark runt Gärsnäs har sin avledning via ett rörledningssystem ut i Tommarpåsån. På senare tid har dagvattensystemet från Gärsnäs samhälle kopplats till detta system. Totalt belastas dräneringssystemet av dräneringsvatten från ca 450 ha åkermark. Dagvattensystemet i samhället bedöms belastas av ca 10 ha hårdgjorda ytor.

Vid flera tillfällen har åkermarken nedströms Gärsnäs samhälle drabbats av översvämningar. För att klargöra dels hur avvattningen fungerar i dikesföretagens ledningssystem och dels hur påkopplingen av Gärsnäs dagvattensystem inverkar på systemets funktion har en modell över ledningssystemet och dess avrinningsområde lagts upp i Mouse-systemet, se ref./16/. Modellen omfattar dels en hydrologisk modell som beskriver avrinningsområdets belastning på ledningssystemet (Mouse NAM) samt en hydraulisk modell som beskriver förutsättningen för vattentransporten i ledningarna (Mouse RÖR).

Modellen utnyttjas för att simulera ledningssystemets funktion under olika hydrologiska förhållanden. Totalt har en 10-års period simulerats.

Beräkningarna visar att anslutningen av dagvattensystemet från Gärsnäs samhälle framförallt medför en ökad flödesbelastning under sommarperioderna i samband med korta intensiva regn. Under denna period finns utrymme för detta flödestillskott i systemet eftersom avrinningen från åkermarken då är liten. Den största flödes-belastningen i systemet fås under blötperioder då avrinningen från åkermarken är stor.

Beräkningarna visar vidare att risk för marköversvämning föreligger i vissa delar av systemet. Översvämning inträffar i samband med mycket kraftiga regn. Enligt beräkningarna skulle översvämning inträffa ca 5 ggr under en 10-årsperiod, förutsatt att systemets ledningar är hela och fria från igensättningar.
Översvämningarna orsakas primärt av avrinningen från åkermarken i samband med kraftig nederbörd under blötperioder. Avrinningen från de hårdgjorda ytorna bidrar dock med en något ökad översvämningsnivå.

De översvämningar som i verkligheten har inträffat har varit mer frekventa och mer omfattande än beräkningarna visar. Sannolikt är således att någon form av funktionsbrist i systemet, tex igensättning eller ledningsbrott, är bidragande orsak till de inträffade översvämningarna.

B2.4 HERLEV

Dagvattensystemet i Vingekrogen Herlev kommun, Danmark avleds till en damm Sømosen som fungerar som ett utjämningsmagasin för dagvattnet innan det rinner till Sømosen Å. Totalt så belastas Sømosen med ca 100 ha från uppströms belägna områden. Oljeutsläpp till Sømosen har konstaterats och samtidigt en dålig verkningsgrad på den befintliga oljeavskiljaren placerad vid utloppet från dagvattensystemet till dammen för att reducera de oljeutsläpp som transporteras i systemet. Herlevs kommun beslöt utifrån detta att påkalla en studie av avrinnings- och belastningförhållanden i Vingkrogen och hur en mer effektiv oljeavskiljning skulle erhållas.

Metodiken för en sådan studie baserades på en modellbeskrivning av systemet i MouseRÖR där ett uppströms beläget magasin inom avrinningsområdet och dess effekter på avrinningen är inkluderade i modellbeskrivningen, se ref./18/. Modellen har kalibrerats mot nivå- och flödesmätningar från Vingekrogen. Vidare har modellen använts för att beräkna flödesvariationerna för en 10-årig nederbördsserie. Beräkningsresultat från dessa utgör underlag för statistk som användes för dimensionering av en oljeavskiljare vid utloppspunkten. Det finns två principiellt olika sätt att uppnå en bättre avskiljningseffekt på. Antingen byts den gamla konventionella oljeavskiljaren ut mot en ny med bättre avskiljnings-kapaciet, dvs en lamellavskiljare. Alternativt så styrs/fördröjs flödet in till avskiljaren på sådant sätt att andelen högre flödesbelastningar minskar, vilket ökar den genomsnittliga avskiljnings-graden. Det senare alternativet förutsätter någon form av utjämningsvolym före utloppet. Med hänsyn till besvärliga planförutsättningar samt små fallhöjderna ansågs detta inte vara en rimlig lösning. Istället föreslogs en ny oljeavskiljare i kombination med så effektivt utnyttjande som möjligt av uppströms utloppet beläget magasin för utjämning av flödestoppar.

Med resultaten från modellberäkningarna av den 10-åriga serien, med reglering av flödet från uppströms magasin beskrivet i modellen, erhölls flödesstatistik för belastningen på den framtida oljeavskiljaren. Med denna statistik bedömdes effekten av ett mer effektivt magasinsutnyttjande mot förutsättningarna i befintligt system.

I denna tillämpning genomfördes en rätt detaljerad flödestudie eftersom framräknade flödesbelastningar var dimensionerande för rekommenderad åtgärd. Det var nödvändigt att beskriva systemets transportkapacitet och utjämningskapacitet i form av det uppströms belägna magasinet, av stor betydelse för flödesbelastningen på nedströmssystem, dvs oljeavskiljaren. Ytterligare skäl för den detlajerade hydrauliska beskrivningen var naturligtvis möjligheten att kunna beskriva eventuella systemförändringar i modellen. Modellbeskrivningen verifierades väl mot mätdata och kan därmed förutsättas beskriva det aktuella systemet väl.

Resultaten från modellberäkningarna resulterade i ett åtgärdsförslag för att förbättra oljeavskiljningen vid Sømosen. Förslaget var att installera en ny oljeavskiljare av typen lamellavskiljare vars kapacitet är beroende av belastningen i kombination med en reglering av utloppet från det uppströms belägna magasinet.
Efter projektets genomförande och avslutande installerades oljeavskiljaren under 1994.

Ett liknande projekt kring flödesutjämning och oljeavskiljare har genomförts i området Ingefærhave i Herlev kommun, Danmark se ref /17/.

B2.5 VITTSKÖVLE

Bakgrund

En markexploatering påverkar alltid den hydrologiska balansen. Oberoende av vilken typ av avloppssystem som fastigheter har kan man konstatera att det på ett eller annat sätt påverkar de naturliga hydrologiska förhållandena eller, om man så vill, omvänt påverkas av dem. I många fall avleds den största delen av det regn som faller över hus och tomtmark via husgrundsdräneringar och läckage till ledningssystemet. Problembilden blir ännu mer komplex då dräneringen kring fastigheter etc i vissa fall kan ske mycket snabbt, med kraftigt förhöjda flöden efter nederbörd som följd. För att kunna föreslå lämpliga åtgärder mot dessa problem krävs en geohydrologisk förståelse för hur området avvattnas.

En modell som idag används för att beskriva denna typ av påverkan på ledningsnät är den sk MouseNAM-modellen, se ref./2/. Med denna modell kan dock effekterna av åtgärder inom området, exempelvis ingrepp i marken i form av avskärande dränage, bara i mycket begränsad del beskrivas. Det finns därför behov av att utveckla modellverktyg som på ett mer fysikaliskt sätt kan beskriva och ge kunskap och förståelse för de geo-hydrologiska processerna inom urbana avrinningsområden, där effekterna av olika typer av ingrepp i marken kan studeras. Målet är att man, på samma sätt som man vid ledningsnätsmodellering kan beskriva de hydrauliska processerna på ett detaljerat sätt, skall kunna beskriva de omkringliggande geohydrologiska processerna och dess samspel med ledningsnätet. Först då har man möjlighet att beskriva effekterna av ingrepp i mark och landskap på ett ledningsnäts dränerande funktion samt även kunna avväga effekter av åtgärder i landskapet mot åtgärder på ledningsnätet.

För att kunna beskriva effekterna av ingrepp i mark och landskap på ett ledningsnäts dränerande funktion krävs en modell där de ingående processerna kan beskrivas i detalj, d v s en modell av typen "White Box". MIKE SHE, se ref./8/, är en sådan typ av modell. MIKE SHE är utvecklad av Dansk Hydraulisk Institut och är ett väl beprövat ingenjörs-verktyg för studier av traditionella grundvattenproblemställningar inom vattenresurs-området, kopplat till yt- och grundvattenplanering samt föroreningsproblem i samband med både punktkällor och

diffusa källor. Modellen har använts i ett stort antal projekt, i Danmark, England, Estland, Indien, Slovakien, Sverige, Thailand och Ungern.

Syftet med det här sammanfattade projektet var att belysa möjligheterna att använda MIKE SHE i urban miljö för att kunna beskriva effekterna av åtgärder utanför ledningsnätet. Studien genomfördes i Vittskövle, ett mindre samhälle i Kristianstad kommun, se ref. /21/.

Problembeskrivning

Vittskövle är ett litet samhälle med ca 300 invånare beläget i Kristianstads kommun i nordöstra Skåne. Som lite kuriosa kan nämnas att Vittskövle är en gammal by med anor från 1200-talet och förknippas ofta med Vittskövle slott. Idag består själva byn av ett 100-tal fastigheter med i huvudsak äldre fristående villabebyggelse. Den övre jordmånen utgörs av lätta sandjordar med hög permeabilitet, vilket innebär att allt dagvatten, från både gator och takytor, tas omhand genom lokal infiltration.
Byn har sedan 1960 ett eget, mycket enkelt reningsverk med mekanisk och biologisk rening och med infiltration i dammar av utgående avloppsvatten. Under vinterhalvåret måste normalt infiltrationsdammarna ställas av beroende på höga flöden och stor andel inläckande grundvatten. Utgående avloppsvatten från verket leds då istället till Vittskövleån. Det har länge övervägts att slopa det enkla verket i Vittskövle och bygga överföringsledning in till det centrala reningsverket i Kristianstad. Detta har dock stupat på de stora mängderna grundvatten som under vinterhalvåret läcker in i ledningsnätet i Vittskövle från både husdräneringar, läckande servisledningar och huvudledningar. Inläckaget är mycket omfattande. Man har vid genomförda mätningar konstaterat att inläckaget i stort sett är jämnt fördelat över hela byn.

Under mitten av 80-talet genomfördes omfattande reliningsarbeten, ca 70 % av huvudledningsnätet, vilket dock endast marginellt minskade inläckaget. Tätningen av huvudledningarna innebar att inläckaget från husdräneringar och otäta servisledningar istället ökade, och att grundvattennivån lokalt steg något. Detta medförde i sin tur att några enstaka fastigheter, där husdränering saknades, fick problem med fukt i källare. Kommunens otäta huvudledningar hade alltså tidigare svarat för att hålla källar-grunderna torra. Det kan till och med vara så att husen en gång byggts med de förutsättningarna.

Den enda konventionella metod med vilken inläckageproblemen ser ut att kunna lösas, utan att samtidigt skapa sekundära olägenheter för fastighetsägarna, är att anlägga ett helt nytt spillvattennät i byn och samtidigt låta de befintliga ledningarna ligga kvar och fungera som rena dräneringsledningar med självfall ut i recipienten Vittskövleån. Förutom nya huvudledningar innebär detta att separering av spillvatten och dräneringsvatten måste genomföras inne på varje fastighet. Dessutom kommer återställningsarbetet både i gatorna och på tomtmark att bli omfattande, bl a beroende på att tomterna i Vittskövle är betydligt större än i nyare områden och många av villorna är belägna 30-40 meter in på tomten från gatan räknat. En grov uppskattning av kostnaden för en sådan omfattande separering ligger kring 5 miljoner kronor, det vill säga ca 50 000 kronor per fastighet.

Dessa kostnader har motiverat kommunen att fundera på andra, mer okonventionella metoder. Närmast tillhands låg då att undersöka möjligheterna att utföra åtgärder i landskapet. Genom att anlägga avskärande dräneringar på lämpliga platser, borde en sänkning av grundvattennivån kunna åstadkommas, och därmed inläckaget i lednings-nätet kunna minskas. Men hur kommer en avskärande dränering att påverka olika delar av ledningsnätet? Var är lämpligt att placera dräneringsstråken? Hur stora blir de totala effekterna? ..... Frågorna var många och svaren blev egentligen bara spekulationer.

Det var i detta sammanhang som MIKE SHE-modellens eventuella möjligheter kom in i bilden. Modellen var aldrig tidigare prövad för denna typ av problemställning, varför det i ett första skede ansågs lämpligt att pröva modellen inom ramen för ett VA-FORSK projekt, se ref./21/.

Formulering och Verifiering av Modellen

Det modellerade området i Vittskövle täcker en yta av 1.2×1.7 km^2, vilken uppdelades på gridrutor om 20×20 m^2, dvs totalt 60×85 horisontella gridrutor. Topografin inom området hämtades som diskreta höjdpunkter från kartmaterial och behandlades därefter i preprocessorprogrammet i MIKE SHE, som interpolerar fram höjder i varje gridruta. Söder om samhället rinner Vittskövleån, vars sträckning, längdprofil och tvärsektioner beskrevs för att få med åns inverkan på områdets grundvattenförhållanden. Spillvattenledningsnätets dränerande funktion beskrevs via gridrutor längs ledningsnätsstråken med dels dräneringsnivåer motsvarande ledningsnätets nivåer, dels olika dräneringskonstanter.

I djupled delades modellen upp i fyra beräkningslager för att representera den geologiska lagerföljden. Något grovt kan lagerföljden, från markytan räknat, anges som:

- övre sandlager med inslag av silt- och lerformationer (till ca 5 meters djup),
- djupare sandlager (till ca 25 meters djup),
- kalkberg (till ca 150 meters djup),
- glaukonitsandsten (till ca 300 meters djup) med artesiskt grundvatten.

De geohydrologiska egenskaperna för varje lager beskrevs med ett antal modellparametrar, vissa uppmätta i samband med geotekniska undersökningar, andra skattade med schablonvärden. De lokala silt- och lerformationerna beskrevs modellmässigt som sk linser med bestämd utbredning i plan och profil och med egna geohydrologiska egenskaper.

Som indata till beräkningarna användes 15 år långa uppmätta tidsserier (1979 - 1993) för nederbörd och temperatur, med upplösning på dygnsbasis, samt årstidsvariationer för potentiell avdunstning, lövareaindex och rotdjup utgående från schablonvärden.

För verifiering av modellen användes både korttidsdata för flödesmätningar i ett flertal punkter på ledningsnätet och längre tidsserier (1981 - 1993) med dels uppmätta dygns-värden för inkommande flöde till avloppsreningsverket, dels grundvattennivåer i sex observationsrör inom området.

Det bör här noteras att endast de modellparametrar som beskriver ledningsnätets dränerande funktion (dräneringskonstanten för respektive gridruta) justerades (kalibrerades) under verifieringsprocessen. Övriga modellparametrar ansattes till värden utgående från kunskap om de fysiska förhållandena, eller i vissa fall schablonvärden, och hölls konstanta under verifieringen. Då reliningar av ledningsnätet utförts i två omgångar under 80-talet, var det nödvändigt att dela upp simuleringen i motsvarande perioder med olika dräneringskonstanter för respektive period.

Parallellt med MIKE SHE modelleringen formulerades och kalibrerades även en MouseNAM-modell för avrinningsområdet till reningsverket. MouseNAM uppvisade lika bra, om inte bättre, överensstämmelse med flödet till reningsverket som MIKE SHE. Att erhålla en god överensstämmelse med utflödet ur systemet är dock inte den viktigaste anledningen att

välja ett modellkoncept som MIKE SHE. Valet av MIKE SHE grundar sig istället på önskemålet att kunna beskriva effekterna av framtida förändringar inom området, vilket inte är möjligt med MouseNAM eftersom modellparametrarna måste bestämmas genom kalibrering mot observerad avrinning.

Simuleringar och Resultat

Beräkningarna visar att om man lyckats få de aktuella ledningsstråken som relinades under 80-talet helt täta, dvs även servisledningar samt bortkoppling av förekommande husdräneringar, skulle en minskning av det årliga flödet till reningsverket med 45 % ha varit möjlig. Stora delar av bebyggelsen skulle i så fall under vissa perioder ha fått stora dräneringsproblem eftersom grundvattnet skulle stigit, över stora ytor ända till markytan. En jämförelse mellan det gamla systemet (början 80-talet) och nuvarande system, som speglar det verkliga utfallet av renoveringarna, indikerar att minskningen av inläckande grundvatten endast blev ungefär 15 %.

Beräkningarna för naturliga geohydrologiska förhållandena i Vittskövle, det vill säga utan avloppsledningsnät, visar att den exploatering som nu är genomförd, hade varit omöjlig om inte området dränerats. Vatten hade under blöta vinterperioder blivit stående ovanpå marken i lägre liggande delar. Äldre kartmaterial, bl a skånska rekognoceringskartan, bekräftar detta då delar i utkanten av nuvarande samhälle på kartan betecknas som kärrmark.

Slutligen genomfördes testberäkningar med olika placeringar av avskärande dräneringar i samhället. Beräknade effekter av denna typ av åtgärder visar på en minskning av inläckaget med upp till 70 % utan förhöjda grundvattennivåer. Någon kostnadsberäkning av dessa åtgärder har ännu inte gjorts, men att kostnaden för anläggning av avskärande dräneringar i ej exploaterad mark är liten i jämförelse med anläggning av ett nytt spillvattennät borde vara tämligen klart.

Rapporter utgivna i VA-FORSK-serien

1992-01 Hydraulisk analys av vattenledningsnät, *Lennart Andersson*
1992-02 Samverkan mellan avloppsnät och reningsverk, *Claes Hernebring*
1992-03 Lukt- och smakstörningar i dricksvatten, *Kjell Kihlberg, Roger Sävenhed*
1992-04 Artificial Groundwater Recharge – State of the Art, *Cristina Frycklund*
1992-05 Analysmetod för klordioxid, klorit och klorat, *Mats Lindgren, Einar Pontén*
1992-06 Undersökning av förfilter för järn- och manganreduktion vid dricksvattenrening, *Tibor Nemeth, Åke Elgemark*
1992-07 Inventering av datorbaserade system för övervakning och styrning inom kommunal teknik, *Bengt Zagerholm*
1992-08 Bräddning – Problemets omfattning i svenska tätorter, *Mats Andreason, Johan Larsson*
1992-09 Lokal dagvattenhantering — Erfarenheter från några anläggningar i drift, *Eva Jansson, Bo Lind, Björn Malbert*
1992-10 PRISEK Prioritering Samhällskonsekvenser Ekonomi – Ekonomisk modell och systematisk effektredovisning för värdering och prioritering av va-åtgärder, *Bertil Gustafsson, Gilbert Svensson*
1992-11 Konditionsstabilitet hos avloppsledningar av betong, *Viveka Lidström*
1992-12 Skadefall på nylagda betongledningar, *Ann-Christin Sundahl*
1992-13 Konstgjord grundvattenbildning, *Bertil Sundlöf, Lars Kronqvist*
1992-14 Trädrötter och ledningar, *Örjan Ståhl*
1992-15 Naturliga system för avloppsrening och resursutnyttjande i tempererat klimat, *HB Wittgren, Kenth Hasselgren*
1992-16 Vattenboken – En bok för mellanstadiet om vårt svenska vatten, *Accurat Information AB, VAV*
1992-17 Vattenboken – Lärarboken, *Accurat Information AB, VAV*
1992-18 Utvärdering av VA-FORSK, *Björn Svedinger*
1992-19 Hårdgöring av dricksvatten med krita-kolsyra – ett alternativ till kalk-kolsyra, *Dan Göthe, Bertil Israelsson*
1993-01 Alternativ va-teknik – Exempelsamling, *Per-Arne Malmqvist, Agneta Samuelsson*
1993-02 Luft- och sedimentansamlingar i tryckledningar – Inledande studie, *Lennart Jönsson*
1993-03 Algtoxiner i dricksvatten – en undersökning vid två svenska vattenverk samt litteraturstudie, *Heléne Annadotter*
1993-04 Simulering av hydrologin inom urbana områden. Metodikmanual – MouseNAM, *Lars-Göran Gustafsson*
1993-05 Användning av klordioxid — Reaktorstudier och halter i distributionssystemet vid nio vattenverk, *Mats Lindgren, Einar Pontén*
1993-06 Slamspridning på åkermark, *Per-Göran Andersson, Peter Nilsson*
1993-07 Analys av tillförselgrad till avloppsverk — svårigheter och möjligheter. Tillämpning på tillrinningen till Tivoliverket i Sundsvall, *Claes Hernebring*
1993-08 Indirekt nederbördspåverkan i spillvattensystem, *Hans Bäckman, Björn Marklund, Rune Olsson, Bengt-Lennart Peterson, Tore Wästlin*
1993-09 Franska va-driftentreprenader, *Lise-Lotte Nilsson*
1993-10 Generell kravspecifikation för styr- och övervakningssystem, *Bengt Zagerholm*
1993-11 Va på entreprenad, *Gösta Fredriksson, Bo Lannblad, Bengt Larsson, Åke Mattsson*
1993-12 Renovering av avloppsledningar. Riktlinjer för dokumentering och kvalitetskontroll, *Bjorn Borstad, Inge Faldager, Thomas Johansson*
1993-13 Simulering av vattenledningsnät med Piccolo — en utvärdering, *Krister Törneke*
1993-14 Drömmen om att allt ska förbli som det var — några reflexioner om konkurrens och strategeier för förändring inom va-branschen, *Lennart Hansson, Ola Mattisson*
1993-15 Kostnader för drift av avloppsreningsverk, *Peter Balmér, Bengt Mattsson*
1993-16 Rötkammares förmåga att bryta ned organiska föreningar i slam, *Hans Ring*
1994-01 Va-ledningars kondition, *Peter Stahre, Ann-Christin Sundahl, Viveka Lidström*
1994-02 Tillämpning av kvicksilverfri COD-analys inom va-tekniken, *Evy Axén, Gregory M Morrison*
1994-03 Drifterfarenheter med biologisk kvävereduktion, *Magnus Emanuelsson*
1994-04 Bestämning avv nitrat i kommunalt avloppsvatten — en metod lämpad för automatiserad övervakning och kontroll, *Christer Björklund, Bo Karlberg, Maikael Karlsson*
1994-05 Vattenförbrukningens dygnsvariation, *Lars Nikell*
1994-06 Dagvattnets sammansättning, recipientpåverkan och behandling, *Thomas Larm*
1994-07 Svavelväteproblem i avloppsledningar — praktiska drifterfarenheter och tillämpbara anvisningar, *Anders Ledskog, Sven-Gunnar Larsson, Bo Göran Lindqvist*
1994-08 Konstgjord grundvattenbildning — Processtudier vid inducerad infiltration och bassänginfiltration, *Cristina Frycklund, Gunnar Jacks, Per-Olof Johansson, Kerstin Lekander*
1994-09 Desinfektion/oxidation som förbehandling av ytvatten, *Mats Engdahl*
1994-10 Kontroll av bräddavlopp, *Bertil Forsberg*
1994-11 Dagvattnets sammansättning, *Per-Arne Malmqvist, Gilbert Svensson, Caroline Fjellström*
1994-12 Kortbedömning av TV-inspekterade avloppsledningar, *Olle Nilsson, Peter Stahre*
1994-13 Utjämningsmagasin. Erfarenheter i svenska avloppsnät, *Rolf Mansfeldt, Mats Andréasson, Bertil Svensson*
1994-14 MIKE SHE I Urban Miljö, Tillämpningsexempel Vittskövle, *Stefan Winberg, Lars-Göran Gustafsson, Lars Bengtsson*
1994-15 Avskiljare för lätta vätskor och fett, *Fred Nyberg*
1994-16 Datorstödd simulering av aktivslamprocessen – Försök vid 5 svenska reningsverk, *Jes la Cour Jansen, Dines Thornberg, Anders Finnson*
1995-01 Ringar på vattnet – VA-verken och Agenda 21, *Anna Helmrot, Gunnel Jonsson, Örjan Eriksson*
1995-02 Transport av föroreningar i avloppssystem. Beräkningsmöjligheter med MouseTRAP, *Claes Hernebring, Cecilia Appelgren*
1995-03 Alternativa avloppssystem i Bergsjön och Hamburgsund. Delrapport från ECO-GUIDE-projektet, *Per-Arne Malmqvist, Hans Björkman, Majlis Stenberg, Ann-Carin Andersson, Anne-Marie Tillman, Erik Kärrman*
1995-04 Utvärdering av biologisk fosforavskiljning vid Öresundsverket i Helsingborg – Processtekniska och mikrobiologiska aspekter, *Magnus Christensson, Karin Jönsson, Natuschka Lee, Ewa Lie, Per Johansson, Thomas Welander, Kjetill Østgaard*
1995-05 Internkontroll vid VA-verk. Arbetsbok för upprättande och genomförande av internkontrollprogram för arbetsmiljön vid va-verk, *Ingvar Borgström, Anders Karlsson*
1995-06 Regional VA-samverkan – Potential och principer, *Lennart Hansson, Ola Mattisson*
1995-07 Hårdhetshöjning av dricksvatten med krita-kolsyra, ett alternativ till kalk-kolsyra – Fullskaleförsök vid Öxsjöverket Lerum, *Dan Göthe, Bertil Israelsson*
1995-08 Våtmarksrening vid Landsbro ARV, *Leif Lorentzon, Göran Nilsson, Yvonne Gunnevik, Carl Odelberg, Thomas Svensson*
1995-09 Tvättmedel – Effekter på reningsverk och miljö, *Cajsa Wahlberg*
1995-10 Utvärdering av VAVs läckagestatistik, *Ann-Christin Sundahl, Åse Hasselkvist*
1995-11 Trädrötter och avloppsledningar. En fördjupad undersökning av rotproblem i nya avloppsledningar, *Örjan Stål, Jörgen Rosenlöf*
1995-12 Renovering av vattenledningar. Riktlinjer för metodval, dimensionering och utförande, *Thomas Johansson, Per Romdal, Øistein Torgersen*
1995-13 Nya kemikalier – En utmaning för kommunala reningsverk. Förstudie, *Björn Frostell, Bengt Hultman, Jonas Röttorp, Peter Solyom*
1995-14 CD-ROM inom VA, *Leif W Linde, Gunnar Petersson*
1995-15 Kvalitetssäkerhet och leveranssäkerhet i distributionssystem för dricksvatten, *Bengt Zagerholm, Rolf Bergström*
1995-16 Försöksrapport från biologisk fosforavskiljning vid Jämshögs reningsverk, Olofströms kommun, *Carl-Johan Legetth*

Rapporter utgivna i VA-FORSK-serien

1996-01 Organiskt avfall som växtnäringsresurs. Potential och förslag till forsknings- och utvecklingsinsatser, *H B Wittgren*

1996-02 Rotinträngning i avloppsledningar. En undersökning av omfattning och kostnader i Sveriges kommuner, *Örjan Stål*

1996-03 Källsorterad humanurin i kretslopp – Förstudie i tre delar, *Håkan Jönsson, Anna Olsson, Thor Axel Stenström, Gunnel Dalhammar*

1996-04 VA sett på nytt sätt – Driftentreprenader i några kommuner, *Gösta Fredriksson, Bo Lannblad, Bengt Larsson, Åke Mattsson*

1996-05 Avrinningsområdesbaserade organisationer som aktiva planeringsaktörer, *Jan-Erik Gustafsson*

1996-06 Bedömningsgrunder för ovidkommande vatten i avloppsnät. Metodikmanual, *Ann-Marie Gustafsson, Gilbert Svensson*

1996-07 Snösmältningspåverkan på avloppssystem inom urbana områden, *Claes Hemebring*

1996-08 Rening av avloppsslam från tungmetaller och organiska miljöfarliga ämnen, *Erik Levlin, Lars Westlund, Bengt Hultman*

1996-09 Kemikaliers effekter i VA-sammanhang. En datasammanställning, *Ingemar Dellien*

1996-10 Syrgas i kombination med luftinblåsning vid pilotförsök med kväverening vid Västerås reningsverk, *Hermann Wiklund, Kjell-Ivar Dahlqvist, Bernt Ericsson*

1996-11 Export av svenskt kommunalt VA-kunnande, *Gösta W Fredriksson, Åke Mattsson*

1996-12 Litteraturdatabas för grundvatten i urban miljö på Internet, *Chester Svensson*

1996-13 Konkurrensutsättning av VA-verksamheten, *Stig Tunestål*

1997-01 Utvärdering av VA-lösningar i ekobyar, *J-E Haglund, B Olofsson*

1997-02 Aktivt stöd till fastighetsägare vid nybyggnad av VA-nät, *Roland Strandberg, Mårten Wärnö*

1997-03 Dosering av biokultur i en igensatt infiltrationsanläggning – En utvärdering, *Jenny Holmgren*

1997-04 Biogasanläggningar i Sverige, *Anna Lindberg*

1997-05 VA-försörjning i ny skepnad – Om konkurrens och strukturomvandling i Vaxholm, *Ola Mattisson*

1997-06 Fosforns växttillgänglighet i olika typer av slam, handelsgödsel samt aska, *Kersti Linderholm*

1997-07 Dricksvatten och korrosion – En handbok för vattenverken, *Bo Berghult, Ann Elfström Broo, Torsten Hedberg*

1997-08 Alternativa avloppssystem i Bergsjön och Hamburgsund. Sammanfattande slutrapport från ECO-GUIDE-projektet, *Per-Arne Malmqvist, Majlis Stenberg*

1997-09 Analys av avloppssystem med datormodeller. Tillämpningsexempel med MOUSE-systemet, *Bo Granlund, Mats Andréasson*

1997-10 Läcksökning med hjälp av tryckslagsmätningar – Transientmetoden, *Lennart Jönsson, Anders Svensson*

1997-11 Modellering av ekologisk dagvattenhantering, *Cecilia Wennberg*