

SEWSYS – ETT VERKTYG FÖR ATT BESTÄMMA KÄLLOR TILL DAGVATTENFÖRORENINGAR OCH PRÖVA OLIKA ÅTGÄRDER

SEWSYS – a tool for analysis of stormwater pollution sources and evaluation of abatement strategies

av STEFAN AHLMAN

*Vatten Miljö Teknik, Institutionen för Bygg- och Miljöteknik, Chalmers tekniska högskola, 412 96 Göteborg
e-post: stefan.ahlman@chalmers.se*



Abstract

Stormwater is known to be a potentially large contributor of toxic substances to receiving waters. To be able to model scenarios related to abatement strategies and quality source control, *i.e.* reducing the pollutants at the source, a substance flow modelling tool has been developed. The computer model is called SEWSYS and the modelling framework incorporates generation and transport of pollutants in the urban drainage system. The sources of pollutants coming from different activities in the urban area are separated in their respective origin, *i.e.* material corrosion, brake wear, tyre wear etc. The main feature of the model is that it enables a source based pollution analysis of urban drainage systems. At present the model contains 20 different substances, including nutrients, heavy metals and organic pollutants. The modelling framework handles both domestic wastewater and stormwater, in either combined or separate sewer systems. The model's usefulness is demonstrated using a selection of results from two application studies where SEWSYS was used for the modelling of substance flows. Based on the level of detail in the model's output of stormwater pollution, it is clear that SEWSYS represents a useful tool for simulating and evaluating quality source control measures.

Key words – heavy metals, nutrients, pollution load, pollution sources, source control, stormwater, substance flow modelling

Sammanfattning

Dagvatten transporterar stora mängder toxiska ämnen till våra vattendrag. En substansflödesmodell har utvecklats för att möjliggöra analys av scenarier relaterade till föroreningsminskande åtgärder och källkontroll. Datormodellen har fått namnet SEWSYS och innefattar generering och transport av föroreningar i urbana avrinningsområden. Föroreningarnas källor är också beskrivna i modellen och inkluderar exempelvis materialkorrosion, bromsslitage och däckslitage. SEWSYS främsta egenskap är möjligheten att analysera föroreningar och dess mängder utifrån de bidragande källorna. För närvarande hanterar modellen 20 olika substanser som innefattar näringsämnen, metaller och organiska föroreningar. Det är möjligt att simulera både dagvatten och hushållspillvatten, antingen i kombinerade eller i duplikata avloppssystem. Modellens möjligheter demonstreras i denna artikel genom ett urval av resultat från två tillämpade studier där SEWSYS använts för substansflödesmodellering. Baserat på den detaljnivå som modellen har i beräkningarna av dagvattenföroreningar och erfarenheter från flera tillämpade studier har SEWSYS visats sig vara ett användbart verktyg för att simulera dagvattenföroreningar och utvärdera åtgärder som bygger på källkontroll.

Inledning

Dagvatten definieras som ytavrinning av regn och smältvatten i byggd miljö. I ett konventionellt duplikat avloppssystem förs dagvattnet orenat ut i närmaste reci-

pient. I ett kombinerat avloppssystem förs dagvattnet tillsammans med spillvatten från hushåll och industrier till ett avloppsreningsverk (ARV). Vid häftiga regn räcker inte kapaciteten i de kombinerade ledningarna till och en viss andel spillvatten och dagvatten måste då avledas

till närmaste recipient genom systemfunktionen bräddavlopp. Oavsett vilket avloppssystem som används så måste hänsyn tas till att dagvattnet inte är rent. Dagvatten kan innehålla föroreningar såsom suspenderad substans (oftast fin sand och lera), syreförbrukande ämnen, bakterier, näringsämnen, metaller och olja. Dagvattnets innehåll av föroreningar är en direkt funktion av de lokala förhållanden som råder i det geografiska område där regnet faller, det så kallade avrinningsområdet. Byggnadsmaterial som används på tak och fasader påverkas av luftens kvalitet och korroderar; vid regn så tvättas dessa ytor av. De aktiviteter som pågår i avrinningsområdet påverkar också dagvattenkvaliteten, främst trafiken genom direkta avgasutsläpp samt slitage av bromsar, däck och körbanan.

Kunskapen om miljöriskerna kring dagvatten har ökat de senaste 20 åren genom omfattande forskning, både i Sverige och utomlands (Malmqvist, 1983; USEPA, 1983). Nuvarande svensk lagstiftning ställer också krav på förbättrad dagvattenhantering (SFS, 1998). Många kommuner i Sverige har tagit fram en dagvattenstrategi för att på ett effektivt sätt vidta rätt åtgärder redan vid planering och byggnation (Göteborgs va-verk, 2001; Stockholm Vatten, 2005). De övergripande målen i dessa dagvattenstrategier syftar vanligtvis till att:

- utnyttja dagvattnet i stadsplaneringen för att skapa vackra blå-gröna miljöer
- förhindra att föroreningar når dagvattnet, dvs. källkontroll
- rena förorenat dagvatten (end-of-pipe lösningar)

Anläggningar för rening av dagvatten kan utgöras av dammar, våtmarker, översilningsytor, meandrande bäckar och diken samt olika typer av filter i rännstensbrunnar. Åtgärder för källkontroll kan exempelvis vara informationskampanjer riktade till allmänheten och industrin med syfte att ändra ett visst beteende. En annan typisk åtgärd inom källkontroll är minskning av trafiken. Vad gäller utbyte av material i bilar eller användning av byggnadsmaterial kan styrmedel och incitament utgöras av lagar och förordningar samt skatter och avgifter.

För att kunna uppfylla målen kring källkontroll behövs operativa verktyg och metoder som kan användas för att inhämta kunskap och information om hur dagvattensystemet påverkas av existerande och framtida förhållanden gällande klimat, avrinningsområde och antropogena aktiviteter. Det är också viktigt att denna information kan tas fram på ett kostnadseffektivt sätt. Det finns i princip två olika sätt på vilka denna kunskap och information kan tas fram. Det första sättet inkluderar mätningar av mängd (volym) och kvalitet av dagvattnet i avrinningsområdet medan det andra sättet är att använda modelleringsverktyg för att simulera både kvanti-

tet och kvalitet av dagvattnet inom avrinningsområdet.

Mätkampanjer syftar till att samla så mycket information som möjligt om dagvattensituationen i området men en begränsning är att denna visar på de förhållanden som råder i avrinningsområdet under provtagnings-tillfället. Det är också kostsamt att bedriva långa mätkampanjer då det åtgår en del personella resurser och de kemiska analyskostnaderna är höga. Om man vill veta mer om hur systemet påverkas av framtida förändringar så måste man använda den andra principen, dvs. modellering. En mätkampanj kan bara ge information efter det att förändringar i systemet har genomförts. Vid beräkning av föroreningsbelastning i traditionella dagvattenmodeller används schablonvärden för dagvattnets föroreningshalt som är kopplade till olika typer av markanvändning. I Sverige används ofta schablonhalter från VA-Forsk Rapport 1994-06 (Larm, 1994) eller VA-Forsk Rapport 1994-11 (Malmqvist *et al.*, 1994). Även dessa schablonhalter är historiska och ger heller ingen information om var föroreningarna kommer ifrån, något som är en förutsättning för att studera åtgärder kring källkontroll.

Denna artikel beskriver modelleringsverktyget SEWSYS som tagits fram inom ett av doktorandprojekten i det svenska forskningsprogrammet Urban Water. Substansflödesmodellen SEWSYS är avsedd för att användas som beslutsstöd i frågor som handlar om dagvattenhantering och där information efterfrågas kring föroreningar och dess källor samt hur olika åtgärder påverkar dagvattenkvaliteten. Vidare utveckling av SEWSYS-konceptet har också bedrivits inom EU-projektet DayWater. Detta forskningsprojekt syftar till att utveckla ett adaptivt beslutsstödssystem för dagvattenhantering (Förster *et al.*, 2004). Ytterligare information om DayWater finns på hemsidan www.daywater.org.

Modellbeskrivning

Grunden för all forskning som bedrivits i Urban Water inom urbana vattensystem har varit ett systemanalytiskt angreppssätt. Dricksvattenberedning, spillvatten- och dagvattenhantering har i forskningsprogrammet analyserats ur ett holistiskt perspektiv. I Figur 1 visas hur de olika byggstenarna i en sådan systemanalys kan grupperas. Utgångspunkten är att olika systemstrukturer ska ställas mot varandra och jämföras. Det kan t.ex. vara olika avloppssystem (kombinerat mot duplikat) eller olika dagvattenlösningar (källkontroll mot end-of-pipe lösningar). För att kunna göra en sådan jämförelse behövs olika verktyg och metoder samt för vilka kriterier jämförelsen ska ske. Kriterierna har i Urban Water varit grupperade utifrån olika aspekter på uthållighet: eko-

nomi, miljö, socio-kultur, hälsa och hygien samt teknisk funktion. För varje kriterium har ett antal uthållighetsindikatorer tagits fram. Systemstrukturerna kan också jämföras för olika scenarier, t.ex. förändrade klimatförhållanden, sociala eller ekonomiska förutsättningar. En av metoderna som använts inom Urban Water har varit substansflödesanalys och denna metod har också utgjort grunden i utvecklingen av modellen SEWSYS.

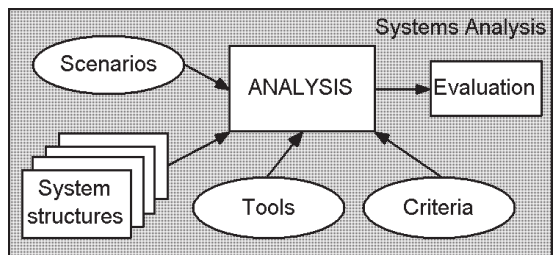
Substansflödesanalys

En substansflödesanalys (SFA) används för att få en ökad kunskap om och en helhetsbild av föroreningars spridningsvägar och upplagring i samhället. Även om metoden traditionellt har använts i större skala för att beskriva samhällets ämnesomsättning så kan samma tankesätt appliceras på det urbana vattensystemet eller på delsystemet kring dagvattenhantering. I en SFA studeras specifika ämnen (substanser) eller grupper av ämnen, som har en viss specifik miljöpåverkan från källa till utsläpp. Även ämnenas omvandling och transport inom systemet inkluderas. Kärnan i en SFA är massbalans, dvs. inflödet ska uppvägas av utflödet, nedbrytning och ackumulat

tion. Forskningen i doktorandprojektet har huvudsakligen varit inriktad på problematiken kring dagvattenföroreningar. Det går emellertid inte att göra en alltför snäv avgränsning så att bara dagvattensystemet och dess miljöpåverkan inkluderas i analysen. Dagvattenhantering sker som en del av det urbana vattensystemet som i sin tur är en del av samhällsstrukturen med infrastruktur, sociala förhållanden, ekonomi etc. Samhället är i sin tur en del av ekosystemet. Med bakgrund i ett sådant systemtänkande visar Figur 2 hur hantering av dagvatten kan ske samt vilka substansflöden, källor, processer, lager och sänkor som finns inom systemgränsen. I den urbana miljön ackumuleras ett antal substanser (tungmetaller, näringsämnen, organiska föroreningar) från aktiviteter och byggnadsmaterial under torrperioder när inget regn faller. När det sedan börjar regna tvättas ytor av och dagvattnet tar med sig en del av föroreningarna. Beroende på vilken dagvattenhantering som finns i avrinningsområdet hamnar substanserna i olika sänkor eller recipienter.

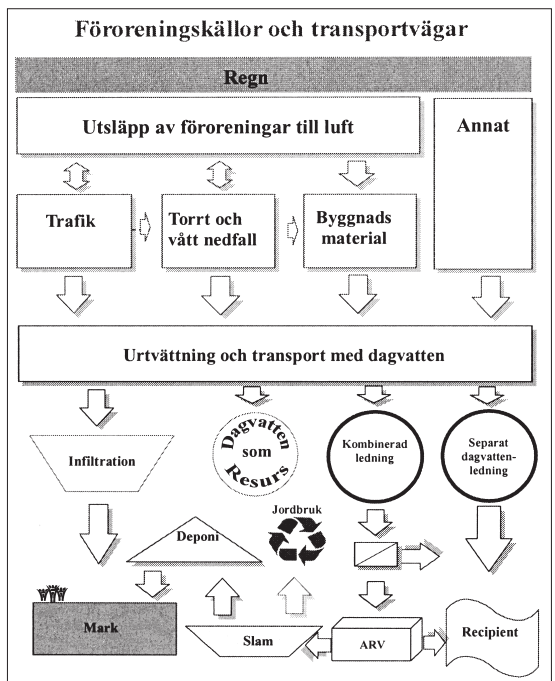
Modellstruktur

SEWSYS är en substansflödesmodell för simulering av föroreningar och dess källor i dagvattenbelastade avloppssystem. Modellen är utvecklad i det matematiska dataprogrammet MATLAB/Simulink och kräver också detta programpaket för att kunna köras. Systembeskrivningen av alternativa sätt att hantera dagvatten i Figur 2 har använts som konceptuell modell i utvecklingen av SEWSYS. Modellen är uppbyggd av källmo-



Figur 1. Systemanalysens olika delar.

duler för spill- och dagvatten, bräddavlopp och ett konventionellt reningsverk. Det finns också en modul för rening av dagvatten i en damm. Modellen kan simulera både duplikata och kombinerade avloppssystem, samt andra källseparerade system med urinsortering eller svartvattenhantering. Modellens dagvattenkomponenter beskriver hur regnet blir till avrinning (dagvatten), dagvattnets transport på ytor och ledningar samt hur dagvattnet blir förorenat. Ett antal källor som atmosfärisk deposition, trafik och byggnadsmaterial genererar föroreningarna och processerna ackumulering och avspolning beräknar hur mycket som till slut hamnar i dagvattnet.



Figur 2. Systembild av dagvattenhantering.

Tabell 1. *Substansvektorn i SEWSYS.*

Nr	Substans	Enhet	Kommentar
1	H ₂ O	m ³ /s	Vatten
2	P-tot	g/s	Fosfor total
3	N-tot	g/s	Kväve total
4	NH ₃ /NH ₄ ⁺ -N	g/s	Ammoniak och ammonium kväve
5	NO ₃ -N	g/s	Nitrat kväve
6	N ₂ O -N	g/s	Kvävgas kväve
7	SS	g/s	Total suspenderad substans
8	BOD ₇	g/s	Biokemisk syreförbrukning (7 dygn)
9	COD	g/s	Kemisk syreförbrukning
10	Tot-C	g/s	Total kol
11	Fasindex	–	Andel VS (Volatile Solids) av SS
12	Cu	g/s	Koppar
13	Zn	g/s	Zink
14	Pb	g/s	Bly
15	Cd	g/s	Kadmium
16	Hg	g/s	Kvicksilver
17	Cr	g/s	Krom
18	Pt	g/s	Platina
19	Pd	g/s	Palladium
20	Rh	g/s	Rodium
21	PAH	g/s	Polyaromatiska kolväten

I Tabell 1 redovisas de substanser eller föroreningar som ingår i SEWSYS för närvarande. Nya substanser kan läggas till men då måste det också finnas tillgängliga bakgrundsdata (t.ex. emissionsfaktorer) för ämnet i fråga.

Reningsverksmodulen, bräddavloppet och komponenten som genererar föroreningar från hushållsspillvatten motiveras av att det ska vara möjligt att göra en SFA även för kombinerade avloppssystem. Reningsverksmodulen i SEWSYS kommer ursprungligen från den svenska materialflödesmodellen ORWARE (Dalemo, 1999). Reningsverket har sedan modifierats för att passa systemstrukturen i SEWSYS. I spillvattenmodulen är de olika källorna uppdelade på fraktionerna urin, fekalier och BDT-vatten. Föroreningsinnehållet i de olika fraktionerna kommer huvudsakligen från data framtagna i svenska studier av hushållsavlopp. För ytterligare information om reningsverksmodulen och spillvattendelen i SEWSYS hänvisas till Ahlman och Svensson (2005) samt Ahlman (2000).

I SEWSYS kan användaren hålla reda på föroreningarna, deras källor och var de till slut hamnar. SEWSYS-modellen består av ett huvudfönster, indatafiler som innehåller emissionsfaktorer för olika föroreningar samt Simulink-modeller. Huvudfönstret används för att kontrollera och köra modellen samt för att ange indata specifika för det studerade avrinningsområdet (se Figur 3).

Det finns två fördefinierade Simulink-modeller, en för kombinerade och en för duplikata avloppssystem. I Figur 4 visas den övergripande nivån för det duplikata systemet med en dagvattendamm. Simulink-modellen innehåller moduler för föroreningskällor, reningssteg och olika sänkor eller recipienter. Det finns fyra recipienter som standard: vattendrag, avloppsslam, deponi och luft.

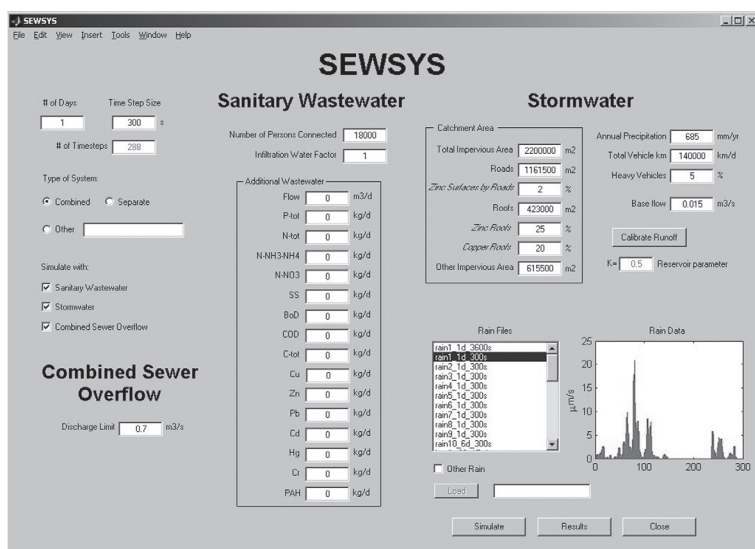
SEWSYS är en tidsdiskret datormodell, dvs. simuleringar görs med ett fixt tidssteg som väljs av användaren utifrån tidsupplösningen i aktuell regndata. Det är regndatan som driver själva simuleringen och datafilen med regnintensiteter specificeras i SEWSYS huvudfönster. För dagvattensimuleringar rekommenderas ett tidssteg i intervallet 5 till 15 minuter.

Indatabehov

Innan en simulering kan göras med SEWSYS måste användaren mata in områdesspecifika data i huvudfönstret som total hårdgjord yta, årsnederbörd, trafikarbete och andel tung trafik. Fördelning av den hårdgjorda ytan på vägar/gator, tak och övrig hårdgjord yta är också nödvändig. Andelen kopparkoppar och målade/galvaniserade plåttak i området måste också anges. Specifika data om avrinningsområdet benämns områdesattribut och finns vanligen tillgängliga hos olika kommunala förvaltningar. Om områdesdata finns i digitalt format kan attributen med fördel tas fram med hjälp av ett geografiskt informationssystem (GIS). Det finns ingen begränsning i SEWSYS vad gäller avrinningsområdets storlek utan begränsningen ligger i istället i tillgängligheten på attributdata.

Ytterligare indata till SEWSYS finns lagrade i ett antal datafiler som laddas in i Simulink inför varje simulering. Dessa indatafiler fungerar som en databas och innehåller emissionsfaktorer för spill- och dagvattenmodulerna i Simulink-modellen. För beräkning av dagvattenföroreningar innebär det till exempel korrosionshastigheter för koppar- och zinktytor, eller en emissionsfaktor för bromsslitage (gram koppar per fordon och körd kilometer). Varje emissionsfaktor är kopplad till en källa och en viss förorening enligt Tabell 1. Emissionsfaktorerna är ytterligare beskrivna i Ahlman och Svensson (2005). I EU-projektet DayWater har SEWSYS-konceptet integrerats med en hydrologisk modell som heter STORM (Ahlman *et al.*, 2005b). Den integrerade substansflödesmodellen STORM/SEWSYS innehåller en databas av emissionsfaktorer med data från fler europeiska länder, bl.a. Danmark och Tyskland.

För att kunna göra en simulering med SEWSYS måste användaren slutligen ange en regnserie. Det bör vara historiska eller syntetiska regndata som är giltiga för det aktuella avrinningsområdet. Regndata anges i SEWSYS



Figur 3. SEWSYS huvudfönster.

som intensiteter i enheten [$\mu\text{m/s}$]. Vid långtidssimuleringar då hänsyn ska tas till olika hydrologiska förhållanden bör det finnas regndata för 5–10 år. Simulerings-tiderna i modellen ligger på ca 5 minuter per år för en regnserie med tidssteg på 15 minuter då en modern PC med Pentium IV processor (2.4 GHz) används.

Utdata och resultatpresentation

Simulink-modellen lagrar utdata kontinuerligt under själva simuleringen. Dessa data kan användas för bearbetning och presentation i MATLAB alternativt exporteras till andra program som Microsoft Excel. Kontinuerlig data som till exempel volymetriskt flöde [m^3/s] kan presenteras som hydrografer. Föroreningsmängder kan redovisas som totala mängder eller uppdelade per år (vid långtidssimuleringar). SEWSYS kan också beräkna medelkoncentrationen av en förorening under ett regntillfälle, det så kallade Event Mean Concentration (EMC), och medelkoncentrationen för avrinningsområdet under hela simuleringsperioden, det så kallade Site Mean Concentration (SMC).

Eftersom modellens beräkning av föroreningsmängder bygger på ett antal olika källor för varje förorening kan fördelningen, dvs. bidraget från varje källa till den totala mängden beräknas och redovisas. För spillvatten kan bidragen från urin, fekalier och BDT-vatten urskiljas, och för dagvatten byggs föroreningsmängden upp av källorna atmosfärisk deposition, metallkorrosion, bromslitage, däckslitage samt vägslitage.

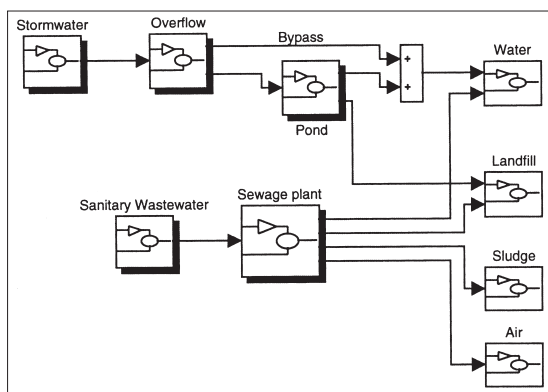
Olika exempel på bearbetning och presentation av simuleringsdata från SEWSYS finns beskrivet i tillämpningarna i nästa avsnitt.

Tillämpningar

SEWSYS kan användas för att ta fram beslutsstöd för dagvattenhantering inom områdena planering, scenariorstudier eller målstyrning. Ett annat viktigt område där modellen kan användas är för att sprida information kring dagvattenföroreningar, dess källor och hur de påverkar miljön. Under utvecklingen av SEWSYS har modellen använts i olika tillämpningar inom ramen för de systemanalyser som gjorts i Urban Water. Erfarenheter från dessa tillämpningar har sedan använts för att förbättra modellen ytterligare. I detta avsnitt kommer två av dessa tillämpningar av SEWSYS inom Urban Water att beskrivas: *Systemanalys Vasastaden* och *Dagvattenhantering i Uppsala*. För ytterligare information om respektive studie hänvisas till Urban Water rapporterna för Vasastaden (Ahlman *et al.*, 2004) och Uppsala (Ahlman *et al.*, 2005c) som kan laddas ner på www.urbanwater.org.

Systemanalys Vasastaden

Stadsdelen Vasastaden i centrum av Göteborg, uppfördes huvudsakligen i perioden mellan år 1880 till 1920 och är av typen äldre stenstad. Avloppssystemet är i huvudsak av kombinerad typ. I systemanalysstudien har det existerande avloppssystemet jämförts med andra system, bl.a. separering av dagvattnet med direktavledande till den näraliggande recipienten Vallgraven, och ett system med separering och separat behandling av svartvattnet från hushållen. Studien har utförts som ett samarbete mellan va-verket, Kretsloppskontoret och Chalmers tekniska högskola. Hela systemanalysen beskriver teknisk funktion, substansflöden, miljöeffekter, risker och eko-



Figur 4. Toppnivå för det duplikata avloppssystemet i SEWSYS.

nomi för de olika systemstrukturerna. Substansflödesmodellen SEWSYS har använts och modifierats för att ge underlag för analyserna kring föroreningsbelastning och miljöeffekter. Resultaten av substansflödesmodelleringen visar bland annat vilka tungmetallflöden som måste minska, genom åtgärder vid källan, för att de studerade alternativen skall uppfylla ställda miljökriterier.

I denna studie har GIS-verktyget MapInfo använts för att förbereda indata till SEWSYS. Olika kartsikt som bakgrundskartor, befolkningsstatistik, trafikdata och avloppssystem har tillhandahållits från Stadsbyggnadskontoret, Trafikkontoret och va-verket i Göteborg. Utifrån dessa har området definierats och indata till SEWSYS tagits fram. En fältstudie har också utförts för att kartera takmaterial på de olika fastigheterna i området. Resultatet från karteringen har sedan lagts in i ett GIS-kartsikt. Det studerade avrinningsområdets yta är totalt 75 ha varav 51 ha är hårdgjord yta.

Den valda tidsperioden för substansflödesberäkningarna är ett år. Regnserien som använts är den så kallade Lundby-serien från år 1926 som anses ge en god beskrivning av ett normalt hydrologiskt år i Göteborg. Årsnederbörden i denna serie är 685 mm. Avskiljningsgraderna i reningsverksmodulen har anpassats till driftdata för Rya-verket, reningsverket i Göteborgsregionen.

I en del av systemanalysen i Vasastaden har olika scenarier utvärderats. En bedömning har gjorts av vilka framtida scenarier som kan komma att påverka föroreningsmängderna från dagvatten och spillvatten. I denna artikel görs en kort redogörelse av scenarioanalysen för dagvatten. För ytterligare information hänvisas till Ahlman *et al.* (2004) och Ahlman *et al.* (2005a).

En bedömning har gjorts av vad som är rimligt att anta att samhället klarar att genomföra om resurser läggs på att minska dagvattnets innehåll av föroreningar. Rimliga åtgärder som kan vara fullt verksamma till år 2020 bedöms vara:

- Reducerat bidrag från koppartak med 80 % genom utbyte, skyddsmålning eller kopparfällor.
- Reducerat bidrag från målade plåttak med 20 % genom bättre färg som inte släpper ifrån sig lika mycket zink.
- Reducerat bidrag från bromsbelägg med 80 % genom förbud mot koppar och zink i nya bromsbelägg inom 8 år.
- Reducerat bidrag från däckslitage. Miljövänligare alternativ finns redan idag och en minskning bedöms rimlig för kadmiumhalten från 5 ppm till 1 ppm, dvs. en minskning med 80 %.
- Minskning av trafiken i innerstan är svårt att bedöma men i ett område som Vasastaden bedöms trafiken minska med 10 %.
- Torr- och våtdeposition bedöms minska med 1 % per år, dvs. totalt 17 %.

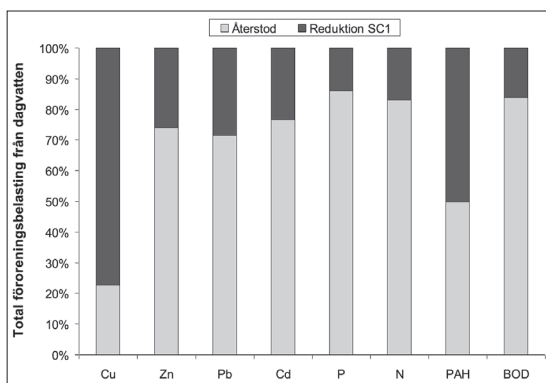
Med de bedömda rimliga förändringarna till år 2020 gjordes sedan en årssimulering med SEWSYS. Resultatet av simuleringen visas i Figur 5 som en jämförelse med dagens situation (ursprungliga 100 %). För koppar och PAH så blir reduktionen relativt hög (77 % respektive 50 %), medan för övriga substanser blir reduktionen omkring 15–30 %. Resultatet från Scenario 1 (källkontroll dagvatten) kan relateras till de bedömda miljöeffekterna för de duplikata systemalternativen. För dessa krävs en reduktion av koppar på 90 %, 55 % för zink och 50 % för bly. Med de rimliga bedömda förändringarna relaterade till källkontroll kommer inte dessa reduktioner att uppnås utan fler källkontrollsåtgärder måste införas och/eller rening av dagvattnet.

I SEWSYS är det också möjligt att noggrannare studera hur den totala reduktionen fördelar sig på olika källor till dagvattenförorening. Resultatet för koppar och kadmium visas i Figur 6. För koppar beror reduktionen till största delen på minskningen av utsläpp från koppartak och bromsbelägg. Kadmium reduceras huvudsakligen på grund av minskning av deposition men även minskat väg- och däckslitage.

Dagvatten i Uppsala

Forskningsprogrammet Urban Water avslutades under år 2004 med att ett urval av de utvecklade verktygen och metoderna användes i ett flertal projekt i modellstaden Uppsala. Tillämpningen av SEWSYS som beskrivs i detta avsnitt är en del av en större systemanalys där alternativa lösningar för dagvattenhantering studerades inom ett antal utvalda avrinningsområden i Uppsala Stad. SEWSYS användes här för att beräkna dagvattnets sammansättning av föroreningar och kvantifiering av källorna.

Dagvattensystemet i Uppsala är väl utbyggt inom hela

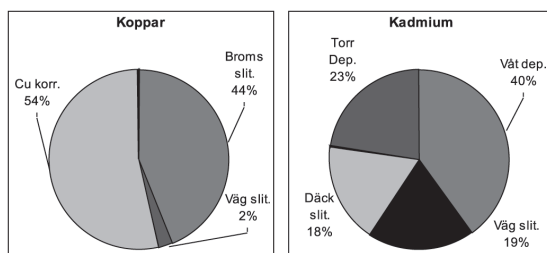


Figur 5. Reduktion för Scenario 1 av föroreningsbelastning från dagvatten.

centralorten och det finns inga kombinerade avloppsledningar. Fyrisån är den huvudsakliga recipienten för utsläpp av både dagvatten och renat avloppsvatten från Kungsängsverket, Uppsalas avloppsreningsverk. Studien som beskrivs här gäller inte hela Uppsala kommuns dagvattensystem, utan avgränsas till tre utvalda avrinningsområden som anses vara representativa för de problem och framtida utmaningar som kommunen identifierat för hantering av dagvatten. I denna artikel sammanfattas substansflödesmodelleringen för de utvalda avrinningsområdena Boländerna, Årsta/Fyrislund och Fålhagen. Boländerna kan karakteriseras som ett industriområde med hög andel hårdgjord yta medan Årsta-Fyrislund består av en blandning av bostads- och industriområden. Fålhagen rymmer till största delen bostadsområden med blandad bebyggelse, både enfamiljshus, radhus och flerbostadshus. För ytterligare beskrivning av respektive avrinningsområde hänvisas till Ahlman *et al.* (2005c).

GIS-programvaran MapInfo har använts även i denna studie för att ta fram indata till SEWSYS. Det mesta av kartmaterialet som markanvändning och trafikdata fanns tillgängligt i digitalt format från Uppsala kommun. Materialet har kompletterats med en kartering av takmaterial. Tabell 2 visar resultaten från GIS-analysen med indata till SEWSYS gråmarkerade. Figur 7 visar markanvändningen för Boländerna som har den största andelen hårdgjord yta (76 %) av avrinningsområdena. Simuleringarna med SEWSYS har gjorts med en historisk 11-års regnserie (år 1993–2003) med mätdata från Institutionen för Geovetenskaper och Meteorologi, Uppsala Universitet. Medelvärde för årsnederbörden i perioden är 579 mm, vilket kan jämföras med statistik från SMHI för år 1961–90 som visar 544 mm.

De totala föroreningsmängderna från varje avrinningsområde för ett medelår i simuleringsperioden visas i Figur 8. Mängderna i figuren har skalats för vissa sub-



Figur 6. Fördelning av den totala reduktionen i Scenario 1 (dagvatten) för koppar och kadmium.

stanter för att ge en meningsfull jämförelse mellan varje avrinningsområde och förorening. En jämförelse mellan de olika avrinningsområdena ger att generellt sett följer föroreningsbelastningen den totala hårdgjorda ytan i avrinningsområdet. För varje enskild substans är det därför Fålhagen med störst hårdgjord yta som ger störst föroreningsbelastning till Fyrisån. Med samma resonemang ger också Årsta/Fyrislund minst belastning. För vissa substanser är dock skillnaderna mellan avrinningsområdena mer påtagliga. Skillnaden mellan Fålhagen och Årsta/Fyrislund är störst för koppar och PAH vilket beror på att Fålhagen har större trafikarbete än Årsta/Fyrislund.

De totala föroreningsmängderna har räknats om till ytbelastning med hjälp av den totala hårdgjorda ytan och resultatet för varje avrinningsområde visas i Figur 9. Detta ger en slags normering som kan vara till nytta för jämförelse av föroreningstransport för andra områden än i denna studie. Skillnaderna mellan avrinningsområdena minskar nu och för zink så har Boländerna en större ytbelastning än Fålhagen. Det beror på att det finns många galvaniserade plåttak på industrifastigheterna i Boländerna.

SEWSYS är en modell främst för beräkning av föroreningsbelastning och identifiering av källor. Modellen är därför inte direkt tillämplig för att göra bedömningar av föroreningars påverkan på recipienter. Däremot kan resultaten från SEWSYS, t.ex. belastningar och medelkoncentrationer (EMC), användas som indata till andra recipientmodeller. I det följande görs en översiktlig bedömning av dagvattenutsläppen från avrinningsområdena i Uppsala utifrån simulerade medelkoncentrationer och Naturvårdsverkets klassning för bedömning av tillstånd i sjöar och vattendrag (SNV, 1999).

I Tabell 3 jämförs simuleringsresultatet av medelkoncentrationerna för de tre avrinningsområdena med Naturvårdsverkets klassning. I tabellen visas det undre värdet för varje klass. För metaller gäller att *Hög halt* klassas som gräns för ökande risker för biologiska effekter. Vid *Mycket hög halt* påverkas överlevnaden hos vattenlevande organismer redan vid kort exponering. Om-

Tabell 2. Resultat av GIS analys och SEWSYS indata för avrinningsområden i Uppsala.

	Årsta/Fyrislund	Boländerna	Fålhagen
Total area [m ²]	3143533	1952879	3739856
Grönyta [m ²]	1875534	465584	1687490
Andel hårdgjord [%]	40,3 %	76,2 %	54,9 %
Total hårdgjord area [m ²]	1267999	1487295	2052366
Gator [m ²]	189855	111151	418444
Zink ytor vid gator [%]	2 %	2 %	2 %
Tak [m ²]	438066	370209	593121
Galvaniserade tak [m ²]	34111	37109	26553
Målade tak [m ²]	174566	183803	150442
Övriga tak [m ²]	228494	149297	414616
Zink tak [%]	11,8 %	15 %	7 %
Koppar tak [m ²]	895	0	1509
Koppar tak [%]	0,2 %	0 %	0,25 %
Övrig hårdgjord area [m ²]	640078	1005935	1040801
Årsnederbörd [mm]	579	579	579
Trafikarbete [fordonskm/dag]	19940	70605	136013
Tunga fordon [%]	5,0 %	5,0 %	5,0 %

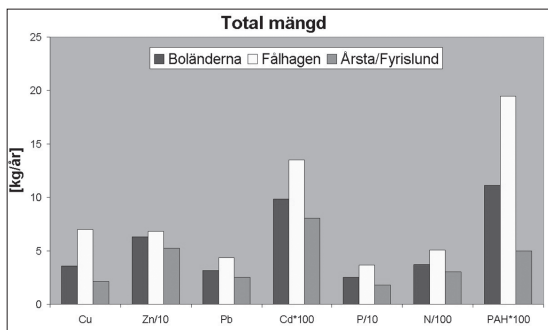
fattningen av de biologiska effekterna påverkas i hög grad av vattenkvaliteten och i vilken form metallerna uppträder. För totalfosforhalt gäller att *Hög halt* och *Mycket hög halt* motsvarar ett näringsrikt (eutroft) tillstånd. Klassning av totalkväve är inte relaterad till biologiska eller mikrobiella effekter utan ger bara nivåer som är typiska för svenska sjöar.

För metaller i dagvatten ligger simulerade medelhalter i klasserna *Hög* eller *Mycket hög halt*, vilket innebär ökad risk för biologiska effekter. Samtidigt visar mätningar i

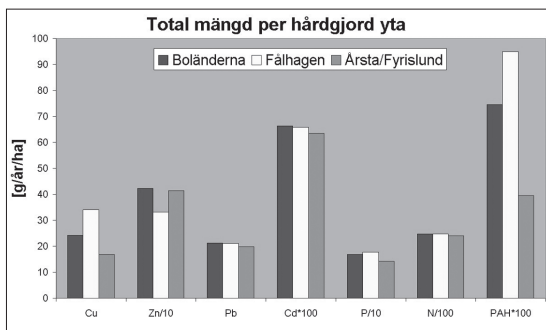
Fyrisån på låga metallhalter (Fyrisåns Vattenförbund, 2004). Fyrisån har en gynnsam vattenkvalitet med relativt stor vattenföring vilket gör att metaller i vattenfasen transporteras bort och späds ut i en större vattenvolym. En del av den totala mängden metaller hamnar i Fyrisåns sediment. Sedimenten är dock inte en stabil mottagare utan kan påverkas av vårfloder och kraftiga regn. Samtidigt kan en ändrad vattenkemi göra att metaller och även fosfor lakas ur sediment och en internbelastning uppstår.



Figur 7. Markanvändning i avrinningsområdet Boländerna.



Figur 8. Jämförelse av total substansmängd för ett medelår.



Figur 9. Total normerad föroreningsbelastning i förhållande till hårdgjord yta.

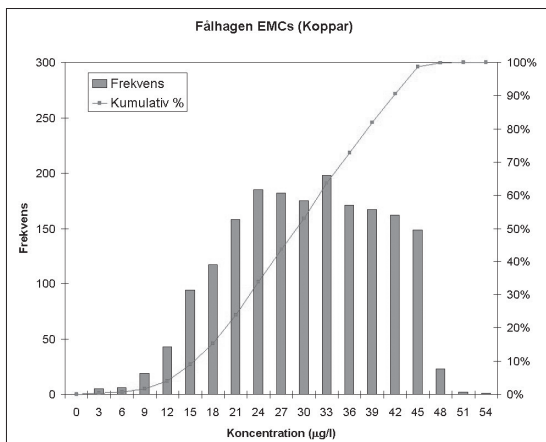
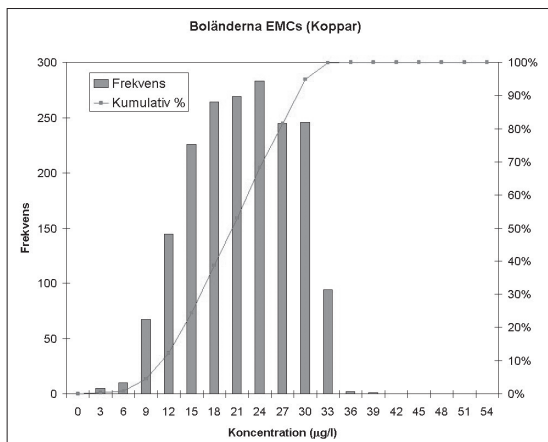
Medelkoncentrationen (EMC) för varje regntillfälle under långtidssimuleringen har legat till grund för beräkning av medianvärdet i Tabell 3. Figur 10 visar hur fördelningen av medelkoncentrationerna för koppar ser ut och jämför denna för avrinningsområdena Boländerna och Fålhagen. För båda avrinningsområdena ligger nästan alla regntillfällenas EMC över den undre gränsen för klass *Hög halt* (9 µg/l), men Fålhagen har också en liten andel (9 %) i klass *Mycket hög halt* (> 45 µg/l).

Diskussion och slutsatser

Denna artikel beskriver substansflödesmodellen SEWSYS och belyser några tänkbara användningsområden genom två olika tillämpningar i modellstäderna Vasastaden och Uppsala. SEWSYS är avsedd att användas som beslutsstöd i frågor som handlar om dagvattenhantering och där information efterfrågas kring föroreningar och dess källor samt hur olika åtgärder påverkar dagvattenkvalite-

Tabell 3. Median av simulerade EMC jämfört med gränsvärden enligt Naturvårdsverket [µg/l].

	Koppar	Zink	Bly	Kadmium	Fosfor	Kväve
Boländerna	20	369	18	0,49	143	1548
Fålhagen	29	288	18	0,48	152	1545
Årsta/Fyrislund	14	370	17	0,48	124	1548
Mycket hög halt	> 45	> 300	> 15	> 1,5	50	1250
Hög halt	9	60	3	0,3	25	625
Måttlig hög halt	3	20	1	0,1	12,5	300
Låg halt	0,5	5	0,2	0,01	≤ 12,5	≤ 300



Figur 10. Histogram över medelkoncentrationer (EMCs) för Boländerna och Fålhagen (totalt 1857 regntillfällen under perioden år 1993–2003).

ten. Källkontroll är det enda alternativet som verkligen minskar den totala föroreningsmängden – andra mer tekniska åtgärder som dammar och filter fördelar bara föroreningarna i tiden och rummet. Vid varje beslut om tekniska åtgärder måste därför frågan ställas – var gör föroreningarna minst skada? I vattnet, i sedimenten, i marken, i avloppsslammet eller i grundvattnet?

Baserat på detaljnivån i SEWSYS beträffande beräkningarna av dagvattenföroreningar och erfarenheterna från flera tillämpade studier har modellen visats sig vara ett användbart verktyg för att simulera dagvattenföroreningar och utvärdera olika åtgärder som bygger på källkontroll. Vidare användningsområden för SEWSYS kan vara planeringsstudier, scenariostudier och målstyrning. SEWSYS kan också användas i utbildningssyfte, t.ex. i undervisning eller för att sprida kunskap om dagvattenföroreningar.

Referenser

- Ahlman, S. (2000). SEWSYS – ett modelleringsverktyg för transport- och reningsprocesser i avloppssystem utvecklat i MATLAB-Simulink. Examensarbete 2000:8. Vatten Miljö Transport. Chalmers tekniska högskola. Göteborg.
- Ahlman, S., Kant, H., Karlsson, P., Malm, A. och Svensson, G. (2004). Systemanalys Vasastaden Göteborg – Avloppsvattensystemet. Rapport 2004:5. Forskningsprogrammet Urban Water. Chalmers tekniska högskola. Göteborg. Tillgänglig: www.urbanwater.org
- Ahlman, S. och Svensson, G. (2005). SEWSYS – a tool for simulation of substance flows in urban sewer systems. Rapport 2005:11. Forskningsprogrammet Urban Water. Chalmers tekniska högskola. Göteborg. Tillgänglig: www.urbanwater.org
- Ahlman, S., Malm, A., Kant, H., Svensson, G., and Karlsson, P. (2005a). Modelling non-structural Best Management Practices – focus on reductions in stormwater pollution. *Water Science and Technology*, 52(5), pp. 9–16.
- Ahlman, S., Sieker, H., and Svensson, G. (2005b). A modelling tool for simulation of sources and fluxes in wastewater systems: Focus on stormwater source control. In: *Proceedings of the 10th International Conference on Urban Drainage*, August 21–26 2005, Copenhagen, Denmark.
- Ahlman, S., Svensson, G., Cziemel Berntsson, J. och Bengtsson, L. (2005c). Alternativa lösningar för dagvattenhantering – en delrapport inom studien 'Uthålliga VA-system i Uppsala'. Rapport 2005:12. Forskningsprogrammet Urban Water. Chalmers tekniska högskola. Göteborg. Tillgänglig: www.urbanwater.org
- Dalemo, M. (1999). Environmental systems analysis of organic waste management : the ORWARE model and the sewage plant and anaerobic digestion submodels. Akademisk avhandling, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Fyrisåns Vattenförbund (2004). Fyrisån 2003 – Rapport om vattenkvalitet och närsalttransporter. Fyrisåns Vattenförbund. Uppsala.
- Förster, M., Thévenot, D., Geldof, G., Svensson, G., Mikkelsen, P. S., Revitt, M., Aftias, E., Krejčík, J., Sieker, H., Legret, M., and Viklander, M. (2004). Urban stormwater source control management in European countries: DayWater project. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management (NOVATECH'2004)*, June 6–10 2004, Lyon, France.
- Göteborgs va-verk (2001). Dagvatten inom planlagda områden. Rapport och förslag till dagvattenpolicy.
- Larm, T. (1994). Dagvattnets sammansättning, recipientpåverkan och behandling. VA-FORSK Rapport 1994-06. Stockholm.
- Malmqvist, P.-A. (1983). Urban Stormwater Pollutant Sources. Akademisk avhandling. Institutionen för VA-teknik. Chalmers tekniska högskola. Göteborg.
- Malmqvist, P.-A., Svensson, G. och Fjellström, C. (1994). Dagvattnets sammansättning. VA-FORSK Rapport 1994-11. Stockholm.
- SFS (1998). Svensk Författningssamling: Miljöbalk (1998:808). Miljödepartementet.
- Stockholm Vatten (2005). Dagvattenstrategi för Stockholms Stad. Uppdaterad april 2005.
- SNV (1999). Bedömningsgrunder för miljö kvalitet: Sjöar och vattendrag. Rapport 4913. Uppsala.
- USEPA (1983). Results of the Nationwide Urban Runoff Program (NURP). Washington D.C.. U.S. Environmental Protection Agency. USA.