

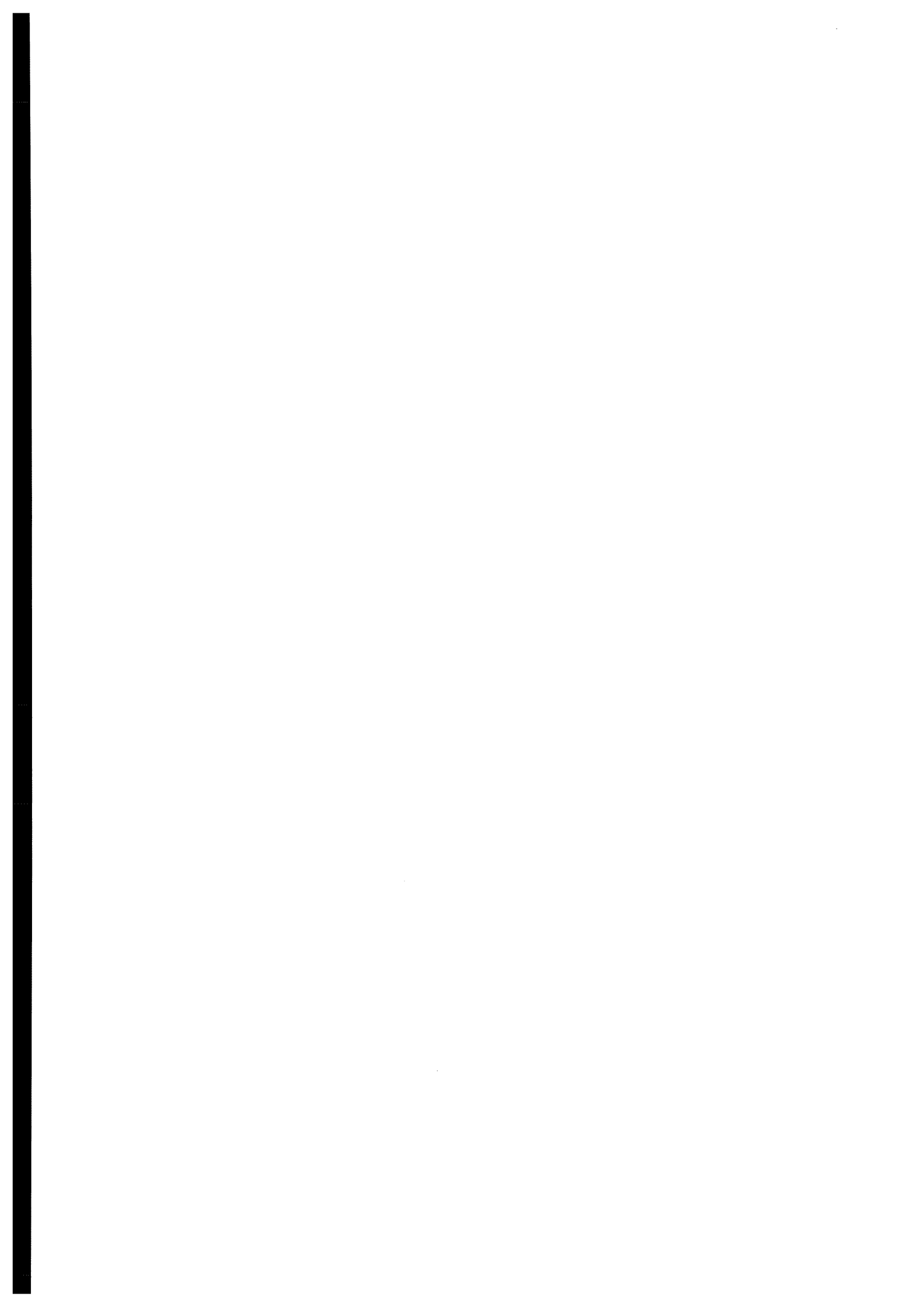
SEWSYS – ett modelleringsverktyg för transport- och reningsprocesser i avloppssystem utvecklat i MATLAB-Simulink

SEWSYS – a modelling tool for transport and treatment processes in sewer systems developed in MATLAB-Simulink

Stefan Ahlman

Nyckelord: **avloppssystem**
datormodell
MATLAB/Simulink
materialflöden
dagvatten
spillvatten

Examensarbete 2000:8



Förord

Detta examensarbete är utfört vid Institutionen för Vatten Miljö Transport, Chalmers tekniska högskola under höstterminen 1999.

Den datormodell för simulering av materialflöden i avloppssystem (SEWSYS) som har utvecklats i detta examensarbete är inte tänkt att vara en färdig produkt. Modellen kommer därför att kunna laddas ned via institutionens hemsida (www.wet.chalmers.se). Tanken bakom detta är att göra den tillgänglig för hela världen och på så sätt få den att vidareutvecklas.

SEWSYS är uppbyggd i MATLAB/Simulink, ett programpaket som används flitigt både i den akademiska och kommersiella världen. Kombinationen MATLAB och Simulink gör att koden för modellen är helt öppen och användaren kan således modifiera den helt efter behov. Den öppna koden möjliggör även för utbyte av modeller mellan olika användare. Det har utnyttjats i detta examensarbete då befintliga modeller har kombinerats ihop, anpassats och slutligen byggts ihop med ett skal. Dagvattenmodellen är hämtad från ett examensarbete utfört vid Uppsala Tekniska Högskola och modellen för avloppsreningsverket kommer från ORWARE-modellen. ORWARE är en beslutsmodell för hantering av organiskt avfall på kommunal nivå utvecklad vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU).

Jag vill avslutningsvis tacka min handledare och examinator Gilbert Svensson för all värdefull hjälp som jag har fått under arbetet med mitt examensarbete. Tillika utgår ett varmt tack till Cecilia Engvall och Erik Kärrman för tillhandahållande och instruktioner av dagvattenmodellen respektive ORWARE-modellen.

Göteborg 2000-02-17

Stefan Ahlman



Sammanfattning

En modell för att simulera renings- och transportprocesser i avloppssystem har byggts i MATLAB/Simulink. Modellen kallas SEWSYS (Sewer System) och består av dag- och spillvattenmodul, bräddavlopp och ett konventionellt trestegs reningsverk med kväverening. Modellen beskriver ett kombinerat system men det är möjligt att simulera dag- och spillvatten var för sig.

Modellen är tänkt att fungera som en introduktion i hur ett samhälles avloppssystem fungerar. Syftet har varit att sammanställa befintlig kunskap och försöka presentera den på ett begripligt sätt.

Alla flöden i SEWSYS beskrivs av en vektor som inkluderar 16 substanser, bl a totalfosfor, totalkväve, BOD₇ och tungmetaller. Utdata från modellen är emissioner till luft och recipient samt restprodukter som hamnar på tipp eller i avloppsslammet.

Modellen för avloppsreningsverket i SEWSYS är en modifierad version av den som finns i ORWARE-modellen. ORWARE är en beslutsmodell för kommunal avfallshantering och innehåller förutom ett reningsverk bl a modeller för förbränning, kompostering och deponering.

Dagvattenmodulen i SEWSYS har sitt ursprung i ett examensarbete som behandlar simulering av materialflöden i dagvatten. Till denna har sedan bifogats en avrinningsmodul som är uppbyggd enligt teorin för icke linjär magasinsmodell.

Verifiering har gjorts för hushållspillvattnet, reningsverket och dagvattenavrinningen. För reningsverket har data tagits från Skene avloppsreningsverk i Marks kommun som tar emot spillvatten från 18000 pe. Ledningsnätet är av typen duplikatsystem. Resultatet av denna verifiering visar på god överensstämmelse mellan uppmätta och modellerade värden.

Avrinningsmodulen har verifierats för två olika områden. Järnbrottsområdet i Göteborg med en hårdgjord yta på 160 ha och en parkeringsyta vid Chalmers tekniska högskola vars yta är 450 m². För dessa områden finns mätningar av nederbörd och flöden för olika regntillfällen.

För Järnbrott valdes två olika regn. Resultaten av modellkörningarna visar att SEWSYS beskriver avrinningen dåligt för ett sådant stort område. Avrinningsområdet behöver delas in i mindre delar som sedan körs efter varandra i modellen för att ge önskad dämpning. Detta är inte möjligt i nuvarande version men bör finnas med i en framtida utveckling.

För tillämpning av modellen på ett mindre område såsom parkeringsytan stämmer avrinningsmodellen bättre.

Vidare utveckling av modellen bör innefatta möjlighet att i ett fönster själv kombinera olika typer av regn. Därtill behöver avrinningsmodulen byggas om så att det blir möjligt att simulera större avrinningsområden. Modellen bör även verifieras för fler områden och typer av system.

Summary

A model for simulation of treatment and transport processes in sewer systems has been built in MATLAB/Simulink. The model is called SEWSYS (Sewer System) and consists of a storm water module, sanitary wastewater module, combined sewer overflow and a conventional three-step wastewater treatment plant (WWTP) with nitrogen reduction. The model describes a combined sewer system but it is possible to simulate storm water and sanitary wastewater separately.

The model works as an introduction in the function of a sewer system within a municipality. The purpose has been to gather existing knowledge and present that in a comprehensible way.

All flows in SEWSYS are described with a vector, which includes 16 substances, for instance total phosphorus, total nitrogen, BOD₇ and heavy metals. The outputs from the model are emissions to air, recipient and residual products that end up in a landfill or in the wastewater sludge.

The model that describes the WWTP in SEWSYS is a modified version from the ORWARE model. ORWARE is a decision model for municipal solid waste management and contains besides the WWTP other models for incineration, composting and landfill.

The storm water module in SEWSYS comes from a diploma work that deals with simulation of material flows in storm water. A runoff module, based on the theory for a non-linear reservoir, has been attached to the existing storm water model.

Verifications have been made for sanitary wastewater, the WWTP and the storm water runoff. For the treatment plant input values have been taken from Skene WWTP in the municipality of Mark, which receives sanitary wastewater from 18000 pe. The sewer network is a duplicate system. The result of the verification shows good agreement between measured and calculated values.

The runoff module has been verified for two different types of areas. First the Järnbrott area in Gothenburg with an impermeable area of 160 ha, then a small parking lot that has an impermeable area of 450 m². For these areas measurements of precipitation and discharge for different rain events are available.

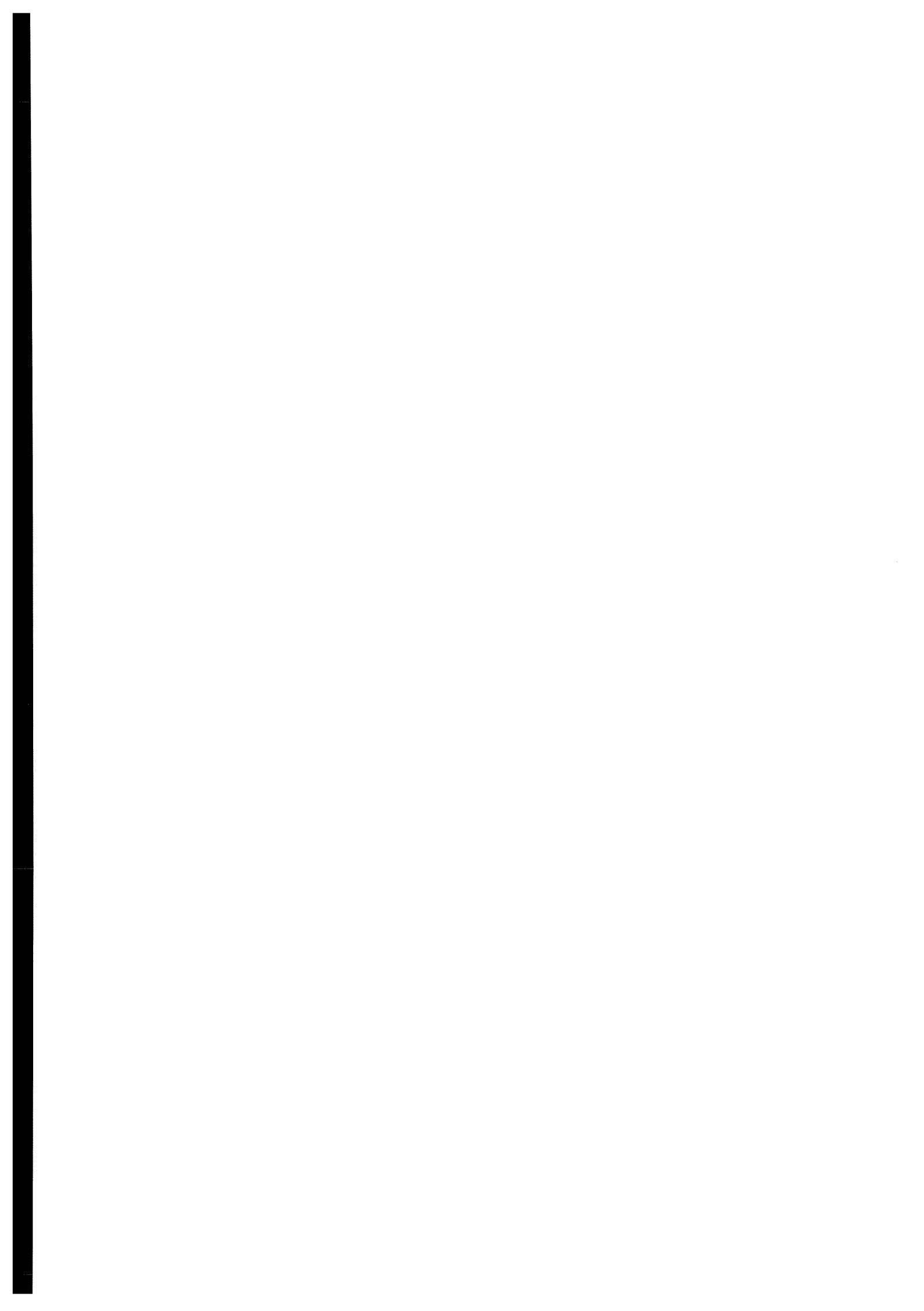
For the Järnbrott area two different rain events were chosen. The results of the simulation show that SEWSYS describes the runoff poor for such a large area. The catchment area has to be divided into smaller areas, which then are run after each other in the model to give the appropriate moderation. This is not possible in the present version of SEWSYS, but should be included in future developments.

For a smaller area as the parking lot the runoff model gives more accurate results.

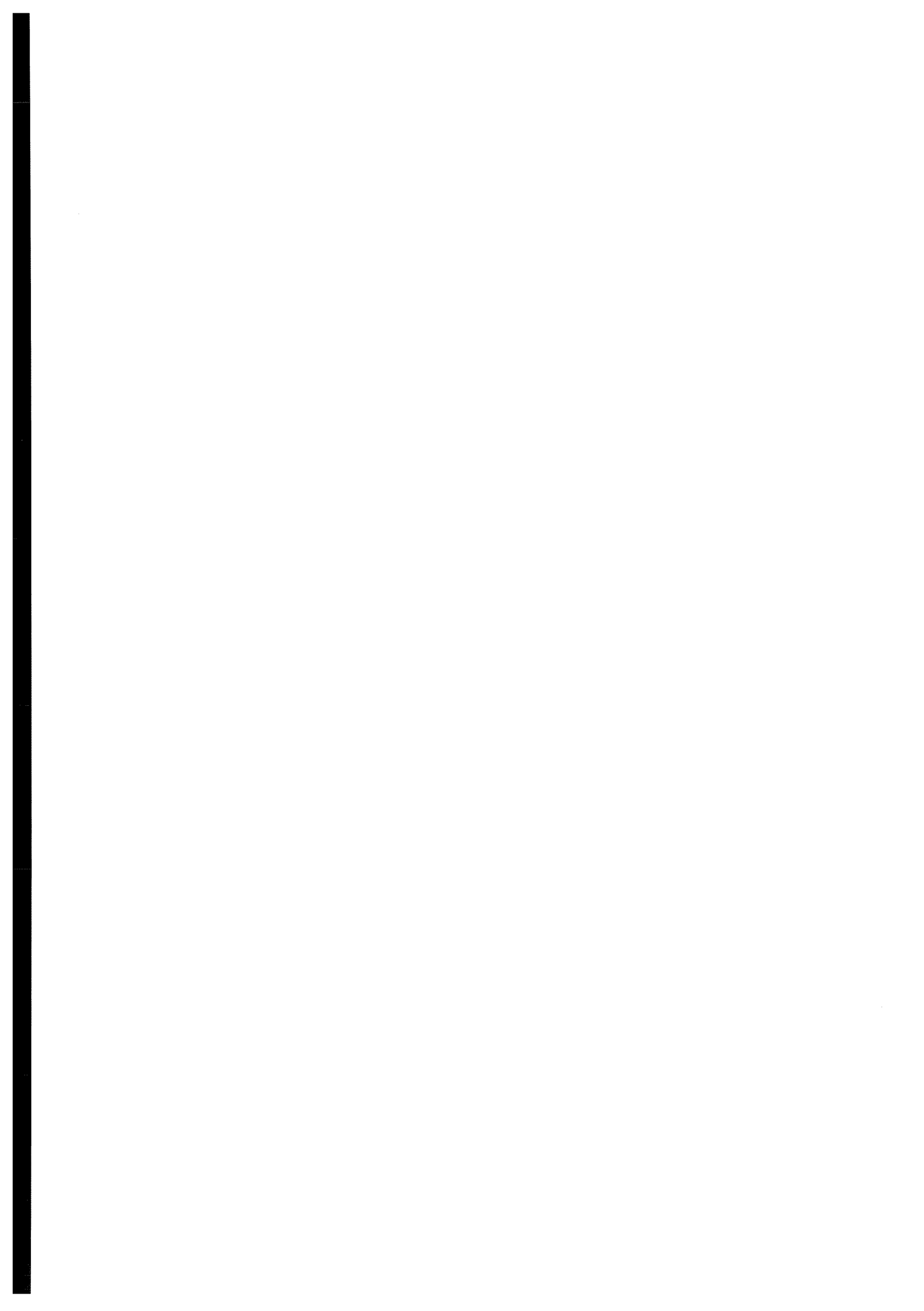
Future developments of the model should include a possibility for the user himself to combine different rain events. The runoff module also needs some development to make it possible to simulate larger catchment areas. The model should also be verified for more areas and different types of sewer systems.

Innehållsförteckning

FÖRORD.....	I
SAMMANFATTNING.....	II
SUMMARY.....	III
INNEHÅLLSFÖRTECKNING.....	IV
1 INLEDNING.....	1
1.1 BAKGRUND.....	1
1.2 SYFTE.....	4
1.3 BEGRÄNSNINGAR.....	4
2 AVLOPPSSYSTEM.....	5
2.1 KÄLLOR.....	5
2.1.1 Spillvatten.....	5
2.1.2 Dagvatten.....	6
2.1.3 Dräneringsvatten.....	6
2.2 TRANSPORT.....	7
2.2.1 Kombinerat system.....	7
2.2.2 Separerade system.....	7
2.3 RENING.....	8
2.3.1 Fysikalisk rening.....	8
2.3.2 Biologisk rening.....	8
2.3.3 Kemisk rening.....	8
3 MATLAB/SIMULINK.....	9
4 DATORMODELLER FÖR AVLOPPSSYSTEM.....	11
4.1 ALLMÄNT OM MODELLUPPBYGGNAD.....	11
4.2 UTVECKLING.....	12
4.3 TILLÄMPNINGAR.....	12
4.4 VAL AV MODELL.....	13
5 SEWSYS STRUKTUR.....	15
5.1 KONCEPTUELL MODELL.....	15
5.2 VEKTORN.....	16
5.3 SEWSYS HUVUDFÖNSTER.....	16
5.3.1 Tidsparametrar och simuleringsval.....	17
5.3.2 Parametrar för spillvatten.....	18
5.3.3 Parametrar för dagvatten.....	18
5.3.4 Parameter för bräddavlopp.....	19
5.3.5 Huvudknappar.....	19
5.4 KALIBRERING AV AVRINNINGSMODELL.....	20
5.5 SEWSYS SIMULINK-MODELL.....	22
5.5.1 Spillvatten.....	22
5.5.2 Dräneringsvatten.....	25
5.5.3 Dagvatten.....	26
5.5.4 Bräddavlopp.....	31
5.5.5 Avloppsreningsverk.....	33
5.6 MODELLENS RESULTAT.....	47
5.7 MODELLENS NOGGRANNHET.....	47
6 VERIFIERING.....	49
6.1 HUSHÅLLSSPILLVATTEN.....	49
6.2 DAGVATTENAVRINNING.....	49



6.3	AVLOPPSRENINGSVÄRK	50
7	SLUTSATSER OCH DISKUSSION	53
8	REFERENSER	55
9	BILAGEFÖRTECKNING	57



1 Inledning

I detta kapitel ges en bakgrund till problematiken i dagens VA-system och vilken forskning som bedrivs. Detta resonemang ger vidare formuleringen av examensarbetets syfte och hur arbetet kan bli till nytta både för den aktuella och framtida forskningen.

1.1 Bakgrund

Det miljöarbete som utförs i världen idag görs till mångt och mycket inom ramen för Agenda 21. Detta handlingsprogram antogs vid miljökonferensen 1992 i Rio de Janeiro. Agenda 21 ger mål och riktlinjer för att uppnå en hållbar utveckling genom att undanröja hoten mot miljön.

Agenda 21-processen innebär att bärkraft skall utvecklas i samhällets struktur, i bruket av land- och vattenområden och i omsättningen av energi och material. Alla människor har ansvar för detta. Kretsloppssamhället och resursbevarandet är nödvändigt för vårt samhälles överlevnad och vi behöver därför lära oss nya tankebanor och levnadsvanor.

Hanteringen av avlopp är bara en del i samhället men även den är viktig att förändra. Avloppsvatten innehåller ämnen som är skadliga för miljön. Näringsämnen som fosfor och kväve orsakar övergödning i våra vattendrag och sjöar. Det organiska materialet i avloppsvattnet genomgår en nedbrytningsprocess där det åtgår syre vilket kan leda till att syrebrist uppstår i recipienten. Därtill kommer alla övriga miljöfarliga substanser som tillförs avloppsvattnet som t ex tungmetaller. Detta är ett hot mot vår miljö som vi behöver göra någonting åt.

Problematiken med tungmetaller har accentuerats i och med den ökande mängd förorenat dagvatten som bildas i städerna vid nederbörd. I en stad finns det väldigt få markytor där naturlig infiltration kan ske. Nederbörden måste istället avledas från tak och asfalterade ytor vilka i sin tur har kontaminerats av nedfall och trafik. Detta medför att dagvattnet förorenas av tungmetaller och andra skadliga ämnen som sedan hamnar i reningsverket eller i en recipient.

Det näringsrika slammet som samlas i reningsverket kan i många fall inte återföras in i kretsloppet. Det innehåller alltför stora mängder giftiga ämnen som gör att bönderna inte kan använda det på sina åkrar. Röt slammet har blivit ett miljö- och lagringsproblem. Det handlar om ett rent resursslöseri där de viktiga närsaltarna inte tas till vara. Istället importeras konstgödsel till jordbruket och kretsloppstanken går förlorad.

Vi behöver minska mängden avloppsvatten, förändra de nuvarande flödena och börja behandla och ta vara på avloppet redan vid källan. Nyttiga och onyttiga flöden måste hållas isär för att mängden skadliga ämnen i avloppsvattnet ska minska. Avloppsvattnet bör betraktas som en resurs.

Ett medel för att åstadkomma detta kan vara genom lokal avloppshantering och alternativ avloppsteknik. Med detta menas metoder för att omhänderta och behandla avloppsvatten där det uppstår utan långväga transporter med kompletterande

reningsteknik. Exempel på sådana metoder är infiltrationsanläggningar, våtmarker, biodammar och urinsortering. För dagvatten finns det metoder för lokal behandling, sk LOD-teknik, där markens naturliga reningskapacitet används.

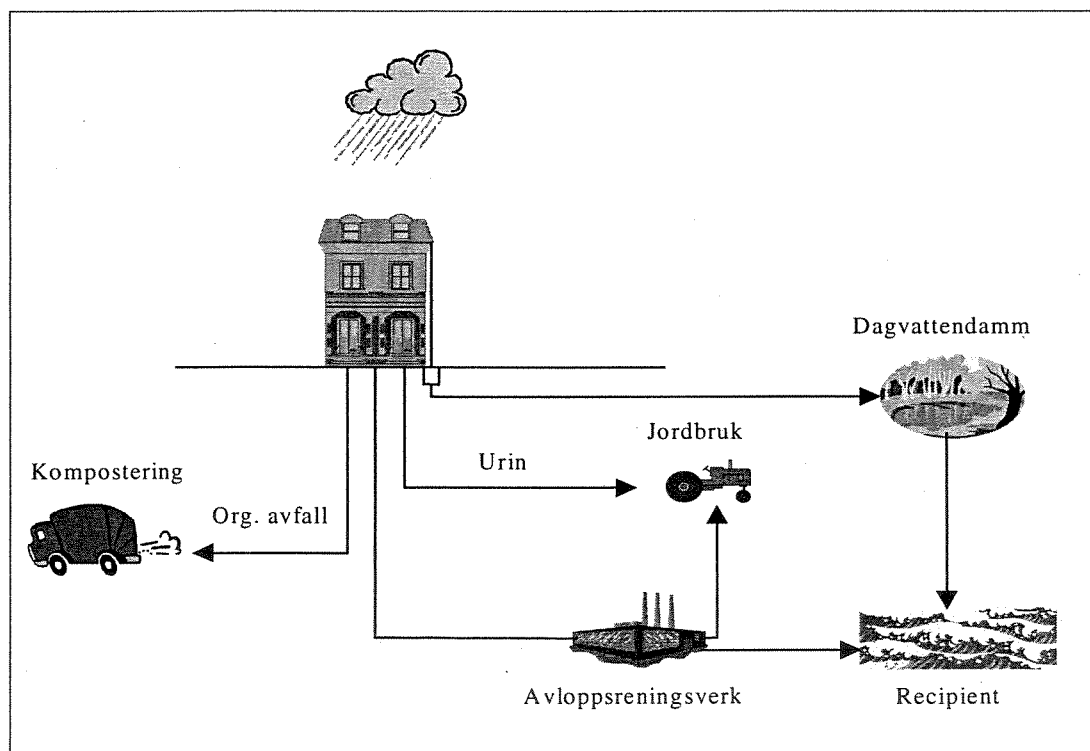
I Tabell 1.1 nedan kan man utläsa varför det är så viktigt att sortera avloppet. Viktiga näringsämnen som idag borttransporteras borde istället sorteras och återföras in i ett kretslopp. Ur tabellen framgår att urinen står för huvuddelen av näringsämnena.

Tabell 1.1 Näringsämnenas fördelning (Naturvårdsverket, 1995)

	Kväve	Fosfor	Kalium
Urin (%)	80	50	60
Fekalier (%)	10	20	25
BDT-vatten (%)	10	30	15

Sortering innebär att man delar upp avloppet i olika flöden redan vid källan medan man med separering åsyftar att flödet från ett redan blandat avlopp delas upp. Vid sortering och näringsåtervinning kan urinsorterande vattentoalett användas. På så sätt avlastas avloppsvattnet från det mesta av kvävet. Däremot finns ungefär hälften av fosfor kvar.

Ett annat sätt är att sortera ut svartvattnet genom att använda en vacuumtoalett eller annan snålspolande vattentoalett. På så sätt fås två olika avloppsvatten att ta hand om, dels ett BDT-vatten, dels ett koncentrerat toalettavlopp där urin, fekalier, toalettpapper och en viss del spolvatten ingår (svartvatten). I detta system kan även en avfallskvarn för köksavfall anslutas till svartvattnet. I Figur 1.1 visas ett avloppssystem där uppdelning har skett av nyttiga samt onyttiga flöden.



Figur 1.1 Avloppssystem med separering av materialflöden

I Sverige pågår forskning på urbana VA-system främst inom forskningsprogrammet "Sustainable Urban Water Management" som i huvudsak finansieras av MISTRA (Stiftelsen för miljöstrategisk forskning). Programmet startade under 1999 och ska löpa under sex år. Medverkande är forskningsinstitutioner från åtta svenska universitet och högskolor (URBAN Water, 1999).

Programmet innehåller olika forskningsprojekt inom områdena dricksvatten, avloppsvatten och dagvatten. Syftet är att utveckla tätorternas VA-system så att kraven på uthålligt nyttjande av naturresurser kan uppnås utan att skada hälsa och miljö. Systemanalys är kärnan i arbetet och denna kommer att utföras med människan i centrum. Detta medför att ett antal olika kriterier måste ingå i utvärderingen av systemen. Dessa hållbarhetskriterier är indelade i fem huvudområden:

- hälsa, hygien och komfort
- sociala och kulturella
- miljö
- ekonomi
- funktion och teknik

Kriterierna används sedan för jämförelse mellan olika urbana VA-system och olika tätortsstrukturer.

Ytterligare forskning inom området systemanalys bedrivs vid Chalmers tekniska högskola inom ett doktorandprojekt, "Systemanalys VA". Forskare är Erik Kärrman vid institutionen för Vatten Miljö Transport. Arbetet är inriktat på att utveckla och tillämpa metoder för analys och jämförelse av hanteringskedjor för avlopp och i viss mån källsorterat organiskt hushållsavfall (www.wet.chalmers.se).

Kärrman har tillsammans med SLU och Jordbrukstekniska institutet i Uppsala medverkat i projektet "Organiskt avfall som växtnäringresurs – systemstudie" där simuleringsmodellen ORWARE användes. En jämförande studie med avseende på miljöeffekter och resursanvändning gjordes för konventionella avloppssystem, bevattning av energiskog med behandlat avloppsvatten, våtkompostering och urinsortering (Kärrman et al, 1999).

För att kunna lösa de problem som finns i dagens urbana VA-system är forskarna i behov av verktyg och metoder. Detta för att kunna utföra den nödvändiga systemanalysen med jämförelser mellan olika utformningar av avloppssystem. De olika metoderna som finns att tillgå beskrivs i Kärrmans doktorandprojekt. Vad gäller mer konkreta verktyg finns det idag bara några få att tillgå. ORWARE är ett sådant exempel. Det är en statisk modell som jobbar med årsmedelvärden vilket medför att det inte går att studera vad som händer vid enstaka händelser såsom ett regntillfälle.

Det finns även ett behov av att sammanställa befintlig kunskap och forskning om samhällets VA-system och presentera denna på ett begripligt sätt. Mottagare för detta skulle kunna vara beslutsfattare på kommunal nivå som inte själva har en VA-teknisk bakgrund. Vidare skulle denna sammanställda kunskap också kunna användas i

utbildningen av ingenjörer som en introduktion i hur ett samhälles avloppssystem är uppbyggt och hur det fungerar.

1.2 Syfte

Med bakgrund av det behov av övergripande analysverktyg som finns inom VA-tekniken har detta examensarbete initierats. Syftet med examensarbetet är att skapa ett generellt modelleringsverktyg för att simulera transport- och reningsprocesser i ett avloppssystem. Modellen ska kunna användas som en plattform för jämförelser mellan existerande och alternativa system för avloppshantering. Det ska i modellen vara möjligt att följa materialflöden från källa till utsläpp.

Metoden att sammanställa och bygga in befintlig kunskap och forskning i en datormodell ger många fördelar. Modellen kommer t ex att kunna användas som en introduktion i hur ett samhälles avloppssystem ser ut och fungerar.

Programpaketet MATLAB®/Simulink® ska användas vid byggandet av modellen för att erhålla en stabil plattform.

MATLAB och Simulink är registrerade varumärken av The Mathworks Inc.

1.3 Begränsningar

Detta examensarbete behandlar skapandet av en modell för ett kombinerat avloppssystem med ett traditionellt trestegs reningsverk. Modellen ska dock klara av att köra dagvatten och spillvatten separat. I denna modell kommer inga alternativa reningsmetoder att beskrivas såsom t ex rotzonsanläggningar eller sedimenteringsdammar.

2 Avloppssystem

Det här kapitlet kommer översiktligt att beskriva samt ge en introduktion i ett samhälles avloppssystem. Ytterligare detaljer om systemets olika delar beskrivs utförligare i kapitel 5 som behandlar modellens uppbyggnad.

Ett avloppssystem definieras av avrinningsområdet där avloppsvattnet produceras, ytor och ledningar där transport sker och slutligen reningen i avloppsreningsverket. Utsläpp till recipienten kommer ifrån bräddavlopp och reningsverkets utsläpp.

2.1 Källor

I det avloppsvatten som skall avledas från ett samhälle ingår spillvatten, dagvatten och dräneringsvatten. I Tabell 2.1 redovisas avloppsvattnets källor.

Tabell 2.1 Olika typer av avloppsvatten enligt Forsberg et al (1994)

Kommunalt avloppsvatten		
SPILLVATTEN kommer från	DAGVATTEN kommer från	DRÄNVATTEN kommer från
Hushåll Kontor Hotell Restauranger Affärer Fabriker Industrier	vägar, gator, torg, gårdar, tak, parker, öppna platser, allmänna områden	husgrunder och större markområden
Industriellt avloppsvatten		
INDUSTRIELLT SPILLVATTEN kommer från	KYL- OCH SPOLVATTEN kommer från	
större industrier och fabriker, t ex kemisk-tekniska, eller från industriområden		

2.1.1 Spillvatten

Spillvatten är det vatten som använts i en avloppsenhet. Det kan t ex vara diskvatten, tvätt- och badvatten eller spolvatten från vattenklosetter. Undersökningar har visat att 90-95 % av en fastighets vattenförbrukning återkommer som spillvattenavrinning (Kompendie VA-ledningsteknik, 1995). Återstoden används exempelvis till bevattning.

Det industriella spillvattnets mängd och kvalitet varierar från kommun till kommun. Några säkra uppgifter om avloppsvattenmängderna för olika typer av industrier är svåra att ge. För större industrier som t ex massatillverkning görs en bedömning från fall till fall. För industriområden av normal karaktär med små och medelstora industrier utan någon dominans av någon stor vattenförbrukare är det möjligt att göra en bättre uppskattning av vattenbehov och avloppsvattenmängder.

De ämnen som spillvattnet innehåller sammanfattas som föroreningar. De kan ha sitt ursprung från bostadsbebyggelse, samhällsfunktioner, industrier och jordbruk.

Föroreningarna i spillvattnet kan indelas enligt följande (Kompendie VA-ledningsteknik, 1995):

- fasta föroreningar
- syreförbrukande ämnen
- sjukdomsalstrande ämnen
- giftiga ämnen
- växtnäringsämnen
- kemiskt aktiva ämnen
- biologiskt aktiva ämnen
- olja

2.1.2 Dagvatten

Med dagvatten menas det regn- eller smältvatten som inte har trängt ner i jorden och som avleds direkt från tak, vägar och markytor. En del av nederbörden avdunstar eller stannar kvar i håligheter. Hur mycket dagvatten som avleds är beroende av intensitet och varaktighet hos nederbörden, markytans utseende och lutning samt form och storlek på avrinningsområdet.

Hårdgörandet av stora ytor som gjorts i städerna har medfört att stora mängder dagvatten ska avledas vid regn. Eftersom dagvattnet innehåller föroreningar såsom tungmetaller, kemisk syreförbrukande ämnen (COD) och växtnäringsämnen (kväve och fosfor) innebär detta en stor belastning på recipienten.

Avledande och omhändertagande av dagvatten från enskilda fastigheter kan ske enligt olika modeller. En i dag ofta tillämpad metod är att dagvatten tas om hand lokalt genom naturlig infiltration och genom avledning till våtmarker och vattendrag, sk LOD-teknik. De äldre ledningsbundna systemen är dock fortfarande dominerande (se kapitel 2.2).

2.1.3 Dräneringsvatten

Dräneringsvatten är det grundvatten som infiltreras i avloppsledningen genom fogar, rörväggar och sprickor. Mängden dräneringsvatten är svår att beräkna eftersom den beror på avloppsrörets utformning, jordart och grundvattenytans nivå. För dimensionering brukar normalt dräneringsvattenmängden sättas till 50-100 % av medelspillvattenmängden (Kompendie VA-ledningsteknik, 1995).

I VA-tekniska sammanhang förekommer även begreppet läckagevatten. Med detta menar man det vatten som vid nederbörd läcker in i spillvattenledningen på ett separat system (se vidare kapitel 2.2). Orsaken till läckaget är i regel ett olämpligt utförande, t ex felkopplingar.

2.2 Transport

Omhändertagandet av avlopp bygger till största del på ett ledningsbundet system som har byggts upp under det förra århundradet. Under de senaste decennierna har det dock utvecklats ny teknik för omhändertagande av dagvatten som inte bygger på ledningsbundna system. Den nya tekniken som kallas LOD-teknik, (Lokalt Omhändertagande av Dagvatten), bygger i stället på att dag- och dräneringsvatten avleds och omhändertas lokalt. Det är dock svårt att lösa hela problematiken med dagvatten genom lokalt omhändertagande. Det beror på att metoden är svår att implementera i befintliga områden, både praktiskt och ekonomiskt. Vi får därför förlita oss på och försöka förbättra de befintliga ledningssystemen.

2.2.1 Kombinerat system

Uppbyggnaden av avloppssystem i svenska städer började i slutet av 1800-talet. Syftet var att transportera bort avloppsvatten från hus och gator till närmaste recipient. Rännstenar och stuprör kopplades även till systemet då det var mest ekonomiskt att bara bygga ett ledningsnät, s.k. kombinerat system. Avloppsvattnet släpptes sedan ut orenat i recipienten. På 1950-talet när uppbyggnaden av avloppsreningsverk startade i Sverige började man inse problemet med att ha spill- och dagvatten i samma ledning. Stora ojämna flöden störde processerna och ledningsnäten var inte dimensionerade för att klara dessa flöden. Systemet med att avleda spillvatten och dagvatten i en gemensam ledning var fram till 1960-talet det vanligaste i Sverige. I dag finns det främst kvar i städernas centrala delar.

De kombinerade systemen innehåller bräddavlopp som träder i funktion då ledningarna överbelastas. Bräddavloppen är dimensionerade så att bräddning ska ske då flödet är uppblandat med en viss multipel av spillvattenavrinningen. Det bräddade utspädda avloppsvattnet leds sedan till en recipient.

2.2.2 Separerade system

På 1960-talet började separerade system användas när nya områden skulle bebyggas. I detta system separeras spillvatten och dagvatten för att på så sätt avlasta reningsverket. Detta kan ske på två olika sätt:

- I *duplikatsystemet* avleds spillvatten i en ledning och dagvatten i en annan.
- I *separatsystemet*, som är äldre och billigare, sker uppsamling av dagvatten i öppna diken.

I båda fallen går spillvattnet till reningsverket och dagvattnet leds till en recipient.

På 70-talet började problematiken med dagvattnet som föroreningskälla diskuteras. Övergången från kombinerade till separerade system för avledning av avloppsvatten innebar att orenat dagvatten släpptes ut i recipienten. Metoder för att ta hand om dagvattnet lokalt började diskuteras och har använts främst i nyproducerade

områden. För befintliga områden har det på senare år byggts dagvattendammar som samlar upp dagvattnet och möjliggör sedimentering av föroreningar.

Ett system med en separat dagvattenledning är fortfarande det normala i större tätorter.

2.3 Rening

Avloppsvattnet får inte medföra störningar i miljön och måste därför behandlas innan det släpps ut i recipienten. För samlad bebyggelse sker avloppsbehandling i avloppsreningsverk. De olika reningsmetoderna kan indelas i fysikalisk, biologisk och kemisk rening. Dessa kan sedan utföras på ett antal olika sätt.

2.3.1 Fysikalisk rening

Fysikalisk eller mekanisk rening indelas i förbehandling och försedimentation. I förbehandlingen ingår gallerrens och sandfång. Det första behandlingssteget, gallerrenset, har till uppgift att fånga upp det grövsta materialet såsom trasor, pinnar och papper. I sandfånget avskiljs sand för att inte orsaka slitage på t ex pumpar. Det avskiljda materialet i gallerrenset och sandfånget skickas vanligtvis till tipp för deponering.

Försedimentationen avskiljer grova partiklar från vattnet och ger ett primärslam.

2.3.2 Biologisk rening

Biologisk rening är ett samlat begrepp för flera olika biotekniska behandlingsmetoder. Dessa har det gemensamt att de reducerar den organiska substansen i avloppsvattnet. Den vanligaste metoden i svenska avloppsreningsverk är aktivt slam. Övriga metoder för biologisk rening är biologiskt filter, biorotor samt biologiska dammar. Här beskrivs kort aktiv slamprocessen.

Små partiklar och lösta ämnen tas upp av bakterier som näring. Bakterierna oxiderar de organiska föreningarna för att få energi och för tillväxt. I aktiv slamprocessen kan även kväverening genomföras. Först omvandlas ammonium till nitrat med hjälp av bakterierna i en luftad bassäng, sk nitrifikation. Därefter leds vattnet till en bassäng där anoxiska förhållanden råder, dvs en icke luftad bassäng. Bakterierna använder då det i vattnet lösta nitraten istället för syre för sin respiration. Nitraten omvandlas härvid till kvävgas som frigörs till atmosfären. Denna process kallas denitrifikation.

Avloppsvattnet leds vidare till en sedimenteringsbassäng där slammet avskiljs. En del pumpas tillbaka till aktivslamdelen, sk returslam. Den övriga delen blir överskottsslam.

2.3.3 Kemisk rening

Kemisk fällning används för att avlägsna fosfor från avloppsvattnet. Aluminium- eller järnsalter tillsätts för att fälla ut fosfaterna i avloppsvattnet. Vattnet förs sedan till flockningsbassänger där utfällningarna flockas och sedan vidare till eftersedimenteringsbassänger.

3 MATLAB/Simulink

För byggandet av modelleringsverktyget SEWSYS har MATLAB/Simulink valts som plattform eftersom programmet är väl utbrett såväl i den akademiska som i den industriella världen. En annan orsak är att den färdiga modellen blir öppen, dvs användaren kan själv bygga om och modifiera den efter behov. Vidare kan grafiska användarmiljöer skapas vilket underlättar inmatning och därmed gör modellen mer användarvänlig.

MATLAB är ett kommandostyrt, interaktivt programpaket för numeriska beräkningar och visualiseringar av data. Resultat från beräkningar kan presenteras med avancerad grafik. För modellbyggandet i detta examensarbete används en tilläggsmodul till MATLAB som heter Simulink. Simulink är ett grafiskt, interaktivt verktyg för att modellera, simulera och analysera dynamiska system.

Modellerna kan enkelt byggas upp från början eller alternativt kan en befintlig modell modifieras och komponenter läggas till. Detta gör Simulink till ett öppet modelleringsystem med stort utrymme för förändringar. Simuleringar sker interaktivt, vilket betyder att ändringar kan göras under simuleringen och ändringarnas resultat kan direkt studeras. Genom tillgången till alla de analysverktyg som finns inbyggda i MATLAB kan simuleringens resultat analyseras och visualiseras genom exempelvis en statistisk analys.

Med Simulink kan användaren gå bortom idealiserade linjära system och utforska mer realistiska olinjära system med hänsyn tagen till t ex friktion och luftmotstånd. Tidskontinuerliga och tidsdiskreta system eller blandningar av dessa kan även modelleras. Vitt skilda modeller som en bils kopplingssystem, vibrationer i en flygplansvinge, dynamiken i en rovdjurs-bytes modell eller effekten på ekonomin av tillgången på valuta kan modelleras i Simulink.

Modellerna i Simulink byggs upp som blockscheman genom drag- och släpptechnik. Simulink innehåller ett omfattande bibliotek av enheter som källor, utdata, linjära och olinjära komponenter samt olika kopplingar. Det finns också möjlighet att skraddarsy och skapa egna block. Modellerna är hierarkiska, vilket gör det möjligt att överblicka hela modellen. Genom att dubbelklicka på ett block kan användaren se ytterligare nivåer och detaljer.

Med hjälp av displayblock kan simuleringens resultatet studeras medan simulering pågår. Resultaten kan sedan överföras till MATLAB för efterbearbetning och visualisering.

MATLAB-verktyget Guide (Graphical User Interface Development Environment) används för att bygga upp grafiska användarmiljöer (GUI). Knappar, inmatningsrutor mm, dras och släpps i ett fönster; sedan ställs objektens egenskaper in och slutligen anges vad som ska hända då användaren utför en viss aktivitet.

4 Datormodeller för avloppssystem

Detta kapitel syftar till att ge en introduktion i datormodellbyggnad samt att kort beskriva några modeller som används inom VA-tekniken idag.

4.1 Allmänt om modelluppbyggnad

En modell upprättas för att efterlikna ett system. Den typ som vanligtvis används i tekniska sammanhang är den matematiska modellen. I denna anges storheter i systemet som matematiska relationer.

Anledningarna till att skapa en modell kan vara (Ljung & Glad, 1991):

- att ett verkligt system inte finns tillgängligt för processen.
- att det skulle vara för dyrt, tidskrävande eller farligt att utföra experiment av själva systemet.
- att själva processen att bygga upp modellen ger kunskap och förståelse av systemet.
- att modellen i sig själv är ett pedagogiskt verktyg för att ge kunskap om systemet.

I enlighet med punkterna ovan kan en matematisk modell t ex användas för utbildning, processkontroll och design. Det är viktigt att tänka på att en modell alltid är en förenkling av verkligheten och en kompromiss mellan noggrannhet och användbarhet. Vidare är resultaten beroende på kvaliteten på de indata som används. Vid modellbyggande är det även viktigt att tänka på syftet med modellen.

Matematiska modeller kan delas in i olika typer beroende på systemets egenskaper och på de verktyg som används (Ljung & Glad, 1991).

- **Deterministiska eller stokastiska**
En deterministisk modell arbetar enbart med exakta samband mellan variabler och resultatet är exakt, i alla fall i teorin. En stokastisk matematisk modell innehåller variabler som ges olika sannolikhetsbegrepp.
- **Statiska eller dynamiska**
Variablerna i ett system förändras vanligtvis över tiden. I en statisk modell beror utsignalen bara på den aktuella insignalen. Det finns således ett direkt, momentant samband mellan dessa. För ett dynamiskt system är utsignalen beroende på både aktuell insignal och tidigare värden.
- **Distribuerade eller aggregerade**
Många av de ingående processerna i ett system beskrivs matematiskt av partiella differentialekvationer. Händelseförloppet är fördelat både i tiden och rummet och sådana modeller sägs vara distribuerade. Om systemet beskrivs med ett ändligt antal variabler, utan rumsberoende kallas modellen för aggregerad.

4.2 Utveckling

Datormodeller för avloppssystem har använts sedan slutet av 1970-talet. Då användes de främst som dimensioneringsverktyg för att t ex beräkna maxflöden i dagvattenledningar.

Idag används datorbaserad modellering i stor utsträckning inom VA-tekniken för avlopps- och vattenledningsnät, reningsprocesser på avloppsrenings- och vattenverk samt recipientpåverkan. Modellerna fungerar som planeringsverktyg, som beslutsmodeller för olika handlingsalternativ eller som stöd för en effektivare drift.

Det finns idag väldigt få integrerade datormodeller som beskriver hela avloppssystemet. Det beror dels på att de olika komponenterna behandlas separat i praktiken, dels på att olika matematiska modeller och numeriska lösningar används för respektive komponent. För simulering av avloppsledningsnätet är hydrauliken det viktigaste. De partiella differentialekvationerna förenklas och löses sedan genom olika differensmetoder. Simulering av avloppsreningsprocesser behandlar i huvudsak biologiska och kemiska reaktioner inom aktivslam processen. Det leder till ordinära differentialekvationer som kan lösas genom t ex Runge Kuttas metod.

Befintliga datorprogram som används för att simulera avloppssystemets olika delar är utvecklade oberoende av varandra och därför inkompatibla. Forskning pågår beträffande integrering av befintliga system. Utvecklingen av exempelvis datormodeller för avloppsvattenrening är väldigt dynamisk och nya förbättrade modeller publiceras löpande. Detsamma gäller inom förorening- och sedimenttransport. Denna snabba utveckling inom modeller för avloppssystem talar för MATLAB/Simulink som val av arbetsplattform eftersom uppdatering av modeller enkelt kan ske med nya algoritmer.

4.3 Tillämpningar

Sedan mitten av 80-talet har MOUSE varit det dominerande modellverktyget i Sverige för att analysera och utreda funktionen hos avloppssystem. MOUSE är ett programpaket utvecklat av DHI (Danish Hydraulic Institute) för simulering av avrinning, flöden, vattenkvalitet och sedimenttransport i urbana avrinningsområden och avloppssystem (www.dhi.dk).

Forskning på avloppstillämpningar med Simulink bedrivs främst i Holland och i Norge på de tekniska högskolorna i Delft och i Trondheim. Det tyska forskningsinstitutet Ifak (Institut für Automation und Kommunikation) med säte i Barleben har utvecklat ett färdigt modellpaket som heter SIMBA (www.ifak.fhg.de).

SIMBA är en serie av applikationer för att modellera, simulera och optimera avloppsvattenrening. Programmen körs på MATLAB/Simulink plattform. SIMBA+ innehåller blockbibliotek för avloppsreningsverk med aktiv slambehandling. Det finns även en tilläggsmodul för avloppsledningsnät, SIMBA Sewer, som kan kopplas ihop med reningsverksmodulen. Detta ger en integrerad simulering av ledningsnät och reningsverk.

I ett kommersiellt projekt genomfört av forskningsstiftelsen SINTEF (Stiftelsen for industriell og teknologisk forskning ved NTH) i samarbete med NTNU (Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet) har ett system med tre moduler för hydrologi, transport och rening studerats. Ifak har bidragit med SIMBA och SIMBA Sewer medan NTNU har konstruerat PLASKI, som också körs på plattformen MATLAB/Simulink (SINTEF, 1997).

PLASKI beräknar dels den hydrologiska vattenbalansen för ett urbant avrinningsområde och dels spillvatten och föroreningsproduktionen i detta område. Avrinningsområdet har delområden med olika hydrologisk karaktär såsom gator, tak och permeabla ytor. Det finns även möjlighet att simulera lokal infiltration av ytvatten och lagring av snö borttagen från gatans yta. Indata till PLASKI är nederbörd och temperatur. Datan korrigeras och överförs till en snöbalansberäkning. Vattenbalansen för ytan och för den omättade zonen ovanför grundvattnet beräknas. Temperaturen avgör om nederbörden är snö eller regn.

Med de tre modulerna fås ett komplett simuleringsverktyg för avloppssystem. Det gör det möjligt att utvärdera avrinningsområde, ledningsnät och reningsverk på ett integrerat sätt för att optimera den totala prestandan av systemet genom både statiska och dynamiska åtgärder.

ORWARE (ORganic WAsTe REsearch model) är en beslutsmodell för planering av kommunal avfallshantering. Den beskriver avfallsflöden (organiskt avfall) i termer av material- och energiflöden. I modellen beskrivs bl a förbränning, deponering, rening i avloppsreningsverk samt rötning av organiskt avfall. ORWARE är en statisk modell som jobbar med årsmedelvärden (Dalemo, 1996).

Vid Uppsala Tekniska Högskola har ett examensarbete "Simulation of Materials Flow in Stormwater" utförts av Cecilia Engvall. En modell har byggts upp i Simulink för att simulera materialflöden i dagvatten (Engvall, 1999).

4.4 Val av modell

I kapitel 4.3 framgår att de flesta modeller som används idag är av kommersiell typ och bara några få har öppen kod. De är avancerade och har höga utvecklingskostnader som företagen måste få tillbaka i form av försäljning av användarlicenser. Av ovan nämnda modeller är det bara ORWARE och examensarbetet vid Uppsala Tekniska Högskola som är helt gratis och öppna, vilket är en förutsättning för att utbyte av modeller ska kunna ske. Därför väljs dessa två att ingå i uppbyggnaden av modelleringsverktyget för simulering av materialtransport i avloppssystem som detta examensarbete syftar till.

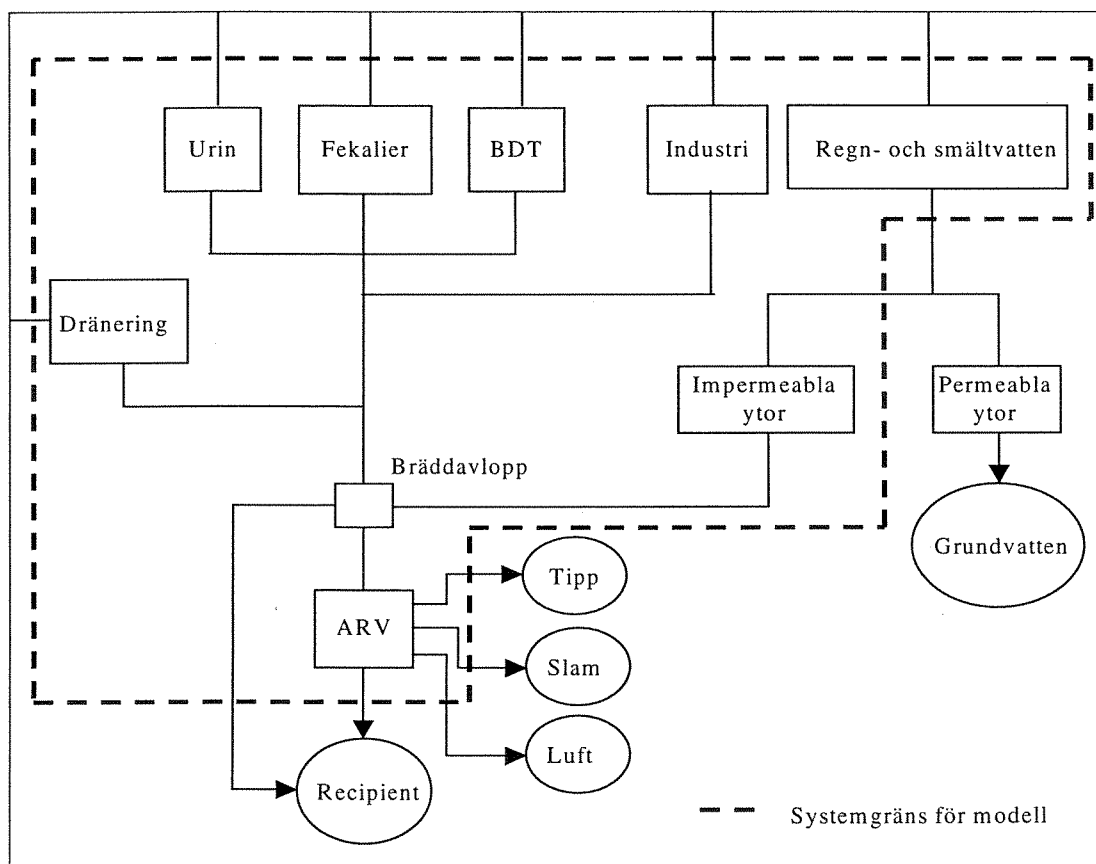
Modellen har fått namnet SEWSYS (Sewer System) och är uppbyggd på engelska för att på så sätt underlätta vidare utveckling.

5 SEWSYS struktur

I detta kapitel beskrivs modelleringsverktygets SEWSYS uppbyggnad. Kapitlen 5.3 och 5.4 fungerar både som beskrivning av uppbyggnad och manual för hur SEWSYS ska användas. Kapitel 5.5 beskriver mer i detalj hur Simulink-modellen är uppbyggd.

5.1 Konceptuell modell

SEWSYS är uppbyggt för att simulera ett kombinerat avloppssystem med bräddavlopp. Det är möjligt att köra dagvatten- och spillvattenmodulen var för sig, dock ej som ett duplikat system. Först upprättades en konceptuell modell över det kombinerade avloppssystemet (Figur 5.1). En konceptuell modell beskriver grafiskt viktiga objekt i systemet, relationer mellan objekt samt egenskaper hos objekt och relationer. Den konceptuella modellen innehåller kunskap om systemet och är således ett hjälpmedel för fortsatt modellbyggnad.



Figur 5.1 Konceptuell modell för ett kombinerat avloppssystem

I Figur 5.1 visas även den uppsatta systemgränsen som ges av definitionen för ett avloppssystem i kapitel 2. Indata till modellen är vatten- och föroreningsflöden från olika källor. Utdata är vatten- och föroreningsflöden till olika mottagare.

5.2 Vektorn

I SEWSYS har en vektor med 17 kolumner definierats (Tabell 5.1). Varje kolumn representerar en substans i avloppsvattnet. SEWSYS-vektorn har samma struktur genom hela modellen och bildar således ett interface mellan modellens processer. Detta gör att nya underliggande modeller (submodeller) enkelt kan läggas till och parametrar ändras.

Tabell 5.1 Vektorn i SEWSYS

Nr	Ämne	Kommentar
1	H ₂ O	Vatten
2	Tot-P	Total fosfor
3	Tot-N	Total kväve
4	NH ₃ /NH ₄ ⁺ -N	Kväve i ammoniak och ammonium
5	NO ₃ -N	Kväve i nitrat
6	N ₂ O -N	Kväve i dikväveoxid (lustgas)
7	SS	Suspenderade partiklar (Suspended Solids)
8	BOD ₇	Biologisk syreförbrukning under 7 dygn
9	COD	Kemisk syreförbrukning
10	Tot-C	Total kol
11	Fasindex	Andel VS (Volatile Solids, organiskt material) av SS
12	Cu	Koppar
13	Zn	Zink
14	Pb	Bly
15	Cd	Kadmium
16	Hg	Kvicksilver
17	Cr	Krom

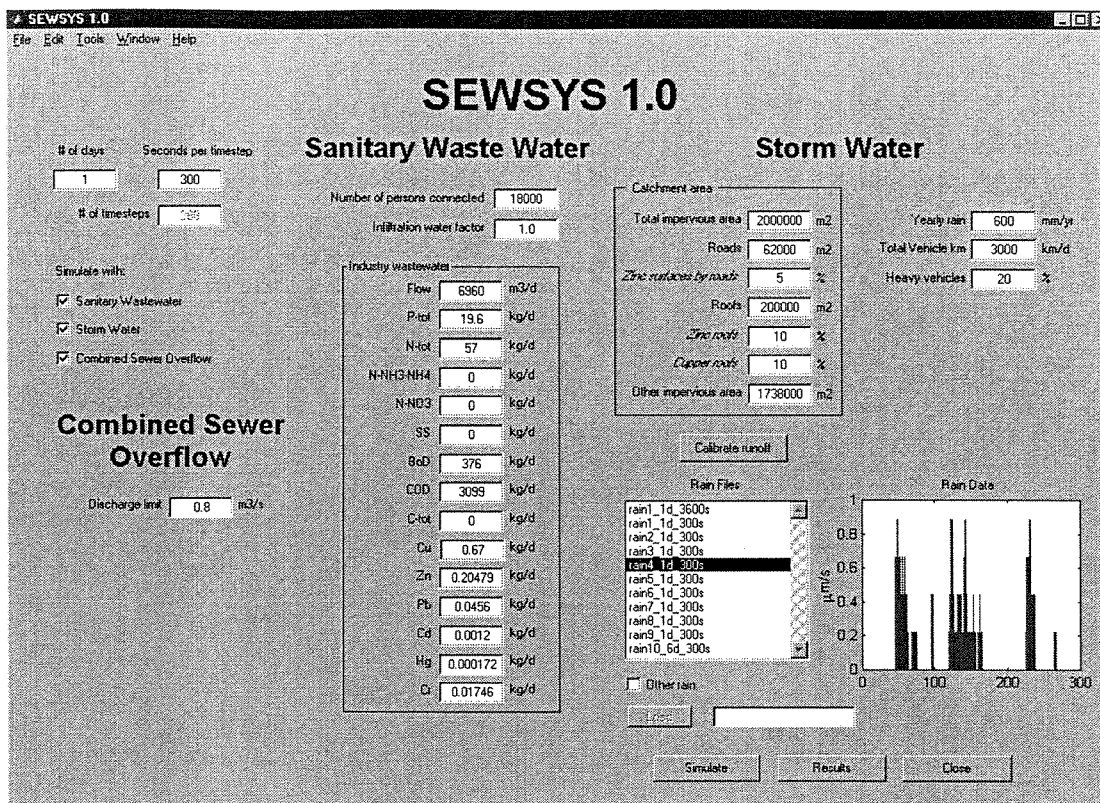
De viktigaste substanserna i vektorn utgående från miljöbelastning är totalfosfor, totalkväve, BOD₇ och tungmetaller. De övriga ämnena finns främst med pga deras betydelse för processerna i avloppsreningsverket.

Parametrarna i vektorn har följande SI-enheter: m³/s för vatten, g/s för övriga förutom Fasindex som är dimensionslös. Fasindex används i reningsverksmodellen för att beräkna hur stor del av SS som är VS (organiskt material).

5.3 SEWSYS huvudfönster

SEWSYS består av ett huvudfönster, ett fönster för kalibrering av avrinningsmodell samt en Simulink-modell. I huvudfönstret görs inställning av modellparametrar samt val av vad som ska simuleras. När alla nödvändiga parametrar är inmatade och avrinningens förlopp är kalibrerat är modellen klar för simulering. När användaren väljer att starta simuleringen öppnas Simulink-modellen och körs med valda parametrar. När simuleringen är färdig kan användaren titta på resultatet i olika plottningsfönster.

Huvudfönstret i SEWSYS är byggt med hjälp av Guide-verktyget i MATLAB (se kapitel 3). Det fungerar som ett inmatningsformulär för modellen och härifrån startas simuleringen och visningen av simuleringsresultat.



Figur 5.2 SEWSYS huvudfönster

Fönstret är uppdelat i fem områden:

- Tidsparametrar och simuleringsval
- Parametrar för spillvatten
- Parametrar för dagvatten
- Parameter för bräddavlopp
- Huvudknappar

5.3.1 Tidsparametrar och simuleringsval

Här väljs hur många dygn och sekunder per tidssteg som modellen ska köras med. I *# of timesteps* visas sedan automatiskt antal tidssteg. För simulering med spillvatten kan SEWSYS bara köras med ett jämnt antal dygn. Det beror på spillvattenavrinningens dygnsvariation som ligger i bakgrunden (se kapitel 5.5.1). Det finns emellertid möjlighet att göra simuleringar med bara dagvatten och då själv välja det antal tidssteg som modellen ska köras med. Användaren är då inte bunden till jämna antal dygn utan väljer då antal tidssteg utgående från regnets utseende. Genom att skriva en nolla i *# of days* görs rutan *# of timesteps* möjlig för editering. Samtidigt avmarkeras valet *Sanitary Wastewater*.

Då dagvatten ska simuleras måste även parametern *Seconds per timestep* anpassas till upplösningen på regnet, t ex för ett regn som har en upplösning på 5 minuter (300 sekunder) måste *antal Seconds per timestep* sättas till 300. Vidare måste *# of timesteps* och regnets utseende överensstämja. I fall användaren försöker starta en simulering och så inte är fallet visas ett varningsmeddelande.

I detta område väljs även hur SEWSYS-modellen ska köras med hjälp av checkboxar. Följande alternativ är tillgängliga:

- Spillvatten, dagvatten och bräddavlopp
- Spillvatten och dagvatten, utan bräddavlopp
- Bara spillvatten
- Bara dagvatten

5.3.2 Parametrar för spillvatten

Här matas in hur många personer som är anslutna till reningsverket. Detta värde används sedan för att beräkna total producerad hushållspillvattenmängd. Parametern *Infiltration water factor* bestämmer hur mycket dräneringsvatten som tillförs ledningsnätet. Värdet 1.0 innebär att lika mycket dräneringsvatten som spillvatten tillförs systemet.

Under *Industry wastewater* görs en karakterisering av industrispillvattnets sammansättning och mängd. Parametern N_2O finns inte med här pga att denna enbart bildas vid kvävereningsprocessen i avloppsreningsverket. Fasindex är inte med eftersom den bara är en beräkningsparameter.

5.3.3 Parametrar för dagvatten

För att kunna köra modellen med dagvatten måste först inställningar för avrinningsområdet göras. Under *Catchment area* definieras total hårdgjord yta, area för vägar, area för tak samt övrig hårdgjord yta. Här definieras även hur stor del av vägarean som är zinkytor samt hur stor del av takarean som är zink- respektive koppertak.

Nästa steg är att kalibrera avrinningsmodulen. Detta görs genom att trycka på knappen *Calibrate runoff*. Då startas ett nytt fönster för denna kalibreringsprocess (se kapitel 5.4). I fall användaren inte har kalibrerat avrinningen och försöker starta en simulering visas ett varningsmeddelande.

Därefter kan uppgifterna om årlig nederbörd, totalt antal fordonskilometer och andelen tunga fordon matas in.

Under *Rain files* väljs vilken typ av regn man vill använda i simuleringen. Valt regn plottas sedan automatiskt i *Rain data*. De regnfiler som visas i listan kommer från nederbördsräkningar gjorda i Järnbrott åren 1997-98 (se kapitel 6.2). Namnet på regnfilen talar om längden och upplösningen på regndatan. Exempelvis anger filnamnet *rain6_1d_300s* att regndatan sträcker sig över ett dygn och att det är 300 sekunder mellan varje värde.

Användaren kan även köra simuleringar med andra regn än de som finns i listan. Genom att klicka i rutan *Other rain* markeras knappen *Load* och det blir möjligt att fylla i namnet på en egen regnfil i rutan bredvid. Regnfilen måste ligga i den aktuella sökvägen eller alternativt i någon av MATLAB:s sökvägar. Filnamnet får inte börja med en siffra, inte vara längre än 31 positioner och inte innehålla mellanslag.

Regnfilen måste generera en kolumnvektor som heter *rain* med regnintensiteter i $\mu\text{m/s}$. I Bilaga 7 redovisas ett exempel på en regnfil.

I enlighet med kapitel 5.3.1 görs sedan inställningar av tidsparametrarna *# of timesteps* och *Seconds per timestep*.

5.3.4 Parameter för bräddavlopp

I *Discharge limit* ställs in vid vilket flöde bräddning ska börja. För att modellen ska kunna simuleras med bräddavlopp måste detta alternativ vara förbockat som simuleringsval (se kapitel 5.3.1).

5.3.5 Huvudknappar

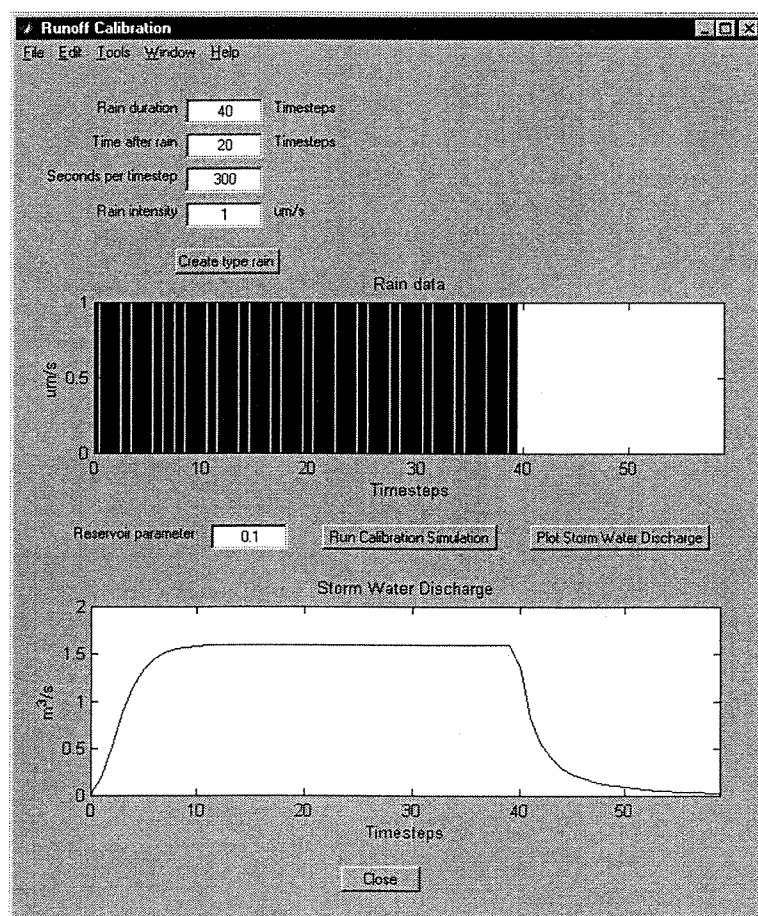
När användaren har matat in alla nödvändiga parametrar och kalibrerat avrinningens förlopp är modellen klar för simulering. Genom att trycka på knappen *Simulate* startas Simulink-modellen och körs med valda parametrar. I Bilaga 2-11 redovisas ett urval av de MATLAB-filer som då körs. När körningen är klar kan användaren titta på resultatet genom att trycka på knappen *Results*. Då plottas vattenflöden och substansmängder i ett antal fönster (se vidare kapitel 5.6).

Knappen *Close* stänger SEWSYS huvudfönster, alla plottningsfigurer och Simulink-modellen. Därtill rensas modellens ingångsvärden ur MATLAB:s arbetsminne.

5.4 Kalibrering av avrinningsmodell

Då SEWSYS ska köras med dagvatten måste avrinningsmodulen först kalibreras. Med den kalibrering som åsyftas här menas att en parameter ska ställas in för att avrinningen ska få en rimlig koncentrationstid, dvs den tid det tar för hela avrinningsområdet att bidra till flödet.

Kalibreringen kan inte utföras förrän indata för avrinningsområdet under *Catchment area* är inmatade. Genom att trycka på knappen *Calibrate runoff* i huvudfönstret öppnas ett fönster som heter *Runoff Calibration* (se Figur 5.3). Genom att välja utseende på ett typregn och ställa in en magasinskonstant (Reservoir parameter) kan sedan en kalibreringssimulering köras. Därefter plottas och studeras avrinningshydrografen. Varje steg i kalibreringsprocessen beskrivs noggrant i det följande.



Figur 5.3 Kalibrering av avrinningsmodul

I rutan för *Rain duration* matas typregnets varaktighet i antal tidssteg in. I *Time after rain* ställs in hur många tidssteg modellen ska räkna efter regnets upphörande. Denna tid ska vara så pass lång så att avklingningstiden, dvs tiden från regnets slut till dess att flödet blir 0 kan utläsas i plotten. Parametern *Seconds per timestep* ska ställas in med samma värde som modellen är tänkt att köras med. I rutan *Rain intensity* inmatas regnets intensitet i $\mu\text{m/s}$. När dessa parametrar är inställda kan typregnet skapas och plottas genom att trycka på knappen *Create type rain*.

Nästa steg i kalibreringsprocessen är att ställa in magasinskonstanten (*Reservoir parameter*). Magasinskonstanten används sedan i ytavrinningsmodellen icke-linjär reservoarmetod och är beroende på Mannings tal, lutning och avrinningslängd (se vidare Gustafsson, 1995).

$$K = \frac{M \cdot \sqrt{S}}{L} \quad (5.1)$$

där

M = Mannings tal

S = lutning

L = avrinningslängd

Mannings tal beskriver flödesmotståndet i ledningen. För slät betong är Mannings tal 80-90 och för slät jord 35-50 (Hägström, 1992).

Då alla parametrar är definierade kan en kalibreringssimulering köras genom att trycka på knappen *Run Calibration Simulation*. Då startas Simulink-modellen och en simulering körs med valda parametrar. När detta är klart kan avrinningshydrografen plottas och utseendet studeras. Hydrografen ska då ha ett korrekt utseende med en uppbyggnad- och avklingningsfas av flödet. Tiden från när det börjar regna tills dess att maxflöde är uppnått bör överensstämma med avrinningsområdets koncentrationstid. Lämpliga koncentrationstider kan beräknas med följande empiriska samband (Kompendium VA-ledningsteknik, 1995).

$$t_c = 0.043 \cdot \frac{L^{0.71}}{i^{0.32} \cdot S_h^{0.35} \cdot A_{del}^{0.05}} \quad (5.2)$$

där

t_c = koncentrationstiden

L = huvudledningens längd fram till längst uppströms liggande rännstensbrunn

S_h = medellutning

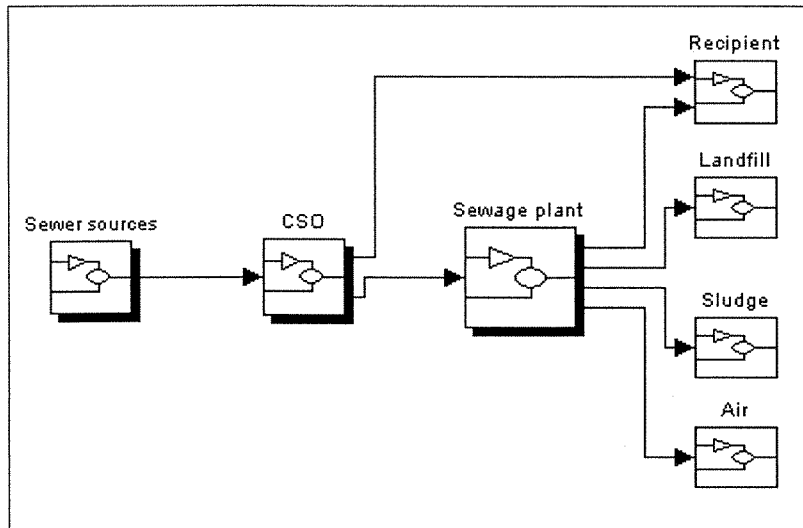
A_{del} = deltagande avrinningsyta

I fall hydrografen ett korrekt utseende utgående från kriterierna ovan är kalibreringen klar och fönstret kan stängas. Om så inte är fallet måste kalibreringen köras om med en annan magasinskonstant.

Det går även att ställa in magasinskonstanten direkt genom att mata in ett värde för *Reservoir parameter* och sedan stänga kalibreringsfönstret, utan att först skapa ett typregn och köra en kalibreringssimulering.

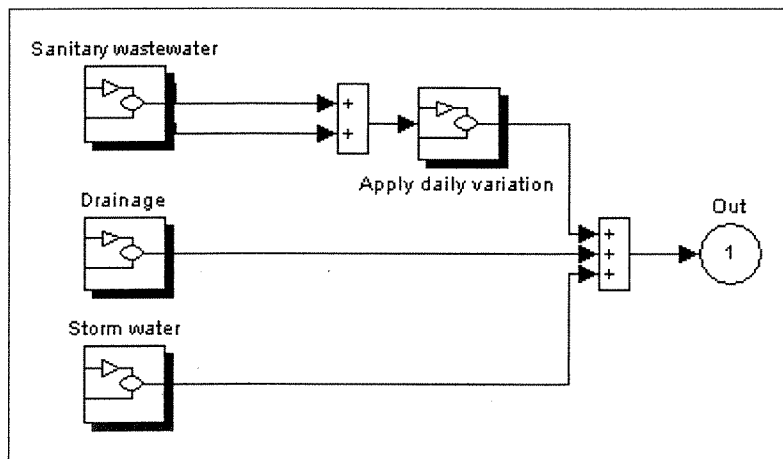
5.5 SEWSYS Simulink-modell

Modellen i Simulink har en toppnivå som är uppdelad i avloppsvattnets källor, bräddavlopp (Combined Sewer Overflow) och avloppsreningsverk (se Figur 5.4). Utsläppen från avloppssystemet hamnar i en recipient, på tipp, i avloppsslam, respektive i luften. Utsläpp i recipienten består av två delar, utsläpp från avloppsreningsverk samt utsläpp från bräddavlopp.



Figur 5.4 Toppnivån i SEWSYS Simulink-modell

Källorna till avloppsvattnet består av spillvatten, dräneringsvatten och dagvatten. I Figur 5.5 visas subsystemet *Sewer sources*. I det följande kommer varje källa att beskrivas mer utförligt.

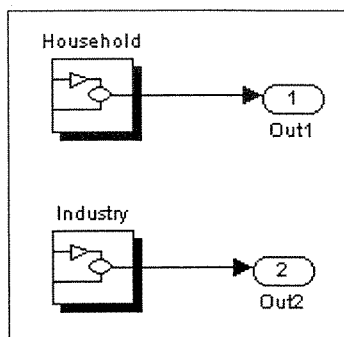


Figur 5.5 Subsystem Sewer sources

5.5.1 Spillvatten

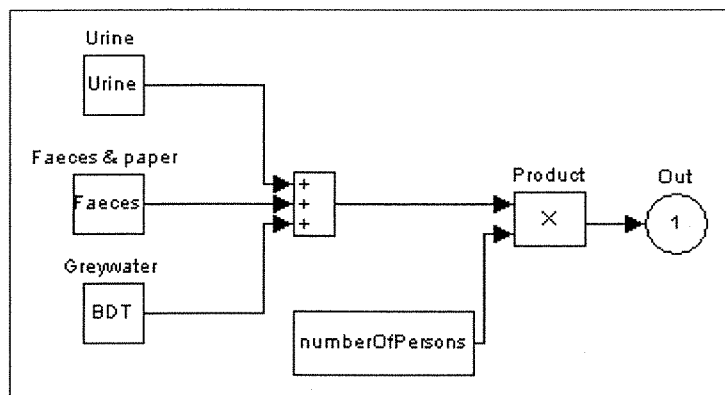
Spillvattnet är uppdelat på industri och hushåll. Industrispillvattnets sammansättning och flöde matas in i SEWSYS huvudfönster. Det är gjort så för att industrispillvattnets sammansättning inte är så statisk som hushållsspillvattnets, utan

beror på hur många industrier som är anslutna och vilken verksamhet som bedrivs där.



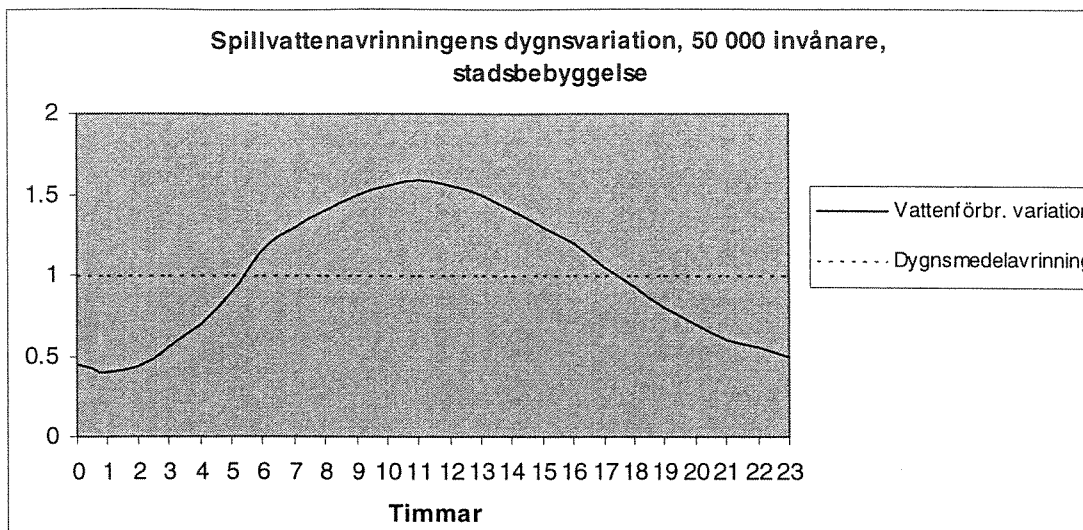
Figur 5.6 Subsystem Sanitary wastewater

För hushållsspillvattnet görs en uppdelning i BDT-vatten, urin och fekalier. Vattenförbrukningen per capita har satts till 150 l/d för BDT-vatten och 50 l/d för spolvatten till toalett. Övriga nyckeltal som har använts för karakterisering av hushållsspillvattnet redovisas i Bilaga 1. Nyckeltalen per capita multipliceras sedan med antal anslutna personer vars värde hämtas från SEWSYS huvudfönster.

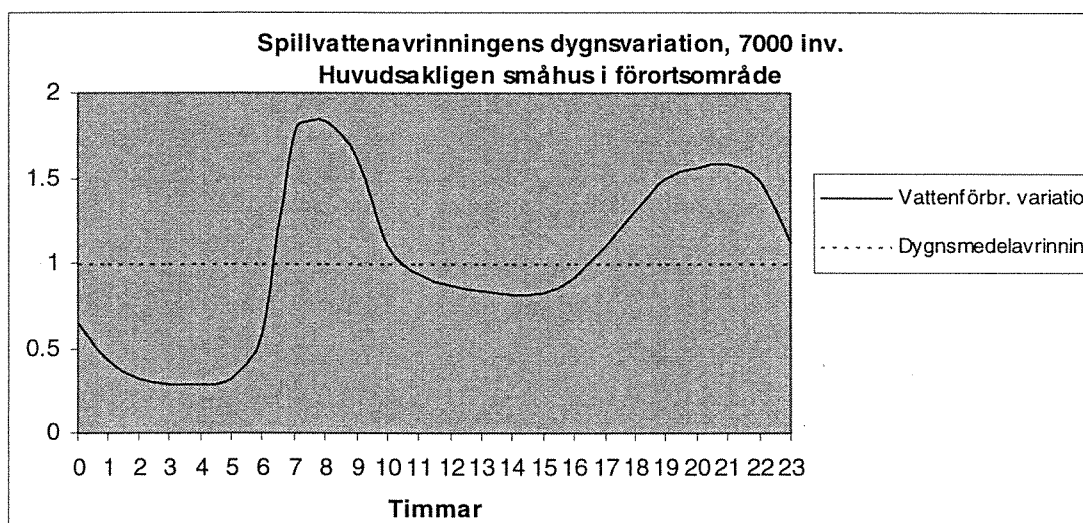


Figur 5.7 Subsystem Household

Spillvattenavrinningens dygnsvariation läggs till i modulen *Apply daily variation* (se Figur 5.5 och 5.10). Dygnsvariationen ser olika ut beroende på antal anslutna och typ av bebyggelse. I Figur 5.8 och 5.9 visas hur avrinningen kan variera för två olika fall. Indata till respektive kurva är en vektor som består av 24 faktorer, ett värde för varje timme på dygnet. Faktorernas medelvärde är 1.



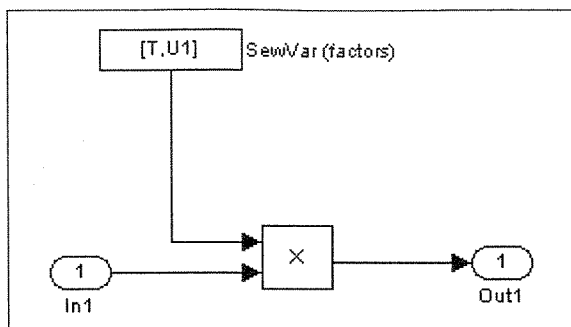
Figur 5.8 Dygnsvariation område 1 (Kompendium i VA-ledningsteknik, 1995)



Figur 5.9 Dygnsvariation (VAV P38, 1999)

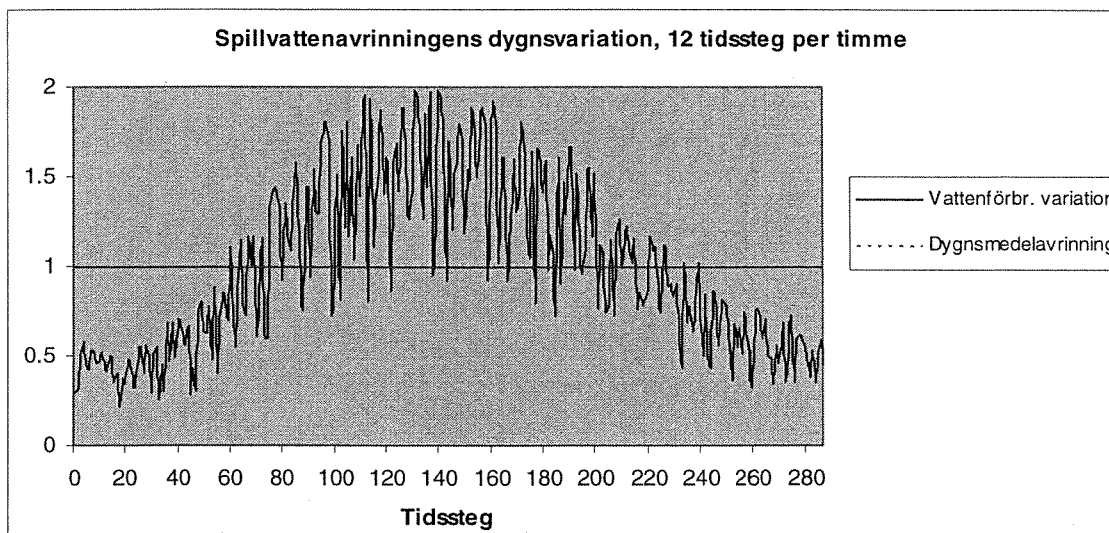
I SEWSYS har en dygnsvariation enligt Figur 5.8 valts eftersom denna ger en mer generell beskrivning.

I modulen *Apply daily variation* multipliceras dygnsmedelvärdet för substanserna i spillvattnet (insignal 1) med dygnsvariationsvektorn (U1) för ett tidssteg i taget (se Figur 5.10). Detta ger varje substans samma dygnsfördelning som i Figur 5.8. Dygnsfördelningskurvan gäller för vatten men i SEWSYS används den för alla substanser, vilket är en förenkling. I verkligheten skiljer sig dygnsvariationen för vattnet och vissa av de andra substanserna.



Figur 5.10 Apply daily variation

För simuleringar med fler än ett tidssteg per timme, dvs när antal sekunder per tidssteg understiger 3600, multipliceras varje timvärde med en vektor som består av slumpantal med värden mellan 1.3 och 0.5. Slumptalens medelvärde är 1. Antal slumpantal i varje vektor är lika med antal tidssteg per timme. Ett exempel på denna procedur visas i Figur 5.11. Varje timme har 12 tidssteg vilket ger totalt 288 tidssteg på ett dygn.



Figur 5.11 Spillvattenavrinningens dygnsvariation med 12 tidssteg per timme

Eftersom varje timvärde multipliceras med slumpantal med värden mellan 1.3 och 0.5 leder det till större variationer på mitten av dygnet då timvärdena är större. Detta bör åtgärdas i en framtida version av SEWSYS.

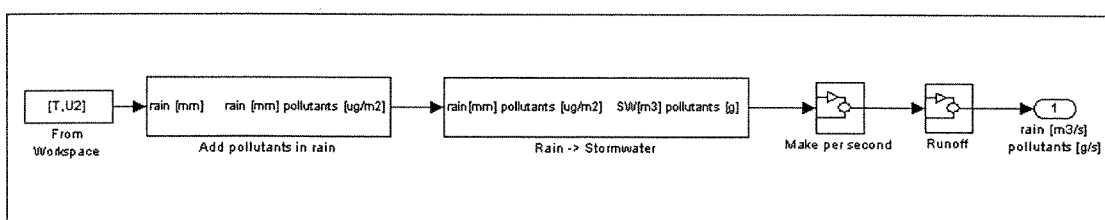
5.5.2 Dräneringsvatten

Mängden dräneringsvatten bestäms av parametern *Drainage water factor* som matas in i SEWSYS huvudfönster. En inmatning av värdet 1.0 innebär att lika mycket dräneringsvatten som spillvatten tillförs systemet. Dräneringsvattnet innehåller bara vatten, alla övriga substanser har antagits försumbara eller svåra att karaktärisera. Dräneringsvattnet har ingen dygnsvariation utan tillförseln är lika stor för varje tidssteg.

5.5.3 Dagvatten

Dagvattenmodellen i SEWSYS är en något modifierad version från det examensarbete som Cecilia Engvall utfört (se kapitel 4.3). Den ursprungliga modellen har omarbetats för att passa vektorn i SEWSYS och därtill har en avrinningsmodul lagts till. Beskrivningen av dagvattenmodellen i detta kapitel görs i vissa delar bara översiktligt. I övrigt hänvisas till Engvall (1999).

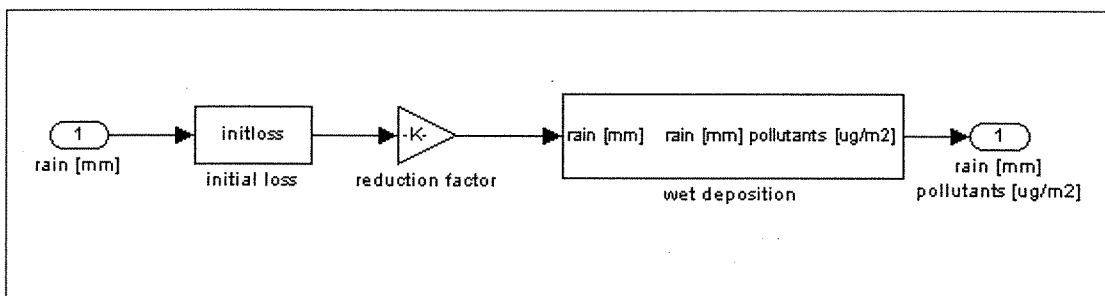
I Figur 5.12 visas toppnivån för dagvattenmodellen. För varje tidssteg hämtas motsvarande värde ur vektorn U2. Denna vektor beskriver det regn som användaren valt i SEWSYS huvudfönster. Detta regns intensitet i $\mu\text{m/s}$ har i vektorn U2 räknats om till mm/tidssteg.



Figur 5.12 Subsystem Storm water

5.5.3.1 Subsystem Add pollutants in rain

I modulen *Add pollutants in rain* reduceras regnintensiteten för intitiell förlust och avdunstning. Därtill karakteriseras regnets kemiska sammansättning.



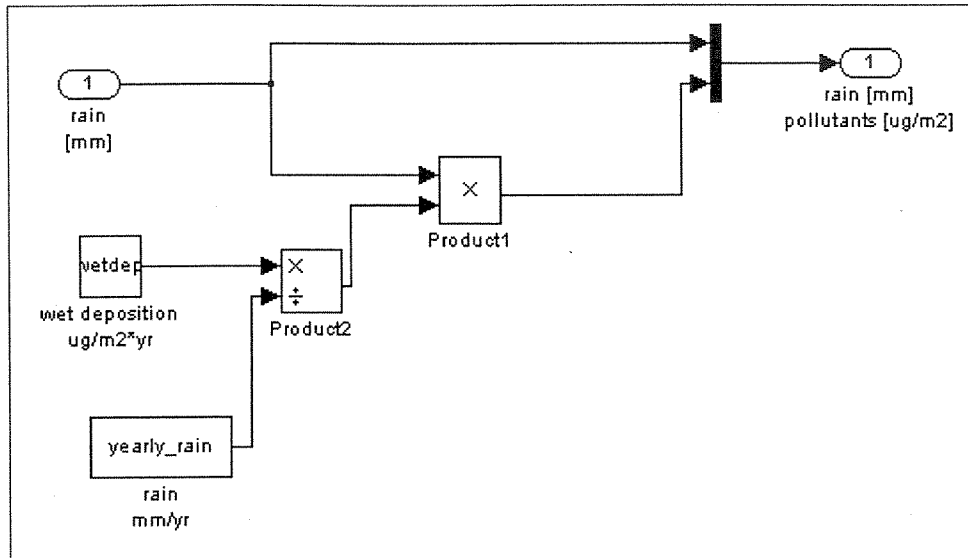
Figur 5.13 Subsystem Add pollutants in rain

Initial loss beräknar och tar bort den mängd vatten som efter en torrperiod åtgår till utfyllnad av håligheter samt fuktning av ytan innan avrinning kan ske. Beräkningar sker i en funktion med ingångsvärde 0.6 mm.

Reduction factor räknar bort den del av regnet som avdunstar samt den del som på grund av felaktigt kopplade stuprör inte leds till dagvattenssystemet. Värdet på *Reduction factor* har satts till 0.8.

I *wet deposition* läggs föroreningarna i nederbörden till (se Figur 5.14). De värden på den årliga våtdepositionen som använts i modellen redovisas i Tabell 5.2. Dessa värden divideras sedan med årsnederbörden i mm/år. Värdet på årsnederbörden hämtas från SEWSYS huvudfönster. Detta ger en våtdeposition i $\mu\text{g}/\text{m}^2$ per mm.

Slutligen multipliceras våtdepositionen med regnet vilket ger en specifik föroreningsmängd per area.



Figur 5.14 Subsystem Wet deposition

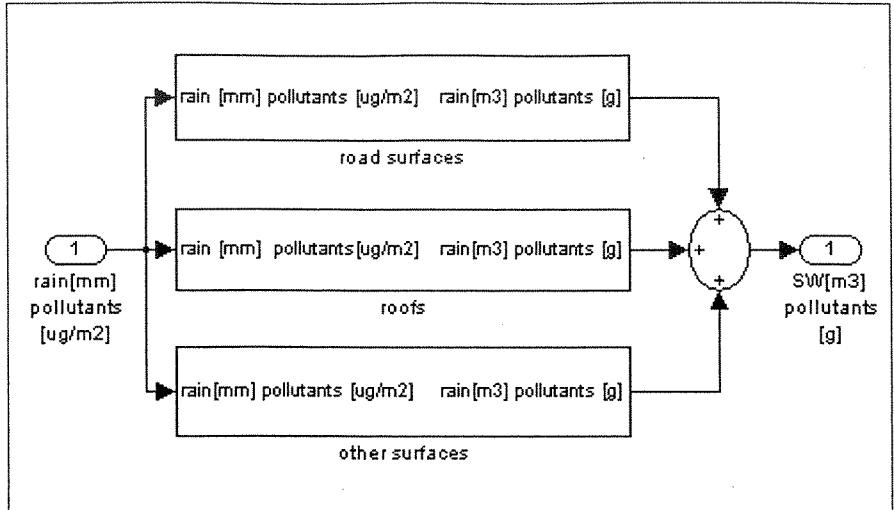
Tabell 5.2 Årlig våtdeposition (Engvall, 1999)

Ämne	Årlig våtdeposition [$\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{år}$]
Fosfor	7500
Kväve	1000000
Koppar	1500
Zink	8000
Bly	1500
Kadmium	50

5.5.3.2 Subsystem Rain -> Stormwater

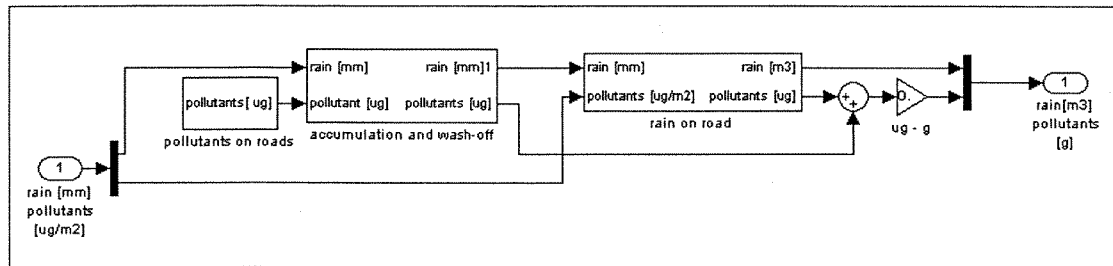
I modulen *Rain -> Stormwater* görs regnet om till dagvatten, dvs låter det falla till marken och ta upp föroreningar. Regnet delas här upp på tre olika föroreningsytor:

- Vägar och gator
- Takytor
- Övriga impermeabla ytor



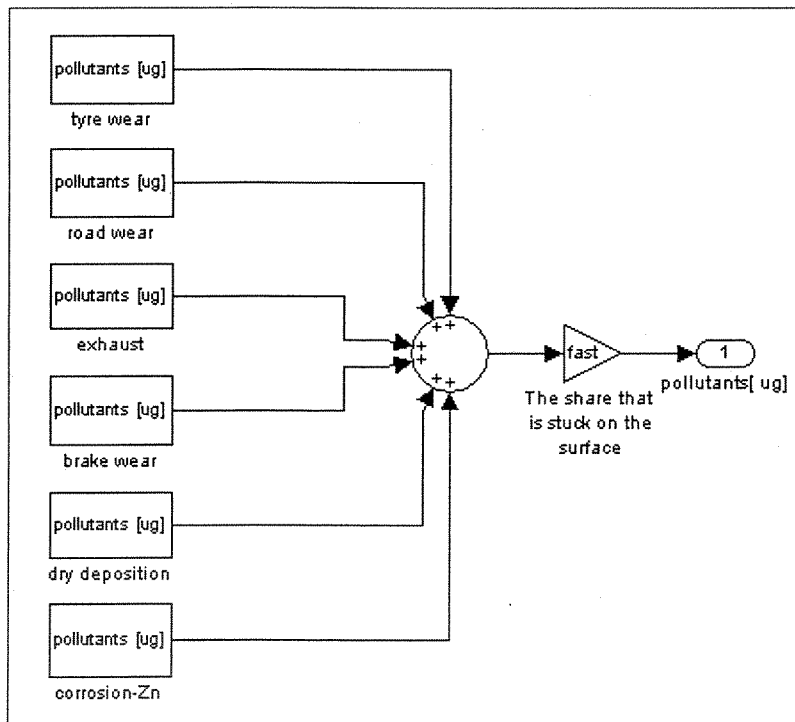
Figur 5.15 Subsystem Rain -> Stormwater

I *road surfaces* tillförs dagvattnet de föroreningar som finns på vägar och gator.



Figur 5.16 Subsystem Road surfaces

Källorna för föroreningarna i *pollutants on roads* delas upp enligt Figur 5.17.



Figur 5.17 Subsystem Pollutants on roads

Däckslitaget, vägslitaget, avgaserna samt bromsslitaget beräknas på antal fordonskilometer (tungt fordon och personbilar) och respektive föroreningshalt. För torrdepositionen, dvs hur mycket föroreningar som direktavsätts på marken från luften, görs beräkningar utgående från vägarean och värdena enligt Tabell 5.3.

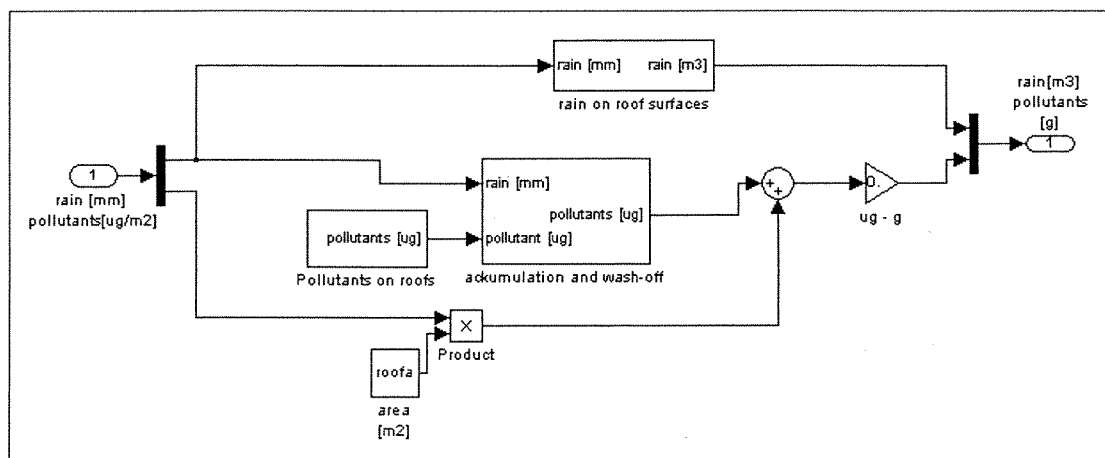
Tabell 5.3 Årlig torrdeposition (Engvall, 1999)

Ämne	Årlig torrdeposition [$\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{år}$]
Fosfor	8000
Kväve	66667
Koppar	2500
Zink	7000
Bly	8500
Kadmium	100

Zinkkorrosionen kommer från räcken och lyktstolpar utmed vägen och beräknas med hjälp av andelen zinkyta av totala vägarean.

Föroreningarna ovan ackumuleras under torrperioder och spolas av vid ett regntillfälle i modulen *accumulation and wash-off*. I *rain on road* multipliceras både den specifika föroreningsmängden och regnet med ytan av vägar och gator. Detta ger en total volym och föroreningsmängd.

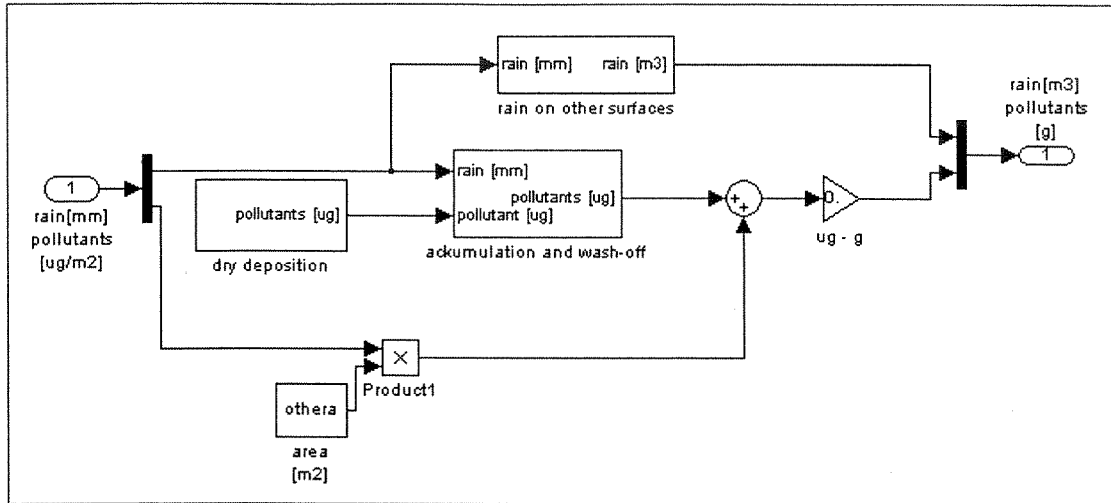
I nästa föroreningsmodul, *roof surfaces* (Figur 5.18), tillförs dagvattnet de föroreningar som finns på takytor.



Figur 5.18 Subsystem Roof surfaces

För takytorna består källorna för föroreningarna av torrdeposition, kopparkorrosion och zinkkorrosion. Föroreningarna ackumuleras och spolas av i modulen *accumulation and wash-off*.

I *other surfaces* kommer föroeningarna enbart från torrdepositionen (se Figur 5.19). I övrigt sker samma beräkningar som för *roof surfaces*.



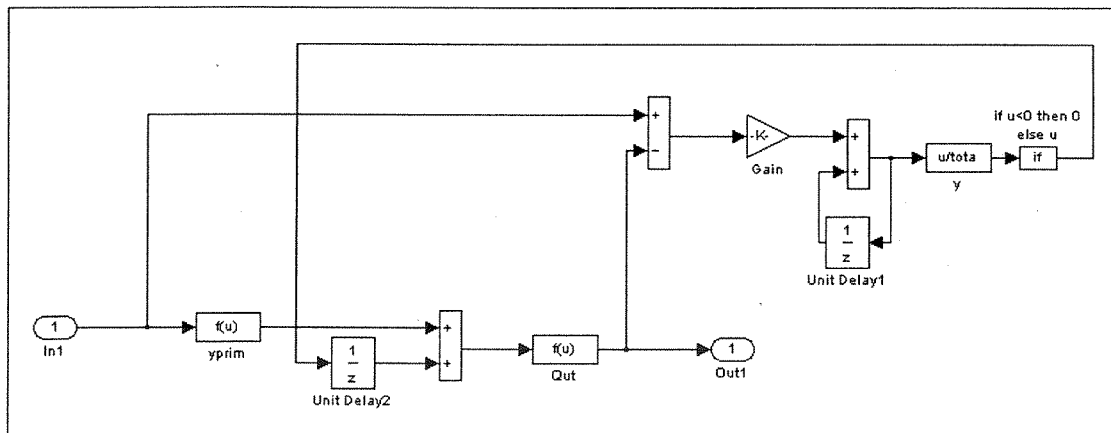
Figur 5.19 Subsystem *Other surfaces*

5.5.3.3 Subsystem *Make per second*

I modulen *Make per second* fördelas volymen vatten och mängden föroeningar per sekund istället för som innan per tidssteg.

5.5.3.4 Subsystem *Runoff*

Den snabba ytavrinningen beskrivs i SEWSYS med icke-linjär reservoarmodell (se kapitel 5.4). För varje tidssteg beräknas först vilken höjd (y_{prim}) som den inkomna mängden vatten ger i slutet av tidssteget (se Figur 5.20). Denna höjd divideras med tre för att på så sätt gälla hela tidssteget. Detta är en förenkling men vid tillräckligt små tidssteg anses felet bli litet.



Figur 5.20 Subsystem *Runoff*

Därefter adderas yprim till magasinshöjden (y), dvs värdet av y från föregående tidssteg. Den nya magasinshöjden ger utflödet ur magasinet med hjälp av följande formel (se vidare Gustafsson, 1995):

$$Q_{ut} = A \cdot K \cdot h^{5/3} \quad (5.3)$$

där

A = total hårdgjord yta

K = Magasinskonstant

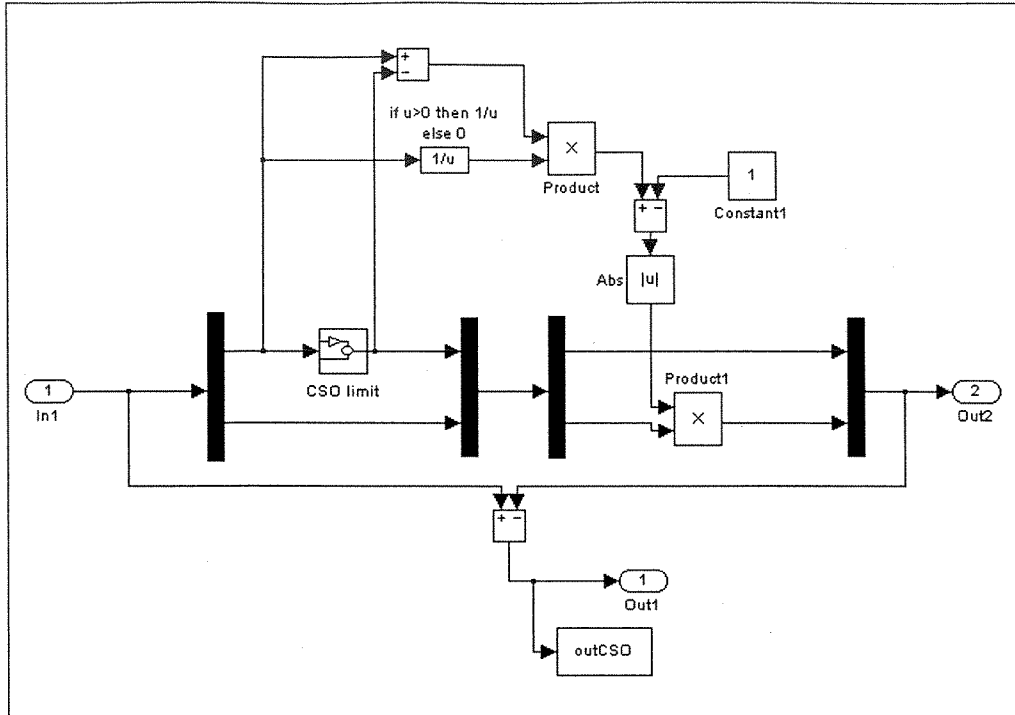
h = nivå i magasinet

Sedan beräknas volymförändringen av magasinet genom att subtrahera inflödet med utflödet och multiplicera med antal sekunder per tidssteg. Denna volym adderas sedan till magasinsvolymen från föregående tidssteg. Om utflödet är större än inflödet kommer således magasinsvolymen att minska. Därefter beräknas den nya magasinshöjden genom att dividera magasinsvolymen med avrinningsområdets totala area. Om volymminskningen är större än magasinsvolymen från föregående tidssteg ger detta ett negativt värde på y . Detta åtgärdas genom att sätta y till 0 för detta tidssteg.

5.5.4 Bräddavlopp

Bräddavloppet i SEWSYS Simulink-modell är uppbyggt enligt Figur 5.21. Först delas insignalen upp i en vattendel och föroreningsdel. Signalen med vatten går sedan in i *CSO limit*. Där beräknas hur flödet ser ut för det vatten som går vidare till reningsverket.

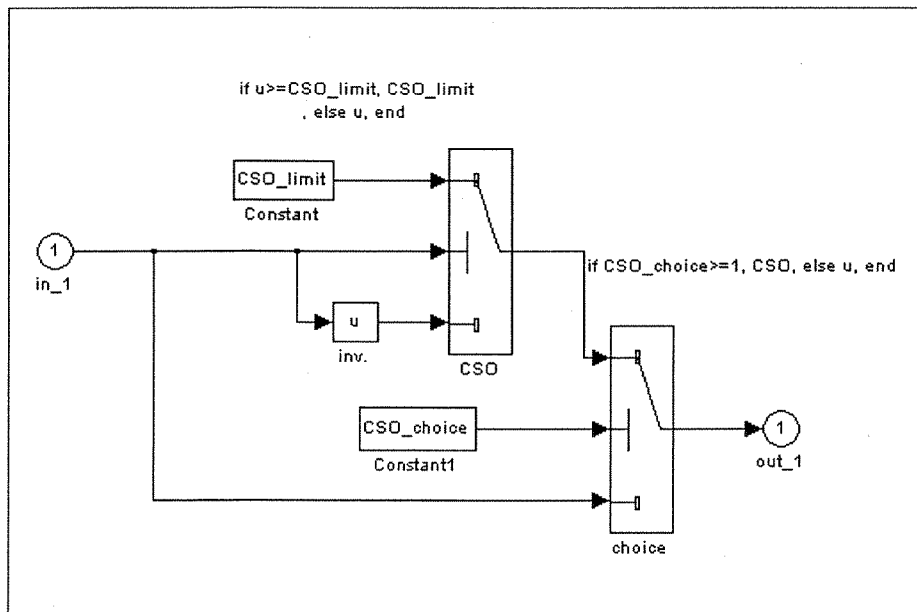
Därefter beräknas den vattenvolym som bräddas genom att subtrahera inkommande volym med utgående. Detta värde divideras med inkommande vattenvolym för att få fram en faktor för bräddad vattenvolym. Genom att subtrahera 1 med denna faktor erhålls en reduktionsfaktor för den del av vattenvolymen som går vidare till reningsverket. Det antas i modellen att lika stor andel av föroreningarna går vidare. Detta kan anses korrekt då systemet är totalomblandat. Reduktionsfaktorn multipliceras därför med inkommande föroreningsmängd.



Figur 5.21 Bräddavlopp

5.5.4.1 Subsystem CSO limit

I *CSO limit* passerar vattensignalen genom två switchar (se Figur 5.22).



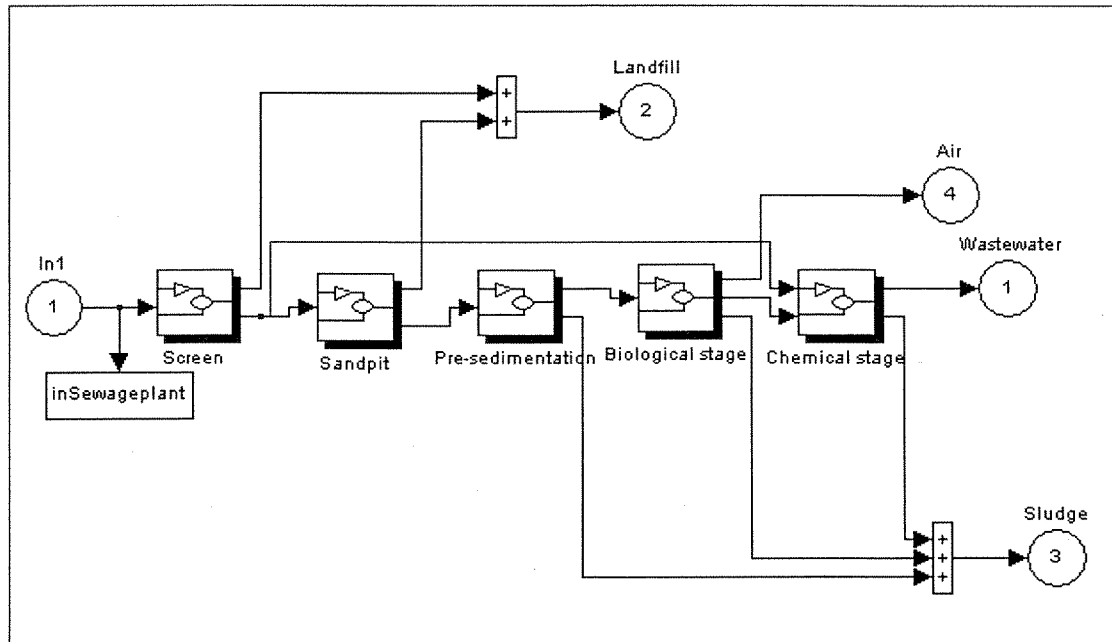
Figur 5.22 Subsystem CSO limit

I den första switchen bestäms när bräddning ska ske. Om insignalen är större än värdet av konstanten *CSO_limit* sätts signalen till värdet av *CSO_limit*. I annat fall till signalen självt. Värdet på *CSO_limit* matas in i SEWSYS huvudfönster under *Discharge limit*.

I nästa switch bestäms huruvida signalen från den första switchen eller den opåverkade signalen ska passera. Detta bestäms av värdet på konstanten *CSO_choice*. Konstanten har värdet 1 om checkboxen *Combined Sewer Overflow* är förbockad i SEWSYS huvudfönster och 0 i annat fall. Om *CSO_choice* har värdet 1 ska den översta vägen väljas, annars passerar den opåverkade signalen genom switchen.

5.5.5 Avloppsreningsverk

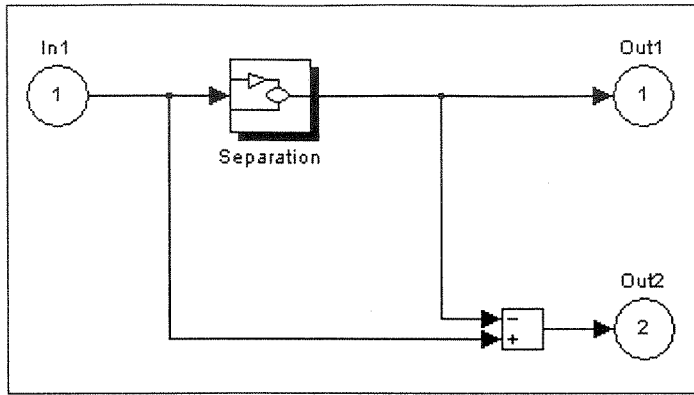
Modellen för avloppsreningsverket i SEWSYS är en modifierad version från ORWARE (se kapitel 4.3) som sedan har anpassats för att passa vektorn i SEWSYS. Modellen beskriver ett konventionellt trestegsreningsverk med mekanisk, biologisk och kemisk rening. Den mekaniska reningen innefattar förbehandling och försedimentation där förbehandlingen består av gallerrens och sandfång. Denna modell inkluderar även kväverening med nitrifikation/denitrifikation. Uppsala reningsverk har använts som referens. Restprodukterna från reningsverket hamnar på tipp, i luften, i slammet samt i recipienten.



Figur 5.23 Subsystem Sewage plant

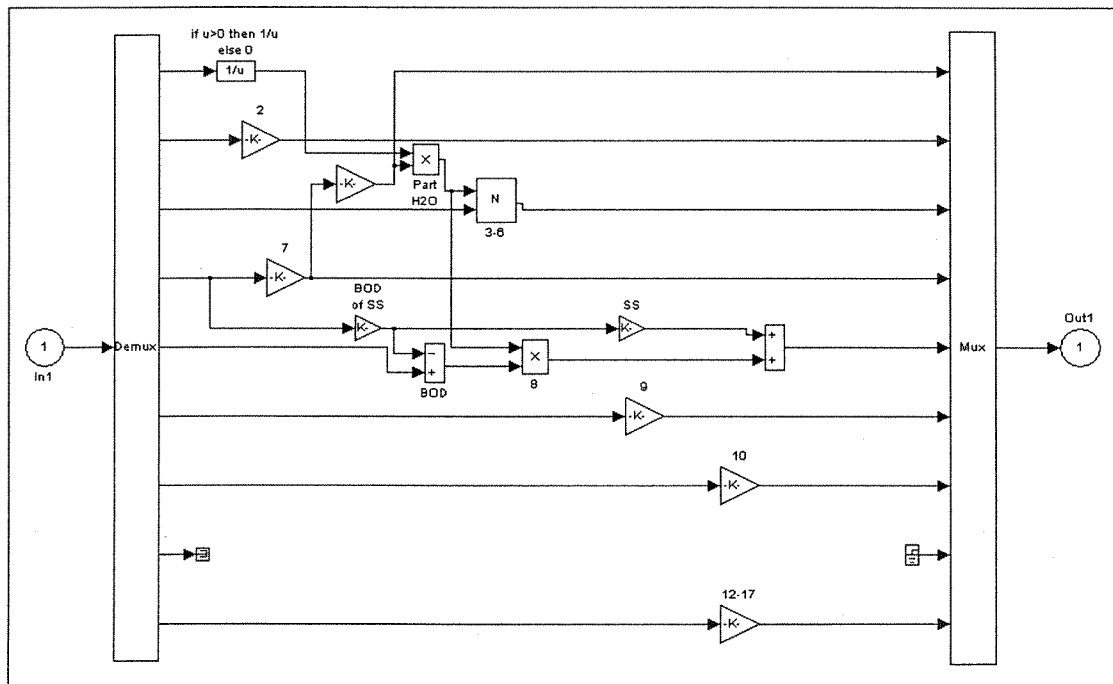
5.5.5.1 Modulen *Separation*

Mängden substans som avskiljs vid förbehandling och sedimentation beräknas i en särskilt modul (*Separation*) och subtraheras sedan från inkommande mängd (se Figur 5.24). Modulen *Separation* återkommer i vart och ett av de fem reningsstegen i Figur 5.23. Därför görs här en övergripande beskrivning av modulen *Separation* utgående från hur den ser ut för gallerrenset. De processer som är lika i *Separation* beskrivs därför under detta kapitel. Under beskrivningen av varje reningssteg i kapitlen 5.5.5.2-5.5.5.7 så kommer de processer som skiljer sig att beskrivas mer ingående.



Figur 5.24 Subsystem Screen

Insignalen till *Separation*, dvs SEWSYS-vektorn med 17 kolumner, är här uppdelad i nio signaler (Figur 5.25). Detta för att sammanföra ämnen som ska genomgå samma process. Signal 3 har fyra kolumner och innehåller kvävetets olika former, dvs nr 3-6 i SEWSYS-vektorn. Signal 9 har sex kolumner och innehåller de sex tungmetallerna (plats 12-17 i SEWSYS-vektorn). Alla övriga signaler har bara en kolumn eftersom dom representerar en substans. Uppdelningen av insignalen är den samma i varje reningssteg.



Figur 5.25 Föroreningsavskiljning i gallerrens (Screen)

Signal nr 1 innehåller vatten. Hur mycket vatten som avskiljs beror på hur mycket SS som avskiljs och hur mycket torrsbstans (TS) det finns i slammet.

Tabell 5.4 SS avskiljning och TS innehåll i slam

	Gallerrens	Sandfång	Försedimentation	Biologisk	Kemisk
SS avskiljning, % av inkommande (R_{SS})	1,7 %	0,32 %	75 %	65 %	75 %
TS innehåll i slam (TS_{slam})	15,7 %	29,4 %	2,5 %	1 %	0,7 %

$$SS^{slam} = R_{SS} \cdot SS^{in} \quad (5.4)$$

$$H_2O^{slam} = \frac{SS^{slam} \cdot (1 - TS^{slam})}{TS^{slam}} \quad (5.5)$$

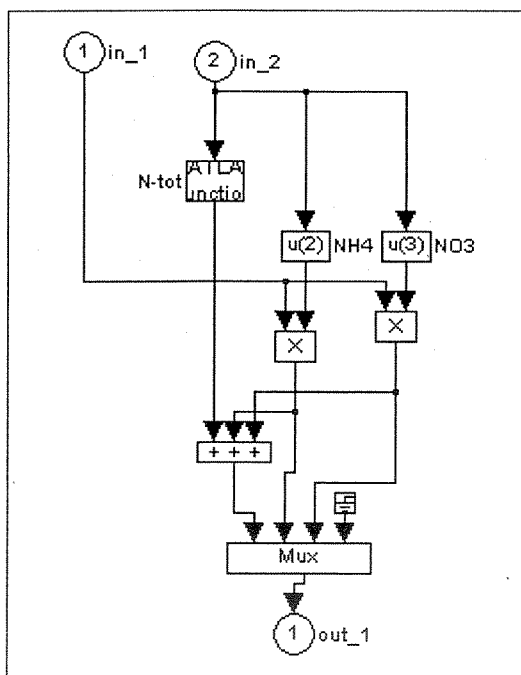
Signal nr 2 innehåller fosfor. Fosfor antas vara bunden till SS och hur mycket som avskiljs beror således på hur mycket SS som avskiljs. Inkommande mängd multipliceras därför med värdena för SS avskiljning i Tabell 5.4.

I signal nr 3 är kvävet fyra former inkluderade och mängden som avskiljs beräknas i modulen N (Figur 5.26). Insignal nr 1 innehåller hur stor del av det inkommande vattnet som hamnar i slammet. Eftersom ammonium (NH_4^+) och nitrat (NO_3^-) är lösta i vattnet fås avskiljd mängd för dessa substanser genom att multiplicera med andel avskiljt vatten. För N-tot beräknas först hur mycket som avskiljs för den del som är bunden till SS. Därefter adderas övrig avskiljd mängd för ammonium och nitrat. Ingen avskiljning sker av dikväveoxid (N_2O) och därför sätts denna signal till noll.

$$N_{NH_4}^{slam} = N_{NH_4}^{in} \cdot \frac{H_2O^{slam}}{H_2O^{in}} \quad (5.6)$$

$$N_{NO_3}^{slam} = N_{NO_3}^{in} \cdot \frac{H_2O^{slam}}{H_2O^{in}} \quad (5.7)$$

$$N_{tot}^{slam} = (N_{tot}^{in} - N_{NH_4}^{in} - N_{NO_3}^{in}) \cdot R_{SS} + N_{NH_4}^{slam} + N_{NO_3}^{slam} \quad (5.8)$$



Figur 5.26 Kväve

Signal 4 innehåller SS. Avskiljningen av SS framgår av Tabell 5.4.

Beräkningen av den mängd som avskiljs i modulen *Separation* för signal 5-9, dvs BOD₇, COD, Tot-C, VSofSS och tungmetallerna, skiljer sig för varje reningssteg och beskrivs därför under respektive rubrik.

5.5.5.2 Gallerrens

Den mängd som avskiljs i gallerrenset beräknas i modulen *Separation* och subtraheras från inkommande mängd (se Figur 5.24-25). Avskiljd mängd går till tipp och övrig mängd går vidare till nästa reningssteg.

För gallerrenset sker avskiljning av BOD enligt följande beräkningsgång. Först delas BOD upp i en del som är bundet till SS och en del som är löst i vatten. För att räkna ut hur mycket BOD som är bundet till SS måste man först veta hur mycket VS det finns i SS och även andel BOD av VS. ORWARE-modellen hänvisar till mätningar gjorda vid Uppsala reningsverk. I slam från gallerrens har man funnit att 60 % av SS är VS. För andel BOD av VS anges i modellen ett generellt värde på 40 % som gäller för alla reningssteg.

$$BOD_{SS}^{in} = SS^{in} \cdot VSofSS \cdot BODofVS \quad (5.9)$$

där

$$VSofSS = 0.6$$

$$BODofVS = 0.4$$

$$BOD_{SS}^{slam} = BOD_{SS}^{in} \cdot R_{SS} \quad (5.10)$$

Avskiljningen av bundet BOD beror på hur mycket SS som avskiljs (R_{SS}) och enligt Tabell 5.4 är R_{SS} 1.7 % för gallerrenset.

Den mängd BOD som är löst i vattnet multipliceras med andel avskilt vatten och på så sätt fås avskiljd löst BOD.

$$BOD_{H_2O}^{in} = BOD^{in} - BOD_{SS}^{in} \quad (5.11)$$

$$BOD_{H_2O}^{slam} = BOD_{H_2O}^{in} \cdot \frac{H_2O}{H_2O} \quad (5.12)$$

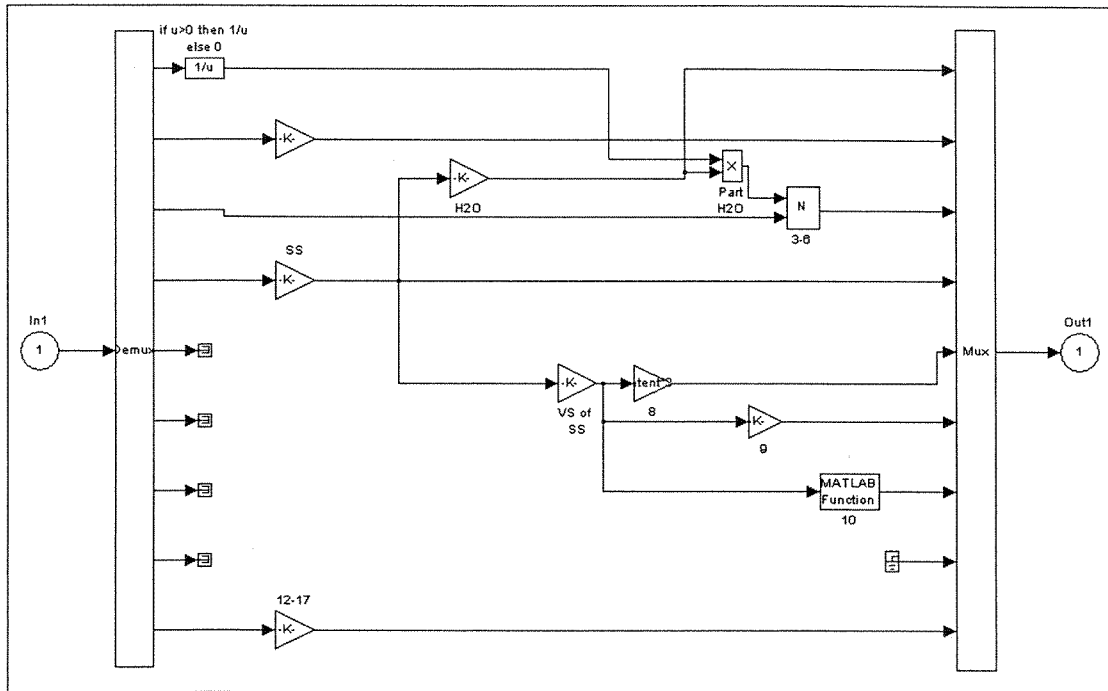
Slutligen adderas de avskiljda mängderna av bundet och löst BOD.

$$BOD^{slam} = BOD_{H_2O}^{slam} + BOD_{SS}^{slam} \quad (5.13)$$

COD, C-tot och tungmetallerna anses vara bundna till SS med avskiljning enligt Tabell 5.4.

5.5.5.3 Sandfång

Sandfånget har samma uppbyggnad som gallerrenset (se Figur 5.24). Avskiljd mängd går till tipp. Modulen *Separation* för sandfånget visas i Figur 5.27.



Figur 5.27 Föroreningsavskiljning i sandfång (Sandpit)

Mängden BOD i slammet beräknas enligt följande beräkningsgång. Den avskiljda mängden BOD anses vara bunden till sanden och därför beräknas först mängden SS i sandslammet (se formel 5.4). Sedan beräknas mängden VS med hjälp av VSofSS som är ett uppmätt värde i sandslam för Uppsala reningsverk.

$$VS^{slam} = SS^{slam} \cdot VSofSS \quad (5.14)$$

där

$$VSofSS = 0.26$$

Mängden BOD i sandslammet beror på mängden VS och dess kolinnehåll. I Uppsala har mätningar gjorts på hur stor del av VS som är kol. Man kom fram till ett värde på 54 %. För BOD och Tot-C finns det ett samband som säger att BOD-mängden i VS är 1.2 gånger större än mängden Tot-C (Dalemo, 1996).

$$BOD^{slam} = VS^{slam} \cdot Ccontent \cdot 1.2 \quad (5.15)$$

där

$$Ccontent = 0.54$$

För COD gäller samma sak som för BOD, dvs mängden beräknas utgående ifrån innehållet av VS och dess kolinnehåll. Enligt Dalemo (1996) är COD-mängden 3 gånger större än mängden Tot-C.

$$COD^{slam} = VS^{slam} \cdot Ccontent \cdot 3 \quad (5.16)$$

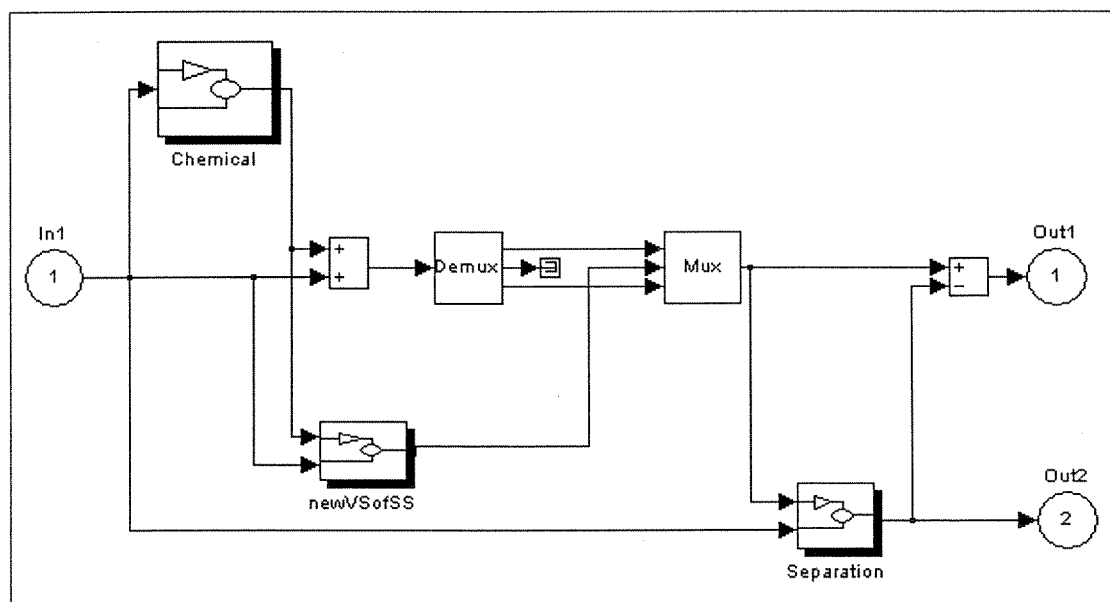
Tot-C i sandslammet beräknas analogt med BOD och COD.

$$Tot - C^{slam} = VS^{slam} \cdot C_{content} \quad (5.17)$$

Tungmetallerna anses här vara bundna till SS och 0,3 % av inkommande mängd hamnar i sandslammet (se Tabell 5.4).

5.5.5.4 Försedimentation

I försedimentationssteget avskiljs som tidigare slammet i relation till mängden SS i inkommande vatten. Hur mycket slam som avskiljs är också beroende av TS-innehållet i slammet. Den avskiljda mängden går till slamuppsamling.



Figur 5.28 Subsystem Pre-sedimentation

I denna modell sker förfällning av fosfor och kemikalien järnklorid ($FeCl_3$) tillsätts. Hur mycket kemikalie som tillsätts beror på inkommande mängd fosfor och beräknas i modulen *Chemical* (se Figur 5.29). Först beräknas med en empirisk formel hur mycket kemikalie som behövs tillsättas. $SpPout$ är koncentrationen av fosfor i reat avloppsvatten som inte får vara högre än 0.5 g/m^3 enligt gällande utsläppskrav. $SpChemFe$ är koncentrationen av järn i fällningskemikalien. Atommassan för Fe är 55.9 för fosfor 31 u.

$$Amount_{chemical} = P^{in} \cdot \frac{(1.1 - spPout)}{0.56} \cdot \left(\frac{55.9}{31} \right) \cdot \frac{1}{spChemFe} \quad (5.18)$$

där

$$spPout = 0.5 \text{ g/m}^3$$

$$spChemFe = 0.17 \text{ g/m}^3$$

Fällningskemikalien innehåller förutom vatten och FeCl_3 även små mängder tungmetaller enligt Tabell 5.5. Genom att multiplicera mängden tillsatt kemikalie med dessa värden fås den totala mängden av de ingående substanserna som tillförseln av kemikalien ger.

Tabell 5.5 Vatten- och tungmetallinnehåll i fällningskemikalie FeCl_3 (Dalemo, 1996)

Nr	Ämne	mg/kg
1	H_2O	1 000 000
2	Tot-P	0
3	Tot-N	0
4	$\text{NH}_3/\text{NH}_4^+ \text{-N}$	0
5	$\text{NO}_3 \text{-N}$	0
6	$\text{N}_2\text{O} \text{-N}$	0
7	SS	0
8	BOD_7	0
9	COD	0
10	Tot-C	0
11	Fasindex	0
12	Cu	2.4
13	Zn	18
14	Pb	0.7
15	Cd	0.1
15	Hg	0.0004
17	Cr	8.9

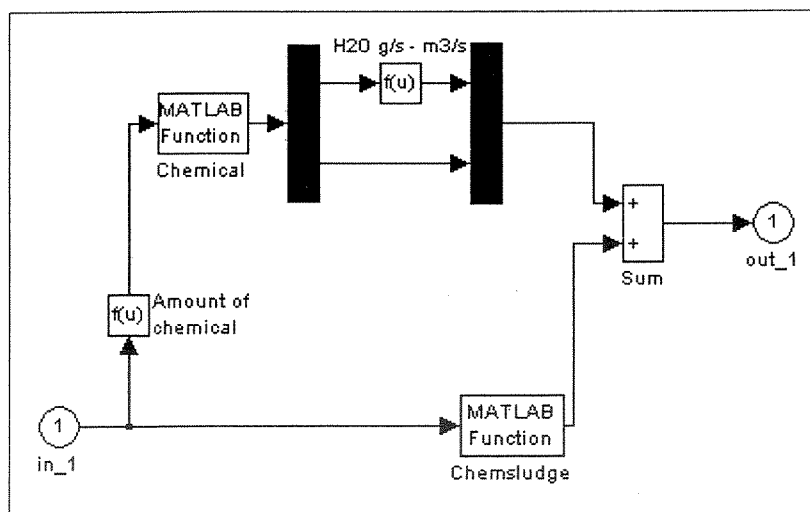
Tillförseln av fällningskemikalien gör att den totala mängden SS kommer att öka. Tillskottet av SS beräknas enligt följande där $spPBound$ står för den del av fosforreduktionen som sker i försedimentationssteget. 97 % är den totala reningen av fosfor och 50 % av denna sker i tidigare sedimentering.

$$SS^{Chem} = P^{in} \cdot spPBound \cdot \frac{(55.85 + 30.97 + 16 \cdot 4)}{30.97} \quad (5.19)$$

där

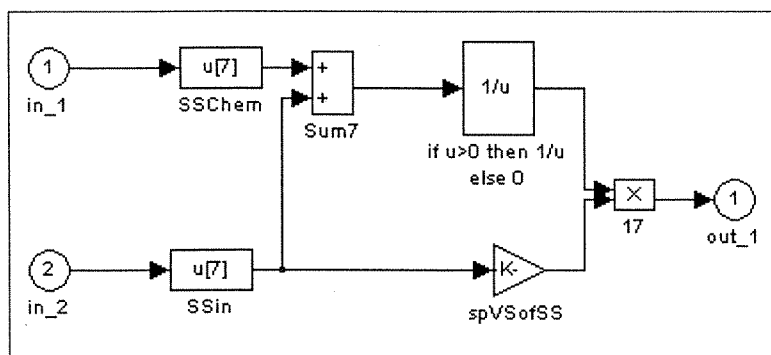
$$spPBound = 0.97 \cdot 0.5$$

I täljaren står molmassan för FePO_4 och i nämnaren molmassan för fosfor.



Figur 5.29 Subsystem Chemical

I modulen *newVSofSS* beräknas ett reducerat värde på kvoten VS/SS. Eftersom tillsatsen av kemikalien inte innebär någon tillförsel av VS till avloppsvattnet beror mängd VS bara på inkommande SS. Men eftersom den totala mängden SS ökar pga kemikalietillsatsen kommer andelen VS av SS att minska.



Figur 5.30 Subsystem *newVSofSS*

Inkommande mängd SS och den mängd som tillkommit pga tillförsel av fällningskemikalie adderas. Därefter beräknas mängden VS i inkommande SS med hjälp av *spVSofSS*. Mängden VS divideras sedan med total SS vilket ger ett VS/SS förhållande som är mindre än 0.7.

$$VS_{ofSS}^{red} = \frac{SS^{in} \cdot spVS_{ofSS}}{SS^{tot}} \quad (5.20)$$

där

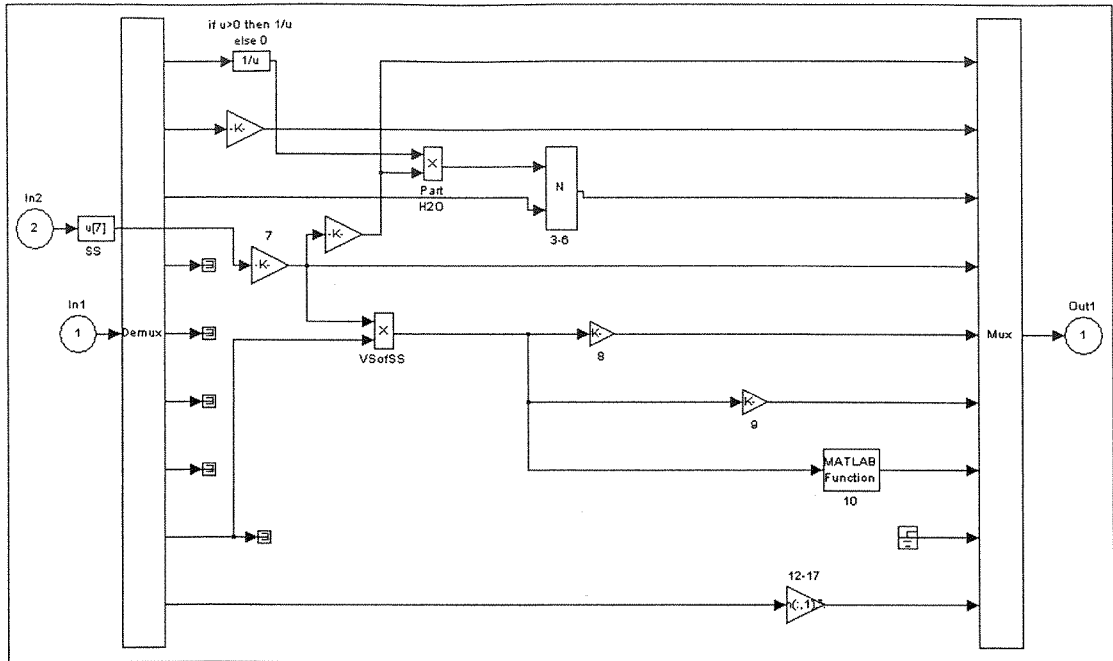
$$spVS_{ofSS} = 0.7$$

$$SS^{tot} = SS^{in} + SS^{chem}$$

Det reducerade värdet på kvoten VS/SS stoppas sedan in i SEWSYS-vektor på plats 11.

Modulen *Separation* har två insignaler (se Figur 5.31):

- SEWSYS-vektorn med reducerad VS/SS-kvot
- Inkommande SS



Figur 5.31 Föroreningsavskiljning i försedimentation

Eftersom kvoten VS/SS har minskat pga av kemikalietillsatsen används detta värde för vidare beräkningar av mängden VS i slammet. Det är bara inkommande SS som avskiljs vid försedimentationen. SS från kemikalietillsatsen avskiljs i det kemiska reningssteget.

Den i försedimentationen avskiljda mängden BOD och COD beror på mängden VS i slammet och dess syreinhåll. Därför beräknas först mängden SS i slammet (se formel 5.4) och därefter mängden VS med hjälp av VS_{ofSS}^{red} .

$$VS^{slam} = SS^{slam} \cdot VS_{ofSS}^{red} \quad (5.21)$$

I ORWARE har en uppskattning gjorts på hur stor del av VS som är kol. Beräkningen grundar sig på andel molekylmassa kol av den totala molekylmassan för avloppsvatten ($C_{18}H_{19}O_9N$). Beräkningen ger ett värde på 54 %. För syreinhållet är motsvarande siffra 36 %. I formel 5.22 räknas sedan kolinnehållet om till syre grundat på ett molförhållande på 2:1. Därefter subtraheras den del som inte kan oxideras.

$$BOD^{slam} = VS^{slam} \cdot \left(\frac{C_{content} \cdot \frac{2 \cdot 16}{12} - O_{content}}{COD_{BOD}} \right) \quad (5.22)$$

där

$$C_{content} = 0.54$$

$$O_{content} = 0.36$$

$$COD_{BOD} = 2.5 \text{ (COD-BOD kvot)}$$

För COD gäller samma sak som för BOD, dvs mängden beräknas utgående ifrån innehållet av VS.

$$COD^{slam} = VS^{slam} \cdot \left(Ccontent \cdot \frac{2 \cdot 16}{12} - Ocontent \right) \quad (5.23)$$

Tot-C i slammet beräknas på samma sätt som för sandfånget enligt formel 5.17.

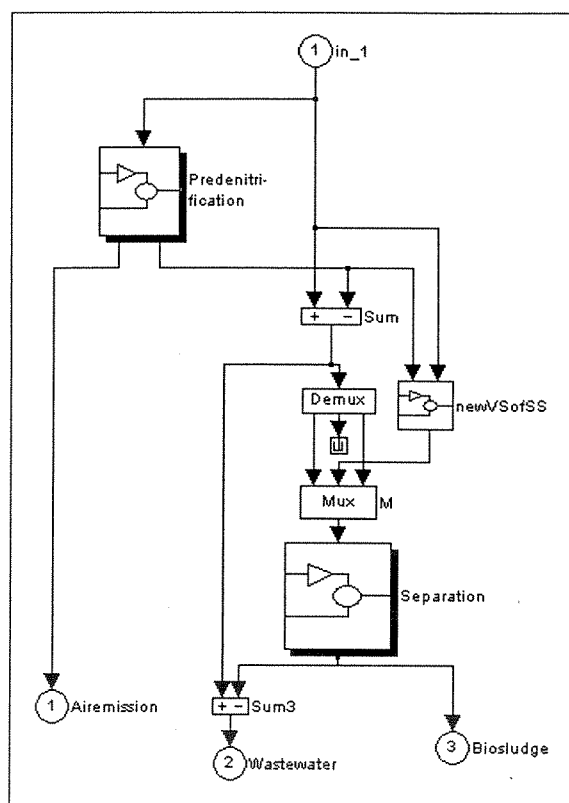
Avskiljning av tungmetaller vid försedimentering redovisas i Tabell 5.6.

Tabell 5.6 Avskiljning av tungmetaller i försedimentering (Dalemo, 1996)

Nr	Ämne	%
12	Cu	41
13	Zn	54
14	Pb	40
15	Cd	44
16	Hg	44
17	Cr	43

5.5.5.5 Biologisk rening

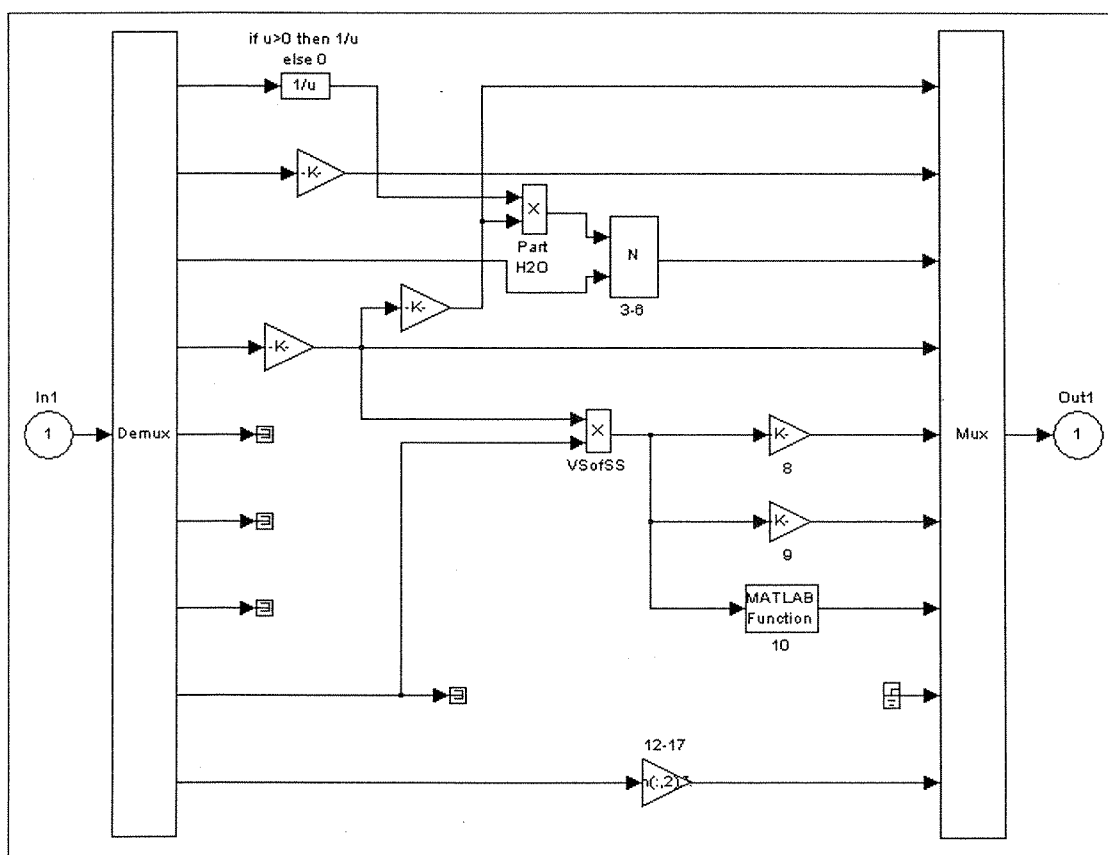
Den biologiska reningen består av många processer som är beroende av ett flertal parametrar. Det gör att modellen blir väldigt komplex och omfattande. Därför beskrivs detta reningssteg bara övergripande.



Figur 5.32 Subsystem Biological stage

I modulen *Predenitrification* utförs kvävereningen. Dessa processer beskrivs övergripande i kapitel 5.5.5.6. Kvävereningens värden subtraheras sedan från inkommande mängd. Detta innebär en reduktion av Tot-N, NH_4^+ , BOD_7 , COD och Tot-C. NO_3^- och SS kommer däremot att öka till följd av kvävereningen pga av nitrifikationen och slamtillväxten. Eftersom SS ökar måste ett nytt värde på VSofSS beräknas. Detta görs i modulen newVSofSS. Det SS som kommer från kvävereningen innehåller bara organiskt material och detta gör att det nya värdet på VSofSS kommer att vara högre än det inkommande. Det nya värdet stoppas in i SEWSYS-vektorn och signalen går vidare till modulen *Separation*.

Föroreningsavskiljningen för det biologiska reningssteget i Figur 5.33 sker på samma sätt som i försedimenteringen. Avskiljningen av SS är dock mindre och innehållet av VS i slammet är lägre jämfört med försedimenterat slam (se Tabell 5.4)



Figur 5.33 Föroreningsavskiljning i biologiskt steg

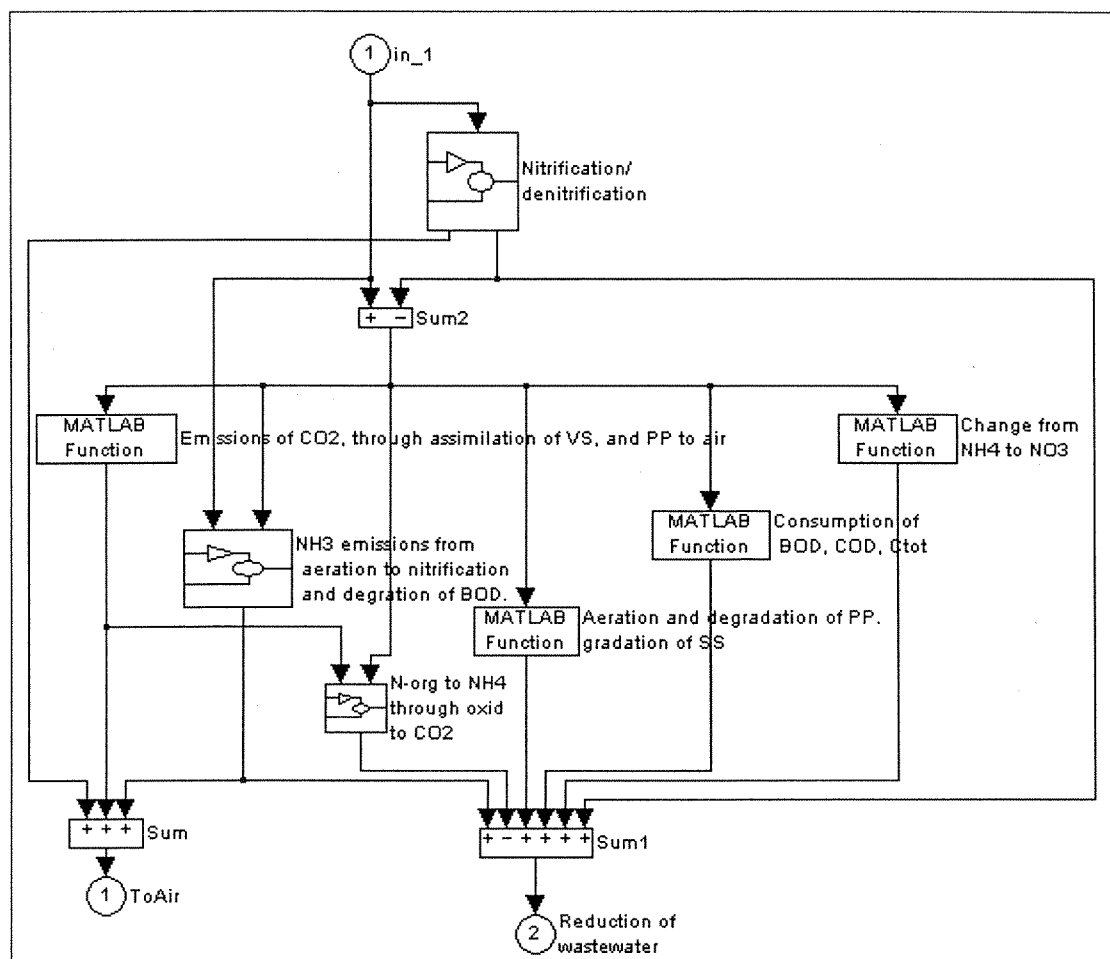
Avskiljning av tungmetaller vid biologiskt reningssteg redovisas i Tabell 5.7.

Tabell 5.7 Avskiljning av tungmetaller i biologisk rening (Dalemo, 1996)

Nr	Ämne	%
12	Cu	53
13	Zn	15
14	Pb	40
15	Cd	26
16	Hg	26
17	Cr	51

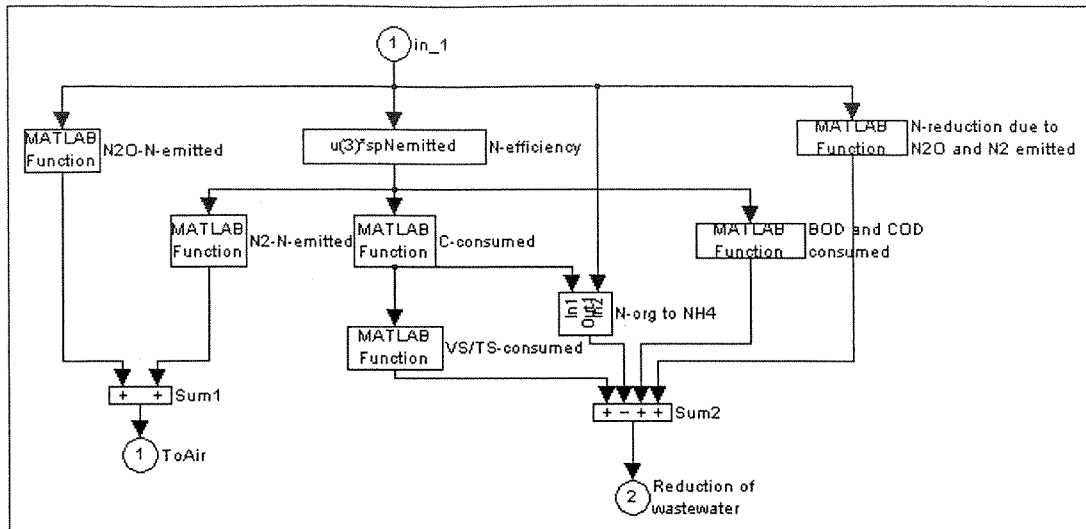
5.5.5.6 Kväverening

Denna modell beskriver kväverening med fördenitrifikation. Fördenitrifikation innebär att den anoxiska denitrifikationen sker först och därefter nitrifikationen. Sedan recirkuleras nitratiskt vatten till denitrifikationssteget. I denna modell sker ingen verklig recirkulation utan processerna sker samtidigt (Figur 5.34).



Figur 5.34 Subsystem predenitrification

Inkommande vatten går först in i modulen *Nitrification/denitrification* (Figur 5.35). Här beräknas utsläpp av N_2 och N_2O till luften samt bakteriernas konsumtion av BOD, COD och Tot-C.



Figur 5.35 Subsystem Nitrifikation/Denitrifikation

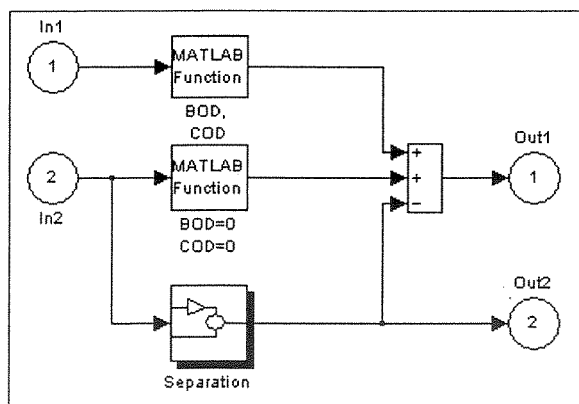
Den i *Nitrifikation/denitrifikation* beräknade mängden subtraheras sedan från inkommande vatten (Figur 5.34). Resultatet används sedan som indata till följande beräkningar:

- utsläpp av CO₂ och NH₃ till luften.
- omvandling av organiskt bundet kväve till NH₄⁺.
- ökning av SS mängd.
- konsumtion av BOD, COD och Tot-C.
- omvandling av NH₄⁺ till NO₃⁻.

Dessa beräkningar sammanförs sedan till en total föroreningsreduktion av avloppsvattnet.

5.5.5.7 Kemisk rening

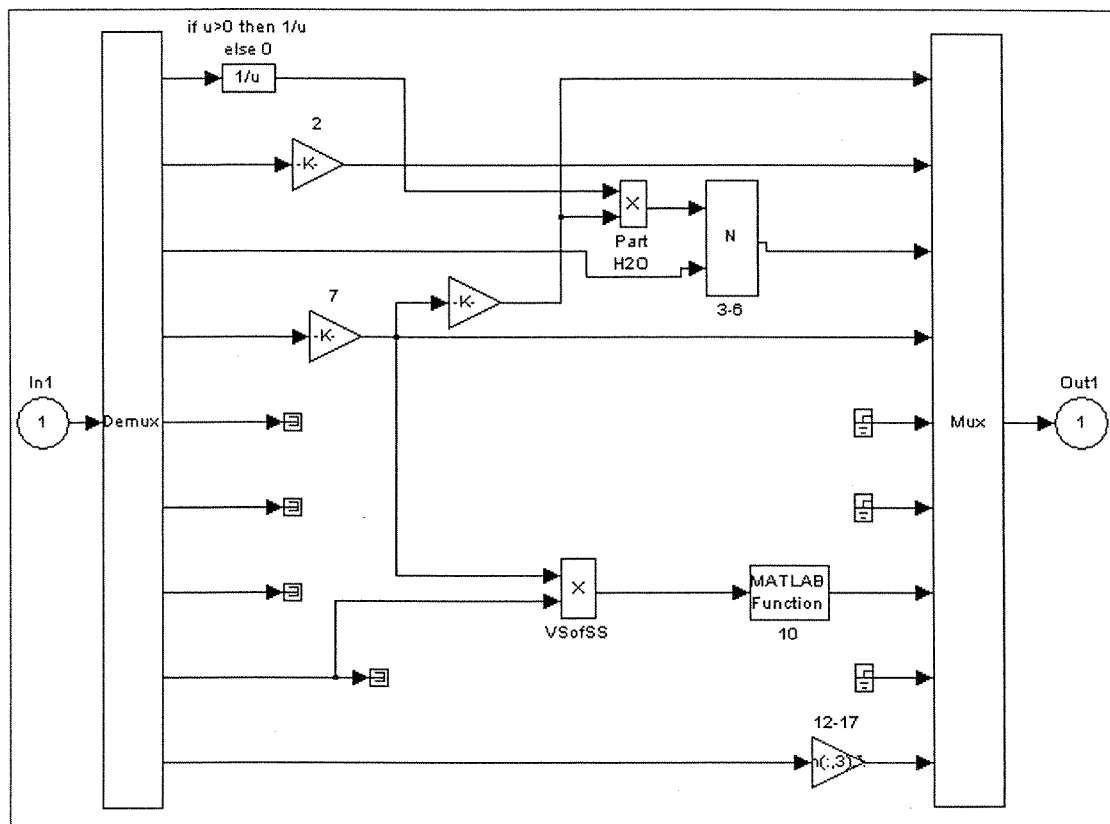
För det kemiska reningssteget beräknas avskiljningen av BOD och COD i två särskilda moduler utanför *Separation* (se Figur 5.36). Indata är mängderna av BOD och COD efter gallerrenset (se Figur 5.23). Dessa mängder reduceras med 97 % för BOD och 93 % för COD och skickas sedan till utsignalen. Avskiljningen av övriga ämnen sker i modulen *Separation*.



Figur 5.36 Subsystem Chemical stage

Att inte värdena för BOD och COD tas från det biologiska steget beror på att dessa värden är störda av de processer som kvävereningen medför.

För det kemiska reningssteget sker avskiljningen av BOD och COD utanför modulen *Separation*. Dessa signaler sätts därför till noll.



Figur 5.37 Föroreningsavskiljning i kemiskt reningssteg

Precis som för försedimentationen beräknas först mängden SS i slammet enligt formel 5.4 och därefter mängden VS med hjälp av VS_{ofSS}^{red} enligt formel 5.21.

Andelen av VS som är kol sätts som tidigare till 54 % och Tot-C i slammet beräknas enligt formel 5.17.

Avskiljning av tungmetaller vid kemisk rening redovisas i Tabell 5.8.

Tabell 5.8 Avskiljning av tungmetaller vid kemisk rening (Dalemo, 1996)

Nr	Ämne	%
12	Cu	68
13	Zn	36
14	Pb	50
15	Cd	11
16	Hg	11
17	Cr	43

5.6 Modellens resultat

Genom att trycka på knappen *Results* i SEWSYS huvudfönster öppnas ett antal plottar med följande data (se MATLAB kod i Bilaga 12):

- Inflöde till reningsverk.
- Ämnen fördelade på inkommande mängd till reningsverk, tipp, slam och recipient.
- Spillvatten- och dagvattenhydrografer.
- Tungmetallernas fördelning på spill- och dagvatten.
- Hur mycket av ett visst ämne som bräddas respektive går vidare till reningsverket.
- Källor för olika ämnen fördelade på spill- och dagvatten.

Hur dessa data presenteras i SEWSYS visas i Bilaga 13.

Det går naturligtvis bra att hämta mer information från modellen. Ett antal vektorer skapas under simulering för detta ändamål och läggs i MATLAB:s arbetsyta. Vektorerna redovisas i Tabell 5.9. Varje vektor har 16 eller 17 kolumner och lika många rader som modellens aktuella tidssteg.

Tabell 5.9 Vektorer för utdatabehandling

Vektor	Enhet	Antal Kolumner	Beskrivning
s_urine	g/ps	17	Urinfraktion
s_faeces	g/ps	17	Fekaliefraktion
s_bdt	g/ps	17	BDT-fraktion
s_industry	g/s	17	Ämnen i industrispillvatten
s_wetdep	$\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{tidssteg}$	17	Våtdeposition
s_road	$\mu\text{g}/\text{tidssteg}$	16	Ämnen från vägytor
s_roof	$\mu\text{g}/\text{tidssteg}$	16	Ämnen från takytor
s_other	$\mu\text{g}/\text{tidssteg}$	16	Ämnen från övriga ytor
sewer	$\text{m}^3/\text{s} - \text{g}/\text{s}$	17	Spillvatten (summerat för alla källor)
storm	$\text{m}^3/\text{s} - \text{g}/\text{s}$	17	Dagvatten (summerat för alla källor)
inSewageplant	$\text{m}^3/\text{s} - \text{g}/\text{s}$	17	Inflöde till reningsverk
outCSO	$\text{m}^3/\text{s} - \text{g}/\text{s}$	17	Bräddat avloppsvatten
outLandfill	$\text{m}^3/\text{s} - \text{g}/\text{s}$	17	Utsläpp från reningsverk till tipp
outSludge	$\text{m}^3/\text{s} - \text{g}/\text{s}$	17	Utsläpp från reningsverk till slam
outRecipient	$\text{m}^3/\text{s} - \text{g}/\text{s}$	17	Utsläpp från reningsverk till recipient
outAir	$\text{m}^3/\text{s} - \text{g}/\text{s}$	17	Utsläpp från reningsverk till luft

I fall dessa utdata inte är tillräckliga för användaren kan ytterligare vektorer för utdata läggas till i modellen. För detta hänvisas till manualen för Simulink.

5.7 Modellens noggrannhet

Modellen SEWSYS anses övergripande kunna beskriva ett samhälles avloppssystem och den materialtransport som sker. Vissa processer saknas dock, t ex sedimentationen i ledningsnätet som för långa transportsträckor har stor inverkan.

Vidare beskrivs vissa processer noggrant, t ex ackumulering och avspolning av hårdgjorda ytor i dagvattenmodellen. Här kommer tidsaspekter såsom regnvaraktighet och regnuppehåll in. Avloppsreningsverket i sin tur är helt statiskt och har inga tidsaspekter alls; samma rening sker alltså kontinuerligt i hela simuleringen. Modellen för avloppsreningsverket kan således förbättras just i det hänseendet.

Det viktigaste för att en modell ska vara noggrann är utan tvekan att indata är riktiga. De schablonvärden och nyckeltal som SEWSYS bygger på är inte på något sätt absoluta och kan komma att revideras av ny forskning. Modellens styrka är då att ingen stor ombyggnad behövs av själva modellen utan dessa reviderade indata kan ändras och sedan är en ny förbättrad modell färdig för nya simuleringar.

6 Verifiering

För att undersöka hur väl modellen representerar ett avloppssystem har en verifiering utförts. I det följande beskrivs verifiering av hushållspillvatten, dagvattenavrinningens utseende och avloppsreningsverket. För dagvattenmodulen har Cecilia Engvall i sitt examensarbete utfört en sensitivitetsanalys (Engvall, 1999). Hon kom bl a fram till att ackumulering och avspolning är processer som modellen är särskilt känslig för och därför måste dessa utvecklas vidare. Beträffande dagvattnets innehåll av föroreningar har Engvall gjort en jämförelse mellan dagvattenmodellen och uppmätta värden för Järnbrott. Slutsatsen är att modell och verklighet överensstämmer bra, åtminstone för längre perioder.

6.1 Hushållspillvatten

För att verifiera de nyckeltal enligt Bilaga 1 som modellen använder för produktion av hushållspillvatten har data använts från Ölmanäs avloppsreningsverk i Kungsbacka kommun. Ölmanäs är ett litet reningsverk som tar emot avloppsvatten från ca 6000 personer. Ingen industri finns ansluten till ledningsnätet. I Tabell 6.1 redovisas en jämförelse mellan värden för inkommande årsmedeldygn för 1999 och en modellkörning. För att justera flödet har en dräneringsfaktor på 1.2 använts.

Tabell 6.1 Verifieringsresultat för hushållspillvatten

	Ölmanäs	Modell
Flöde [m ³ /d]	2665	2640
Tot-P [kg/d]	11	11
Tot-N [kg/d]	60	81
SS [kg/d]	386	361
BOD ₇ [kg/d]	265	288
COD [kg/d]	720	589

Jämförelsen visar på en god överensstämmelse mellan verkliga och modellerade värden. Noggrannheten bedöms vara tillräcklig med tanke på de osäkerheter som finns, främst med avseende på mängden dränerings- och läckagevatten.

6.2 Dagvattenavrinning

Avrinningsmodulen har verifierats för två diametralt olika områden. Järnbrottsområdet med en total hårdgjord yta på 161 ha samt en parkeringsyta på 450 m² belägen vid Chalmers tekniska högskola.

Järnbrott ligger i södra Göteborg och består både av bebyggelse och industriområden. Genom området löper en hårt trafikerad trafikled. Järnbrottsområdet har ett duplikat avloppssystem där dagvattnet samlas upp i en damm innan det släpps ut i recipienten. Vid Institutionen för VA-teknik vid Chalmers har det pågått en doktorandprojekt för att studera dagvattendammens reningsförmåga. Det har därmed under åren insamlats data vad gällande nederbörd och ledningsflöden. Regntillfällena 980609 och 980622 har valts för denna verifiering.

Först kalibrerades magasinskonstanten för området och ett värde på 0.09 fanns lämplig. Utgående från formel 5.1 och med antagna värden på Mannings tal till 30 och lutningen till 0.02 ger detta en avrinningslängd på 47 meter. För hela Järnbrott skulle avrinningslängden för mark och ledningar snarare bli flera kilometer. Detta visar på att ett större område som Järnbrott bör delas upp i mindre delar för att modellen ska fungera bra.

Resultatet av verifieringen för de två regnen i Järnbrott redovisas i Bilaga 14-15. Regnet 980609 är utspritt över en längre period med regnuppehåll på upp till 6 timmar. Uppmätta och modellerade värden på flödet överensstämmer dåligt för detta regn. En orsak är att modulen som räknar bort den initiella förlusten tar bort för mycket regn.

Regnet 980622 har en varaktighet på ca 4 timmar och ger bättre överensstämmelse mellan uppmätta och modellerade värden. För detta regn körs även en simulering med ett K-värde på 0.05 vilket enligt ovan ger en avrinningslängd på 84 meter. Denna modellkörning stämmer något bättre överens med de uppmätta värdena.

Parkeringsytan utanför Chalmers har även den ingått i ett doktorandprojekt (Svensson, 1987). Doktorsavhandlingen behandlar modellering av fasta ämnen och tungmetaller i urbana avrinningsområden. Studier gjordes för ett tak, en parkeringsplats och en gata. För verifieringen av SEWSYS avrinningsmodell valdes ett regn ur den databas som hör till avhandlingen.

Det valda regnet har en varaktighet på drygt 1.5 timma med två mindre uppehåll på några minuter var. Lutningen på parkeringsytan finns angiven i Svensson (1987) till 0.018 meter/meter. Avrinningslängden är 13 meter. Mannings tal har antagits till 30. Detta ger enligt formel 5.1 en magasinskonstant med värde 0.31. Resultatet av verifieringen för detta regn redovisas i Bilaga 16. Uppmätt och modellerat värde överensstämmer bra, sånär som på att den häftiga toppen vid 50 minuter. Troligen så har det blivit något fel i flödesmätningen där på grund av att mätaren inte klarat av det höga flödet.

6.3 Avloppsreningsverk

Avloppsreningsverksmodellen i SEWSYS har verifierats mot Skene avloppsreningsverk som ligger i Marks kommun. Ledningsnätet är av duplikat typ och dräneringsvatten avled främst till spillvattenledningen (Marks kommun, 1999). Antalet fysiskt anslutna personer är 17 280. Den totala BOD-belastningen på verket är 18000 pe. Reningsstegen överensstämmer i stort med SEWSYS avloppsreningsverksmodell med. Skillnaden är att Skene har en biobädd där nitrifikation sker. Resultatet av verifieringen redovisas i Tabell 6.2.

Tabell 6.2 Verifieringsresultat för reningsverk

<u>Indata</u>		Årsmedel	
Flöde	m ³ /d	14160	
Ink. BOD	kg/d	1240	
Ink. COD	kg/d	4866	
Ink. Tot-P	kg/d	52	
Ink. Tot-N	kg/d	300	
<u>Föroreningsmängd</u>		Skene	Modell
Utg. BOD	kg/d	40	37.1
Utg. COD	kg/d	357	334.8
Utg. Tot-P	kg/d	2.6	1.3
Utg. Tot-N	kg/d	108	74.0
<u>Reduktion</u>			
BOD ₇	%	97	97
COD	%	93	93
Tot-P	%	95	98
Tot-N	%	64	75

Tabellen visar på en god överensstämmelse mellan modell och verklighet. Beträffande skillnaden i utgående Tot-N så kan det förklaras med att kväverening är en process som är svår att modellera eftersom många parametrar är inblandande.

7 Slutsatser och diskussion

SEWSYS anses väl kunna beskriva ett samhälles avloppssystem och därmed svara på frågor av typen:

- Hur ser avloppssystemet ut?
- Vilka komponenter ingår?
- Vad innehåller avloppsvattnet?
- Vilka är källorna?
- Vart tar ämnena vägen?

De verifieringar som utförts visar att modellen överensstämmer relativt bra jämfört med uppmätta värden. Noggrannheten anses vara tillräcklig eftersom SEWSYS inte är en deterministisk modell utan en generell processmodell.

En vidare utveckling av modellen bör innefatta möjlighet att i ett fönster själv kombinera olika typer av regn. Därtill behöver avrinningsmodulen byggas om så att det blir möjligt att simulera större avrinningsområden. För att förbättra noggrannheten behöver det även läggas till en modul som hanterar sedimentationen i ledningsnätet. Det bör också finnas möjlighet att simulera duplikata avloppssystem. Modellen bör även verifieras för fler områden och typer av system.

Med kompletteringar av modellen enligt ovan och ytterligare utveckling bör framtida SEWSYS vara ett ypperligt verktyg att använda vid systemanalys av VA-system. Förhoppningen är att det framtida utvecklingsarbetet av modellen ska underlättas genom att det finns möjlighet att ladda ner en version av modellen via Internet. Detta kommer förhoppningsvis att skapa mer dynamik i modellen, inte enbart vad gäller nya förbättrade processer, utan även i själva utvecklingsarbetet.

8 Referenser

- Dalemo M. (1996). *The modelling of an anaerobic digestion plant and a sewage plant in the ORWARE simulation model*. Rapport 213. Institutionen för lantbruksteknik. Sveriges Lantbruksuniversitet. Uppsala.
- Engvall C. (1991). *Simulation of Material Flow in Stormwater*. Examensarbete. Avdelning för Systemteknik. Uppsala Universitet. Uppsala.
- Forsberg B., Forslund A., Grundström K-E, Kling R., Lund R., Olsson H., Persson C-G. (1994). *Avloppssystem*. Liber Utbildning. Stockholm.
- Gustafsson L-G. (1995). *Utveckling och tillämpning av en konceptuell avrinningsmodell för urban hydrologi*. Rapport serie A:25. Institutionen för vattenbyggnad. Chalmers tekniska högskola. Göteborg.
- Häggström S. (1992). *Hydraulik för V-teknologer*. Undervisningsskrift nr 1988:8. Institutionen för vattenbyggnad. Chalmers tekniska högskola. Göteborg.
- Institutionen för vattenförsörjnings- och avloppsteknik. (1995). *Kompendium i VA-ledningsteknik*. Chalmers tekniska högskola. Göteborg.
- Kärrman E. et al. (1999). *Miljösystemanalys av hushållens avlopp och organiska avfall - syntes av hanteringssystem undersökta inom FoU-programmet "Organisk avfall som växtnäringsresurs"*. VA-Forsk Rapport 1999-15. VAV AB. Stockholm.
- Ljung L., Glad T. (1991). *Modellbygge och simulering*. Studentlitteratur. Lund.
- Marks kommun, Gatukontoret. (1999). *Miljörapport 1998, Skene avloppsverk*. Kinna.
- Naturvårdsverket. (1995). *Vad innehåller avlopp från hushåll?*. Stockholm.
- SINTEF Bygg og miljøteknikk. (1997). *Integrert modell for Høvringen avløpsdistrikt - Fase I*. Rapportnr STF 22 A 97318 Trondheim. Norge.
- Svensson G. (1987). *Modelling of Solids and Metal Transport from Small Urban Watersheds*. Institutionen för vattenförsörjnings- och avloppsteknik. Chalmers tekniska högskola. Göteborg.
- The MathWorks Inc. (1999). *Simulink User's Guide*.
- URBAN Water. (1999). *URBAN Water Information*. Nr 1 1999. Chalmers tekniska högskola. Göteborg.
- VAV P38. (1999). *Allmänna vattenledningsnät. Anvisningar för utformning och beräkning*. Remissutgåva.

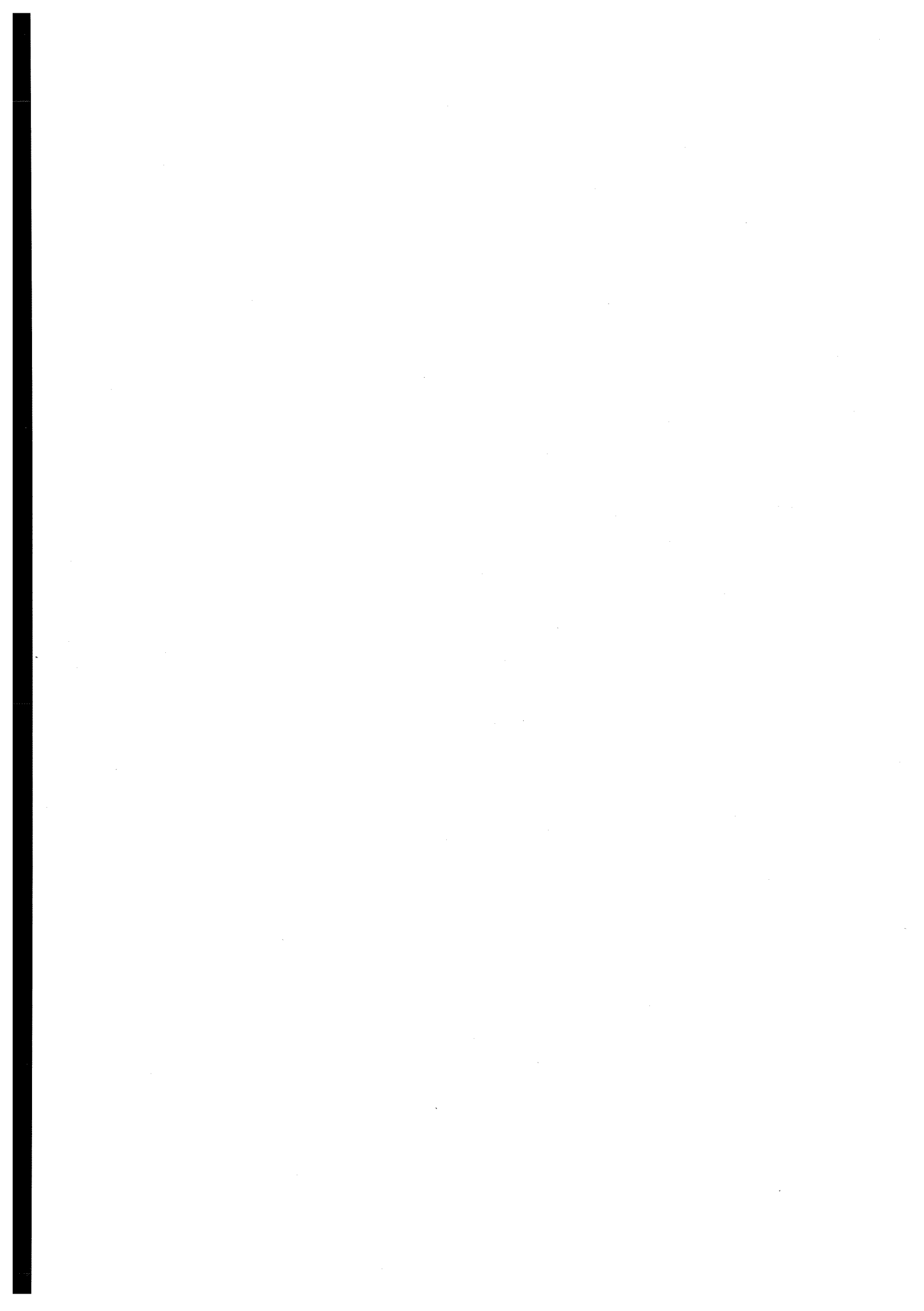
Internet:

Institut für Automation und Kommunikation e.V. Magdeburg,
<http://www.ifak.fhg.de> (acc. 990915)

Danish Hydraulic Institute,
<http://www.dhi.dk/index.htm> (acc. 991002)

9 Bilageförteckning

1. Nyckeltal för karakterisering av hushållspillvatten	2 sid
2. MATLAB-fil sewsys.m	1
3. MATLAB-fil prep.m	1
4. MATLAB-fil time_var.m	2
5. MATLAB-fil randh.m	1
6. MATLAB-fil raininfo.m	1
7. MATLAB-fil rain1_1d_3600s.m	1
8. MATLAB-fil areas.m	1
9. MATLAB-fil constants.m	3
10. MATLAB-fil pollutants.m	4
11. MATLAB-fil sewageplant.m	2
12. MATLAB-fil results.m	6
13. Exempel på modellkörning	9
14. Verifiering för Järnbrott - regn 980609	1
15. Verifiering för Järnbrott - regn 980622	1
16. Verifiering för parkeringsyta	1



Nyckeltal för karakterisering av hushållsspillvatten

Numrering enligt plats i SEWSYS-vektorn.

1. H ₂ O		Källa	
BDT	150	l/pd	
Toalett	50	l/pd	

2. P-tot		Källa	
BDT	0,3	g/pd	Naturvårdsverket 1995
Urin	1	g/pd	Naturvårdsverket 1995
Fekalier	0,5	g/pd	Naturvårdsverket 1995

3. N-tot		Källa	
BDT	1	g/pd	Naturvårdsverket 1995
Urin	11	g/pd	Naturvårdsverket 1995
Fekalier	1,5	g/pd	Naturvårdsverket 1995

4. NH ₃ /NH ₄		Källa	
BDT	27	g/pår	Naturvårdsverket 1995
Urin	11	g/pd	ORWARE
Fekalier	31	g/pår	ORWARE

5. NO ₃		Källa	
BDT	3	g/pår	ORWARE
Urin	0		
Fekalier	0		

7. SS		Källa	
BDT	16	g/pd	Naturvårdsverket 1995
Urin	0		
Fekalier	16	kg/pår	ORWARE

8. BOD		Källa	
BDT	28	g/pd	Naturvårdsverket 1995
Urin	3	g/pd	ORWARE
Fekalier	17	g/pd	Naturvårdsverket 1995

9. COD		Källa	
BDT	52	g/pd	Naturvårdsverket 1995
Urin	3,5	g/pd	ORWARE
Fekalier	43	g/pd	ORWARE

10. C-tot		Källa	
BDT	9,6	kg/pår	ORWARE
Urin	0,8	kg/pår	ORWARE
Fekalier	8,5	kg/pår	ORWARE

12. Cu		Källa	
BDT	6	mg/pd	Naturvårdsverket 1995
Urin	0,1	mg/pd	Naturvårdsverket 1995
Fekalier	1,1	mg/pd	Naturvårdsverket 1995

13. Zn		Källa	
BDT	50	mg/pd	Naturvårdsverket 1995
Urin	45	µg/pd	Naturvårdsverket 1995
Fekalier	10,8	mg/pd	Naturvårdsverket 1995

14. Pb		Källa	
BDT	3	mg/pd	Naturvårdsverket 1995
Urin	2	µg/pd	Naturvårdsverket 1995
Fekalier	20	µg/pd	Naturvårdsverket 1995

15. Cd		Källa	
BDT	0,6	mg/pd	Naturvårdsverket 1995
Urin	1	µg/pd	Naturvårdsverket 1995
Fekalier	10	µg/pd	Naturvårdsverket 1995

16. Hg		Källa	
BDT	60	µg/pd	Naturvårdsverket 1995
Urin	3	µg/pd	Naturvårdsverket 1995
Fekalier	63	µg/pd	Naturvårdsverket 1995

17. Cr		Källa	
BDT	5	mg/pd	Naturvårdsverket 1995
Urin	10	µg/pd	Naturvårdsverket 1995
Fekalier	20	µg/pd	Naturvårdsverket 1995


```
%Startfile for SEWSYS  
%file sewsys.m  
%Stefan Ahlman  
%2000-01-17
```

```
clear all  
close all
```

```
rain1_1d_3600s %load default rain  
sani=1;        %start value choice parameter  
stormw=1;     %start value choice parameter  
CSO_choice=1; %start value choice parameter  
other_rain=0; %start value choice parameter  
K=0;          %start value Reservoir parameter  
in_K=0;       %start value  
cal_rain=0;   %start value  
cal=0;        %start value  
sewsys_fig    %bring up SEWSYS Main Window
```

```

%File prep.m
%Preparation file, runs when "Simulate" button is pushed
%Stefan Ahlman
%2000-02-23

%-----
%-----
%MAJOR CONSTANTS
numberOfPersons=in_numberOfPersons;
g=9.81; %gravity constant

if in_days==0
    T=[0:in_T-1]';
else
    T=[0:in_days*86400/in_sec_per_ts-1]';
end
sec_per_ts=in_sec_per_ts;
sph=3600/sec_per_ts; %samples per hour
%-----
%-----

%load time variation of sewer
time_var

%process rain data
raininfo

%load area-specific constants
areas

%load pollution constants
constants

%load runoff constants
runoff

%load pollution vectors
pollutants

%load CSO input
CSO_limit=in_CSO_limit;

%load sewageplant inputs
sewageplant

%-----
%-----

Q=size(T,1)-1; %number of timestep to run, for use in the Simulink
model

```

```
%File time_var.m
%Daily Sewage variataion values, loaded from file prep.m
%Stefan Ahlman
%2000-02-23
```

```
if sani==1 % U is used to load time-series [T,U]
```

```
U=[% VA-kompendie
    0.45 %1.0 för att jämföra statisk modell
    0.4
    0.43
    0.55
    0.7
    0.9
    1.15
    1.3
    1.4
    1.5
    1.55
    1.59
    1.55
    1.5
    1.4
    1.3
    1.2
    1.05
    0.93
    0.8
    0.7
    0.6
    0.55
    0.5
```

```
];
```

```
U_alt=[% VAV P38
```

```
    0.65
    0.43
    0.32
    0.29
    0.29
    0.32
    0.58
    1.77
    1.83
    1.6
    1.1
    0.93
    0.87
    0.84
    0.81
    0.82
    0.91
    1.1
    1.31
    1.5
    1.56
    1.58
    1.48
```

```
1.12
];

U=[U(1)*randh(sph) %randh-function gives random variation for one
hour
    U(2)*randh(sph) %sph is the samples per hour (from prep.m)
    U(3)*randh(sph)
    U(4)*randh(sph)
    U(5)*randh(sph)
    U(6)*randh(sph)
    U(7)*randh(sph)
    U(8)*randh(sph)
    U(9)*randh(sph)
    U(10)*randh(sph)
    U(11)*randh(sph)
    U(12)*randh(sph)
    U(13)*randh(sph)
    U(14)*randh(sph)
    U(15)*randh(sph)
    U(16)*randh(sph)
    U(17)*randh(sph)
    U(18)*randh(sph)
    U(19)*randh(sph)
    U(20)*randh(sph)
    U(21)*randh(sph)
    U(22)*randh(sph)
    U(23)*randh(sph)
    U(24)*randh(sph)
];

if in_days==1
    U1=U;
else
    U1=U;
    for I = 1:in_days-1,
        U1=[U1;U];
    end
end
else
    U1=zeros(size(T));
end
```

```
%File randh.m
%This function produces random numbers for sanitary runoff variation
within the hour
%for use in file: time_var.m
%Stefan Ahlman
%2000-02-23

function [B] = randh(x)

a=1.2; %upper limit
b=0.7; %lower limit
s=1;

if x~=1
    while s >=0.01
        A=rand(x,1);
        B=[A*(a-b)+b];
        medel=mean(B);
        s=abs(1-medel);
    end
elseif x==1
    B=1;
    s=0;
end
```

Bilaga 6 [1/1]

```
%File raininfo.m
%PARAMETERS FOR RAIN DATA
%this file is a modified version from Engvall's model
%loaded from file: prep.m
%Stefan Ahlman
%2000-02-23

%Rain/yr in area:(mm)
yearly_rain=in_yearly_rain;

%rain data given in um/s, models mm/timestep
U2=rain/1000*sec_per_ts;
```

```
%File rain1_1d_3600s.m  
%Example for a rain file  
%Rain intensities in um/s
```

```
rain =[  
    0.6851  
    1.1296  
    0.2037  
    0.5740  
    1.7592  
    4.6296  
    8.2036  
    2.9444  
    3.1111  
    2.8703  
    0.2407  
    0.3333  
    0.0741  
        0  
        0  
        0  
        0  
        0  
        0  
    1.7037  
    1.9074  
    1.9259  
    0.4259  
    0.9629];
```

```
%File areas.m
%Definition of catchment for Simulink stormwater modelling
%this file is a modified version from Engvall's model
%loaded from file: prep.m
%Stefan Ahlman
%2000-02-23

%All areas in square metres

%-----%-----%

%TOTAL AREA

%total impervious area:
tota=in_tota;

%-----%

%ROADS

%area of roads
roada=in_roads;

%area of zinc covered surfaces by roads
roadZna=in_part_roadZna/100*roada;

%number of vehicles per day*
%number of kilometres travelled per vehicle in area:
fkmday=in_fkmday;

%number of heavy vehicles/all vehicles:
nhv=in_nhv/100;

%-----%

%ROOFS

% total roof area
roofa=in_roofs;

%area of zink roofs: Zink on buildings, painted zink surfaces,
RoofZna=in_part_roofZna/100*roofa;

%area of copper roofs:
RoofCua=in_part_roofCua/100*roofa;

%-----%

%impervious areas that are not covered in other processes.
othera=in_otherarea;

%-----%-----%

%initial loss [mm]
%init=0.5; org value
init=0.6;

%Reduction factor
redu=0.8;
```



```
%File constants.m
%Constants regarding pollutant loads for Simulink stormwater modelling
%this file is a modified version from Engvall's model
%loaded from file: prep.m
%Stefan Ahlman
%2000-02-23
```

```
%-----%
```

```
%ROADS
```

```
%levels of pollutants in tyres (ppm) (Hammarby Sjöstad pp.24&29) (Cd:
Lohm et al s.45)
tyrep(11)=250;
tyrep(12)=15000;
tyrep(14)=5;
tyrep(16)=0;
```

```
%tyre material from vehicles in Sweden (tons/year)
tyrewear=9000;
```

```
%levels of pollutants in road material (ppm) (Hammarby Sjöstad)
roadp(11)=28;
roadp(12)=63;
roadp(13)=18;
roadp(14)=0.16;
roadp(16)=0;
```

```
%road material lost in Sweden (tons/year)
roadwear=365000;
```

```
%phosphorous in exhaust that is particulate and falls to the ground
%ug per kilometer travelled
exhp(1)=600;
exhp(16)=0;
```

```
%pollution from brake wear , ug per kilometer travelled (Koppar i
%   samhälle och miljö p.99)
brakep(11)=1500;
brakep(12)=650;
brakep(16)=0;
```

```
%other constants
roadkm=67e9;
andt=0.1;
andpt=1/3;
```

```
%share of pollutants from roads that enters the stormwater system
fast=0.7;
```

```
%initial level of accumulated pollutants
%Should be changed if any of the above are changed
%Should be lowered if it is less than 4 days since the last rain
```

```

%input to /road surfaces/accumulation...*sph*24*4 (O&M p. 306)
roadaccmax(1)=3.2e8;
roadaccmax(2)=7.0e8;
roadaccmax(11)=4.8e8;
roadaccmax(12)=3.1e9;
roadaccmax(13)=1.2e8;
roadaccmax(14)=2.1e6;
roadaccmax(16)=0;

%-----%

%DEPOSITION (ug/m2*year) (metaller.txt)

%Total deposition:
%   Cd 150
%   Zn 15000
%   Cu 4000
%   Pb 10000
%   P 7500 Areskoug %Only wet dep for now
%       N 0.5-2.9 g/m2*yr PAM s. 282, väljer 1 g/m2*yr, Areskoug

%Wet deposition:
wetdep(1)=7500;
wetdep(2)=1000000;
wetdep(11)=1500;
wetdep(12)=8000;
wetdep(13)=1500;
wetdep(14)=50;
wetdep(16)=0;

%Dry deposition
drydep(1)=8000; %birds' droppings
drydep(2)=66667; %-----"-----
drydep(11)=2500;
drydep(12)=7000;
drydep(13)=8500;
drydep(14)=100;
drydep(16)=0;

%maximum level=level at start of simulation=4*daily deposition (ug)
drydepmax=4*drydep/365;

%-----%

%CORROSION

%Zink surfaces: (g/m2*yr) (Hammarby Sjöstad) (osäkra värden, se Sörme
s. 45)
Znroofp(12)=4;
Znroofp(13)=5*300e-6;
Znroofp(14)=9*10e-6; %(10-500)
Znroofp(16)=0;

%maximum level=level at start of simulation=4*daily deposition (ug)
Znroofmax=4e6*Znroofp/365;

```

%Copper surfaces:

Curoofp(11)=2.6;

Curoofp(16)=0;

%maximum level=level at start of simulation=4*daily deposition (ug)

Curoofmax=4e6*Curoofp/365;

%share of corroded material that runs off with rainfall

roadrunpart=1;

roofrunpart=0.5;

%-----%

%ROOFS

%Maximum level= level at start of simulation

roofmax=(Znroofmax*RoofZna+Curoofmax*RoofCua)*roofrunpart+drydepmax*roofa;

%-----%

%OTHER AREAS

othermax=drydepmax*othera;

%-----%

%ACCUMULATION AND WASHOFF

global ka kw;

%Accumulation constant: A higher value gives faster accumulation

ka=0.001;

% kw is the washoff constant, a higher value gives quicker washoff

kw=0.18; %0.18 is valid for time unit =5 min, *3 when 15 min

Bilaga 10 [1/4]

```
%File pollutants.m
%This file defines the different substances from household sanitary
wastewater
%Stefan Ahlman
%1999-12-17
%Prefix (in_) means value taken from SEWSYS Main window (loaded in
file: inputs.m)

totnr=17;
nr_ex_H2O=totnr-1;

%H2O
BDTCapita=0.15/24/3600; %[m3/ps] 150 l/pd
ToiletsCapita=0.05/24/3600; %[m3/ps] 50 l/pd
HouseholdWater=numberOfPersons*(BDTCapita+ToiletsCapita);
DrainageWater=in_DrainageWaterFactor*HouseholdWater;
IndustryWater=in_IndustryWater/24/3600; %[m3/s]

%P-tot
P_totBDTCapita=0.3/24/3600; %[g/ps] 0.3 g/pd, Naturvårdsverket 1995
modified 1998
P_totUrineCapita=1.0/24/3600; %[g/ps] 1.0 g/pd Naturvårdsverket 1995
P_totFaecesCapita=0.5/24/3600; %[g/ps] 0.5 g/pd Naturvårdsverket 1995
P_totIndustry=in_P_totIndustry*1000/24/3600; %[g/s]

%N
N_totBDTCapita=1.0/24/3600; %[g/ps] 1.0 g/pd, Naturvårdsverket 1995
N_totUrineCapita=11/24/3600; %[g/ps] 11 g/pd Naturvårdsverket 1995
N_totFaecesCapita=1.5/24/3600; %[g/ps] 1,5 g/pd Naturvårdsverket 1995
N_totIndustry=in_N_totIndustry*1000/24/3600; %[g/s]

N_NH3_NH4_BDTCapita=27/365/24/3600; %[[g/ps] 27 g/year?? g/pd,
Naturvårdsverket 1995
N_NH3_NH4_UrineCapita=11/24/3600*0.985; %[g/ps] 11 g/d 5%??? is assumed
in the fresh urine
N_NH3_NH4_FaecesCapita=310/365/24/3600; %[g/ps] 31 g/year
N_NH3_NH4_Industry=in_N_NH3_NH4_Industry*1000/24/3600;

N_NO3_BDTCapita=3/365/24/3600; %[g/ps] 3g/year??
N_NO3_UrineCapita=0;
N_NO3_FaecesCapita=0;
N_NO3_Industry=in_N_NO3_Industry*1000/24/3600;

%N2O
%This substance is only produced in the nitrogen treatment process in
the WWTP

%SS
SSBDTCapita=16/24/3600; %[g/ps] 16 g/pd Naturvårdsverket 1995
SSUrineCapita=0;
SSFaecesCapita=(3.6+12.5)*1000/365/24/3600; % [g/ps] 3.6 kg/pyear paper
(Svensson 1993), 12.5 kg/pyear faeces (Documenta Geigy 1970)
SSIndustry=in_SSIndustry*1000/24/3600;

%BOD
BODBDTCapita=28/24/3600; % [g/ps] 28 g/pd Naturvårdsverket 1995
BODUrineCapita=3/24/3600; % [g/ps] 2.68 g/pd ORWARE Understenshöjden
```

Bilaga 10 [2/4]

BODFaecesCapita=17/24/3600; % [g/ps] 20 g/pd (Total toilets)
Naturvårdsverket 1995
BODIndustry=in_BODIndustry*1000/24/3600; %[g/s]

%COD

COBBDTCapita=52/24/3600; % [g/ps] 52 g/pd Naturvårdsverket 1995
CODUrineCapita=3.5/24/3600; % [g/ps] 3,5 g/pd ORWARE Understenshöjden
CODFaecesCapita=17*2.51/24/3600; % [g/ps] COD/BOD-ratio=2.51
CODIndustry=in_CODIndustry*1000/24/3600; %[g/s]

%C-tot

C_totBDTCapita=9.59*1000/365/24/3600; %[g/ps] 9.59 kg/py, ORWARE
C_totUrineCapita=0.8075*1000/365/24/3600; %[g/ps] 0.8075 kg/py
Calculated from ORWARE,
C_totFaecesCapita=(1.5+6.94)*1000/365/24/3600; %[g/ps] 1.5 kg/py(paper)
6.94 kg/py(faeces) Svensson 1993
C_totIndustry=in_C_totIndustry*1000/24/3600; %[g/s]

%Cu

CuBDTCapita=0.006/24/3600; %[g/ps] 0.006 g/pd Naturvårdsverket 1995
CuUrineCapita=0.1*10⁻³/24/3600; %[g/ps] 0.1*10⁻³ g/pd
Naturvårdsverket 1995
CuFaecesCapita=1.1*10⁻³/24/3600; %[g/ps] 1.1*10⁻³ g/pd
Naturvårdsverket 1995
CuIndustry=in_CuIndustry*1000/24/3600; %[g/s]

%Zn

ZnBDTCapita=0.05/24/3600; %[g/ps] 0.05 g/pd Naturvårdsverket 1995
ZnUrineCapita=45*10⁻⁶/24/3600; %[g/ps] 45*10⁻⁶ g/pd Naturvårdsverket
1995
ZnFaecesCapita=10.8*10⁻³/24/3600; %[g/ps] 10.8*10⁻³ g/pd
Naturvårdsverket 1995
ZnIndustry=in_ZnIndustry*1000/24/3600; %[g/s]

%Pb

PbBDTCapita=0.003/24/3600; %[g/ps] 0.003 g/pd Naturvårdsverket 1995
PbUrineCapita=2*10⁻⁶/24/3600; %[g/ps] 2*10⁻⁶ g/pd Naturvårdsverket
1995
PbFaecesCapita=20*10⁻⁶/24/3600; %[g/ps] 20*10⁻⁶ g/pd Naturvårdsverket
1995
PbIndustry=in_PbIndustry*1000/24/3600; %[g/s]

%Cd

CdBDTCapita=0.0002/24/3600; %[g/ps] 0.0006 g/pd Naturvårdsverket 1995
CdUrineCapita=1*10⁻⁶/24/3600; %[g/ps] 1*10⁻⁶ g/pd Naturvårdsverket
1995
CdFaecesCapita=10*10⁻⁶/24/3600; %[g/ps] 10*10⁻⁶ g/pd Naturvårdsverket
1995
CdIndustry=in_CdIndustry*1000/24/3600; %[g/s]

%Hg

HgBDTCapita=0.00002/24/3600; %[g/ps] 0.00006 g/pd Naturvårdsverket 1995
HgUrineCapita=3*10⁻⁶/24/3600; %[g/ps] 3*10⁻⁶ g/pd Naturvårdsverket
1995
HgFaecesCapita=23*10⁻⁶/24/3600; %[g/ps] 63*10⁻⁶ g/pd Naturvårdsverket
1995
HgIndustry=in_HgIndustry*1000/24/3600; %[g/s]

%Cr

CrBDTCapita=0.004/24/3600; %[g/pm3] 0.005 g/pd Naturvårdsverket 1995

CrUrineCapita=10*10⁻⁶/24/3600; %[g/ps] 10*10⁻⁶ g/pd Naturvårdsverket 1995CrFaecesCapita=20*10⁻⁶/24/3600; %[g/ps] 20*10⁻⁶ g/pd Naturvårdsverket 1995

CrIndustry=in_CrIndustry*1000/24/3600; %[g/s]

%-----

%SOURCES

BDT=[

BDTCapita	%1 H2O [m3/ps]
P_totBDTCapita	%2 P-tot [g/pm3]
N_totBDTCapita	%3 N-tot [g/pm3]
N_NH3_NH4_BDTCapita	%4 NH3/NH4-N [g/pm3]
N_NO3_BDTCapita	%5 NO3-N [g/pm3]
0	%6 N2O-N [g/pm3]
SSBDTCapita	%7 SS [g/pm3]
BODBDTCapita	%8 BOD [g/pm3]
CODBDTCapita	%9 COD [g/pm3]
C_totBDTCapita	%10 C-tot [g/pm3]
0	%11 Phase index
CuBDTCapita	%12 Cu [g/pm3]
ZnBDTCapita	%13 Zn [g/pm3]
PbBDTCapita	%14 Pb [g/pm3]
CdBDTCapita	%15 Cd [g/pm3]
HgBDTCapita	%16 Hg [g/pm3]
CrBDTCapita	%17 Cr [g/pm3]

];

Urine=[

ToiletsCapita/2	%H2O
P_totUrineCapita	%P-tot
N_totUrineCapita	%N-tot
N_NH3_NH4_UrineCapita	%NH3/NH4-N
N_NO3_UrineCapita	%NO3-N
0	%N2O-N
SSUrineCapita	%SS
BODUrineCapita	%BOD
CODUrineCapita	%COD
C_totUrineCapita	%C-tot
0	%Phase index
CuUrineCapita	%Cu
ZnUrineCapita	%Zn
PbUrineCapita	%Pb
CdUrineCapita	%Cd
HgUrineCapita	%Hg
CrUrineCapita	%Cr

];

Faeces=[

ToiletsCapita/2	%H2O
P_totFaecesCapita	%P-tot

```

N_totFaecesCapita %N-tot
N_NH3_NH4_FaecesCapita %NH3/NH4-N
N_NO3_FaecesCapita %NO3-N
0 %N2O-N
SSFaecesCapita %SS
BODFaecesCapita %BOD
CODFaecesCapita %COD
C_totFaecesCapita %C-tot
0 % Phase index
CuFaecesCapita %Cu
ZnFaecesCapita %Zn
PbFaecesCapita %Pb
CdFaecesCapita %Cd
HgFaecesCapita %Hg
CrFaecesCapita %Cr
]';

```

```

Industry=[
  IndustryWater %H2O
  P_totIndustry %P-tot
  N_totIndustry %N-tot
  N_NH3_NH4_Industry %NH3/NH4-N
  N_NO3_Industry %NO3-N
  0 %N2O-N
  SSIndustry %SS
  BODIndustry %BOD
  CODIndustry %COD
  C_totIndustry %C-tot
  0 %Phase index
  CuIndustry %Cu
  ZnIndustry %Zn
  PbIndustry %Pb
  CdIndustry %Cd
  HgIndustry %Hg
  CrIndustry %Cr
]';

```

```

Drainage=[
  DrainageWater %H2O
  0 %P-tot
  0 %N-tot
  0 %NH3/NH4-N
  0 %NO3-N
  0 %N2O-N
  0 %SS
  0 %BOD
  0 %COD
  0 %C-tot
  0 %Phase index
  0 %Cu
  0 %Zn
  0 %Pb
  0 %Cd
  0 %Hg
  0 %Cr
]';

```

Bilaga 11 [1/2]

```
%File sewageplant.m
%load sewageplant input
%this file is loaded from prep.m
%Stefan Ahlman
%2000-02-23

%SEWAGE PLANT

%Factor transforming SS to Water (the reduction stages)
SStoWater=1E6; %(E6 m3/s - g/s)
KgperDay_GperSecond=1000/3600/24; %( factor transforming kg/d - g/s)

Separation=[1,1,4,1,1,1,1,1,6];
NewVSofSS=[10,1,6];

spVSofSS=0.7;
BODofVS=0.4;
spDenSS=0.25; % part of oxidated VS in SS
spPout=0.17; %g/m3 P in outflow
spPout1 = 0.71; %

spHjust=1; %adjustment factor for heavy metals
%Heavy metals separation in pre-sed, bio and chem stages from ORWARE
(Rennerfelt 1992)
spHeavym=[0.41 0.525 0.679 ;% Cu
          0.54 0.152 0.359 ;% Zn
          0.4 0.4 0.5 ;% Pb
          0.44 0.263 0.111 ;% Cd
          0.44 0.263 0.111 ;% Hg
          0.43 0.509 0.429 ;% Cr
          ];

%Pretreatment
SSred_screen=0.017; %Uppsala
ProcSS_screen=0.185*0.85; %Uppsala, 0.185
VSofSS_screen=0.60; %From measurements of VS in Screensludge, Uppsala
1993

SSred_sand=0.0032; %Uppsala
ProcSS_sand=0.42*0.70; %Uppsala
VSofSS_sand=0.26;

%Presedimentation
SSred_presed=0.75;
ProcSS_presed=0.025;

%Biological treatment

spCODBOD=2.51; % Ratio between COD and BOD (=2.51 in Rennerfelt 1991)
BOD=0; %In a function: NH3 emissions from aeration to nitrificatio and
degration of BOD.

spNpur=1; % ??
spN2ONpurEmitted=0.0003;
spN2OEmitted=0.0005;
```


spNemitted=0.677; %Part of N-tot to biostage, which will be emitted as N2

spNitrif=1.07; %part of NH4 nitrified to NH3

spBioired=0.95; %reduction of Bioass and Biograd due to postsedimentation

spBiooxidBod=0.5;% Part of BOD7 assimilated to organic substance ORWARE

SSred_bio=0.65; % Part of dry substance separated in biological sedimentation

ProcSS_bio=0.01; %Dry matter in the sludge

%N-purification

spCcontent=0.5424; % estimated C-content in VS from adCcontent and Rennerfelt (1991)

spOcontent=0.3575; % Estimated O-content in VS from adOcontent and organic compounds Rennerfelt (1991)

%Chemical treatment

spPBound=0.97*0.5; %Total purification of phosphorus reduction due to earlier sedimentation

SSred_chem=0.75; %Part of dry substance separated in chemical sedimentation

ProcSS_chem=0.007; %Dry matter in the sludge

%PIX Chemical

spChemicalPart=[;% Columns mg/g

1000	;% H2O		
0	;% P-tot		
0	;% Tot-N		
0	;% NH3/NH4-N		
0	;% NO3-N		
0	;% N2O-N		
0	;% SS		
0	;% BOD		
0	;% COD		
0	;% C-tot		
0.002	;% Phase index		
0.0024	;% Cu	-	" -
0.018	;% Zn	-	" -
0.0007	;% Pb		Environment report (1992)
0.0001	;% Cd	-	" -
0.0000004	;% Hg	-	" -
0.0089	;% Cr	-	" -
];			

spChemFe=0.171; %concentration of Fe in precipitationchemical PIX

```

%File results.m
%Result file for SEWSYS
%This file runs when the user pushes the button Results in SEWSYS' Main
window
%Stefan Ahlman
%2000-02-23

trans=sec_per_ts/1000; %g-kg and s-seconds per timestep
trans1=0.000001; %ug-g
trans2=0.001; %g-kg
w_size=[ 0 30 1024 670 ]; %to define window size

pP=trans*[sum(inSewageplant(:,2))
sum(outLandfill(:,2))
sum(outSludge(:,2))
sum(outRecipient(:,2))
];

pN=[sum(inSewageplant(:,3)) sum(outLandfill(:,3)) sum(outSludge(:,3))
sum(outRecipient(:,3)) sum(outAir(:,3))
]*trans;

pZn=[sum(inSewageplant(:,13))
sum(outLandfill(:,13))
sum(outSludge(:,13))
sum(outRecipient(:,13))
]*trans';

figure
set(gcf,'position',w_size)
SUBPLOT(2,2,1)
plot(T,inSewageplant(:,1))
title('Inflow - WWTP', 'fontsize', 14)
ylabel('m^3/s', 'fontsize', 12)
XLABEL('Timestep', 'fontsize', 12)
XLIM([0 size(T,1)-1])

SUBPLOT(2,2,2)
bar(pP,'g')
title('Tot-P', 'fontsize', 14)
ylabel('Tot kg', 'fontsize', 12)
AX=legend('1-In WWTP','2-Landfill','3-Slugde','4-Recipient');

SUBPLOT(2,2,3)
bar(pN,'r')
TITLE('Tot-N', 'fontsize', 14)
ylabel('Tot kg', 'fontsize', 12)
AX=legend('1-In WWTP','2-Landfill','3-Slugde','4-Recipient', '5-Air');

SUBPLOT(2,2,4)
bar(pZn,'y')
TITLE('Zn', 'fontsize', 14)
ylabel('Tot kg', 'fontsize', 12)
AX=legend('1-In WWTP','2-Landfill','3-Slugde','4-Recipient');

set(gcf,'numbertitle','off')
set(gcf,'name','Massbalance over WWTP')

```

```

%-----
figure
set(gcf,'position',w_size)

SUBPLOT(2,1,1)
plot(T,sewer(:,1))
set(gca,'nextplot','add')
plot(T,mean(sewer(:,1))*ones(size(T)),'r')
title('Sanitary Wastewater', 'fontsize', 14)
ylabel('m^3/s', 'fontsize', 12)
XLABEL('Timestep')
XLIM([0 size(T,1)-1])

SUBPLOT(2,1,2)
plot(T,storm(:,1))
title('Storm Water', 'fontsize', 14)
ylabel('m^3/s', 'fontsize', 12)
XLABEL('Timestep')
XLIM([0 size(T,1)-1])

set(gcf,'numbertitle','off')
set(gcf,'name','Hydrographs')

%-----
Cu_stack=[sum(sewer(:,12)) sum(storm(:,12))
]*trans;

Zn_stack=[sum(sewer(:,13)) sum(storm(:,13))
]*trans;

Pb_stack=[sum(sewer(:,14)) sum(storm(:,14))
]*trans;

Cd_stack=[sum(sewer(:,15)) sum(storm(:,15))
]*trans;

Hg_stack=[sum(sewer(:,16)) sum(storm(:,16))
]*trans;

Cr_stack=[sum(sewer(:,17)) sum(storm(:,17))
]*trans;

hm_stack=[Cu_stack;Zn_stack;Pb_stack;Cd_stack;Hg_stack;Cr_stack];

figure
set(gcf,'position',w_size)

bar(hm_stack,'stack')
colormap([1 0 0;0 1 0])
title('Heavy metals', 'fontsize', 14)
ylabel('Tot kg', 'fontsize', 12)
xlabel('1-Cu, 2-Zn, 3-Pb, 4-Cd, 5-Hg, 6-Cr','FontSize',12)
AX=legend('Sanitary Wastewater','Storm Water');

```

```

set(gcf,'numbertitle','off')
set(gcf,'name','Heavy metals')

%-----

%CSO
P_stack=[sum(inSewageplant(:,2)) sum(outCSO(:,2))
]*trans;

N_stack=[sum(inSewageplant(:,3)) sum(outCSO(:,3))
]*trans;

Cu_stack=[sum(inSewageplant(:,12)) sum(outCSO(:,12))
]*trans;

Zn_stack=[sum(inSewageplant(:,13)) sum(outCSO(:,13))
]*trans;

CSO_stack1=[P_stack;N_stack];
CSO_stack2=[Cu_stack;Zn_stack];

figure
set(gcf,'position',w_size)

bar(CSO_stack1,'stack')
colormap([1 0 0;0 1 0])
title('Combined Sewer Overflow (1)', 'fontsize', 14)
ylabel('Tot kg', 'fontsize', 12)
xlabel('1-P, 2-N', 'FontSize',12)
AX=legend('to WWTP','to recipient');

set(gcf,'numbertitle','off')
set(gcf,'name','Combined Sewer Overflow (1)')

figure
set(gcf,'position',w_size)

bar(CSO_stack2,'stack')
colormap([1 0 0;0 1 0])
title('Combined Sewer Overflow (2)', 'fontsize', 14)
ylabel('Tot kg', 'fontsize', 12)
xlabel('1-Cu, 2-Zn', 'FontSize',12)
AX=legend('to WWTP','to recipient');

set(gcf,'numbertitle','off')
set(gcf,'name','Combined Sewer Overflow (1)')

%-----
%Sources for Copper

cu_sewer=[sum(sewer(:,12))]*trans;
if cu_sewer==0
    cu_urine=0;
    cu_faeces=0;
    cu_bdt=0;
    cu_industry=0;
    cu_sewer_bar=[cu_sewer,cu_urine,cu_faeces,cu_bdt,cu_industry];

```

```

else
    cu_urine=s_urine(1,12)*numberOfPersons*in_T*trans;
    cu_faeces=s_faeces(1,12)*numberOfPersons*in_T*trans;
    cu_bdt=s_bdt(1,12)*numberOfPersons*in_T*trans;
    cu_industry=s_industry(1,12)*in_T*trans;
    cu_sewer_sum=cu_urine+cu_faeces+cu_bdt+cu_industry;
    cu_sewer_bar=[cu_sewer,cu_urine,cu_faeces,cu_bdt,cu_industry];
end

cu_storm=[sum(storm(:,12))]*trans;
cu_wetdep=[sum(s_wetdep(:,12))]*tota*trans1*trans2;
cu_road=[sum(s_road(:,11))]*trans1*trans2;
cu_roof=[sum(s_roof(:,11))]*trans1*trans2;
%cu_roof_dp=[sum(s_roof_drydep(:,11))]*trans1*trans2;
%cu_roof_cu=[sum(s_roof_cucorr(:,11))]*trans1*trans2;
cu_other=[sum(s_other(:,11))]*trans1*trans2;
cu_storm_sum=cu_wetdep+cu_road+cu_roof+cu_other;
cu_storm_bar=[cu_storm,cu_wetdep,cu_road,cu_roof, cu_other];

figure
set(gcf,'position',w_size)

SUBPLOT(2,2,1)
Cu=[cu_sewer, cu_storm];
bar(Cu)
title('Sources for Copper', 'fontsize', 14)
ylabel('Tot kg', 'fontsize', 12)
xlabel('1-Sanitary Waste Water, 2-Storm Water', 'fontsize',12)

SUBPLOT(2,2,2)
bar(cu_sewer_bar, 'g')
title('Sanitary Waste Water - Sources for Copper', 'fontsize', 14)
ylabel('Tot kg', 'fontsize', 12)
xlabel('1-Sum , 2-Urine, 3-Faeces, 4-Greywater, 5-
Industry', 'FontSize',12)

SUBPLOT(2,2,4)
bar(cu_storm_bar, 'r')
title('Storm Water - Sources for Copper', 'fontsize', 14)
ylabel('Tot kg', 'fontsize', 12)
xlabel('1-Sum , 2-Wet dep, 3-Roads, 4-Roofs, 5-Other
areas', 'FontSize',12)

set(gcf,'numbertitle','off')
set(gcf,'name','Sources for Copper')
%-----

%Sources for Zinc

zn_sewer=[sum(sewer(:,13))]*trans;
if zn_sewer==0
    zn_urine=0;
    zn_faeces=0;
    zn_bdt=0;
    zn_industry=0;
    zn_sewer_bar=[zn_sewer,zn_urine,zn_faeces,zn_bdt,zn_industry];
else

```

```

zn_urine=s_urine(1,13)*numberOfPersons*in_T*trans;
zn_faeces=s_faeces(1,13)*numberOfPersons*in_T*trans;
zn_bdt=s_bdt(1,13)*numberOfPersons*in_T*trans;
zn_industry=s_industry(1,13)*in_T*trans;
zn_sewer_sum=zn_urine+zn_faeces+zn_bdt+zn_industry;
zn_sewer_bar=[zn_sewer,zn_urine,zn_faeces,zn_bdt,zn_industry];
end

```

```

zn_storm=[sum(storm(:,13))]*trans;
zn_wetdep=[sum(s_wetdep(:,13))]*tota*trans1*trans2;
zn_road=[sum(s_road(:,12))]*trans1*trans2;
zn_roof=[sum(s_roof(:,12))]*trans1*trans2;
%zn_roof_dp=[sum(s_roof_drydep(:,12))]*trans1*trans2;
%zn_roof_zn=[sum(s_roof_zncorr(:,12))]*trans1*trans2;
zn_other=[sum(s_other(:,12))]*trans1*trans2;
zn_storm_sum=zn_wetdep+zn_road+zn_roof+zn_other;
zn_storm_bar=[zn_storm,zn_wetdep,zn_road,zn_roof,zn_other];

```

```

figure
set(gcf,'position',w_size)

```

```

SUBPLOT(2,2,1)
Zn=[zn_sewer,zn_storm];
bar(Zn)
title('Sources for Zinc', 'fontsize', 14)
ylabel('Tot kg', 'fontsize', 12)
xlabel('1-Sanitary Waste Water, 2-Storm Water','fontsize',12)

```

```

SUBPLOT(2,2,2)
bar(zn_sewer_bar, 'g')
title('Sanitary Waste Water - Sources for Zinc', 'fontsize', 14)
ylabel('Tot kg', 'fontsize', 12)
xlabel('1-Sum , 2-Urine, 3-Faeces, 4-Greywater, 5-Industry', 'FontSize',12)

```

```

SUBPLOT(2,2,4)
bar(zn_storm_bar, 'r')
title('Storm Water - Sources for Zinc', 'fontsize', 14)
ylabel('Tot kg', 'fontsize', 12)
xlabel('1-Sum , 2-Wet dep, 3-Roads, 4-Roofs, 5-Other areas', 'FontSize',12)

```

```

set(gcf,'numbertitle','off')
set(gcf,'name','Sources for Zinc')

```

```

%-----

```

```

%Sources for phosphorus

```

```

p_sewer=[sum(sewer(:,2))]*trans;
if p_sewer==0
    p_urine=0;
    p_faeces=0;
    p_bdt=0;
    p_industry=0;
    p_sewer_bar=[p_sewer,p_urine,p_faeces,p_bdt,p_industry];
else

```

```

p_urine=s_urine(1,2)*numberOfPersons*in_T*trans;
p_faeces=s_faeces(1,2)*numberOfPersons*in_T*trans;
p_bdt=s_bdt(1,2)*numberOfPersons*in_T*trans;
p_industry=s_industry(1,2)*in_T*trans;
p_sewer_sum=p_urine+p_faeces+p_bdt+p_industry;
p_sewer_bar=[p_sewer,p_urine,p_faeces,p_bdt,p_industry];
end

p_storm=[sum(storm(:,2))]*trans;
p_wetdep=[sum(s_wetdep(:,2))]*tota*trans1*trans2;
p_road=[sum(s_road(:,1))]*trans1*trans2;
p_roof=[sum(s_roof(:,1))]*trans1*trans2;
%p_roof_dp=[sum(s_roof_drydep(:,1))]*trans1*trans2;
p_other=[sum(s_other(:,1))]*trans1*trans2;
p_storm_sum=p_wetdep+p_road+p_roof+p_other;
p_storm_bar=[p_storm,p_wetdep,p_road,p_roof, p_other];

figure
set(gcf,'position',w_size)

SUBPLOT(2,2,1)
p_sum=[sum(sewer(:,2)) sum(storm(:,2))]*trans;
bar(p_sum)
title('Sources for Phosphorus', 'fontsize', 14)
ylabel('Tot kg', 'fontsize', 12)
xlabel('1-Sanitary Waste Water, 2-Storm Water','fontsize',12)

SUBPLOT(2,2,2)
bar(p_sewer_bar, 'g')
title('Sanitary Waste Water - Sources for Phosphorus', 'fontsize', 14)
ylabel('Tot kg', 'fontsize', 12)
xlabel('1-Sum , 2-Urine, 3-Faeces, 4-Greywater, 5-Industry','FontSize',12)

SUBPLOT(2,2,4)
bar(p_storm_bar, 'r')
title('Storm Water - Sources for Phosphorus', 'fontsize', 14)
ylabel('Tot kg', 'fontsize', 12)
xlabel('1-Sum , 2-Wet dep, 3-Roads, 4-Roofs, 5-Other areas','FontSize',12)

set(gcf,'numbertitle','off')
set(gcf,'name','Sources for Phosphorus')

```

Exempel på modellkörning

I denna bilaga redovisas resultaten av en modellkörning med indata enligt figuren nedan.

SEWSYS 1.0

File Edit Tools Window Help

Sanitary Waste Water

of days: 1 Seconds per timestep: 300
 # of timesteps: 200

Number of persons connected: 18000
 Infiltration water factor: 1.0

Storm Water

Catchment area:
 Total impervious area: 2000000 m²
 Roads: 62000 m²
 Roofs: 200000 m²
 Other impervious area: 1738000 m²

Yearly rain: 600 mm/yr
 Total Vehicle km: 3000 km/d
 Heavy vehicles: 20 %

Industry wastewater

Flow	6960	m ³ /d
P-tot	19.6	kg/d
N-tot	57	kg/d
N-NH ₃ NH ₄	0	kg/d
N-NO ₃	0	kg/d
SS	0	kg/d
BOD	376	kg/d
COD	3099	kg/d
C-tot	0	kg/d
Cu	0.67	kg/d
Zn	0.20479	kg/d
Pb	0.0456	kg/d
Cd	0.0012	kg/d
Hg	0.000172	kg/d
Cr	0.01746	kg/d

Combined Sewer Overflow

Discharge limit: 0.6 m³/s

Simulate with:
 Sanitary Wastewater
 Storm Water
 Combined Sewer Overflow

Calibrate runoff

Rain Files:
 rain1_1d_3600s
 rain1_1d_300s
 rain2_1d_300s
 rain3_1d_300s
 rain4_1d_300s
 rain5_1d_300s
 rain6_1d_300s
 rain7_1d_300s
 rain8_1d_300s
 rain9_1d_300s
 rain10_6d_300s

Other rain:

Rain Data

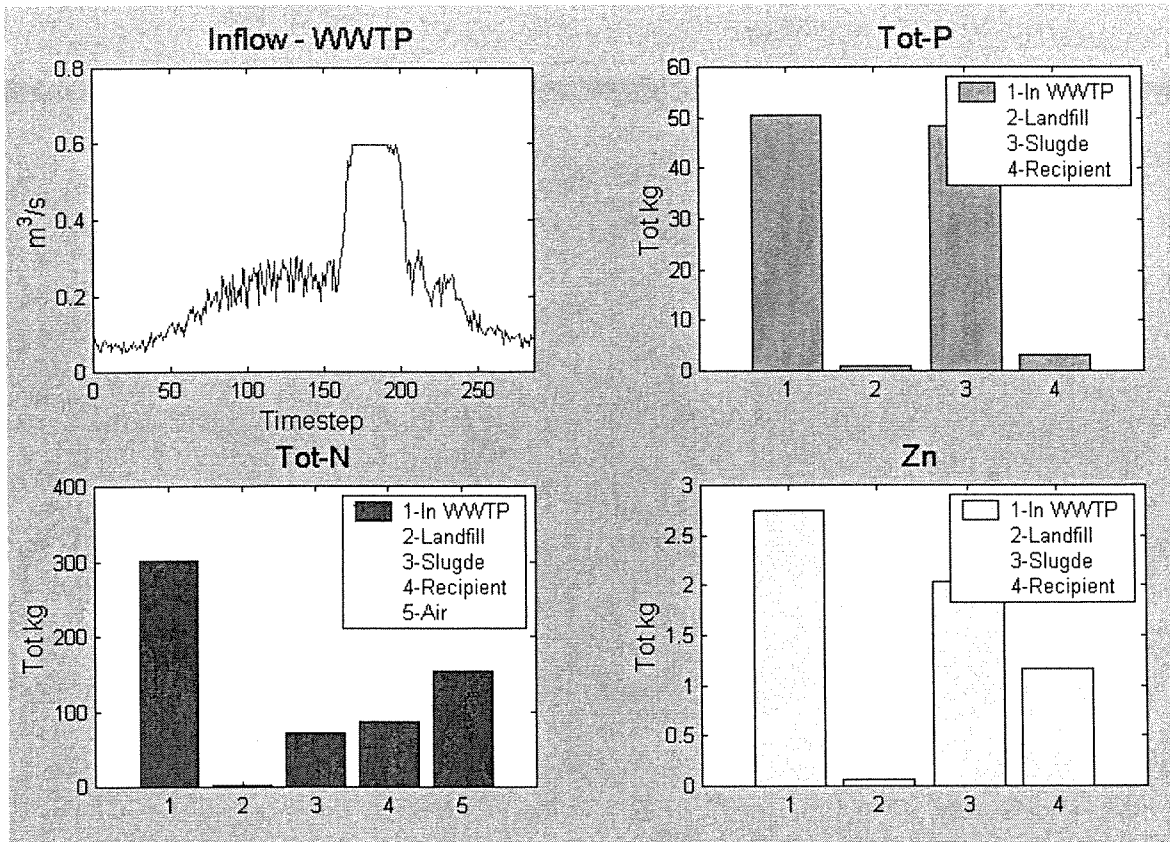
11/1/16

0 0.2 0.4 0.6 0.8 1

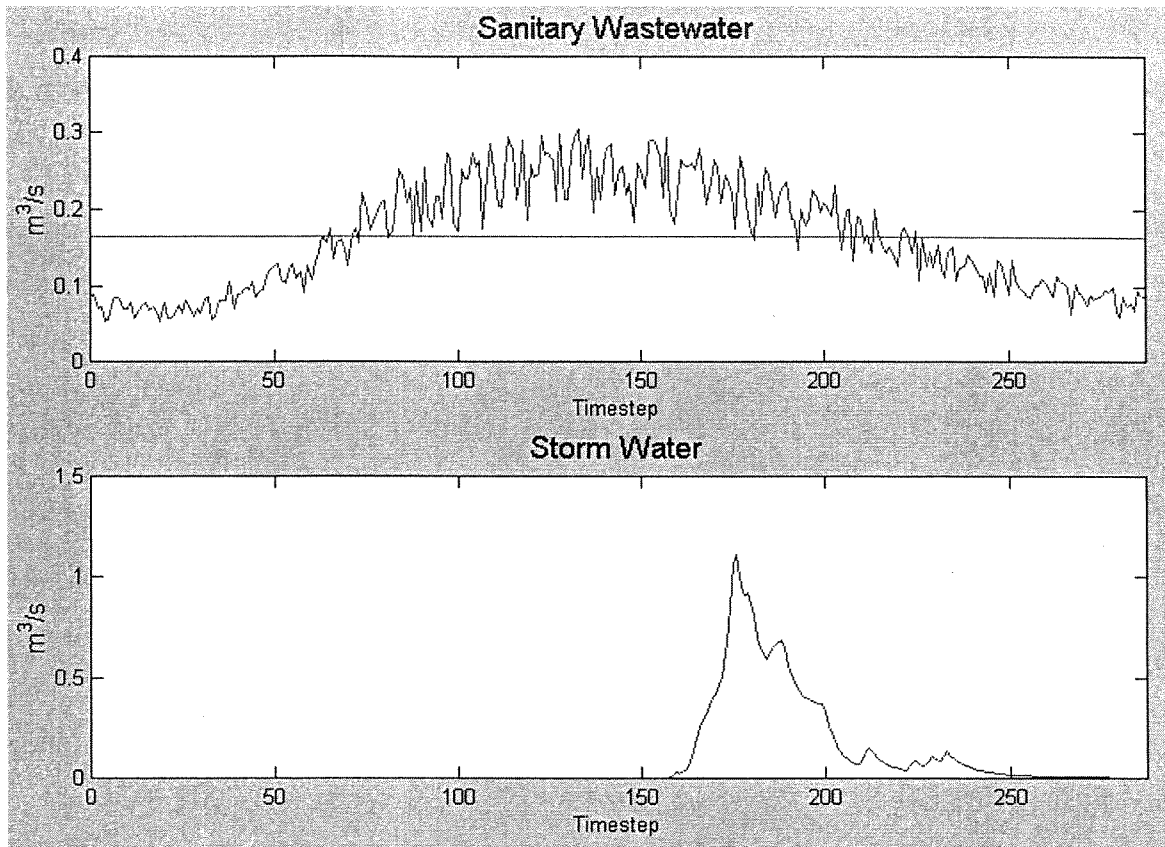
0 100 200 300

Simulate Results Close

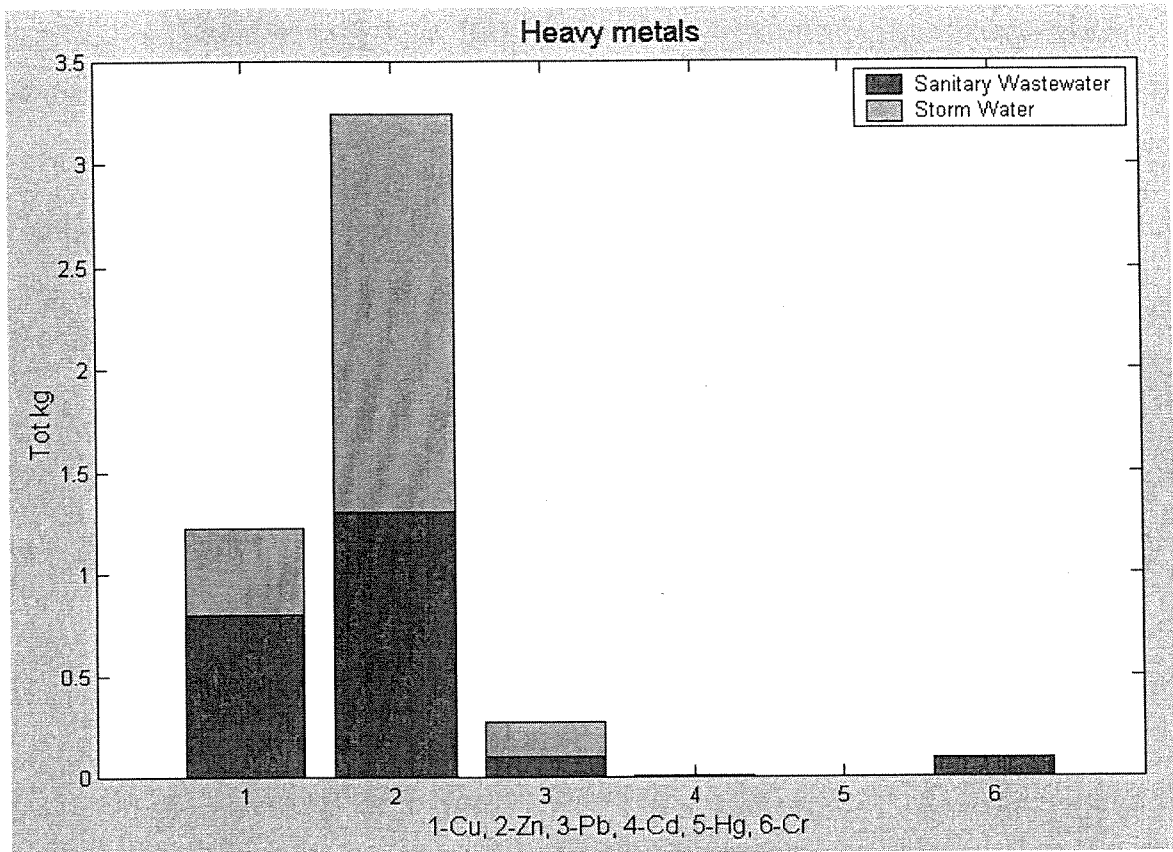
Resultat – Massbalans över avloppsreningsverk



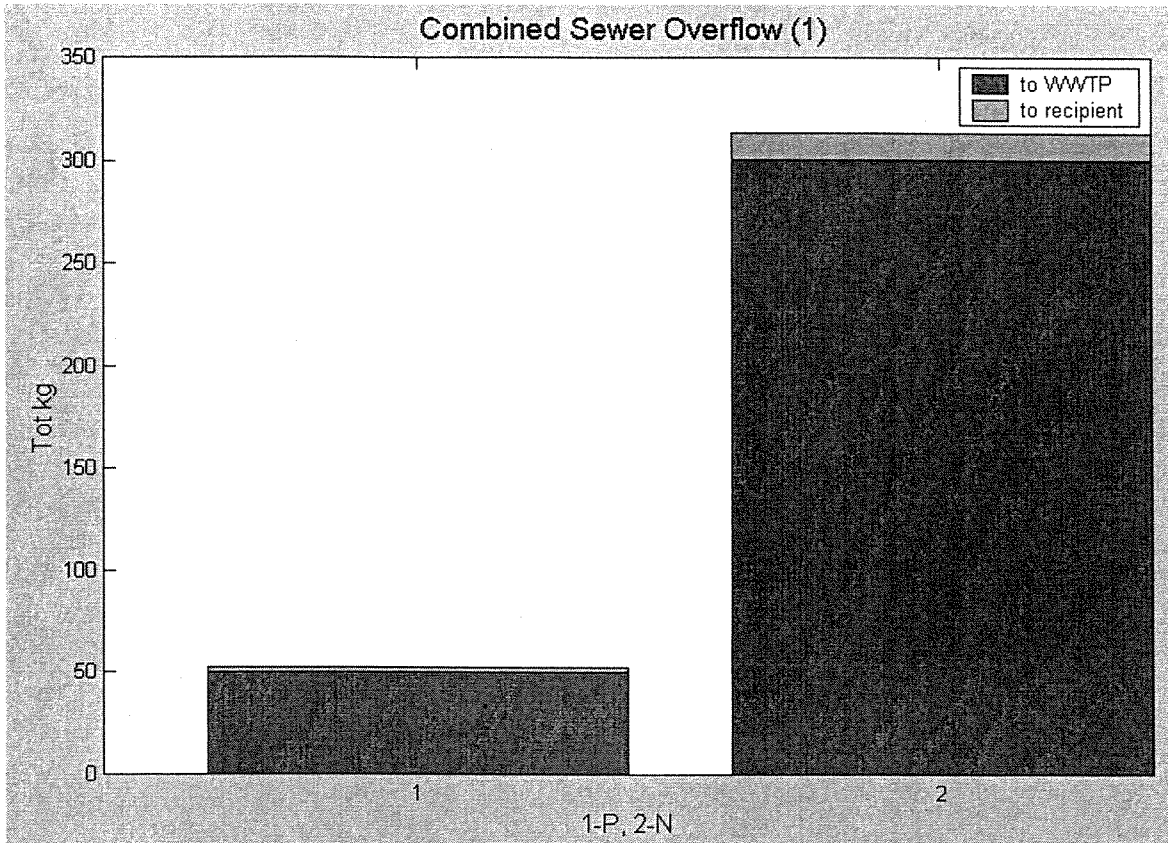
Resultat – Hydrografer



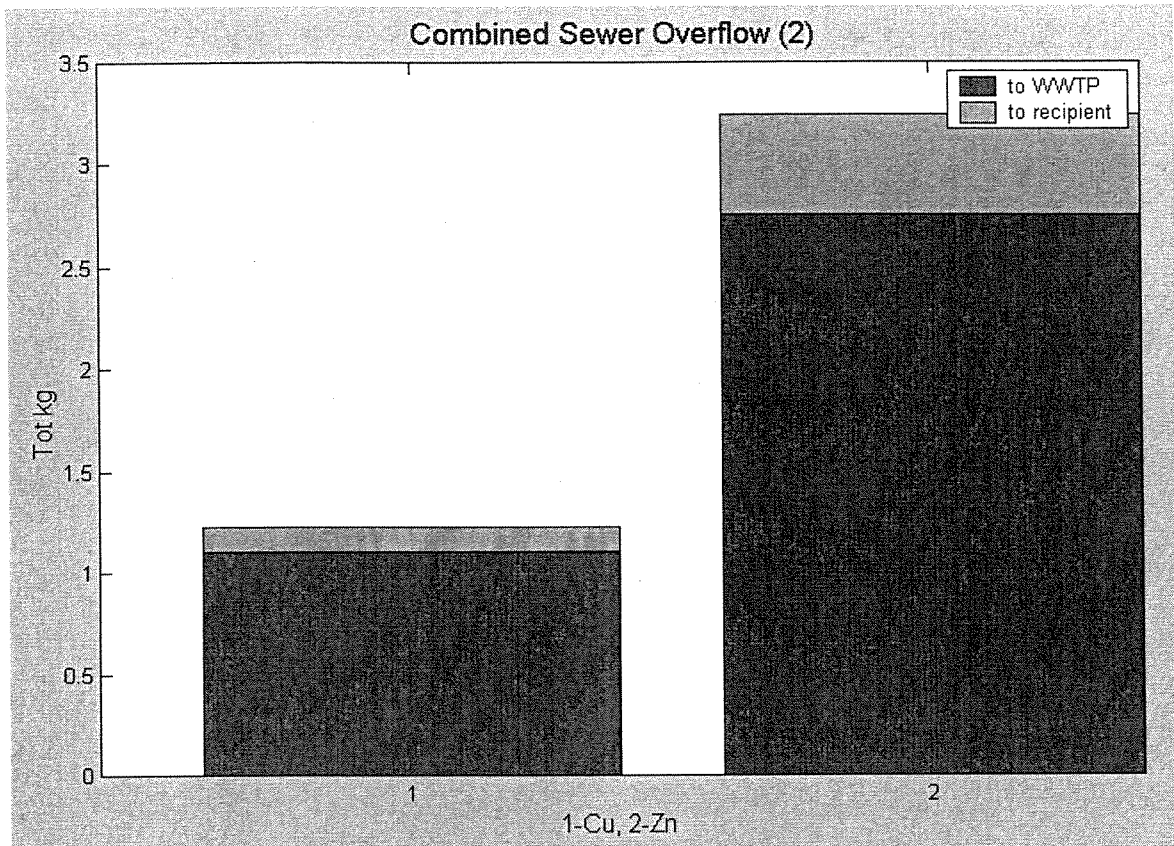
Resultat – Tungmetaller



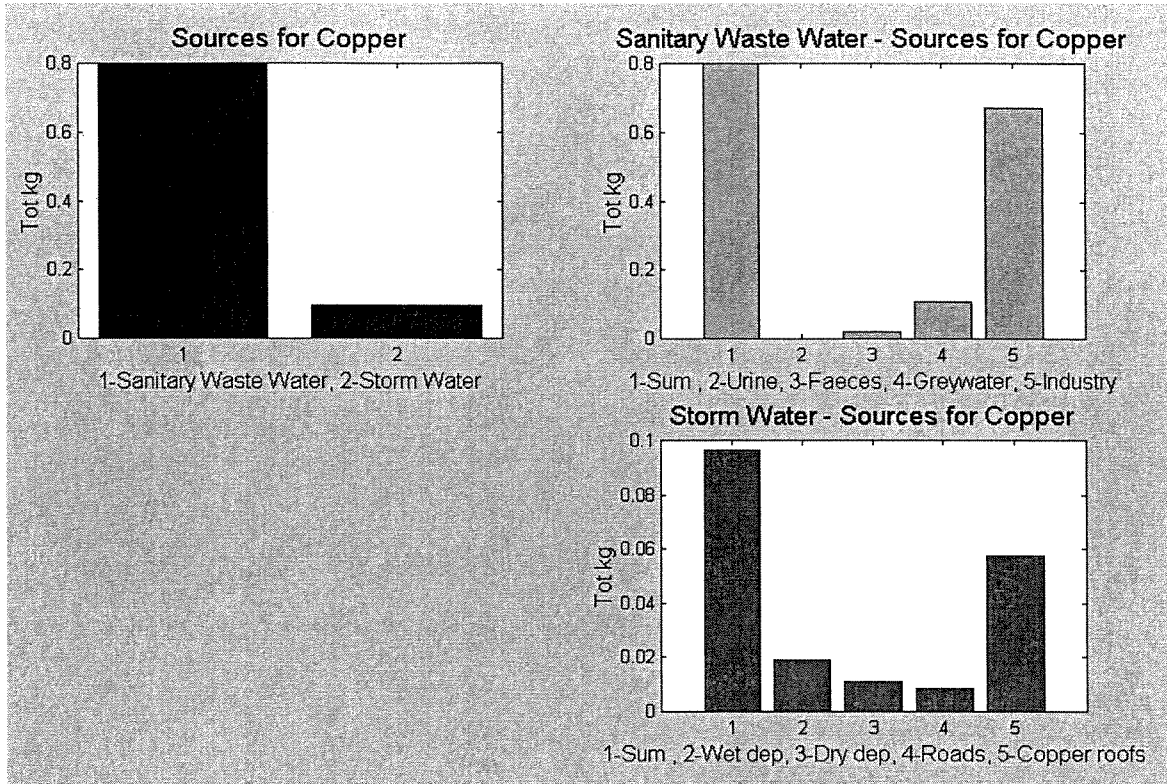
Resultat – Bräddavlopp (1)



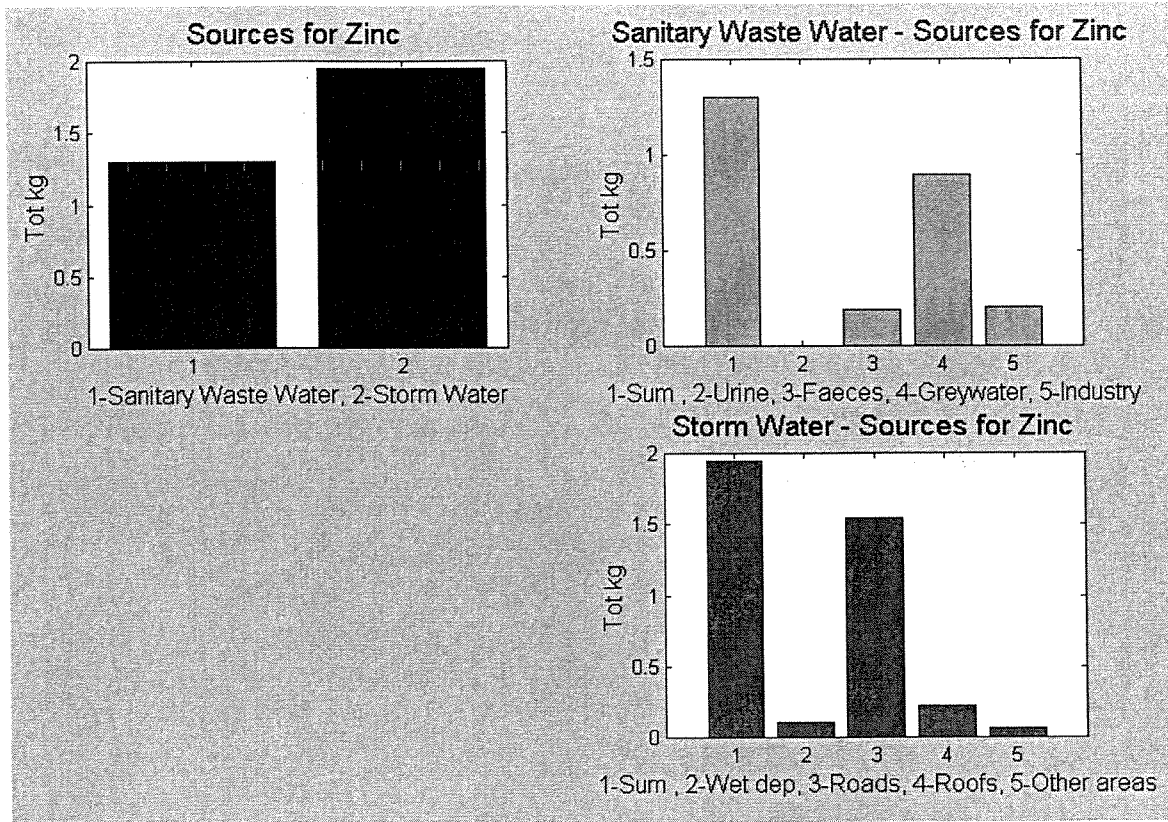
Resultat – Bräddavlopp (2)



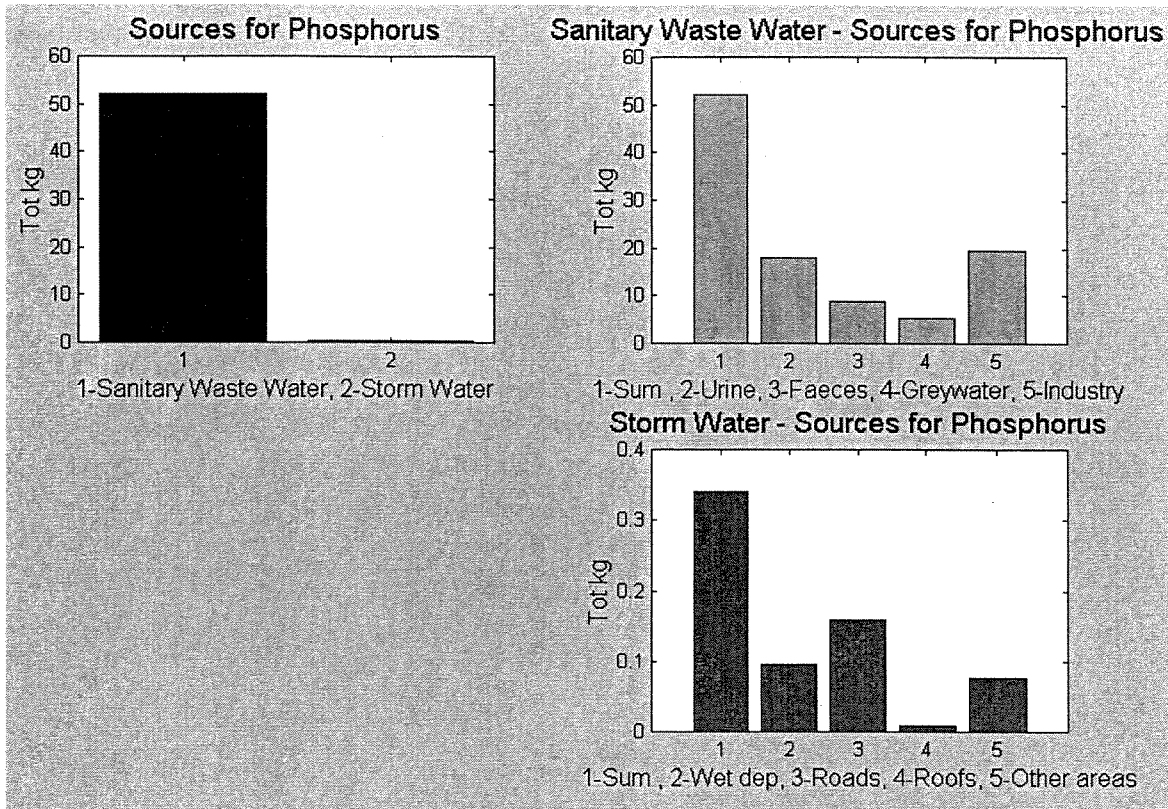
Resultat – Källor för koppar



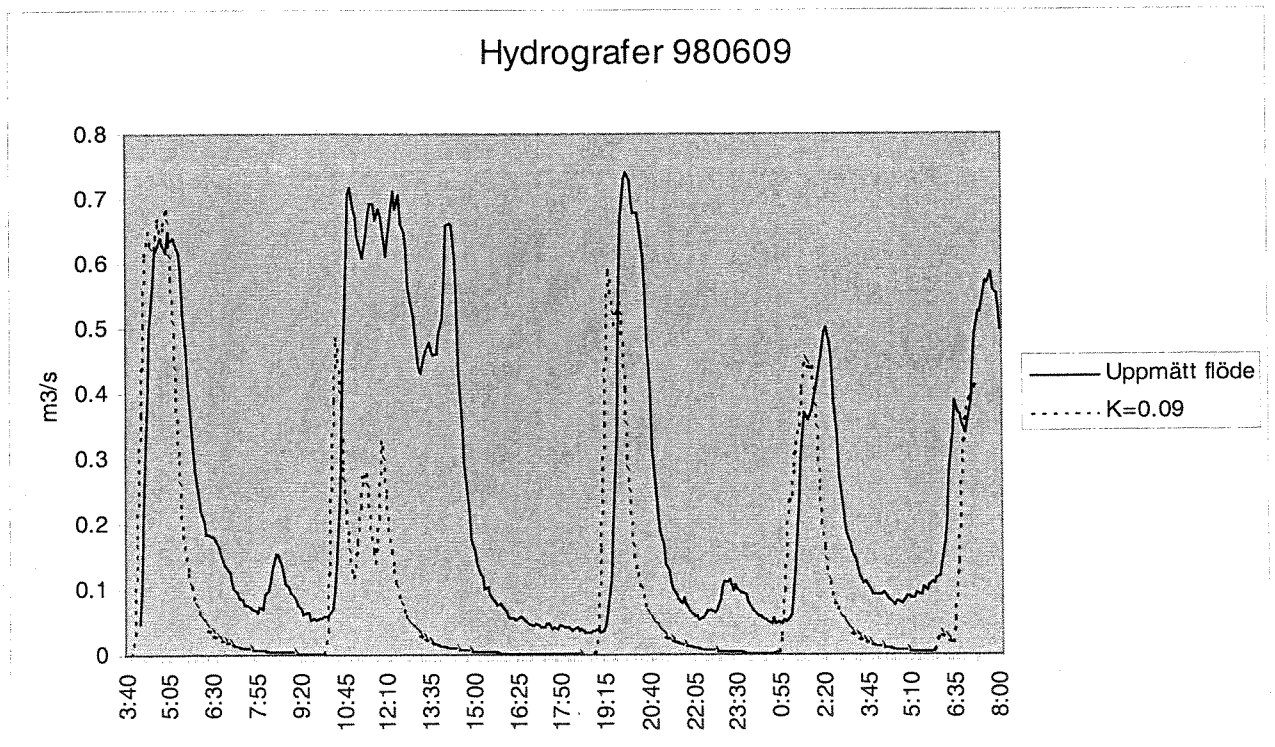
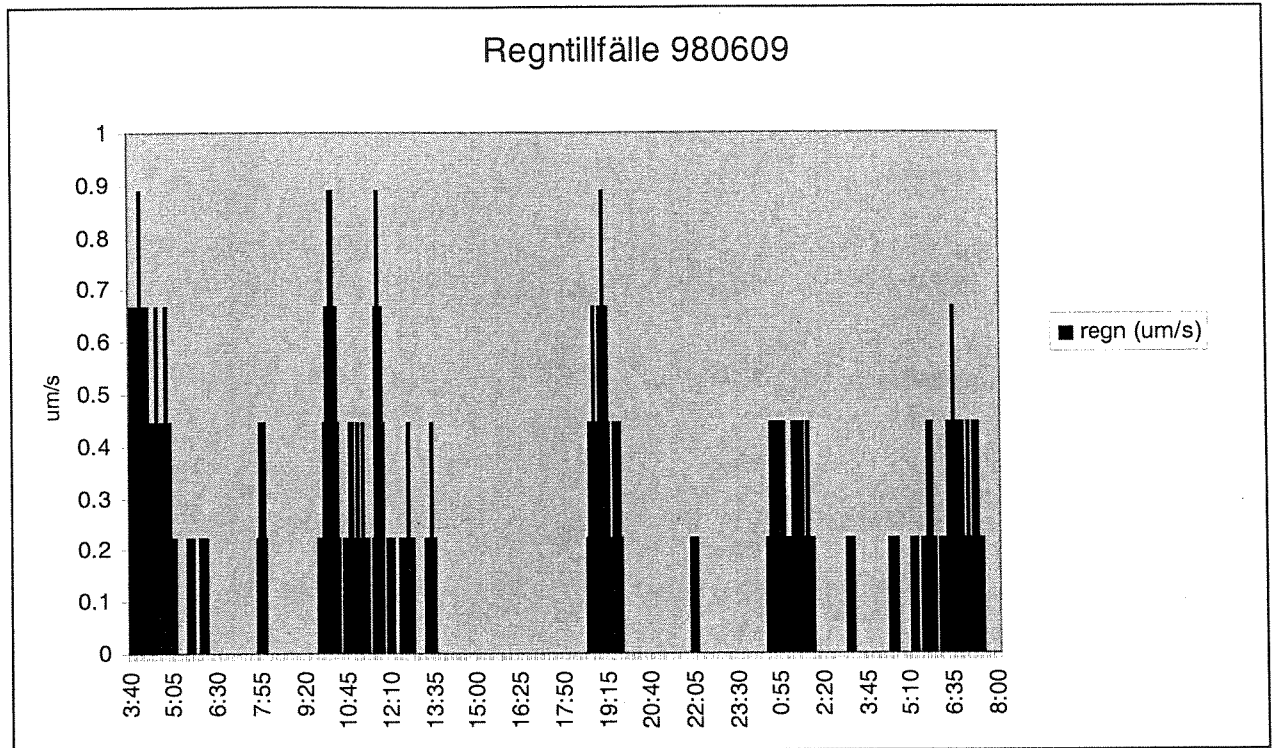
Resultat – Källor för Zink



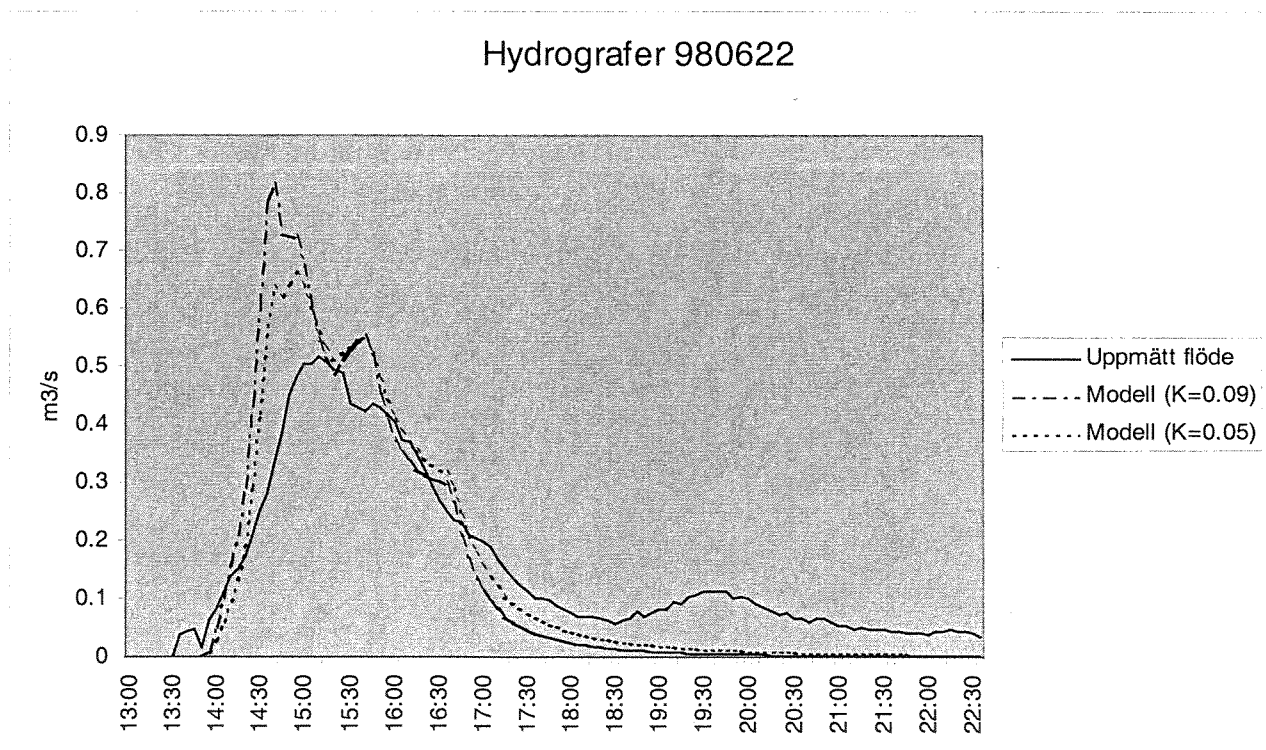
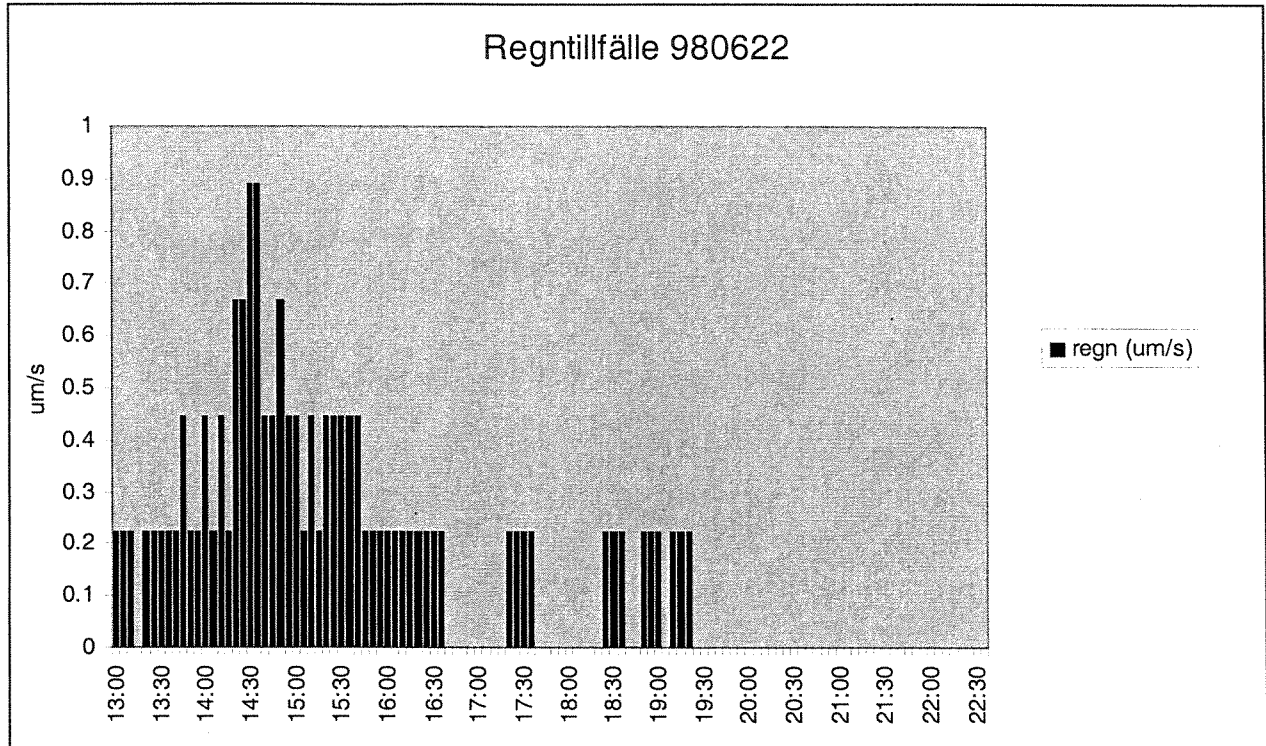
Resultat – Källor för fosfor



Verifiering Järnbrott regntillfälle 980609



Verifiering Järnbrott regntillfälle 980622



Verifiering Parkeringsyta

