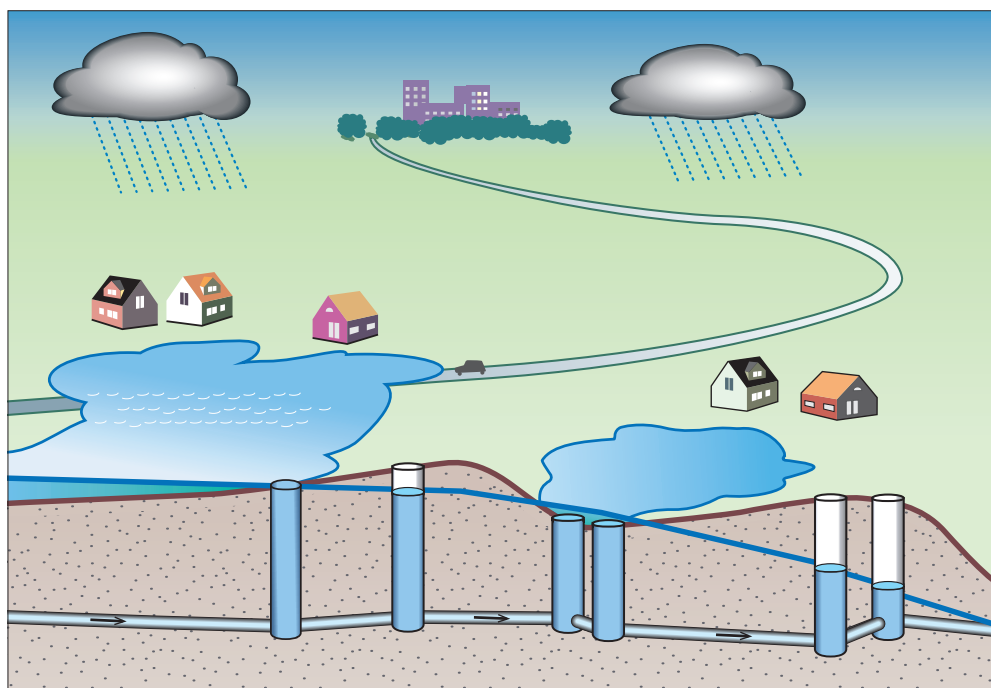


Riktlinjer för modellering av spillvattenförande system och dagvattensystem

*Daniel Blomquist
Hans Hammarlund
Patrik Härle
Sara Karlsson*



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Rörnät & Klimat
Avlopp & Miljö
Management

SVU styrs av en kommitté, som utses av styrelsen för Svenskt Vatten AB. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

Anna Linusson, Ordförande
Daniel Hellström, Utvecklingsledare
Lena Blom
Tove Göthner
Bertil Johansson
Stefan Johansson
Johan Olanders
Lisa Osterman
Hans Bertil Wittgren
Carl-Olof Zetterman

Svenskt Vatten
Svenskt Vatten
Kretslopp och vatten, Göteborgs Stad
Sveriges Kommuner och Landsting
Norrvatten
Skellefteå kommun
Ovanåkers kommun
Örebro kommun
Sweden Water Research/VA SYD
SYVAB

Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 14057
167 14 Bromma
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se
Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Riktlinjer för modellering av spillvattenförande system och dagvattensystem
Title of the report:	Guidelines for modeling of waste water carrying systems and storm water systems
Författare:	Daniel Blomquist (Sweco), Hans Hammarlund (Tyréns), Patrik Härle (Sweco), Sara Karlsson (Sweco)
Rapportnummer:	2016-15
Antal sidor:	138
Sammandrag:	Beskrivning av vad en hydraulisk modell är och vad den kan användas till samt riktlinjer för hur modellen skall avgränsas och byggas upp inkl förslag på erfarenhetsmässigt rimliga värden att ansätta
Abstract:	Description of what a hydraulic model is and what it can be used for as well as guidelines for how the model should be defined and built, including suggestions on empirically reasonable values to apply
Sökord:	Hydraulisk modellering, hydraulisk modell, spillvattenförande system, dagvattensystem, avloppssystem, Självfallssystem, översvämning, ytöversvämning, översvämningsmodellering, källaröversvämning
Keywords:	Hydraulic modeling, hydraulic model, waste water carrying systems, storm water systems, sewer systems, flood, flood modeling, basement flooding
Målgrupper:	Personer som beställer eller arbetar med hydrauliska modeller och resultat från sådana, konsulter
Omslagsbild:	Illustration av Pertti Salonen
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2016
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB
Om projektet	
Projektnummer:	14-117
Projektets namn:	Riktlinjer för modellering av dag- och spillvattensystem
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling, Sweco

Förord

Modellering av dag- och spillvattenförande ledningsnät är en omfattande process. Beställarens syfte och mål med ett modelleringsprojekt kan uppfyllas av modellören på olika sätt och val av metodik kan därför variera stort. Modelluppbyggnad, beskrivning av hydrologi och hydraulik, regnmätningar, flödesmätningar, modelleringsmetodik, simuleringsmetodik, dataanalyser med mera spelar viktiga roller. Val av metod kan ge stora skillnader i resultat. Olika arbetssätt och förväntningar från beställare, konsulter och modellörer kan medföra att det blir svårt att bedöma kvaliteten på modelleringsresultatet. Beroende på metodval och avgränsningar kan olika modellörer komma fram till olika resultat och lösningar för samma frågeställning. Det går inte att peka ut en enskild metod som bäst och närmast verkligheten i alla lägen.

Målet med denna rapport har varit att hjälpa beställare att beställa rätt modell och hjälpa modellören att lägga sig på rätt nivå. I rapporten samlas förväntningar på, och underlag till kravspecifikationer för, hydrauliska modeller. Beställarens behov och experternas kunskap har mötts för att skapa en gemensam plattform för att arbeta med och utveckla hydraulisk modellering.

Syftet är att höja standarden på de modeller som görs, ge riktlinjer för tekniska minimikrav, skapa en gemensam grund för att höja ambitionsnivån hos både beställare och modellör, reducera arbetstid samt producera resultat med högre kvalitet för att kunna göra rätt investeringar.

Initiativet till arbetet med riktlinjerna för modellering av spillvattenförande system och dagvattensystem togs av Sabah Al-Shididi när han flyttade till Sverige och insåg att riktlinjer saknades. Arbetet har finansierats av Svenskt Vatten och Sweco. Rapporten har skrivits av en arbetsgrupp där de flesta medlemmarna kommer från Sweco. Under projektets gång har flera personer varit aktiva i arbetsgruppen. Utöver Sabah Al-Shididi har Daniel Blomquist, Hans Hammarlund, Patrik Härle, Sara Karlsson, Robert Elfving och Alf Händevik varit medlemmar i arbetsgruppen.

Rapporten har granskats och förbättrats av en referensgrupp bestående av personer med erfarenhet av att arbeta med och beställa hydrauliska modeller. Följande organisationer och företag har varit representerade i referensgruppen: Stockholm vatten, VA SYD, NSVA, Göteborg stad, Jönköpings kommun, Uppsala vatten, Nacka kommun, Skellefteå kommun, Kalmar kommun, Swedavia, Tyrens, Sweco, Ramböll och WSP.

DHI var tillfrågade men valde tyvärr att inte vara med i referensgruppen.

Arbetet med rapporten och möten med referensgruppen har präglats av prestigelöshet och ömsesidig respekt. Vår förhoppning är att det ska ha lett fram till en rapport som uppfyller de högt satta målen.

Daniel Blomquist
Projektledare

Innehåll

Förord.....	3
Sammanfattning	8
Summary	9
Begreppsförklaring	10
Del 1	
Vad är en hydraulisk modell och vad kan den användas till?	12
1 Modellering - Bakgrund och syfte	13
1.1 Resultat från hydraulisk modellering	13
2 Modellering av spillvattenförande system och dagvattensystem	15
2.1 Arbetsgång vid hydraulisk modellering	16
3 Modellutredningar för olika syften	18
Del 2	
Anvisningar till beställare av modelluppdrag.....	19
4 Stöd till beställare av hydrauliska modeller	20
5 Ledningsnätet	21
6 Randvillkor	22
6.1 Flöden som belastar modellen	22
7 Mätningar	23
8 Teoretisk modell, kalibrering och validering	24
9 Dimensionering av ledningssystem	25
10 Simuleringar med färdig modell	26
11 Allmänt kring indata, resultat och modellens avgränsning.....	27
11.1 Indata som behövs för att ta fram en modell	27
11.2 Resultat av en modellutredning.....	28
11.3 Modellens omfattning, detaljerad eller förenklad modell	29
12 Modeller för olika syften	31
12.1 Dimensionering av ledningssystem i nya områden	31
12.2 Analys av ökade flöden till följd av ökad befolkningsmängd/påkoppling av nya områden eller dylikt	31
12.3 Dimensionering av åtgärder i befintliga system	31
12.4 Översvämningsanalys, verifiering av höjdsättning och identifiering av instängda områden	32

12.5	Kontrollberäkningar – källaröversvämningar	32
12.6	Bräddberäkningar	33
12.7	Tillskottsvattenanalys	34
12.8	Dimensionering av dammar och utjämningsmagasin	35
12.9	Påverkan av klimatförändringar	36
13	GIS, stödfunktioner	37
14	Klimatanpassning	38
15	Sårbarhetsanalys i samband med skyfall	39
15.1	Höjdmodellbehandling och uppbyggnad	39
15.2	Nivå I: Kartläggning av instängda områden och vattenvägar	39
15.3	Nivå II: Modellering av ytöversvämning utan anslutet ledningsnät	40
15.4	Nivå III: Modellering av ytöversvämning med anslutet ledningsnät	41
16	Kostnad-nyttoanalys med hjälp av modellering	44
17	Redovisning av resultat	46
17.1	Ledningsnätmodellering	46
17.2	Ytöversvänningsmodellering	47
18	Kvalitetssäkring och dokumentation	49
18.1	Kvalitetssäkring	49
18.2	Dokumentation	49
19	Upphandling av modeller	50
 Del 3:		
	Arbeta med modellering	51
20	Arbeta med modellering	52
21	Hydrologisk modellering av avlopps- och dagvattennät samt översvämning	53
21.1	Bestämning av hårdgjorda arealer	53
21.2	Hydrologiska modeller för anslutna hårdgjorda ytor och annan snabb nederbördspåverkan	55
21.3	Hydrologiska modeller för indirekt nederbördspåverkan	57
21.4	Avrinning från gröna tak	57
21.5	Arean anpassas till mycket stora regn	58
22	Spillvattenbelastning från bostäder och verksamheter	61
22.1	Spillvattenbelastning beräknad från vattenförbrukning	61
22.2	PE baserad spillvattenbelastning	61

22.3	Spillvattenbelastning baserad på prognos	61
22.4	Förbrukningsmönster	62
23	Tillskottsvatten, annan flödespåverkan	63
24	Meteorologisk indata	64
24.1	Nederbörd	64
24.2	Temperatur	68
24.3	Avdunstning	69
25	Randvillkor	70
25.1	Externa vattennivåer	70
25.2	In- och utströmningar	70
26	Hydraulisk modelluppbyggnad - Ledningsnät	72
26.1	Noder: brunnar, utlopp, magasin med mera	72
26.2	Ledningar, kanaler etc.	77
26.3	Bräddavlopp nödutlopp och överfall	79
26.4	Pumpstationer	80
26.5	Luckor och öppningar	82
26.6	Andra anordningar	82
27	Regleringar av flöde och nivå	83
27.1	Passiv reglering, direkt reglering och PID-reglering	83
27.2	Modellbeskrivning av regleringar	84
28	Uppskattning av initialvärden för olika parametrar i modellen	86
28.1	Hydrologiska parametrar	86
28.2	Hydrauliska parametrar	87
29	Mätningar för verifiering av modeller	89
29.1	Riktlinjer för regnmätning	89
29.2	Riktlinjer för flödesmätning - Hydrauliska mätdata	91
30	Kalibrering och validering	93
30.1	Kontroll av modellen	94
30.2	Kalibreringsmall - Kalibreringskriterier	94
30.4	Kalibreringsmetoder	99
30.4	Kalibrering av belastning på pumpstationer	108
30.5	Kalibrering av pumpstationers kapacitet	109
31	Simuleringar med färdig modell	113
31.1	Nuläge.....	113

31.2	Framtid/Scenarier	113
31.3	Dimensionering/Nybyggnad	113
31.4	Bräddning	114
32	Dokumentation och kvalitetssäkring	115
32.1	Dokumentation	115
32.2	Kvalitetssäkring	116
32.3	Känslighetsanalys	118
	Referenslista	120
	Bilaga 1: Indata för uppbyggnad av avloppsmodell	122
	Bilaga 2: Erfarenhetsvärden av avrinningskoefficienter för spillvattensystem och kombinerat system	125
	Bilaga 3: Checklista för uppbyggnad av modellen	126
	Bilaga 4: Avbördningskoefficienter för överfall	127
	Bilaga 5: Friktionsförluster Mannings tal.....	128
	Bilaga 6: Kostnad-nyttoanalys med hjälp av modellering - steg för steg	131

Sammanfattning

För att kunna göra rätt investeringar i ett ledningsnät för spillvatten och dagvatten behöver VA-huvudmannen ha en helhetssyn på systemets funktion och brister. Det behövs bland annat kunskap om kapaciteten hos ledningsnätet, hur robust systemet är mot skyfall och vilka åtgärder som behövs. Sådan kunskap går att få via hydraulisk modellering, det vill säga modellering av vattenflöden. Modellering är en omfattande process, och olika metoder kan ge stora skillnader i resultat. Olika förväntningar från beställare, konsulter och modellörer gör också att det blir svårt att bedöma kvaliteten på resultatet. Hittills har det saknats riktlinjer för modelleringsarbetet i Sverige, något som den här rapporten har till syfte att avhjälpa.

En modell är en förenklad bild av verkligheten, och modellarbetet innebär en genomgång av systemet för att upptäcka brister. Modellering är en viktig fas i planeringen före olika projekt, till exempel exploatering, förnyelse av befintligt ledningsnät, konstruktion av utjämningsmagasin och pumpstationer. Med hjälp av modellering kan samhällets resurser användas så effektivt som möjligt. Resultatet från hydraulisk modellering kan till exempel användas som underlag för skyfalls- och klimatanpassningsplaner, för att avgöra ansvarsfrågan vid källaröversvämningar och för att dimensionera ledningssystem i nya områden. Med en hydraulisk modell går det lätt att synliggöra effekterna av olika åtgärder.

I rapporten beskrivs olika typer av hydrauliska modeller för självfallssystem och ytöversvämning, vilket underlag som behövs för att skapa dem och vad de kan användas till. Syftet är bland annat att hjälpa beställarna att beställa rätt modell för rätt ändamål, och att ge modellörerna riktlinjer och hjälpmedel för att lägga sitt arbete på rätt nivå. På det sättet kan standarden höjas på de modeller som görs, onödigt dyra och krångliga modeller kan undvikas, och man kan få till stånd ett gemensamt arbetssätt i Sverige.

Rapporten är indelad i tre delar. Del ett behandlar hydrauliska modellers användningsområden och ger övergripande fakta; den riktar sig till alla som vill veta mer om modellering. Del två riktar sig till beställare och del tre till modellörer.

Arbetet med riktlinjerna för modellering av spill- och dagvattensystem har finansierats av Svenskt Vatten och Sweco. Rapporten har skrivits av en arbetsgrupp där de flesta kommer från Sweco. Den har granskats och förbättrats av en referensgrupp med personer från Stockholm Vatten, VA SYD, NSVA, Göteborgs stad, Jönköpings kommun, Uppsala Vatten, Nacka kommun, Skellefteå kommun, Kalmar kommun, Swedavia, Tyréns, Sweco, Ramböll och WSP.

Summary

Hydraulic modelling of sewers systems makes it possible to create an overview of the system's function and defects. The benefits of modelling include making it possible to investigate the capacity of the system, identify the need for action or test the capability against heavy rain and climate change. The renovation and renewal requirements are investigated and much can be learned regarding the planning of sustainable water and wastewater systems.

The quality of a hydraulic model, and the results it generates, depends largely on the data used while building the model but also on how boundary conditions and other variables are defined. This document aims to provide recommendations and guidelines on how a hydraulic model should be built, but also to give a common understanding and facilitate the use of models and results for clients and decision makers.

The report is divided into three parts. Part one concerns the use of hydraulic models and general facts and are addressed to all who work with, or need to know more about hydraulic models. Part two is written as a guide for clients to choose a model at the right level. Part three is addressed to the modeler; the person building the model, and covers making the simulations and presenting the results.

Begreppsförklaring

Nedan förklaras ett antal begrepp och förkortningar som används i dokumentet.

RDI: Rainfall Dependent Infiltration (modul för beräkning av långsamma flöden till exempel grundvatten och snösmältning)

PE: Personekvivalenter

DNE: Direkt nederbördspåverkan

INE: Indirekt nederbördspåverkan

Hydraulisk modell: Rörnätsmodell, modell där hydrauliken modelleras

Hydrologisk modell: Avrinningsmodell, modell där vattnets väg på och i marken modelleras

Ytöversvämningsmodell: Avrinning på ytan simuleras med hjälp av en terrängmodell

P83: Svenskt Vattens publikation P83 Allmänna vattenledningsnät. Anvisningar för utformning, förnyelse och beräkning (Svenskt Vatten, 2001)

P90: Svenskt Vattens publikation P90 Dimensionering av allmänna avloppsledningar (Svenskt Vatten, 2004)

P104 Svenskt Vattens publikation P104 Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem (Svenskt Vatten, 2011)

P110: Svenskt Vattens publikation P110 Avledning av dag-, drän- och spillvatten (Svenskt Vatten, 2016)

FRC: Fast Response Component (Snabb avrinning oftast från hårdgjorda ytor)

SRC: Slow Response Component (långsam avrinning, bland annat från naturmark, snösmältning samt läck- och dränvatten)

TA-kurva: Tid-area-kurva (beskriver hur stor andel av aktuell area som är aktiv allt eftersom tiden går)

Trycklinje: Den nivå där en fri vattenyta skulle ställa in sig om det fanns en brunn eller motsvarande på ledningen.

1D: Flödesberäkning i en dimension, här i ledningens eller dikets riktning.

2D: Flödesberäkning i två dimensioner. Inkluderar vattenutbredning på ytan.

Avloppssystem: Ledningssystem avsett att föra avlopp (spillvatten och dagvatten)

Spillvattenförande system: Ledningssystem avsett att föra spillvatten.

Dagvattensystem: Ledningssystem avsett att endast föra dagvatten.

Separerat system: Avloppssystem där spillvatten förs separerat från annat vatten.

Duplikat system: Avloppssystem med ett rörsystem för spillvatten och ett för dagvatten

Kombinerat system: Avloppssystem avsett att föra både spillvatten och dagvatten.

Läck- och dränvatten: vatten som tar sig in i ett avloppssystem genom otätheter i ledningssystemet och via dräneringsledningar. ’

Reducerad area: Deltagande avrinningsyta

PID-reglering (proportional integral derivative): Flödet för till exempel en pump eller en lucka styrs automatiskt mot ett önskat värde

Del 1

**Vad är en hydraulisk modell
och vad kan den användas till?**

1 Modellering - Bakgrund och syfte

En modell är en förenklad bild av verkligheten. Modellen visar funktionen hos ett system som är definierat på ett visst sätt till exempel utan skador och brister. Resultatet från hydraulisk modellering kan till exempel användas som underlag för skyfalls- och klimatanpassningsplaner, som underlag för att avgöra ansvarsfrågan vid källaröversvämningar och som beslutsunderlag vid val av åtgärd. Beroende på syftet med den hydrauliska modellen bör den konstrueras på olika sätt och med olika detaljeringsgrad. Om framtidsscenarion skall studeras bör till exempel en klimatfaktor appliceras på nederbörden.

Med en hydraulisk modell kan effekten av olika åtgärder på ett ledningsnät, eller utbyggnad av ett nytt område, undersökas och synliggörs på ett lättillgängligt sätt för beslutsfattare, privatpersoner och andra målgrupper. Flödet i de flesta spillvattenförande system, och i alla dagvattensystem, är påverkat av nederbörd. Med hjälp av hydraulisk modellering kan effekter av olika regnhändelser simuleras och samband mellan orsak och verkan kan undersökas både i förväg och i efterhand.

Modellering är en viktig fas i planering och utvärdering innan exploatering, förnyelse, kapacitetsförbättring, konstruktion av magasin, pumpstationer och dylika projekt genomförs. Resultaten från modellering kan användas för kapacitetsoptimering, åtgärdsprioritering och för att säkerställa att dimensionering av ledningssystemet blir korrekt. På så sätt kan samhällets resurser användas så effektivt som möjligt.

Modellarbetet innebär en genomgång av systemet där brister och konstigheter kan upptäckas.

I denna rapport beskrivs olika typer av hydrauliska modeller, vilket underlag som krävs för att skapa dem samt vad de kan användas till. Det ges även förslag på arbetsmetodik för framtagande av hydrauliska modeller samt tips och instruktioner för hur olika detaljer bör beskrivas. Syftet är att skapa en gemensam grund för att höja effektiviteten och kvaliteten på arbetet med hydrauliska modeller. En viktig del är att förse beställare med rätt kunskap för att kunna beställa rätt modell för rätt ändamål. En annan del är att hjälpa modellören att lägga sitt arbete på rätt nivå vilket i förlängningen leder till bättre beslutsunderlag vid investeringar.

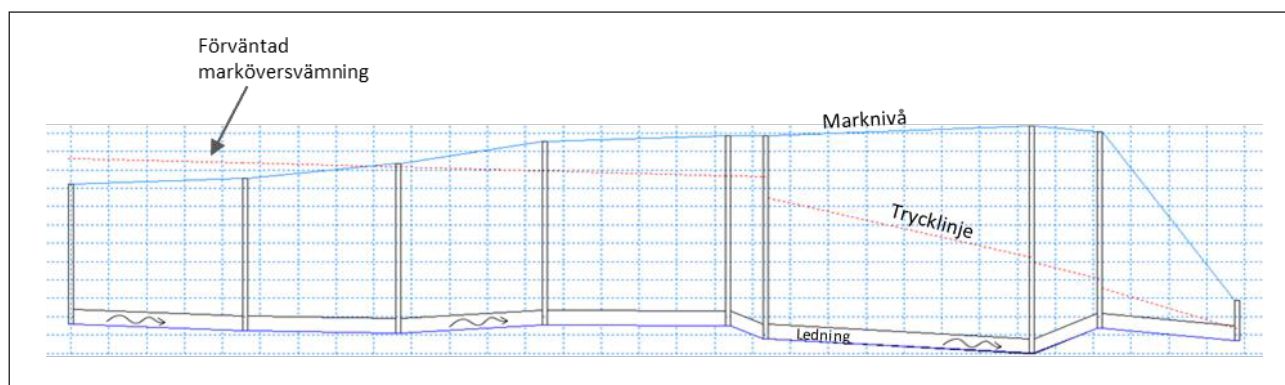
Rapporten är uppdelad i tre delar där den första beskriver vad en modell är och vad den kan användas till. Del två riktar sig till beställare av modeller och ska vara en hjälp vid val av ambitionsnivå och beställning av en modell. Del tre innehåller riktlinjer och instruktioner till modellören som skall bygga upp och arbeta med modellen.

I följande stycke visas exempel på hur resultatet av hydraulisk modellering kan se ut.

1.1 Resultat från hydraulisk modellering

Nedan visas simuleringsresultat i form av en tryckprofil över en dagvattenledning som belastas med dimensionerande regn. Den blå linjen represen-

terar marknivå. Den röda linjen motsvarar högsta trycklinjen under simuleringen, det vill säga den högsta nivå vattenytan stiger till i brunnarna enligt modellberäkningarna. Av resultatet att döma kan det förväntas marköversvämning i systemet då trycklinjen överstiger marknivå och vattnet söker sig upp genom till exempel brunnar och vidare ut på marken. Det kan också observeras att den höga trycknivån verkar vara ett resultat av att vissa av ledningarna har för liten kapacitet (sträckor där trycklinjens lutning är större än ledningens lutning). Hydraulisk modellering medför i detta fall att såväl effekterna av regnpåverkan samt orsaken till effekterna kan klargöras.



Figur 1-1 Exempel på tryckprofil i ledningsnät vid belastning av dimensionerande regn framtagen genom hydraulisk modellering.

Resultaten av en ledningsnätssimulering kan också illustreras i plan för att ge bättre förståelse om till exempel vilka områden i systemet som kräver ytterligare utredning, och var åtgärder krävs för att möjliggöra exploatering med mera. Figur 1-2 visar trycknivån i ett ledningsnät illustrerat i plan.

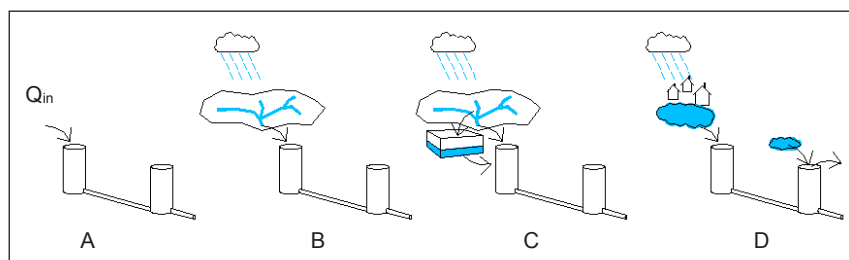


Figur 1-2 Exempel på hur resultatet i form av trycknivå från hydraulisk modellering kan visas i plan.

2 Modellering av spillvattenförande system och dagvattensystem

Modellering av spillvattenförande system och dagvattensystem är en omfattande process. Beroende på vad modellen skall användas till kan den byggas upp på olika sätt och med olika noggrannhet. För mer översiktliga frågor kan det räcka med att skapa en teoretisk modell. Det gäller till exempel vid dimensionering av helt nya system. För att svara på mer specifika frågor, till exempel om systemet har kapacitet att avbörda det dimensionerande flödet krävs det oftast att modellen verifieras mot mätningar av flöde och nivå i det verkliga systemet. Ibland kan det räcka att bygga en teoretisk modell och belasta den med flöde från ytor tilltagna i överkant. Om systemet kan klara det är kapaciteten tillräcklig. Om inte måste modellen förfinas och verifieras.

Modellen kan även göras olika avancerad. Den kan byggas som ett rörnät som belastas med vissa flöden. Den kan också byggas med avrinningsområden som belastar rörnätet med flöden vid regn, vilket är det vanligaste. Modellen kan även byggas så att den tar hänsyn till markens möjlighet att lagra vatten på ytan och i jorden (RDI-modellering) samt kopplas ihop med en markmodell där översvämningar och vattentransporter på markytan kan modelleras. Hur avancerad modellen bör vara styrs av vad den ska användas till. Ett regnpåverkat avloppssystem i ett urbant område bör byggas med avrinningsområde. Ett system som är påverkat av grundvatten eller flöden från naturmarker bör dessutom ha jord- och grundvattenmagasin. Om regnhändelser med flöden långt över ledningssystemets kapacitet skall studeras bör en ytvattenmodell kopplas till rörnätsmodellen. I Figur 2-1 visas principer för fyra olika typer av hydrauliska modeller.

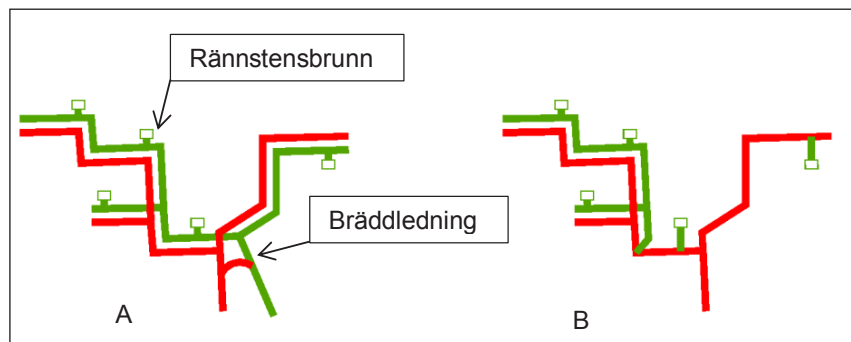


Figur 2-1 Principer för fyra olika typer av modeller. A: rörnät belastat med ett flöde, B: rörnät belastat med nederbördsberoende flöde, C: rörnät med mark- och grundvattenmagasin belastat med nederbördsberoende flöde, D: rörnät med möjlighet att simulera marköversvämning

Det finns i stort sett inga avloppssystem som inte har någon påverkan alls av dagvatten. Även de system som kallas spillvattensystem, och endast skall innehålla spillvatten, har normalt någon form av dagvattenpåverkan. Det kan till exempel bero på att takytor felaktigt kopplats till systemet, på otäta brunnslöck som placerats i lågpunkter eller överläckage från dagvattennätet

via otätheter eller bräddledningar. De flesta spillvattensystem är även påverkade av läck- och dränvatten t.ex. från otäta ledningar och brunnar.

Många spillvattenförande system är sammankopplade med ett dagvattensystem till exempel via bräddledningar, se Figur 2-2. Det kan i vissa fall innebära att delar eller hela dagvattensystemet måste inkluderas i modellen för att simulera flödet i avloppssystemet på ett korrekt sätt.

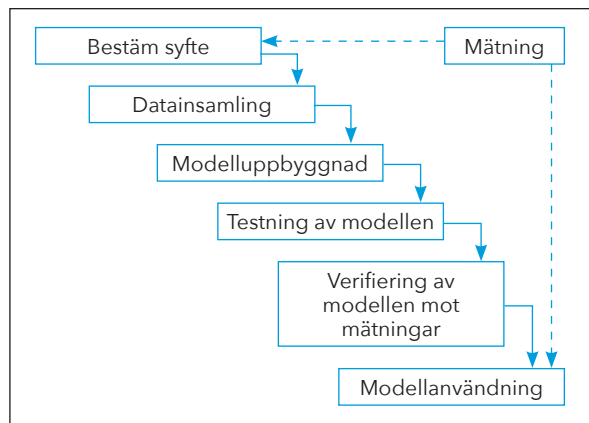


Figur 2-2 Två typer av avloppssystem. A: duplikatsystem med bräddledning, B: kombinerat avloppssystem. Röd linje symboliserar spillvattenledning och grön linje dagvattenledning.

Ofta modelleras spillvattenförande system och dagvattensystem separat. Det gör det enklare att skilja på systemen och identifiera problemområden och lämpliga åtgärder. Om systemet är kombinerat, eller om det till exempel rör sig om ett system där dag- och spillvatten har stor inverkan på varandra bör systemen dock simuleras i samma modell. Detta kan emellertid leda till svårigheter såsom att identifiera källan till flöden. Som tidigare nämnts bör det noteras att det i princip inte finns några avloppssystem som saknar påverkan av dagvatten, och detta måste tas i beaktning vid uppbyggnad av modeller.

2.1 Arbetsgång vid hydraulisk modellering

Beroende på syftet med projektet kan olika arbetssätt användas. Ett exempel på flödesschema vid arbetet med hydrauliska modeller visas i Figur 2-3. Nedan beskrivs de olika stegen i flödesschemat.



Figur 2-3 Arbetsflöde vid modelleringsprojekt

2.1.1 Bestäm syfte och metod

Projektets syfte bestämmer vilken modelltyp som skall användas samt vilken detaljnivå som erfordras. Om modellen skall användas för dimensionering krävs en mer detaljerad nivå än om modellen till exempel skall användas endast för att identifiera områden som är intressanta att utreda vidare. Det kan vara en god idé att vid beställning av modell också fundera på om modellen kan användas för fler syften än till den aktuella utredningen. Genom att tidigt identifiera flera eventuella syften kan tid och resurser sparas på till exempel datainsamling.

2.1.2 Datainsamling

Noggrannheten på en modell blir inte bättre än kvaliteten på indata; ju osäkrare underlag desto osäkrare modellresultat. Om inte tillförlitlig heltäckande indata finns i till exempel databaser kan det bli aktuellt att lägga extra resurser på att genom fältundersökning och liknande samla in det data som behövs. En fördel är om erforderlig data kan specificeras och dess kvalitet verifieras i samband med modellbeställning, till exempel genom att gå igenom underlagschecklistor (se Bilaga 1).

2.1.3 Modelluppbyggnad

När modellen byggs upp är det viktigt att tillvägagångssättet dokumenteras så att modellen senare kan modifieras och uppdateras allteftersom mer data tillkommer eller den verklighet som man vill att modellen ska representera förändras.

2.1.4 Test av modellen

Modellen ska efter uppbyggnad testas för att säkerställa att den är stabil.

2.1.5 Mätning

Även om modellen baserats på verkliga indata kvarstår osäkerheter i modellens resultat. För att reducera dessa bör mätdata, till exempel flödesdata och nederbördsdata, samlas in och modellen sedan verifieras mot data. Mätningen skall utföras under en tillräckligt lång period för att kunna samla in representativ data. Det är viktigt att initiera mätning i god tid eftersom den till stor del är årstidsberoende.

2.1.6 Verifiering av modellen

När mätdata samlats in kan modellen kalibreras mot mätningar i det verkliga systemet. Modellen "ställs in" på samma förutsättningar som vid måttillfället och simulerat resultat jämförs med uppmätt. Modellens noggrannhet kan sedan förbättras genom att den modifieras så att bättre överensstämmelse med mätningarna erhålls. Resultatet blir en verifierad modell.

2.1.7 Modellanvändning

När modellen verifierats kan den användas för önskade utredningar och byggas på/modifieras allteftersom data uppdateras eller tillkommer.

3 Modellutredningar för olika syften

Hydrauliska modeller användas för olika syften och i olika sammanhang. Nedan följer en tabell med ofta förekommande syften och vilken slags modell som passar för respektive ändamål. Ofta kan flera syften uppnås med samma modell eller kombinationer av modeller. I kapitel 12 finns en mer detaljerad och teknisk beskrivning av detta. För beskrivning av de olika nivåerna av ytöversvämningsmodeller se kapitel 15.

Tabell 3-1 Hydrauliska modeller för olika syften

Syfte	Modelltyp	Kommentar
Kontrollberäkning vid källaröversvämningar	Ledningsnätsmodell	Kontrollberäkning med hydraulisk modell är den vanligaste metoden att kontrollera om ett spillvattenförande system uppfyller dimensioneringskraven.
Dimensionering av lednings-system i nya områden	Ledningsnätsmodell	Det kan vara mycket användbart att upprätta en hydraulisk modell över projekterade ledningsnät. På så sätt kan projekteringen verifieras och eventuella behov av korrigeringar upptäckas.
Dimensionering av åtgärder i befintliga system	Ledningsnätsmodell	Med hjälp av en hydraulisk modell kan åtgärder optimeras och den lösning som ger mest effekt per investerad krona identifieras.
Verifiering av höjdsättning	Ytöversvämningsmodell nivå II eller III	För exploateringsområden kan det vara mycket användbart att verifiera att projekterad höjdsättning möjliggör att nederbörd avrinner till önskade platser. Till exempel kan instängda områden identifieras och åtgärder för att öppna dessa simuleras. En ytöversvämningsmodell kan användas i kombination med ledningsnätsmodell för att verifiera höjdsättning samtidigt som föreslagen dimensionering analyseras. För detaljer se kapitel 15.4
Identifiera instängda områden	Ytöversvämningsmodell nivå I eller högre	Då översvämningsrisken är extra hög i instängda områden är det intressant att lokalisera dessa. Med hjälp av en enklare ytöversvämningsmodellering kan instängda områden som kräver vidare utredning identifieras. Om ytöversvämningsmodell nivå II eller III används kan detaljerad information om översvämningsdjup med mera erhållas.
Översvämningsanalys - källaröversvämning	Ledningsnätsmodell	En ledningsnätsmodell kan användas för att identifiera områden där källaröversvämning kan förväntas. Trycknivån jämförs med uppmätta källargolvsnivåer eller antaganden om dessa.
Översvämningsanalys - marköversvämning	Ytöversvämningsmodell nivå II eller III	Översvämningsdjup och flödesvägar med mera kan identifieras vid olika regnhändelser.
Bräddberäkningar	Ledningsnätsmodell (med eller utan RDI)	Med en kalibrerad hydraulisk modell kan mängden bräddat avloppsvatten, under till exempel ett år, simuleras. Det kan sedan utgöra underlag för miljörapporter. För system som är påverkade av inträngande grundvatten, dränering eller flöden från naturområden bör modellen byggas med RDI. Om underlag för det saknas kan modellen kalibreras för en situation med lågt och en med högt inflöde. Vid simuleringarna används sedan modellerna omväxlande beroende på basflöde i ledningssystemet.
Tillskottsvattenanalys	Ledningsnätsmodell (med eller utan RDI)	Med hjälp av hydraulisk modellering kan källan till tillskottsvatten, vars påverkan konstaterats vid flödesmätningar, lokaliseras översiktligt och typen av område analyseras. Modellen kan byggas med eller utan RDI beroende på om tillskottsvattnet härrör från inläckage, dränering och naturmarksflöden eller ej.
Påverkan av klimatförändringar	Ledningsnätsmodell och/eller ytöversvämningsmodell	Med hjälp av hydraulisk modellering går det att studera vilken effekt ökade flöden, förhöjda havsnivåer med mera får i form av till exempel ökad översvämningsrisk. Klimatanpassningsåtgärder kan analyseras och prioriteras.
Analys av ökade flöden till följd av ökad befolkningsmängd/ påkoppling av nya områden eller dylikt	Ledningsnätsmodell	Resultatet av ökade flöden samt behov/effekt av åtgärder kan analyseras.

Del 2
Anvisningar till beställare
av modelluppdrag

4 Stöd till beställare av hydrauliska modeller

Del två av rapporten (kapitlen 4 till 19) riktar sig i första hand till beställare av modeller. Avsikten är att ge en djupare förståelse för vad en modell är, vad som skiljer olika typer av modeller åt, vad de olika modellerna kan användas till samt vilket underlag som krävs.

När man beslutar att beställa en hydraulisk modell är det viktigt att vara tydlig med vad ändamålet med modellen är. Det styr hur omfattande och hur detaljerad modellen skall byggas. En hydraulisk modell som byggs för att undersöka om avloppsnätet har erforderlig kapacitet i en specifik gata och en modell som byggs för att undersöka hur bräddsituationen på huvudledningsnätet ser ut ställer helt olika krav på omfattning och detaljeringsgrad. I Tabell 3-1 i kapitel 3 finns en sammanställning av olika modelltyper och vilka ändamål de passar för. Redovisningen av resultaten beror också på vilken frågeställning som är aktuell. Det bör också klargöras vid beställningen.

För att underlätta utvärdering av olika anbud vid en upphandling av en hydraulisk modellering kan det vara bra att specificera vilken typ av redovisning som önskas. Det kan till exempel vara om översvämmade ytor skall redovisas i plan på ortofoto eller vilka scenarier som skall simuleras. Det förutsätter dock att beställaren har viss kännedom om arbete med modellering.

I följande kapitel beskrivs vilken typ av modellering som krävs för att kunna svara på olika frågor samt hur resultaten redovisas på ett tydligt sätt.

5 Ledningsnätet

Stommen i en ledningsnätsmodell byggs vanligen upp av ledningar, diken, kanaler eller naturliga vattendrag. För att verkligheten skall kunna efterliknas kan storlek och form på dessa varieras nästan oändligt. Vanligen används fördefinierade tvärsnitt, exempelvis cirkulärt, rektangulärt eller äggformat, för ledningar. För diken, kanaler och naturliga vattendrag skapas tvärsektioner manuellt. Tvärsektionerna kan göras såväl öppna som slutna. För naturliga vattendrag kan även längdprofilen varieras med såväl vattengång som tvärsektion.

Noder förbinder ledningsnätet. Dessa föreställer olika anordningar som är såväl verkliga som fiktiva hjälpmedel. Verkliga anordningar är ofta brunnar, avgreningar, pumpstationer, dammar, magasin etc.

Ledningsnätet byggs i modellen upp för att i största möjliga utsträckning efterlikna funktionen hos det verkliga ledningsnätet.

Avgränsning av modellens storlek i förhållande till det verkliga ledningsnätet och modellens detaljeringsgrad bestäms av modellens syfte. Ibland kan det vara tillräckligt att av praktiska eller ekonomiska skäl avgränsa modellens areella utbredning.

Modellens detaljeringsgrad kan varieras efter syfte och behov. Ofta förenklas modellarbetet genom att endast huvudledningsnätet inkluderas i modellen och det finmaskigare nätet tas bort. Efterhand som beräkningshjälpmedel och det digitala underlaget utvecklas minskar dock incitamenten för att göra förenklade modeller. Se kapitel 11.3.1 och 26.

6 Randvillkor

Randvillkor är de villkor som sätter ramarna för en hydraulisk modell, till exempel nederbörd, spillvattenbelastning, externa vattennivåer, in- och utströmning, avdunstning och temperatur. Se kapitel 25.

Randvillkoren kan läggas in som konstanta värden, med eller utan dygnsvariation eller som en tidsserie. En tidsserie kan antingen vara uppmätt eller manuellt framtagen för något speciellt syfte.

6.1 Flöden som belastar modellen

Flödet i avloppssystem består av olika typer av vatten. I spillvattensystem och i kombinerade ledningssystem förekommer spillvatten som har sitt ursprung från hushåll och verksamheter. Spillvattenmängden är ofta direkt kopplad till vattenförbrukningen. Debiteringsregistret för vattenförbrukning kan därför användas som hjälpmedel för att modellera spillvattenflöde i ett ledningssystem. En annan metod är att använda schablonvärden för antal anslutna personekvivalenter (PE). Spillvattenflödets dygnsvariation följer också vattenförbrukningens dygnsvariation.

Avloppssystem tillförs oftast vatten under mark så kallat läck- och dräneringsvatten. Detta vatten är oftast grundvatten eller långsam nederbördspåverkan. Läck- och dräneringsvattnet tar sig in i ledningssystemet dels genom otätheter i ledningssystemet, såväl i det kommunala som i privata delar, dels som dräneringsavrinning från exempelvis husgrunder. Läck- och dräneringsvattenflödet varierar vanligen mycket under året. För att simulera detta används RDI. Se kapitel 28.1.2.

Avloppssystem kan också tillföras vatten från läckande vattenledningar eller dagvattenledningar samt närliggande vattendrag, sjöar eller hav. Vattnet tar sig oftast in i avloppssystemet på samma sätt som läck- och dränvatten.

I princip alla avloppssystem, även de som är avsedda enbart för spillvatten, tillförs vatten i samband med nederbörd. Dagvattensystem och kombinerade ledningssystem är byggda för att avleda regnvatten som främst tillförs från markytan, direkt nederbördspåverkan (DNE). Vatten kan även tillföras under mark, i form av indirekt nederbördspåverkan (INE). Vattentillskott från direkt nederbördspåverkan simuleras i allmänhet genom att befintliga ytor/avrinningsområden på marken knyts till ledningsnätet. Avrinningens egenskaper styrs exempelvis med avrinningsfaktor, koncentrationstid och tid-area-kurva. Ytmaterial har olika egenskaper för vattenavledning. Se kapitel 28.1 samt tabell i Bilaga 2.

Ledningssystemet kan belastas med flöden från anslutande lednings- eller dikessystem. Detta kan vara aktuellt då exempelvis ett naturligt vattendrag kulverterats och leds in i ett dagvattensystem. Det kan också vara aktuellt då man valt att begränsa modellens utbredning och flödet från ett anslutande system skall simuleras. Flödesbelastningarna kan vara konstanta eller som tidsserier (uppmätta eller konstruerade).

7 Mätningar

För att kalibrera och verifiera modellen måste ofta olika mätningar genomföras på ledningssystem och tillhörande anläggningar.

Det vanligaste är att flöden och nivåer mäts. Ledningssystemet delas upp i delområden med lämplig storlek och mätpunkterna väljs efter den indelningen. Det är dock vanligt att området måste anpassas efter vilka punkter det är möjligt att mäta i. Det är lämpligt, ur såväl teknisk som ekonomisk synvinkel, att utnyttja mätpunkter som är naturliga avgränsningar i ledningssystemet. Sådana kan vara pumpstationer där flödesmätning ofta finns, eller bräddpunkter som är viktiga att kalibrera korrekt, samt in och utflödespunkter ur systemet. Platser för flödesmätningar i självfallsledningar väljs ut ifrån indelningen i delområden.

Flödesmätning kan vara tidskritisk i modellarbetet. Det är ofta nödvändigt att invänta rätt årstid och det finns ingen garanti för att lämplig nederbörd faller under mätperioden. Det kan innebära att mätperioden måste förlängas och verifikationen av modellen måste skjutas upp tills lämpliga resultat har erhållits. I värsta fall får en ny mätning göras året därpå.

Modellen skall belastas med regndata från avrinningsområdet. Framförallt intensiva regn sommartid kan variera mycket över ytan. Det är därför viktigt att tillräckligt många regnmätare används. Se kapitel 29.

Erhållen mätdata skall rimlighetsbedömmas och analyseras innan den används för kalibrering och validering.

8 Teoretisk modell, kalibrering och validering

En bra modell är en bild av verkligheten som är tillräckligt lik verkligheten för sitt syfte.

När en modell byggs upp efter underlag från ledningsdatabas, kartor och inventeringar blir den en teoretisk modell. Den är då gjord så bra den kan bli med hänsyn till underlaget. Beräkningar kan göras med en sådan modell, men resultaten är inte särskilt tillförlitliga. En teoretisk modell är i vissa fall det bästa som kan åstadkommas. Det kan till exempel vara fallet när en modell byggts upp, men någon flödesmätning inte har kunnat göras på grund av brist på nederbörd eller att rätt årstid inte har inträffat än. Om resultaten från en sådan modell skall användas till exempel för bedömning av risken för översvämning bör det mest ogynnsamma värdet, inom rimligheternas ram, väljas för samtliga okända parametrar. Om simuleringarna då visar att det inte blir någon översvämning behöver inte modellen kalibreras eftersom en kalibrering skulle innebära mer gynnsamma förutsättningar. Om resultaten däremot visar på risk för översvämning bör modellen kalibreras för en noggrannare beräkning.

För att säkerställa att modellen ger en tillräckligt bra bild av verkligheten måste flöden och nivåer som räknats fram med modellen jämföras med flöden och nivåer som uppmätts i det verkliga systemet. Innan beräkning för kalibrering görs skall modellen "ställas in" för den situation som rådde vid mättillfället. Modellen justeras sedan tills resultaten är tillräckligt lika den uppmätta datan. Det kallas kalibrering. När modellen är kalibrerad kan den valideras mot annan uppmätt data. Förfarandet beskrivs närmare i kapitel 30. Det är dock viktigt att påpeka att den kalibrerade modellen aldrig kan få högre kvalitet än vad resultaten av mätningarna har. Det är därför viktigt att beskriva eventuella brister i mätningarna i den dokumentation som skall följa med modellen. Dokumentationen beskrivs närmare i kapitel 32.

9 Dimensionering av ledningssystem

Det kan i vissa fall vara fördelaktigt att använda en hydraulisk modell för att dimensionera ett ledningssystem. Det är företrädesvis när det gäller mer komplicerade anläggningar, till exempel ett dagvattensystem med flera dammar och flödesregleringar som påverkar varandra eller dimensionering av dykarledningar där vattenhastigheten är avgörande för om ledningen kommer fungera eller sätta igen sig.

När det är fråga om dimensionering av nya system blir det naturligtvis en teoretisk modell som kommer användas. En modell kan även byggas upp för att jämföra resultat med observationer gjorda i ett befintligt system som inte har fått den funktion som var önskad. I sådana fall bör modellen kalibreras och sedan förändras tills systemets funktion är tillfredsställande.

10 Simuleringar med färdig modell

När modellen är uppbyggd och kalibrerad är det dags att simulera de scenarier som man vill se resultatet för. Om en sedan tidigare befintlig modell ska användas är det viktigt att säkerställa att verkligheten inte förändrats sedan modellen kalibrerades. Det kan till exempel tänkas att nya områden har byggts och kopplats till systemet eller att någon del av nätet har byggts om eller förändrats. Takytor, gator eller andra hårdgjorda ytor kan ha anslutits eller kopplats bort.

När modellen ska användas för simuleringar skall den belastas med relevanta regn eller regnserier. Vid kalibrering används uppmätta regn. Vid simuleringar kan modellen belastas med en historisk regnserie för att till exempel få statistik på hur ofta en viss nivå överskridits eller hur stora volymer som har bräddats under ett visst år. För att undersöka återkomsttiden för en viss händelse kan även regnserier av typregn användas. I Sverige är det vedertaget att använda blockregn när kapaciteten hos ett avloppssystem kontrolleras, till exempel i samband med källaröversvämningar. Vid dimensionering av ett system bör dock CDS-regn användas. CDS-regnen ger en dimensionering som är något på säkra sidan. Nederbörd berörs mer ingående i kapitel 24.1.

Beroende på vilken typ av modell det är fråga om erhålls olika typer av beräkningsresultat. GIS-program kan användas för att presentera resultaten på ett tydligt och lättillgängligt sätt. Se kapitel 13 för mer information om stödfunktioner i GIS.

Det går att få ut väldigt mycket resultat ur en hydraulisk modellberäkning. Det är därför viktigt att beställaren av modelleringen är tydlig med vad som är frågeställningen. Om det inte är ordentligt klarlagt från början riskerar man som beställare att få för mycket information om fel saker.

11 Allmänt kring indata, resultat och modellens avgränsning

I kapitlet redogörs för vilken typ av indata som behövs för olika typer av modellutredningar. Dessutom förs en diskussion kring hur olika kvalitet på underlagsmaterialet dels kan påverka arbetsinsatsen att bygga upp en modell och dels kan påverka modellens noggrannhet.

Tanken är att underlätta både för beställare av modellutredningar och för den som ska arbeta med modellutredningar att kunna bedöma vilken inverkan på arbetsinsatsen och resultatets noggrannhet olika kvalitet på indata ger.

I kapitlet redovisas också vilka typer av resultat som kan förväntas från modellutredningar.

Kapitlet är utformat för att ge generell information om modellutredningar. I kapitel 12 finns specifik information för olika typer av modellutredningar.

11.1 *Indata som behövs för att ta fram en modell*

För modeller som ska beskriva hydraulik i spill- och dagvattennät behövs indata som beskriver ledningsnätet, avrinningsområden, spillvattenbelastning med mera. I tabell 11-1 ges en kort beskrivning av detta och förslag på var underlag hittas samt kommentarer kring för- och nackdelar med olika typer av underlag.

I Bilaga 1 finns en mer detaljerad beskrivning av vilka indata som behövs.

Vilken typ av underlagsmaterial som erhålls kan ofta vara avgörande för hur bra en modell blir samt hur stor arbetsinsats det blir att bygga modellen. Arbetsinsatsen påverkas framförallt för stora modeller. Shapefiler, excelfiler, databaser eller annat underlag i tabellform där attributen för varje objekt är knutet till objektet sparar mycket tid vid uppbyggnad av modellerna. Om underlaget erhålls på CAD-format är det vanligt att texterna står invid objekten utan att vara kopplade till dessa. Då kan automatiska kopplingar göras om varje text är den som är närmast belägen respektive objekt, vilket dock sällan är fallet. I så fall blir det nödvändigt att manuellt mata in uppgifterna, vilket kan vara mycket tidskrävande. Om underlaget utgörs av papperskartor blir det också nödvändigt med manuell inmatning. Genom att förbereda ett bra underlag innan modelleringsarbetet påbörjas kan onödiga kostnader undvikas.

Avsaknad av uppgifter (till exempel material, dimension, nivåer) innebär att antaganden måste göras, vilket dels kan medföra ett betydande merarbete och dels att modellen blir osäkrare eftersom ett antal uppgifter antagits.

Om vissa ledningar eller brunnar saknas i underlagsmaterialet innebär också det ett merarbete för modellören att manuellt lägga in dessa. Även här kan det bli en ökad osäkerhet om det inte finns andra uppgifter om hur ledningsnätet hänger ihop.

Tabell 11-1 Indata som krävs för att bygga upp modeller

Typ av indata	Underlag	Kommentar
Ledningsnät: brunnar, ledningar	Ledningsdatabas, GIS, CAD, Excel, papperskartor, ritningar, laserscannade markhöjder.	Underlag där attributen (såsom material, dimensioner och nivåer) är kopplade till objekten kan spara mycket tid och ger mindre risk för fel vid uppbyggnad av ledningsnätmodeller. Papperskartor och ritningar kräver förhållandevis mycket manuellt arbete och blir därför tidskrävande. Laserscannade markhöjder underlättar arbetet att lägga in marknivå för brunnar där denna i övrigt saknas i det digitala underlaget.
Anordningar: pumpstationer, bräddavlopp, utjämningsmagasin, dammar mm	Ritningar, driftinstruktioner, övervakningssystem, mätvärden	Ledningskartor saknar ofta tillräckliga indata för att beskriva pumpstationer, bräddavlopp, utjämningsmagasin och dylikt. Ritningar behövs oftast. Bräddavloppets konstruktion behöver ofta mätas in för att få tillräcklig noggrannhet på underlaget. Pumpkapaciteter kan behöva mätas.
Spillvattenbelastning	Debiteringsregister, uppgifter om befolkning eller bostäder och verksamheter	Debiterad vattenmängd med x- och y-koordinat för varje förbrukningspunkt ger oftast det snabbaste sättet att få in uppgifterna i en modell. Under förutsättning att förbrukningen inte ändrats mycket kan en sådan uppgift också betraktas som ett förhållandevis säkert underlag.
Avrinningsområden och avrinningsparametrar	Digital karta, flygfoto, papperskarta, laserscannade markhöjder, serviser, anslutningskontroller, flödesmätningar.	Med undantag för mycket stora modeller är arbetet att rita avrinningsområden oftast en ganska liten del av det totala modellarbetet. Arbetsinsatsen är oftast inte lika beroende av underlaget som för många andra moment vilket innebär att även en papperskarta fungerar bra. Laserscannade markhöjder underlättar arbetet att ta fram avrinningsområden för ej bebyggda områden. För beräkning av avrinningsparametrar behövs uppgifter om områdestyp eller uppgifter om takytor, vågytor etc. Uppgifter om separata dagvattenserviser är ett bra underlag för att bedöma om områden är separerade. I områden med osäker anslutningspunkt för dagvatten kan anslutningskontroller eller flödesmätningar vara nödvändiga.
Randvillkor	Mätningar, modellberäkningar, uppgifter om vattenstånd i recipienter eller flöden från områden som inte ingår i modellen	Ett vanligt randvillkor är vattenståndet i recipienter. Om modellen utgör en del av ett större ledningsnät kan dämning från nedströms belägna områden behöva läggas in som randvillkor.
Mätvärden för RDI-kalibrering	Fleråriga mätserier med flöde och nederbörd krävs. Om snö/snösmältning kan bedömas ha betydelse behövs även temperatur	Fleråriga serier med flödesvärden finns oftast endast i reningsverk och i vissa pumpstationer. Mätvärden från pumpstationer får i allmänhet anses vara mindre tillförlitliga men kan användas för att fördela den mot reningsverket kalibrerade RDI-tytan över modellens olika delar. För nederbörd räcker det ofta med dygnsupplösning. För temperatur är det en fördel om det finns minst 2-3 värden per dygn. Vissa parametrar kräver högre tidsupplösning på nederbörden, till exempel timupplösning, men för dessa räcker det med kortare mätserier (några månader).

Ett problem som inte är helt ovanligt är att två ledningar som ansluter till samma brunn (och därmed ska hänga ihop i modellen) i underlagsmaterialet inte slutar/börjar i exakt samma punkt. Därmed kan modellprogrammen vid import av dessa ledningar inte tolka ledningarna som sammanhängande. Vissa modellprogram har funktioner för att koppla ihop ledningar vars ändar ligger inom ett visst avstånd från varandra. Det gäller till exempel Mike Urban. Andra program saknar dessa funktioner och då måste kopplingen göras manuellt. Detta leder dels till merarbete och dels till risken att ledningsnätet i modellen inte kommer att hänga ihop överallt.

11.2 Resultat av en modellutredning

De resultat som i princip alltid kan erhållas från en modellberäkning är:

- Vilka ledningar har tillräcklig kapacitet och vilka är underdimensionerade
- Vilka områden drabbas av översvämningar vid regn med viss återkomsttid

- Vilka ledningar går dämnda vid olika typer av dimensionerande flöde och hur stor är dämningen
- Sker bräddning från ledningsnät och/eller pumpstationer

11.3 Modellens omfattning, detaljerad eller förenklad modell

Modeller kan göras mer eller mindre detaljerade. I kapitel 11.3.1 diskuteras för- och nackdelar med att begränsa detaljeringsgraden för ledningsnät och avrinningsområden.

I kapitel 11.3.2 diskuteras hur modellen och beräkningsresultaten påverkas av att eventuell marköversvämning beskrivs med en avancerad ytöversvämningssmodell alternativt den förenklade som många modellprogram använder som standard.

11.3.1 Detaljerat eller förenklat ledningsnät

För att minska arbetets omfattning då en modell ska byggas upp är en möjlighet att begränsa modellbeskrivningen till vissa delar av ledningsnätet. De tydligaste fördelarna med detta är:

1. Arbetet med att bygga modellen kan bli mindre
2. Beräkningarna går snabbare att genomföra

Med moderna datorer är punkt 2 ovan sällan ett tillräckligt motiv till att begränsa modellerna. Dock kan det fortfarande vara motiverat för mycket stora ledningsnät. Beträffande punkt 1 bör det beaktas att det totalt sett blir ett större arbete att först bygga en begränsad modell och därefter bygga på den med fler områden om behovet uppstår jämfört med att från början bygga en komplett modell över hela området. En begränsad modell kräver dessutom fler randvillkor, såsom uppdämning nedströms ifrån och inflöden uppströms ifrån. Det kan innebära ett merarbete för att ta fram underlag för dessa randvillkor. Om randvillkoren anses osäkra kan det dessutom behövas känslighetsanalyser och/eller att ett flertal beräkningar genomförs med olika randvillkor. Sammantaget innebär detta att sett över modellens hela livslängd är det inte säkert att en begränsning i modellens omfattning innebär ett mindre arbete med att bygga upp modellen och genomföra analyser. Utöver detta kan en begränsning av modellen, som ofta medför en förenklad beskrivning av vissa områden, medföra att modellens noggrannhet minskar. Om modellen begränsats till vissa områden innebär det också att om behov uppstår att göra kontrollberäkningar eller utreda åtgärder i andra områden så kommer det att ta betydligt längre tid än om områdena redan finns beskrivna i en modell.

I den mån avgränsningar görs är pumpstationer ofta lämpliga punkter att göra dessa avgränsningar. En pumpstation påverkas normalt inte av ledningsnätet nedströms och kan därmed utgöra slutpunkt (fiktivt utlopp) för en modell utan att beräkningsnoggrannheten påverkas. Om belastningen på en pumpstation är så hög att pumparna i princip går för fullt hela tiden under dimensionerande regn och det i första hand är ledningsnätet nedströms pumpstationen som ska studeras behöver ledningsnät, avrinnings-

områden och spillvattenbelastning uppströms pumpstationen inte beskrivas i detalj. Då kan det räcka att ett flöde motsvarande pumparnas kapacitet läggs in som belastning på det nedströms belägna ledningsnätet.

11.3.2 Modell inklusive eller exklusive ytöversvämningsmodellering

En avgränsning av modellerna som kan bli vanligare att behöva ta ställning till är om det räcker med en ledningsnätsmodell eller om det är motiverat att även inkludera ytöversvämningsmodell nivå III (se kapitel 15.4). När Hydrauliska modeller över enbart ledningsnätet beräknar en marköversvämning kommer vattnet i modellberäkningen att stanna vid den nod där översvämningen inträffar till dess att vattennivån i ledningsnätet sjunkit så att vattnet kan rinna tillbaka in i ledningarna. I kuperade områden kommer vatten som dämmer upp på marken i allmänhet att avrinna ytledes till andra områden. En modellbeskrivning utan ytöversvämningsmodellering nivå III riskerar därmed att felaktigt peka ut områden som översvämningsdrabbade även om vattnet i verkligheten inte stannar kvar och orsakar översvämningsdrabbade utan leds bort ytledes. Av samma anledning underskattas risken för marköversvämning i de områden där detta ytledes rinnande vatten samlas.

För modeller där översvämningsarna sker av underjordiska eller lågt belägna objekt, till exempel källare eller garagedfarter, uppstår inget problem med att modellen inte beskriver ytledes avrinning eftersom vattnet orsakar skada innan det ens nått upp till markytan. Av samma anledning behövs inte ytöversvämningsmodell nivå III om syftet med en modellutredning är att genomföra åtgärder för att få bort all marköversvämning vid dimensionerande regn.

12 Modeller för olika syften

I tabell 3-1 redovisas vilken nytta man kan ha av en modellutredning kan vid olika typer av frågeställningar. I detta kapitel ges en mer detaljerad och teknisk beskrivning av olika typer av modellutredningar. I kapitel 11 ges en grundläggande beskrivning av underlagsmaterial (indata) som behövs till i princip alla typer av modeller oberoende av syftet samt vilka resultat en modellutredning kan förväntas ge. I detta kapitel anges vilka indata som behövs för olika typer av modellutredningar, med fokus på sådana indata som är mer specifika för en viss typ av modellutredningar.

Ett syfte med detta kapitel är att tillsammans med kapitel 11 ge en bild av vilket underlag som behövs för att en modell ska kunna tas fram och ge ett trovärdigt beräkningsresultat. Det andra syftet med detta kapitel är att beskriva vilket resultat som kan förväntas från olika typer av modellutredningar.

12.1 *Dimensionering av ledningssystem i nya områden*

Vid dimensionering av ledningssystem i nya områden kan modeller vara bra hjälpmedel för att säkerställa att ledningsnätet blir korrekt dimensionerat. Dimensionering med hjälp av modell är särskilt användbart i stora och komplexa ledningsnät, till exempel med många förgreningar, pumpstationer och utjämningsmagasin.

För att göra en modellberäkning avseende dimensionering av ledningar i nya områden behövs samma typ av underlag som redovisas i kapitel 11. De resultat som kan erhållas är också av samma typ som redovisas i kapitel 11.

12.2 *Analys av ökade flöden till följd av ökad befolkning/mängd/påkoppling av nya områden eller dylikt*

Ett vanligt användningsområde för hydrauliska modeller är att bygga upp modeller över ett befintligt ledningssystem och sedan undersöka effekten av ökad befolkning och nya verksamheter inom området eller påkoppling av nya områden.

Förutom det underlag som anges i kapitel 11 behövs uppgifter om förväntad framtida befolkning, nya verksamheter etc.

Beräkningarna visar om ledningsnätet, pumpstationer med mera har tillräcklig kapacitet för den ökade belastningen. Om så inte är fallet kan modellen användas för att utreda åtgärder vilket beskrivs i nästa kapitel.

12.3 *Dimensionering av åtgärder i befintliga system*

Hydrauliska modeller lämpar sig mycket väl för att undersöka åtgärder i befintliga system. Om det är frågan om större och mer komplexa lednings-

nät kan en modell vara enda möjligheten att säkerställa att en planerad åtgärd får önskad effekt.

Utöver det underlagsmaterial som redovisas i kapitel 11 behövs uppgifter om eventuella åtgärder som planeras och som därmed ska dimensioneras. Om inga konkreta åtgärder finns planerade kan det i stället behövas uppgifter om åtgärder som är möjliga att genomföra. Underlaget kan också utgöras av lägen som är tillgängliga för åtgärder eller omvänt: vilka hinder finns för att kunna göra åtgärder. Det kan till exempel vara mark som inte är tillgänglig på grund av ägarförhållanden, detaljplaner eller annat. Det är ofta fråga om andra ledningar, tunnlar eller liknande som ligger i vägen och som antingen inte går att flytta eller som enbart kan flyttas med mycket stora kostnader som följd.

Det resultat som erhålls är dels vilka åtgärder som behöver genomföras och vilken effekt dessa har, till exempel i minskad bräddning, minskad översvämningsrisk med mera.

12.4 Översvämningsanalys, verifiering av höjdsättning och identifiering av instängda områden

För identifiering av instängda områden används ytöversvämningsmodell nivå I eller högre (se kapitel 15.2–15.4). Med ytöversvämningsmodell II eller III kan dessutom verifiering av höjdsättning genomföras. Syftet är att säkerställa att höjdsättningen genomförs så att vatten på ett säkert sätt kan avledas ytledes vid regn som överstiger ledningsnätets kapacitet. För beräkningar med nivå II används en teoretisk kapacitet som specificeras av modellören, till exempel flödet vid det regn som ledningsnätet dimensionerats för. Med nivå III inkluderas även ledningsnätet i beräkningen och då blir det den av modellen beräknade kapaciteten som används.

Det underlag som behövs är samma som anges i kapitel 11. Dock är det viss indata som inte är nödvändig i alla typer av modellutredningar men som är nödvändig för att kunna göra en ytöversvämningsmodell nivå I eller högre. I första hand är det en detaljerad beskrivning av markhöjder. En laserscanning med minst 2x2 meter rekommenderas. För ytöversvämningsmodell nivå III krävs dessutom uppgifter om rännstensbrunnar och andra öppningar som ger en koppling mellan ledningsnät och markytan.

De resultat som erhålls är uppgifter om instängda områden, vattnets avrinningsvägar på marken vid extrema regnhändelser och vilka områden som riskerar att översvämmas vid dessa händelser.

Med ytöversvämningsmodell nivå II eller III är det dessutom, genom att modifiera markmodellen, möjligt att undersöka effekten av att till exempel anlägga vallar eller murar för att skydda vissa oråden, eller att skapa avrinningsvägar för att leda vattnet mot områden där det gör mindre skada.

12.5 Kontrollberäkningar – källaröversvämningsberäkningar

Hydrauliska modeller är lämpliga för de kontrollberäkningar som ofta görs vid utredningar av källaröversvämningsberäkningar. Vid tvister mellan huvudmannen

för ledningsnätet och den som drabbats av översvämningen kan modellberäkningar nästan vara ett krav för att huvudmannen ska kunna anses ha visat att ledningsnätet är korrekt dimensionerat. Om inte annat får det anses att möjligheten att med trovärdighet visa att ledningsnätet är korrekt dimensionerat (om detta är fallet) ökar med en modellberäkning. Detta gäller framförallt om det är fråga om ett stort och komplext ledningsnät.

Den framtagna modellen är även ett bra verktyg för att utvärdera åtgärder i det fall beräkningarna visar att ledningsnätet är underdimensionerat. Huvudmannen för ledningsnätet kan därmed anses ha nytta av modellen oberoende av om beräkningarna visar att ledningsnätet är korrekt dimensionerat eller underdimensionerat.

Om översvämningstillfället ska modelleras ligger ofta den största osäkerheten i hur mycket det regnade och hur regnet fördelade sig över området och i tid. För att kunna veta det krävs kontinuerlig regnmätning i ett stort antal punkter. För ansvarsfrågan är det dock inte avgörande eftersom det då handlar om huruvida nätet kan avbörda det dimensionerande regnet eller ej.

Indata som krävs för en modellutredning av källaröversvämningar är utöver det som anges i kapitel 11 uppgifter om drabbade fastigheter (eller andra områden som översvämmats) samt uppgift om kritiska nivåer, till exempel källargolvsnivåer.

Om modellberäkningarna ska användas som underlag för att avgöra ansvarsfrågan i en tvist är det lämpligt att genomföra flödesmätningar och kalibrera modellen. Om modellen enbart ska användas av huvudmannen för att till exempel utreda åtgärder för att minska översvämningsrisken kan en okalibrerad modell användas där avrinningsparametrarna valts så att de ligger på säkra sidan. Det blir då en avvägning mellan kostnaden att genomföra en flödesmätning och kalibrering jämfört med risken att åtgärder överdimensioneras. Överdimensionerade åtgärder är dock i sig inget problem eftersom de snarast ger en ytterligare säkerhet mot framtida översvämningar. Men kostnaderna kan bli onödigt höga och med en begränsad budget kan det finnas andra åtgärder som för samma pengar skulle ha gett större effekt.

Beräkningsresultaten visar dämningarnivåer i ledningsnätet vid dimensionerande regn. För att avgöra ansvarsfrågan jämförs dessa med kända kritiska nivåer, till exempel källargolvsnivåer.

12.6 Bräddberäkningar

Vid beräkning av bräddflöden och bräddvolymen är det viktigt att först bestämma syftet med modellberäkningen. Det är oftast ett större arbete att sätta upp och kalibrera en modell som ska kunna beräkna den årliga bräddningen baserat på verkliga uppmätta regn jämfört med att göra beräkningarna med typregn för att till exempel bedöma om en viss åtgärd kommer att minska eller öka bräddningen. Angreppssättet blir också olika om bräddningen i huvudsak sker vid intensiva regn, dvs. bräddning sker enbart vid mycket höga flöden jämfört med om det är fråga om bräddning vid lägre flöden som till exempel kan förekomma under nederbördsrika höstar eller i samband med snösmältning. Bräddning som förekommer vid snösmältning eller höstregn ger ofta längre varaktighet. De kan därför, trots lägre

bräddflöden, ofta ge betydligt större bräddvolymmer än de som förekommer vid intensiva sommarregn.

I områden med kombinerade system med hög exploateringsgrad blir avrinningen från hårdgjorda ytor så pass dominerande att övrigt tillskottsvatten ofta har underordnad betydelse och därför inte behöver beskrivas i modellen. För denna typ av områden är det i allmänhet tillräckligt att beskriva spillvattenflödet och anslutna hårdgjorda ytor och därefter belasta modellen med antingen typregn eller en regnserie. Undantaget är ledningsnät där vidaregående flöde från bräddavlopp och pumpstationer är mycket hårt strypt så att även till exempel snösmältning och inläckage i ledningsnätet kan orsaka eller ha betydande inverka på bräddningen. Där behövs den mer avancerade modellbeskrivning som beskrivs i nästa stycke.

För områden där annan typ av tillskottsvatten än direktanslutna hårdgjorda ytor har stor betydelse för flödena i ledningsnätet är det nödvändigt att göra en mer avancerad modellbeskrivning. Det som behövs utöver det som tidigare beskrivits är en modell som kan simulera nederbördspåverkan tillskottsvatten som är av annan typ än direktanslutna hårdgjorda ytor, till exempel Mike Urban RDI. Modellen belastas sedan med regnserier, till exempel för ett år, varefter bräddningens omfattning kan sammanställas med uppgifter om antal bräddtillfällen, bräddvolym och högsta beräknat bräddflöde.

12.7 Tillskottsvattenanalys

Vid utredning av tillskottsvatten ger hydrauliska och hydrologiska modeller i huvudsak två olika användningsområden vilka delvis sammanfaller med andra möjliga metoder att utreda tillskottsvatten.

Det ena användningsområdet är att använda modellerna för att utreda vilka eventuella problem tillskottsvattnet medför i form av till exempel risk för källaröversvämningar, bräddningar och försämrad reningsfunktion i reningsverk till följd av kraftigt utspätt spillvatten. Modellerna kan även användas för att utreda åtgärder för att minska dessa problem.

Det andra användningsområdet är att kalibrera en modell mot uppmätta flöden. De avrinningsparametrar som erhålls vid kalibrering kan användas för en analys av tillskottsvattnets karaktär och därmed går det att få en uppfattning av vad som orsakar detta.

Tidskonstanten, till exempel koncentrationstiden om tid-areamethoden används i modellen, anger i modellberäkningen hur snabbt eller långsamt tillskottsvattnet uppträder i mätpunkten efter ett regn. Detta ger ett bra underlag för att bedöma om det är fråga om direktanslutna hårdgjorda ytor, dränering och inläckage eller ett flöde som saknar tydlig koppling till nederbörd och snösmältning.

En "normal" koncentrationstid för avrinning från hårdgjorda ytor i detaljerat beskrivna modeller, dvs. modeller som i huvudsak innehåller alla ledningar, är i storleksordningen 5–15 minuter. Längre koncentrationstider kan förekomma om det är stora och flacka avrinningsområden. Men vid tider över 15 minuter är det rimligt att anta att det är annan nederbördspåverkan än direktanslutna hårdgjorda ytor. Det är svårt att ange skarpa

gränser, men koncentrationstider på till exempel 20–120 minuter skulle kunna vara överläckage från dagvattenledningar eller dräneringsvatten i genomsläppliga jordar. Längre koncentrationstider än 120 minuter kan till exempel vara dränering i mindre genomsläppliga jordar.

Om delar av modellen är förenklad så att ett stort avrinningsområde beskriver ett större område som i verkligheten innehåller ett ledningsnät så kan det dock anses ”normalt” även med längre koncentrationstider än 15 minuter.

Det viktigaste underlaget är mätvärden. Dels behövs uppmätt flöde från en eller flera punkter på ledningsnätet och dels behövs meteorologiska mätvärden (nederbörd, temperatur, avdunstning). För att utreda annat nederbördspåverkat flöde än direktanslutna hårdgjorda ytor är det i normala fall nödvändigt att ha fleråriga serier med mätvärden. Dygnsvärden är ofta tillräckliga för att analysera de flesta parametrar som kräver mycket långa tids-serier medan de parametrar som kräver högre tidsupplösning oftast går att analysera med hjälp av kortare mätperioder.

12.8 Dimensionering av dammar och utjämningsmagasin

Vid dimensionering av dammar och utjämningsmagasin kan modellberäkningar ge en ökad säkerhet kring dimensioneringen. Modellberäkningen har jämförts med excelkalkyler och andra förenklade beräkningsmetoder bättre möjligheter att till exempel ta hänsyn till systemets dynamik. Exempel på förhållanden som en modellberäkning kan förväntas beskriva bättre än mer förenklade beräkningsmetoder är:

1. Flödet ut från ett strypt utlopp. Flödet är beroende av vattennivån i dammen/magasinet och vattennivån nedströms, vilka båda varierar med tiden.
2. Flödet in till dammen/magasinet kan reduceras när vattennivån i denna stiger och orsakar dämning i ledningsnätet uppströms
3. Om det finns perioder med högt basflöde kommer dammen/magasinet att tömmas betydligt långsammare än vid perioder med normalt basflöde. Om basflödet och dess tidsvariation är känd kan hänsyn tas till det i modellberäkningar med långa kontinuerliga uppmätta regnserier. En lämplig metod är att använda en modell som kan simulera basflödet, till exempel Mike Urban RDI, och sedan göra analysen med långa regnserier.
4. Under perioder när regnen kommer tätt kan det hända att dammen/magasinet inte hinner tömmas mellan regnen. Om beräkningar görs med långa kontinuerliga uppmätta regnserier kan modellen beskriva detta och vilken eventuell risk det medför att dammen/magasinet blir översvämmat trots att de enskilda regnen inte är tillräckliga för att orsaka en översvämning.

12.9 Påverkan av klimatförändringar

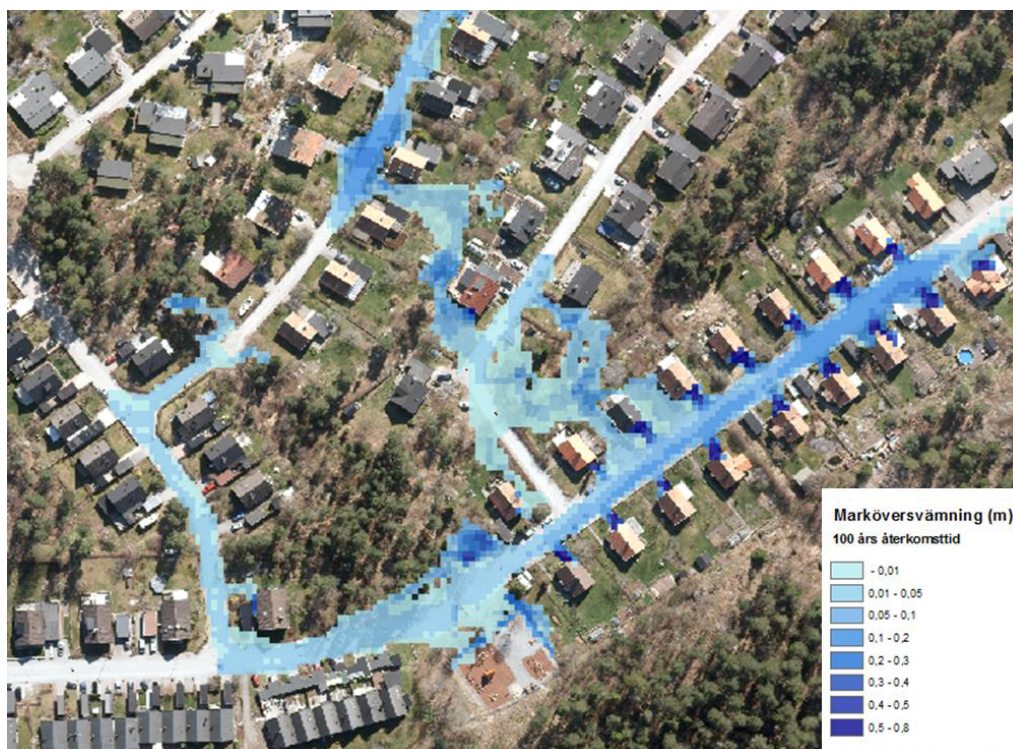
Med hjälp av hydraulisk modellering går det att studera vilken effekt ökade flöden, förhöjda havsnivåer med mera får i form av till exempel ökad översvämningsrisk. Klimatanpassningsåtgärder kan analyseras och prioriteras.

Påverkan av klimatförändringar är i många fall en del av en större modellutredning. Vid kontrollberäkningar av befintliga ledningsnät undersöks om dessa är korrekt dimensionerade. Dessa beräkningar genomförs utan klimatkfaktorer eftersom syftet är att undersöka nuvarande förhållanden. Men vid utvärdering av framtida ökad belastning på ledningsnätet eller planerade åtgärder bör klimatkfaktor medtagas om tidshorisonten motiverar detta, till exempel om åtgärder genomförs som kan förväntas ha en lång teknisk livslängd.

13 GIS, stödfunktioner

Geografiska informationssystem, GIS, används för att visualisera och analysera rumsliga och geografiska data.

GIS kan användas som stöd i flera delar i modelleringsprocessen. Ofta finns de indata som behövs för uppbyggnad av modellen i en GIS-databas ifrån vilken underlaget behöver importeras. GIS är också användbart för att visualisera simuleringsresultat och utföra vissa beräkningar såsom att räkna ut volym i ett ledningsnät. Nedan visas ett simuleringsresultat från en översvämningsmodellering, illustrerat med GIS.

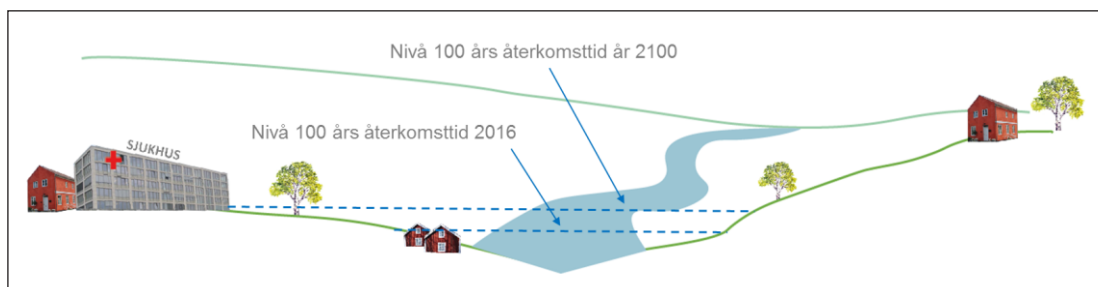


Figur 13-1 Simuleringsresultat av ytöversvämning presenterat med GIS.

GIS kan även användas som verktyg för att göra översiktliga skyfallskarteringar genom att identifiera lågpunkter i en höjdmodell, se kapitel 15.2.

14 Klimatanpassning

I takt med de stundande klimatförändringarna förändras också kraven på våra tekniska system. I vissa områden i Sverige utgör stigande havsnivåer ett hot och till följd av varmare klimat kommer intensiteten på skyfall och kraftiga regn öka. Figuren nedan illustrerar hur klimatförändringarna kan leda till nya utmaningar för samhället i form av ökade nivåer i vattendrag.



Figur 14-1 Översvämningsrisken förväntas öka till följd av de ökade flöden och nederbördsmängder som klimatförändringarna beräknas resultera i.

Eftersom mycket av den infrastruktur som byggs idag planeras för en livslängd på åtminstone 100 år innebär detta i praktiken att klimatförändringarna måste tas med i planeringen. Ett kanske ännu större problem är de befintliga system som även om de klarar dagens förhållanden behöver klimatanpassas bland annat genom uppdimensionering, för att klara av framtida flöden och nivåer.

Modellering kan vara ett användbart verktyg för att förstå hur samhället bör klimatanpassas. Modeller kan användas för att utreda hur system bör dimensioneras för att möta klimatförändringarna. De kan också användas för att undersöka vilken effekt klimatförändringarna kommer få på befintliga system samt för att prioritera olika klimatanpassningsåtgärder. Modellering kan också användas för att prioritera vilket område som är mest sårbart för ökade flöden och därmed bör klimatanpassas först.

15 Sårbarhetsanalys i samband med skyfall

Modellering kan användas för att utföra sårbarhetsanalyser i samband med skyfall, till exempel kartering av riskområden med hänsyn till ytöversvämning. Det finns flera olika modelltyper med varierande detaljeringsgrad och följaktligen varierad osäkerhet i resultat. Samtliga metoder beskrivna i detta avsnitt kräver en höjdmodell och syftar till att utreda hur vatten ansamlas och flödar på ytan. De olika metoderna samt höjdmodellen beskrivs nedan. För exempel på hur resultatet av ytöversvämningsmodellering kan illustreras, se 17.2.

15.1 Höjdmodellbehandling och uppbyggnad

Med hjälp av en höjdmodell som täcker det avrinningsområde i vilket utredningsområdet ligger kan en översvämningskartering utföras. För att uppnå tillräcklig noggrannhet rekommenderas en höjdmodell från laserscanning med upplösning på 2 m. Beroende på modellens storlek kan dock en högre eller lägre upplösning vara motiverad. För väldigt stora modeller kan det vara tillräckligt med 4 m eftersom en finare upplösning skulle kräva för mycket datorkraft och simuleringstid. För små områden kan en upplösning som är högre än 2 m vara rimligt att använda för att uppnå större noggrannhet i resultaten.

Som underlag kan till exempel NNH (nya nationella höjdmodellen) från Lantmäteriet användas. Det bör noteras att NNH endast beskriver markhöjder, således är träd, byggnader med mera inte inkluderat. Kvaliteten på höjdmodellen kommer till stor del avgöra noggrannheten på simuleringsresultaten. Det är därför bra att vara medveten om underlagets kvalitet, till exempel huruvida delar av höjddata är interpolerat i stället för uppmätt.

15.1.1 Rådatabehandling

Eftersom laserscanning inte tar hänsyn till alla vattenpassager, till exempel viadukter och broar krävs att sådana korrigeras manuellt. Annars kan resultatet felaktigt indikera instängda områden och potentiella rinnvägar förbises. Likaså bör byggnader höjas upp, då dessa generellt inte ingår i höjdmodellen men kan ha betydande påverkan på rinnvägar.

15.2 Nivå I: Kartläggning av instängda områden och vattenvägar

Den mest grundläggande karteringen av instängda områden identifierar rinnvägar samt lokala lågpunkter som potentiellt kan översvämmas. Karteringen relaterar inte till något specifikt regn eller återkomsttid och innefattar ingen egentlig hydraulisk modellering utan identifierar endast lågt

liggande områden där ökad risk för översvämning kan föreligga. Metoden lämpar sig för inledande och översiktliga analyser av stora områden för att hitta de riskområden som kräver närmare studier och eventuellt detaljerad översvämningsmodellering. Metoden går ofta under namnet Bluespot-analys eller lågpunktskartering.

15.2.1 Metod

Metoden innebär en relativt enkel analys av höjdmodellen. Genom ett flertal verktyg identifieras lågpunkter, det vill säga instängda områden, upp till deras tröskelnivå. Detta kan anses motsvara en mycket kraftig regnhändelse där ledningsnätet går fullt och all avrinning sker på ytan. En analys av detta slag kan genomföras med hjälp av GIS-baserade programvaror.

15.2.2 Riskvärdering

Denna nivå av kartläggning av instängda områden ger ingen detaljerad bild över var översvämning kan ske utan snarare en fingervisning på vilka områden som ligger i lågpunkter och som således kan vara mer riskutsatta än högre liggande områden. Samverkan mellan topografi, regnets magnitud och eventuella effekter av exempelvis ledningsnät och infiltration behöver beaktas för dynamiska resultat, vilket kan åstadkommas genom modellering, se nedan.

15.3 *Nivå II: Modellering av ytöversvämning utan anslutet ledningsnät*

Denna nivå innebär ytöversvämningsmodellering med höjdmodellen, men utan att inkludera ledningsnät eller vattendrag. Syftet är att identifiera översvämningsriskområden, då kapaciteten för ledningsnät och andra hydrauliska system överskridits, till exempel vid ett stort regn eller en regnhändelse som följer på en blöt period. Till skillnad från nivå I beskriver modellering en dynamisk process där ett regn med en viss karaktär och återkomsttid belastar modellområdet. De vattenansamlingar och flöden som genereras är huvudsakligen baserade utifrån de topografiska förutsättningarna. Parametrar som infiltration och yträhet, det vill säga hur trögt vatten rinner på en yta inkluderas också ofta. En modell av detta slag säger dock inget om kapacitetsproblem i ledningsnät och relaterade översvämningar i exempelvis källare.

15.3.1 Metod

Modelleringen kan utföras i 2D eller 1D. Två dimensioner passar för ytöversvämning som täcker större områden. Modellen beräknar hastighet och riktning på flöde på ytan och det går att få fram tämligen detaljerade resultat angående översvämningsutbredning vid ett visst regn. Modellering i en dimension passar för vattendrag till exempel åar och floder, där flödet i huvudsak sker i en riktning. Vattendragets utseende beskrivs i sektioner.

Vid 2D-modellsimulering där det aktuella området innefattar ett ledningsnät för vilket det inte finns en modell kan resultatet av simuleringen

visa på överdriven översvämningsutbredning eftersom ledningsnätet i verkligheten hade avlett en del av flödet. Om det är önskvärt att ta hänsyn till detta utan att upprätta en modell över ledningsnätet kan det göras genom reduktion av nederbörden.

Exempel: Ytöversvämningsutbredningen i ett bostadsområde vid 100-årsregn skall bestämmas genom simulering i ytöversvämningsmodell nivå II. I området finns ett ledningsnät som är dimensionerat för att kunna avleda ett 10-årsregn utan marköversvämnings, men det finns ingen modell över ledningsnätet. Vid simulering dras volymen motsvarande ett 10-årsregn bort från 100-årsregnet. Simuleringsresultatet representerar således översvämningsutbredningen vid belastning av regn med 100 års återkomsttid förutsatt att ledningsnätet fungerar som det skall.

Det bör observeras att denna förenkling medför osäkerheter då befintliga äldre ledningsnät inte alltid klarar av att avleda flödet de är dimensionerade för. Vid snabba förlopp (såsom intensiva åskskurar) hinner dessutom inte vattnet ner i ledningsnätet och översvämningsutbredningen kan bli större än förväntat. Översvämningsområden som uppstår till följd av att flöde leds någon annanstans via ledningsnätet kommer heller inte visas i resultaten. Metoden lämpar sig till exempel för områden med nyexploatering, där det ännu inte finns något ledningsnät men information om befintlig/projekterad marknivå finns. Det kan också vara lämpligt att använda metoden för större områden där syftet är att översiktligt identifiera riskområden och en detaljerad modell av nivå III därmed inte anses nödvändig.

Det finns möjlighet att göra modellen mer lik verkligheten genom att ta hänsyn till infiltration i marken. Om hänsyn till infiltration inte tas innebär det i stället att utgångspunkten är att marken redan är vattenmättad. För rekommendationer kring detta, se rapport från MSB "Kartläggning av skyfalls påverkan på samhällsviktig verksamhet" (Gustafsson & Mårtensson, 2014).

15.3.2 Riskvärdering

Denna nivå av kartläggning av ytöversvämnings ger en bra överblick av översvämningsutbredning vid större regn, men har en mindre detaljeringsgrad eftersom ledningsnät och andra system i vissa fall kan ha stor inverkan på resultaten.

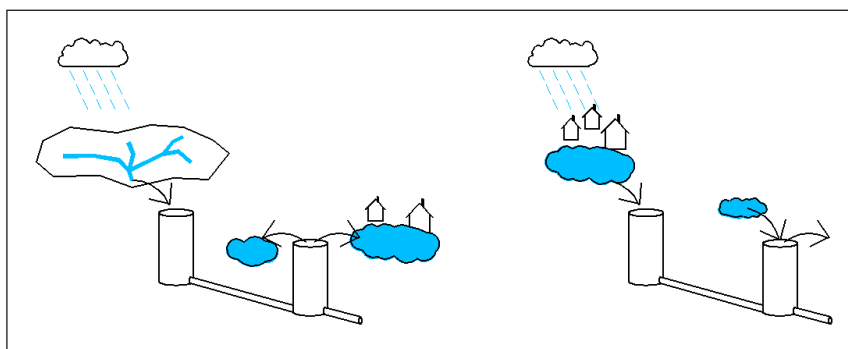
15.4 Nivå III: Modellering av ytöversvämnings med anslutet ledningsnät

I denna nivå är ytöversvämningsmodellen i Nivå II kopplad till planerat eller befintligt ledningsnät och/eller andra hydrauliska system. Metoden ger en mer detaljerad beskrivning av det studerade området.

15.4.1 Metod

Modellen i 15.3 kopplas samman med en rörnätsmodell eller en annan 1-dimensionell hydraulisk modell. Den vanligaste metoden innebär att då trycket stiger över marknivå i ledningsnätet översvämmas markytan och den 2-dimensionella modellen aktiveras och beräkning av ytavrinning och

flödesvägar sker (vänster bild i Figur 15-1 nedan). Det är också möjligt att utföra simulering där den 2-dimensionella ytöversvämningsmodellen belastas först, det vill säga vattnet rinner först på ytan och sedan ner i ledningsnätet i stället för tvärt om (höger bild i Figur 15-1). Den förstnämnda metoden rekommenderas dock för modeller där det redan finns en kalibrerad ledningsnätmodell uppbyggd. Detta eftersom infiltration och andra faktorer redan är inräknade genom modifiering av de avrinningsområden som belastar ledningsnätet (se kap 21.1). Om ytöversvämningsmodellen belastas först bör infiltration och andra reduktionsfaktorer beaktas för att inte överskatta flödet, för rekommendationer kring detta, se rapport från MSB "Kartläggning av skyfalls påverkan på samhällsviktig verksamhet" (Gustafsson & Mårtensson, 2014). Nackdelen med att belasta ledningsnätet först är att områden som inte är kopplade till ledningsnätet inte kommer visas som riskområden för översvämning. Till exempel kommer lågpunkter som inte är kopplade till ledningsnätet inte identifieras. I mån av tid kan det vara lämpligt att utföra båda sorternas simulering och reflektera över skillnaden i resultat. Detta är relativt enkelt gjort då båda tillvägagångssätten bygger på samma indata och använder samma modell.



Figur 15-1 Två olika sätt att utföra ytöversvämningsmodellering av nivå III. Till vänster: belastning av avrinningsområden till ledningsnätet och sedan till ytan då ledningsnätet går fullt. Till höger: Belastning av ytöversvämningsmodellen först varefter flödet rinner in i ledningsnätet och eventuellt upp på andra platser om nätet går fullt.

När en fungerande modell väl är uppbyggd är det en god idé att utföra känslighetsanalyser. Detta kan göras genom kompletterande simuleringar där olika parametrar varieras och förändringen i resultat studeras. Erfarenhetsmässigt slår avrinningskoefficient och parametrar för infiltration relativt mycket och en simulering där exempelvis högsta och lägsta tänkbara värde ansätts kan ge en uppfattning om i vilken utsträckning modellörens antaganden påverkar resultaten. Om resultaten varierar mycket är det viktigt att förmedla detta till beställaren och oavsett resultat är det en god idé att presentera känslighetsanalysens utfall för att belysa osäkerheterna. Det kan också vara intressant att utföra simulering med helt vattenmättade förhållanden för att undersöka vad som händer om ett regn faller efter en blöt period. I modellen görs detta genom att korrigera avrinningskoefficienten om ledningsnätet belastas först, se avsnitt 21.5. Om ytöversvämningsmodellen belastas först reduceras antagen infiltration, eller utesluts helt.

15.4.2 Riskvärdering

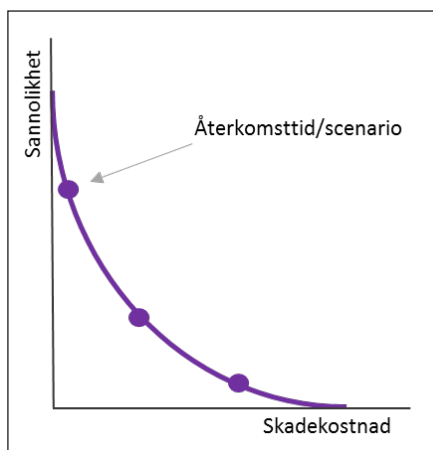
Detta är en mer detaljerad variant av ytöversvämningskartering där flera hydrauliska system samverkar. Modellen tar hänsyn till regnets karaktär och andra randvillkor och anses väl kunna identifiera var risk för översvämning föreligger. Det är viktigt att komma ihåg att resultaten i stor grad beror på indata samt de antaganden och förenklingar som gjorts. Det är viktigt att kommunicera dessa osäkerheter till beställare, beslutsfattare och andra som kommer använda simuleringsresultaten.

16 Kostnad-nyttoanalys med hjälp av modellering

Modellering kan användas i ekonomiska analyser såsom kostnad-nyttoanalyser för att stödja beslutsprocesser i planering, projektering och val av åtgärd och därmed underlätta ekonomisk optimering. Nedan presenteras en förenklad beskrivning av hur en kostnads-nyttoanalys genomförs, för en detaljerad version se Bilaga 6.

Kostnads-nyttoanalys (KNA) är ett verktyg för att jämföra kostnader och nyttor som en förändring i samhället medför (Hanley & Barbier, 2009). Analysen kan användas som beslutsunderlag vid prioritering av åtgärder mot översvämning. En fråga som ofta uppkommer i samband med åtgärdsrioritering är huruvida det är bäst att implementera en dyr men effektiv åtgärd eller en som är mindre kostsam men inte lika effektiv. En kostnads-nyttoanalys kan svara på den frågan. Kostnaden utgörs då av investerings- samt driftskostnaden och nyttan sänkning i riskkostnad, det vill säga skada som undviks tack vare åtgärden.

Analysen kräver att all data uttrycks i monetära termer. Vid samhällsinvesteringar utförs en KNA generellt för en längre tidsperiod, till exempel 100 år. Nyttan av en åtgärd som ett antal översvämningshändelser med olika återkomsttid förväntas bidra med räknas ut och interpoleras över hela tidsperioden. Detta jämförs sedan med kostnaden för implementering av åtgärden. Om resultatet, som uttrycks i nettonuvärde, är positivt är det samhällsekonomiskt försvarbart att implementera åtgärden. Om flera åtgärder jämförs med varandra är den åtgärd med högst nettonuvärdeskvot mest lönsam.



Figur 16-1

Skadekostnaden identifieras för ett antal återkomsttider. Den totala riskkostnaden över tidsperioden beräknas (arean under grafen)

Den totala kostnaden till följd av översvämningsskador för respektive återkomsttid uppskattas genom att identifiera antal, mängd eller dylikt av drabbade objekt och multiplicera med skadekostnaden per enhet. För många sorters skador finns schablonvärden på kostnad att tillgå. Till exempel skada på översvämmade hus och bilar, dödsfall, samhällsviktiga funktioner och

utsläpp av näringsämnen vid bräddning.¹ Vissa översvämningsåtgärder bidrar också till extra nyttor, till exempel kan omläggning av avloppsledningar medföra en extra nytta i form av att tillfälle till att förnya dricksvattenledningar kan tas i akt. Ett annat exempel är att ett parkområde med utjämningsfunktion också kan fungera som rekreationsområde, vilket kan öka både människors välbefinnande och marknadsvärden för fastigheter i området.

Antalet skadade objekt kan identifieras genom hydraulisk modellering. Beroende av översvämningsorsakerna, samt ytterligare randvillkor, kan olika typer av modelleringsverktyg vara lämpliga. Översvämnningar som orsakas av vattendrag erfordrar en ytöversvämningsmodell medan nederbördsorsakade översvämnningar bör behandlas i en modell där även ledningsnätet ingår. Ur simuleringsresultaten för varje återkomsttid kan sedan de typer av skador (till exempel antal objekt, volym av vatten med relevant förorening, mm) som är relevanta för området uppskattas.

Efter en modellsimulering av nuläget simuleras sedan scenarion för samma återkomsttider men med åtgärdsförslaget inkluderat. Antal skadade objekt utvärderas åter igen för varje återkomsttid. Mängden skadade objekt används sedan som input i kostnads-nyttoanalysen tillsammans med kostnader (till exempel schablonvärdena nämnda ovan) och investerings- och driftskostnad för åtgärden. Resultatet blir ett nettonuvärde och svaret på om huruvida åtgärden är berättigad att implementera eller ej.

¹ För referenser på schablonvärden för svenska förhållanden, se Karlsson & Larsson (2014), Cost-benefit Analysis: A tool for decision-making in pluvial flood risk management.

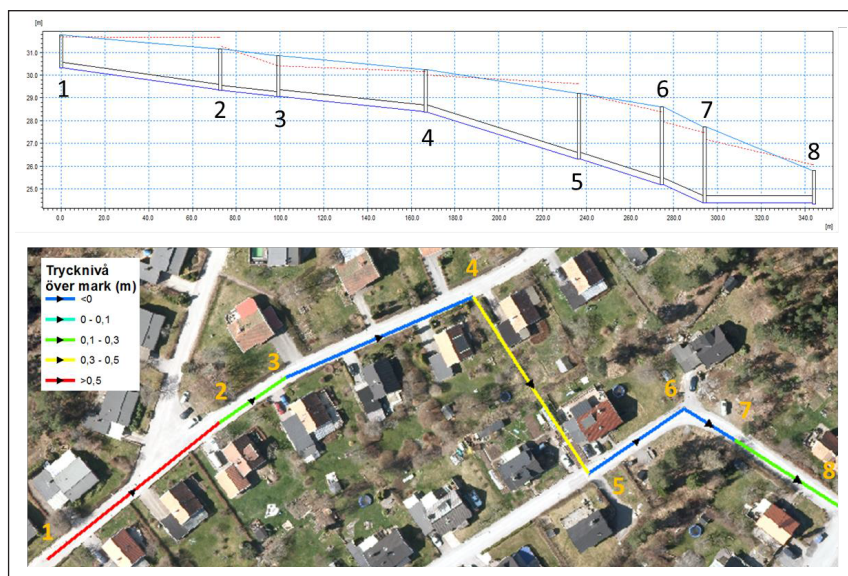
17 Redovisning av resultat

För att modelleringen skall tjäna sitt syfte är det viktigt att presentera resultaten på pedagogiska och tydliga sätt. Beroende på typ av modell och varför den är upprättad varierar givetvis det mest lämpliga sättet att redovisa. I detta avsnitt ges generella förslag på vad som bör ingå i en presentation i vanligt förekommande modellutredningar.

17.1 Ledningsnätssmodellering

För ledningsnätssimulering är det framför allt två typer av information som nästan alltid är intressant att få presenterad: maximal trycknivå över ledningshjässa samt maximal trycknivå över marknivå. Den förstnämnda indikerar var det finns kapacitetsbrist samt föreligger risk för källaröversvämning och den sistnämnda indikerar var det finns risk för marköversvämning. Förslagsvis presenteras denna information för hela modellen i en figur i plan med färgkodning motsvarande olika trycknivåer.

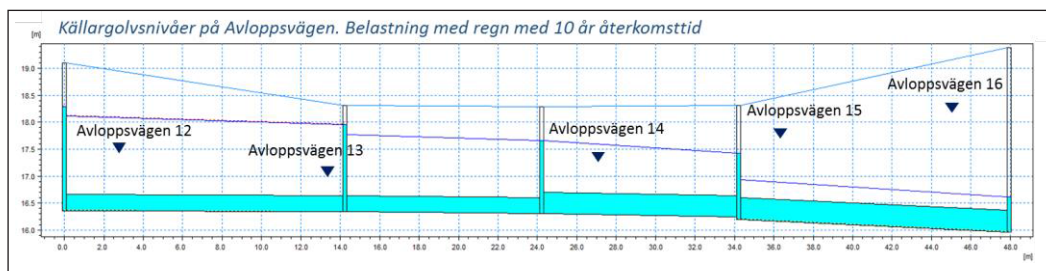
För områden som är särskilt intressanta, till exempel sträckor där åtgärder simulerats, samt där trycknivån är extra hög är det lämpligt att presentera profiler som redovisar trycknivå och ledningsdimensioner. Figur 17-1 visar exempel på presentation av ledningsnätprofil och maximal trycknivå i plan för samma sträcka.



Figur 17-1 Ledningsnätprofil och illustration i plan över en ledningssträcka. De områden där trycknivå (röd linje i profil överst) överstiger marknivå (blå linje i profil överst) kan marköversvämning förväntas. Den nedre planillustrationen indikerar förväntat översvämningsdjup på dessa sträckor.

I vissa modeller finns specifika problemställningar av intresse. Ett sådant exempel är risken för källaröversvämning. Genom att redovisa en lednings-

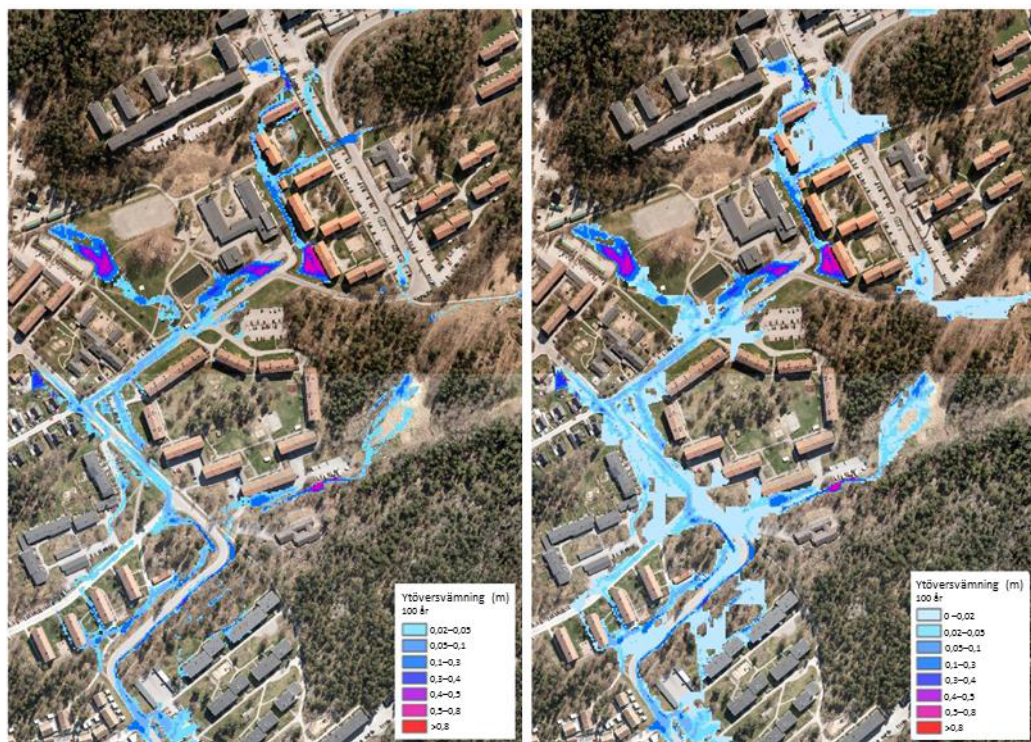
nätsprofil med trycknivå vid dimensionerande regn tillsammans med källargolvsnivåer kan en uppfattning om källaröversvämningsrisken erhållas. Figuren nedan visar exempel på presentation av detta.



Figur 17-2 Figuren visar hur resultatet av hydraulisk modellering kan redovisas tillsammans med källargolvsnivåer för att ge en bild av risken för källaröversvämnning. Där trycknivån överstiger källargolvsnivåer kan översvämnning förväntas vid simulerat regn.

17.2 Ytöversvämningsmodellering

För nivå I (se kapitel 15) är det relevant att presentera flödesvägar och översvämmade områden. För nivå II och III är det av intresse att redovisa maximalt översvämningsdjup med flödesriktning och flödes hastighet. Ett ortofoto eller en karta av området skall användas som bakgrund för att på ett pedagogiskt sätt kommunicera i vilka områden det föreligger översvämningsrisk. Det kan vara en god idé att vid redovisning av maxdjup utesluta områden där djupet är mindre än ett par cm. Detta eftersom så grunda



Figur 17-3 Presentation av maximalt djup för ytöversvämningsutbredning. I figuren till vänster är djup < 0,02 m exkluderade för att ge en mer korrekt bild av var kritisk översvämnning kan förväntas uppstå.

nivåer oftast indikerar en ytlig flödesväg snarare än en kritisk översvämningssyta. Redovisning av dessa som maxdjup kan felaktigt ge villfarelsen att ett visst område kommer översvämmas när det i verkligheten endast utgör en flödesväg. Figur 17-3 visar presentation av maxdjup för marköversvämningssimulering, där de lägsta nivåerna utesluts (till vänster) respektive inkluderats (till höger).

18 Kvalitetssäkring och dokumentation

18.1 Kvalitetssäkring

För att säkerställa att modellen håller rätt kvalitet skall den kvalitetssäkras. Det bör göras genom att en erfaren modellör som inte har varit delaktig i uppbyggnaden av modellen granskar modellen, underlaget och verifieringen av modellen. I kapitel 32.2 behandlas kvalitetssäkring mer ingående.

18.2 Dokumentation

En nyckel till att kunna upprätta modeller av hög kvalitet är att dokumentera så mycket som möjligt av det indata modellen är byggd på och vilka parametrar som använts. På så sätt kan modellens trovärdighet utvärderas i senare skede och förändringar kan göras kontinuerligt då verkligheten ändras eller nya förutsättningar uppstår. Information som denna förs in i ett dokument som blir modelldokumentationen. Modelldokumentationen skall uppdateras så fort ändringar görs i modellen. Det är inte ovanligt att en modell används av flera olika modellörer, varför det är extra viktigt att vara tydlig i dokumentationen. Se även kapitel 32.1.

19 Upphandling av modeller

Vid upphandling av en hydraulisk modell är det viktigt att ange vilken typ av system det är fråga om, vad modellen är tänkt att användas till, vilken modelltyp som beställaren tänkt sig och om modellen ska kalibreras och valideras. Se vidare i kapitel 3 och 12. Det kan även vara lämpligt att ange ledningsnätets storlek och utbredning. Antal brunnar eller meter ledning på huvudnätet samt avrinningsområdets area och vilken typ av bebyggelse som finns inom området kan till exempel anges.

Om flödesmätning ingår i beställningen bör kostnader för mätarhyra och övriga kostnader redovisas var för sig. Om mätperioden måste förlängas är det bra att veta vad kostnaden blir per vecka. I budgeten bör mätperioden sättas till minst 8 veckor med möjlighet att avbryta tidigare eller förlänga beroende på när tillräckligt underlag för kalibrering erhållits. Det är viktigt att ange hur många regnmätare samt mätpunkter i pumpstationer och i självfallsledningar som önskas. Om beställaren saknar kompetens att bedöma antalet mätpunkter kan projektet inledas med ett mindre uppdrag där en konsult tar fram underlag för upphandling av modellering och flödesmätning.

I underlaget för upphandlingen bör det översiktligt anges vilket underlag för modelluppbyggnad som tillhandahålls. En lista över vad som är nödvändigt och vad som är önskvärt redovisas i Bilaga 1.

Det bör även anges vilken typ och omfattning av redovisning som önskas. Se kapitel 17. Det kan till exempel vara lämpligt att ange antal gator eller meter ledning där översvämningsnivåer skall redovisas eller antal hektar som skall redovisas för ytöversvämnning.

Vid beställning av modelluppbyggnad bör det även anges att modellen, underlaget och verifieringen av modellen skall granskas av en erfaren modellör som inte har varit delaktig i uppbyggnaden av modellen.

Del 3:

Arbeta med modellering

20 Arbeta med modellering

Denna tredje rapportdel skall underlätta arbetet för dem som bygger upp och arbetar med modeller. Avsikten är att riktlinjerna skall leda till ett mer likriktat arbetssätt när det gäller modellering av avlopps- och dagvattennät.

Syftet är att

- höja standarden på modellerna
- ge riktlinjer för tekniska minimikrav
- skapa en gemensam grund för att höja ambitionsnivån hos både beställare och modellörer
- reducera arbetstid
- producera resultat med högre kvalitet för att kunna göra rätt investeringar

I följande kapitel redovisas rekommendationer för val av beskrivningsmetoder vid modelleringsarbete.

21 Hydrologisk modellering av avlopps- och dagvattennät samt översvämning

Hydrologisk modellering avser den del av modelleringen som berör flöden från avrinningsområden. Vid rönnätsmodellering kopplas flödet till en knutpunkt på ledningssystemet. Flödena brukar delas in i ”direkt nederbördspåverkan” och ”indirekt nederbördspåverkan”, vilka enligt P90 definieras på följande sätt:

- Direkt nederbördspåverkan (DNE): Flöden som orsakas av regn på hårdgjorda ytor direkt anslutna till avloppsledningsnätet.
- Indirekt nederbördspåverkan (INE): Flöden som, utöver DNE, belastar avloppsledningsnätet i samband med nederbörd, till exempel överläckage eller snabb grundvattenbildning som dräneras till spillvattensystemet.

Olika typer av ytor leder till olika typer av flöden. Hårdgjorda sammanhållna ytor ger till exempel snabba och intensiva förlopp medan långsmala och utsträckta grönytor ger utdragna lågintensiva förlopp. Vid framtagande av parametrar för hydrologiska modeller är det viktigt att beakta syftet med modellen och hur modellen ska användas. Motivet till att vara noggrann vid antagande av hydrologiska parametrar, även för en modell som ska kalibreras, är att få ”rätt” fördelning av de anslutna ytorna. Ofta innebär en kalibrering att ett ganska stort område kalibreras mot en mätpunkt. Ytorna justeras därefter i vanliga fall med samma faktor för alla områden uppströms mätpunkten. Om det uppströms mätpunkten både finns områden med kombinerade och separerade avloppssystem är det viktigt att olika hydrologiska parametrar används för dessa olika typer av områden. I annat fall kan den kalibrerade modellen vid analys till exempel visa att många ledningar i separerade områden är underdimensionerade samtidigt som ledningar i kombinerade områden kan verka vara bättre dimensionerade än vad de verkligen är.

Områden kan även vara separerade i olika utsträckning. På en gata kan dagvatten från fastigheter och gatumark vara kopplat till dagvattensystemet medan fastigheterna på nästa gata är kopplade så att dagvattnet leds till en kombinerad ledning samtidigt som gatumarken avvattnas till dagvattensystemet. Det är lämpligt att utesluta de ytor som avvattnas åt annat håll än till det studerade systemet.

21.1 Bestämning av hårdgjorda arealer

För att kunna simulera den snabba avrinningen till ledningssystemet vid ett regn är det absolut nödvändigt att beskriva andelen hårdgjord yta inom varje avrinningsområde så korrekt som möjligt i modellen. Den bidragande andelen kan bestämmas på ett antal olika sätt. De tre som vanligen används i Sverige är:

1. Andelen bestäms vid kalibrering mot flödesmätningar
2. Andelen bestäms av bebyggelse typer (till exempel enligt tabell 4.12 i P110)
3. Andelen bestäms av typ av yta (till exempel enligt tabell 4.11 i P110)

Andelen hårdgjord yta beräknade enligt metod nr 2 och 3 kan därefter justeras i samband med en kalibrering. Metod 3 kan förväntas utgöra det bästa underlaget för en kalibrering eftersom det innehåller en mer detaljerad information om markanvändningen i avrinningsområdet och är därför att föredra.

21.1.1 Underlag

För att kunna bedöma bebyggelse typ eller typ av yta krävs kartunderlag med tillräcklig information. Vissa kommuner och VA-huvudmän har färdiga GIS-lager för olika ytor. Om det inte finns är det bästa underlaget en kombination av georefererat ortofoto och detaljerat kartmaterial. Då kan kartmaterialet användas till att skapa ytor för beräkningar med hjälp av lämpligt GIS-verktyg. Med ortofotots hjälp bestäms bebyggelse typer eller typ av yta.

21.1.2 Arean bestäms vid kalibrering (metod 1)

Om resultat från en flödesmätning med god tillförlitlighet och tillräcklig tidsupplösning finns tillgänglig för ett område kan ansluten area bestämmas genom kalibrering. Metoden bygger i allmänhet på att den kalibrerade ytan läggs ut jämt fördelad på delavrinningsområdena uppströms mätpunkten. Metoden fungerar bra om avrinningsområdena uppströms mätpunkten är enhetliga med avseende på bebyggelse och ledningsnätets utbyggnad (separerat eller kombinerat). I annat fall finns risk att areans fördelning inom avrinningsområdet blir felaktig. Metoden fungerar också bra för förenklade modeller där ett avrinningsområde ansluts till en modell utan att ledningsnätet i avrinningsområdet är med i modellbeskrivningen.

Metoder för att genomföra kalibreringen beskrivs i kapitel 30.

21.1.3 Arean bestäms av bebyggelse typer (metod 2)

Metoden lämpar sig då uppgifter om bebyggelse typer finns, men data för olika typer av ytor saknas. Till exempel när det finns uppgifter om att ett visst område ska bebyggas med radhus men uppgifter om storleken på byggnader, vägar, parkeringsytor etc. saknas.

Om modellen ska användas okalibrerad bör parametrarna väljas enligt tabell 4.12 i P110, såvida det inte finns underlag som ger anledning att välja parametrarna annorlunda.

Erfarenheten är att avrinningsparametrar valda enligt tabell 4.12 i P110 i allmänhet ger en överdimensionering, vilket är avsiktligt eftersom det vid osäkert underlag finns anledning att dimensionera med en viss säkerhetsmarginal. Detta påvisas bland annat i två examensarbeten Larsson (2010), Lundmark (2010). Undantaget är tät stadsbebyggelse där dessa avrinningsparametrar tenderar att underskatta de anslutna hårdgjorda ytorna något.

Om modellen ska kalibreras bör avrinningsparametrarna väljas efter vad som är mest troliga avrinningsparametrar för olika bebyggelse typer. Erfä-

renhetsvärden som redovisas i Larssons examensarbete kan användas som utgångspunkt vid valet av parametrar. Se Bilaga 2 i denna rapport.

21.1.4 Areal bestäms av typ av yta (metod 3)

Metoden lämpar sig om det finns underlag om storlek på olika typer av ytor, till exempel tak, gator, parkeringsplatser etc.

Den sammanvägda avrinningskoefficienten för ett avrinningsområde beräknas som:

$$\varphi = (A_1 \cdot \varphi_1 + A_2 \cdot \varphi_2 + A_3 \cdot \varphi_3 \dots A_n \cdot \varphi_n) / A$$

φ = sammanvägd avrinningskoefficient för avrinningsområdet

A = avrinningsområdets area

A_1, A_2 osv = Areal för yta av typ 1, typ 2 osv

φ_1, φ_2 osv = Avrinningskoefficient för yta av typ 1, typ 2 osv

Om modellen ska användas okalibrerad bör parametrarna väljas enligt tabell 4.11 i P110, såvida det inte finns underlag som ger anledning att välja parametrarna annorlunda.

På samma sätt som för metod 2 är erfarenheten att avrinningsparametrar valda enligt tabell 4.11 i P110 i allmänhet ger en överdimensionering. Se ovan metod 2.

Om modellen ska kalibreras bör avrinningsparametrarna fastställas efter vad som är mest troligt för olika bebyggelsetyper. Erfarenhetsvärden redovisas i Larssons (2010) examensarbete kan användas som utgångspunkt vid valet av parametrar. Se Bilaga 2 i denna rapport.

21.2 *Hydrologiska modeller för anslutna hårdgjorda ytor och annan snabb nederbördspåverkan*

De flesta modeller beräknar avrinningsflöden med någon typ av tidsfördröjning. Det kan antingen vara en tidskonstant, till exempel koncentrations-tiden i tid-area-metoden, eller mer indirekt genom att till exempel avrinningsområdets längd, lutning och råhet anges.

Metoden att beräkna avrinningen baserat på rinntiden innebär att det vid kalibrering ibland inte går att åtskilja flöden från direktanslutna hårdgjorda ytor (DNE) och snabb indirekt nederbördspåverkan (INE), se kapitel 21 för en förklaring av begreppen DNE och INE.

21.2.1 Tid-area metoden

Tid-area-metoden är den vanligast använda metoden för avrinningsberäkningar i Sverige. Rapporten kommer därför i huvudsak att ta upp denna metod och enbart översiktligt redogöra för andra metoder.

Metoden bygger på att områdets anslutna hårdgjorda yta (reducerad area se kapitel 21.1) anges tillsammans med en koncentrationstid. Koncentrationstiden kan väljas på ett antal olika sätt. Nedan beskrivs de vanligaste.

P110-metoden

Hastighet och flödeslängd. Metoden är lämplig då det beräknade flödet ska ligga på säkra sidan eller då andra uppgifter saknas, till exempel vid beräkning för framtida bebyggelse. Metoden går ut på att beräkna rinntiden utifrån flödes hastighet och längden som vattnet ska rinna. Flödes hastigheter som ska väljas enligt P110 framgår av tabellen nedan.

Tabell 21-1 Flödes hastigheter enligt P110

Ledning i allmänhet	1,5 m/s
Tunnel och större ledning	1,0 m/s
Dike och rännsten	0,5 m/s
Mark	0,1 m/s

Lyngfelt-metoden

I P110 rekommenderas en formel (Lyngfelt, 1981) för beräkning av rinntiden, t_c , från sammansatta områden. Metoden tycks dock inte användas i någon större utsträckning i Sverige varför inga erfarenheter eller rekommendationer kring den kan ges i denna rapport.

Rinntiden [minuter] beräknas då med följande formel:

$$t_c = \frac{0,043 \cdot (L_{h80})^{0,71}}{i^{0,32} \cdot S_h^{0,35} \cdot A_{del}^{0,05}}$$

L_{h80} = huvudledningens längd fram till den längst upp liggande brunnen plus 80 m [m]

i = regnintensiteten [l/s·ha]

S_h = huvudledningens medellutning

A_{del} = deltagande avrinningsyta (reducerad area) [ha]

Alternativ förenklad metod (erfarenhetsbaserad)

En förenklad metod som i första hand är lämplig att användas om modellen ska kalibreras är att beräkna koncentrationstiden enbart utifrån avrinningsområdets area. Metoden är erfarenhetsbaserad och har tagits fram då värdena enligt P110-metoden oftast ger ett för snabbt förlopp, dvs. på säkra sidan vilket är motiverat om modellen inte ska kalibreras. Om modellerna ska kalibreras kan denna alternativa metod användas då den ger ett värde för koncentrationstiden som bättre överensstämmer med förväntad koncentrationstid efter kalibrering. Metoden är också snabb och enkel att använda i modellsammanhang eftersom den enbart bygger på avrinningsområdenas storlek, en uppgift som finns i modellerna. Metoden är därför den enda av de här presenterade som ger möjlighet att med måttlig arbetsinsats ta fram värden på koncentrationstiden i stora modeller, dvs. modeller med ett stort antal avrinningsområden. Koncentrationstiden [minuter] beräknas då med följande formel:

$$t_c = 5 + \frac{3 \cdot \sqrt{A}}{60}$$

A = Avrinningsområdets area [m²]

t_c = koncentrationstiden [min]

Metoden bygger på antagandet om en genomsnittlig rinnhastighet på 0,5 m/s, att vattnet inte rinner kortaste vägen genom avrinningsområdet samt en uppstartstid på 5 minuter. Metoden ger erfarenhetsmässigt en koncentrationstid som ligger nära den som slutligen erhålls i kalibreringen. Undantag finns dock. Framförallt kan vissa områden ge avsevärd mycket längre koncentrationstider. Det förenklade förfarandet innebär att metoden enbart är lämplig att användas då modellerna ska kalibreras. Kalibreringen säkerställer att den slutliga koncentrationstiden i modellen blir korrekt. Metoden finns inte beskriven i litteraturen utan är baserad på erfarenhet och framtagna av Hans Hammarlund.

21.2.2 Andra metoder

De flesta modellprogram ger möjlighet att beräkna avrinning från hårdgjorda ytor och annan snabb avrinning med andra metoder än tid-area-metoden. Dessa andra metoder används dock i väldigt liten utsträckning i Sverige. Det finns därför inte tillräckliga erfarenheter för att ge rekommendationer kring användning av dessa.

21.3 *Hydrologiska modeller för indirekt nederbördspåverkan*

Det finns ett antal olika modeller för att beräkna indirekt nederbördspåverkan. I Sverige har i stort sett enbart Mike Urbans RDI-modell använts till detta i spill- och dagvattennät. Avrinningsområdet beskrivs med en konceptuell modell som inte är direkt relaterat till avrinningsområdets fysiska egenskaper. Modellens parametrar är svåra (i stort sett omöjliga) att bestämma utan kalibrering mot uppmätta flöden. För instruktioner om kalibreringen se kapitel 30.3.3.

I vissa modellprogram (till exempel Mike Urban RDI) gäller att både vid kalibrering av modeller för långsam nederbördspåverkan och de efterföljande beräkningarna är det viktigt att den nederbörd som används innehåller "korrekt" volym över tiden, se kapitel 24.1.1.

Bedömningen är att det i Sverige i stort sett saknas erfarenhet av att använda andra modellprogram än Mike Urban för denna typ av modellberäkningar och därför kan dessa inte beskrivas i denna rapport.

21.4 *Avrinning från gröna tak*

Ett examensarbete (Andersson, 2015) har visat att det finns goda möjligheter att beskriva avrinningen från gröna tak. I examensarbetet undersöktes hur väl SWMM respektive Mike Urban klarar av att beskriva avrinningen från gröna tak. Slutsatsen blev "Jämförelser av resultaten hos de båda modelleringsprogrammen visade på olika styrkor och svagheter och ingen av programvarorna gav en i alla avseenden tillfredställande simulering av avrinningen. Mike Urban gav generellt en högre förklaringsgrad men gav alltid en överskattning av den avrunna volymen över en längre tidsperiod".

Pågående forskningsprojekt (2016) på bland annat Luleå tekniska universitet innebär att förbättrade möjligheter kan förväntas i framtiden. De som avser att modellera gröna tak uppmanas att följa utvecklingen av dessa forskningsprojekt.

21.5 Arean anpassas till mycket stora regn

Modeller är ofta kalibrerade för mätperioder som innehåller vanligt förekommande regn (till exempel inom intervallet 1 månad – 2 års återkomsttid) och de anslutna ytor som kalibreringen givit visar förhållandena vid den typen av regn. Vid mycket stora regn, till exempel 100-årsregn, är det rimligt att anta att vissa ytor som inte ger avrinning till avloppsnätet vid små regn kommer att göra det vid dessa stora regn. Främst kan det vara ej hårdgjorda ytor som blir vattenmättade och därmed ger upphov till betydande flöden som avrinner.

Det är svårt att ange detaljerade rekommendationer kring hur mycket flöde som kan komma från ej hårdgjorda ytor vid till exempel ett 100-årsregn. Det som tas upp nedan är en metod för att anpassa modellen för sådana beräkningar. Metoden är framtagen för modeller över dagvattennät och i första hand tänkt att användas till dessa. Men den borde även fungera till fullt kombinerade avloppsnät. För områden där det finns både spill- och dagvattenledningarna fungerar metoden troligtvis sämre. Det gäller såväl helt separerade områden som ofullständigt separerade områden. I dessa områden med två ledningar finns andra omständigheter som gör att avrinningsflöden och avrinningsvägar ändras vid mycket stora regn. Det kan till exempel vara dagvattennätet som blir fullt eller rännstensbrunnar som inte kan svälja stora flöden. Det resulterar i ökade flöden i spillvattennätet som inte enbart beror på större ytavrinning utan även på att till exempel dagvatten som normalt skulle ha runnit ner i dagvattennätet inte kan göra det om dagvattenledningarna är fulla. Då finns risk att detta vatten i stället rinner ner i spillvattenledningarna.

Metoden bygger på att de totala hårdgjorda ytorna i modellen är kända, dvs. framtagna med metod 2 eller 3 (se kapitel 21.1.3 – 21.1.4) varefter dessa ytor justerats i samband med kalibreringen. Dvs. i modellen anges avrinningsområdets area, sammanvägda avrinningskoefficient och kalibreringsfaktor. Om det vid kalibrering till exempel visar sig att det uppmätta flödet vid regn är 25 % lägre än det beräknade ansätts kalibreringsfaktorn till 0,75.

Vid mycket stora regn är det rimligt att anta att alla hårdgjorda ytor bidrar till avrinningen. Därför ansätts kalibreringskoefficienten till 1,0 om den är lägre än 1,0 i annat fall behålls det högre värdet. Därefter görs ett antagande om att övriga ytor bidrar till avrinningen med en viss avrinningskoefficient. Nedanstående formel och beräkningsexempel utgår från att den sammanvägda avrinningskoefficienten beräknats baserat på olika typer av ytor (tak, väg etc.) och avrinningskoefficienter för dessa ytor:

$$\varphi = (A_1 \cdot \varphi_1 + A_2 \cdot \varphi_2 + A_3 \cdot \varphi_3 \dots A_n \cdot \varphi_n) / A$$

φ = sammanvägd avrinningskoefficient för avrinningsområdet

A = avrinningsområdets area

A_1, A_2 osv = Arean för yta av typ 1, typ 2 osv

φ_1, φ_2 osv = Avrinningskoefficient för yta av typ 1, typ 2 osv

För ytor som kan betecknas som hårdgjorda, till exempel tak, asfalt och stenplattor, kan det vid en sådan beräkning vara rimligt att anta att de får avrinningskoefficient 1,0. För icke hårdgjorda ytor, till exempel gräs och skog, ansätts avrinningskoefficienten till ett valt värde som gäller för dessa ytor vid extrem nederbörd. Avrinningskoefficienten bör väljas i spannet 0,2–0,8 beroende på topografin. För ytor av semipermeabel karaktär, till exempel grusytor, kan det vara rimligt att behålla den ursprungliga avrinningskoefficienten (om den inte är lägre än den som väljs för icke hårdgjorda ytor). Dessa ytor utgör ofta en ganska liten andel av de totala ytorna. Om en mycket stor del av avrinningsområdet utgörs av grusade ytor måste avrinningskoefficienten för dessa väljas med större omsorg.

$$\varphi_{\text{stora regn}} = (A_{H1} \cdot \varphi_{H1} + A_{H2} \cdot \varphi_{H2} + A_{S1} \cdot \varphi_{S1} + \dots A_{O1} \cdot \varphi_{O1}) / A$$

$\varphi_{\text{stora regn}}$ = sammanvägd avrinningskoefficient för avrinningsområdet vid stora regn

A = avrinningsområdets area

A_{H1}, A_{H2} osv = Arean för yta av typ hårdgjord 1, typ hårdgjord 2 osv

A_{S1}, A_{S2} osv = Arean för yta av typ semipermeabel 1, typ semipermeabel 2 osv

A_{O1}, A_{O2} osv = Arean för yta av typ övrig 1, typ övrig 2 osv

$\varphi_{H1}, \varphi_{H2}$ osv = Avrinningskoefficient för yta av typ hårdgjord 1, hårdgjord 2 osv

$\varphi_{S1}, \varphi_{S2}$ osv = Avrinningskoefficient för yta av typ semipermeabel 1, semipermeabel 2 osv

$\varphi_{O1}, \varphi_{O2}$ osv = Avrinningskoefficient för yta av typ övrig 1, övrig 2 osv

Med övrig yta avses icke hårdgjord yta.

Exempel:

Ett avrinningsområde är totalt 20 000 m². Ytan är fördelad gräs/park/skog 12 000 m², grus 400 m², asfalt 4 000 m² och tak 3 600 m². Sammanvägd avrinningskoefficient har beräknats enligt P110. Därefter har en genomförd kalibrering visat att ytorna ska justeras ner med 25 %.

Den sammanvägda avrinningskoefficienten för ”normala” regn blir då (avrinningskoefficienter enligt P110):

$$\begin{aligned} \varphi &= (12\,000 \cdot 0,05 + 400 \cdot 0,2 + 4\,000 \cdot 0,8 + 3\,600 \cdot 0,9) / 200\,000 \\ &= 0,356 \end{aligned}$$

Och efter kalibrering:

$$\varphi_{\text{kal}} = 0,356 \cdot 0,75 = 0,267$$

För mycket stora regn blir det i stället (om avrinningskoefficienten väljs till 0,3 för övriga ytor):

$$\begin{aligned} \varphi &= (12\,000 \cdot 0,3 + 400 \cdot 0,3 + 4\,000 \cdot 1,0 + 3\,600 \cdot 1,0) / 200\,000 \\ &= 0,566 \end{aligned}$$

När storleken på de enskilda typerna av yta (tak, asfalt, grus, gräs etc.) är okänd kan en förenklad metod användas. Om avrinningskoefficienten för övriga ytor är $\varphi_{\text{ö}}$ beräknas den sammanvägda avrinningskoefficienten anpassad för mycket stora regn som:

$$\varphi = \varphi_{\text{H}} \cdot kf + \varphi_{\text{ö}} \cdot (1 - \varphi_{\text{H}} \cdot kf)$$

φ_{H} = sammanvägd avrinningskoefficient beräknad för hårdgjorda ytor

$\varphi_{\text{ö}}$ = avrinningskoefficient för övriga ytor

kf = kalibreringsfaktor (1,0 eller högre)

Exempel:

Avrinningskoefficienten för övriga ytor sätts till 0,3. Ett områdes sammanvägda avrinningskoefficient har beräknats till 0,5 och kalibreringen har givit en $kf = 0,75$. Då blir den effektiva avrinningskoefficienten vid "normala" regn 0,375 och för mycket stora regn beräknas den som:

$$0,5 \cdot 1,0 + 0,3 \cdot (1 - 0,5 \cdot 1,0) = 0,65$$

22 Spillvattenbelastning från bostäder och verksamheter

I detta kapitel redovisas olika sätt att beskriva spillvattenflöde i en modell, samt i vilket sammanhang olika beskrivningar bör användas.

Spillvattenflödet kan beskrivas på olika sätt beroende på vilken typ av modell det är fråga om samt vilken typ av indata som finns tillgänglig.

22.1 *Spillvattenbelastning beräknad från vattenförbrukning*

Vid modellering av ett befintligt system beskrivs lämpligen spillvattenbelastning från bostäder och verksamheter i modellen som flöden beräknade från debiterad vattenmängd. I normalfallet finns debiterad vattenmängd per abonnent och är att få från VA-huvudmannens debiteringssystem. Volymen får räknas om till ett flöde som belastar modellen antingen per abonnent eller områdesvis. Fördelen med att lägga in flödet per abonnent är att det går lättare att uppdatera modellen till en senare avläsning av vattenförbrukningen än om data blivit sammanslagen till områdesflöden. Det förutsätter dock att anläggningsnummer eller liknande finns lagrat i modellen så att matchning kan göras mot den nya förbrukningen.

För att flödet skall belasta modellen i rätt punkt måste förbrukningen koordinatsättas. Det brukar gå att åstadkomma genom en koppling till fastighetsbeteckningens koordinater i något kartunderlag.

22.2 *PE baserad spillvattenbelastning*

Om debiterad vattenmängd inte finns tillgänglig kan spillvattenbelastningen från bostäder beskrivas genom att ange antal personekvivalenter (PE) inom avrinningsområdet. Grovt underlag för detta kan ofta fås via folkbokföringen. Ett sätt att förbättra upplösningen är att fördela antalet personer på takarior för villor respektive flerbostadshus. Om takytorna är slutna polygoner kan man i GIS räkna ut takytan och sedan skapa en punkt i mitten av varje polygon. Punkten ges information om takytans storlek. Det kan vara lämpligt att inte ansätta några boende i de minsta byggnaderna, förråd och lekstugor mm. En gräns kan till exempel dras vid 45 m².

För att skapa spillvattenflödet används sedan statistik om normal vattenförbrukning per PE. Om VA-huvudmannens inte kan tillhandahålla underlag för det kan vattenförbrukningar enligt kapitel 4 i P110 användas.

22.3 *Spillvattenbelastning baserad på prognos*

För modellering av spillvattenflöden från bostadsområden som inte är byggda än får beräkningar göras med information om antal bostäder eller

antal invånare som underlag. Flödet kan antingen beräknas med erfarenhetsvärden från liknande befintliga områden eller enligt kapitel 4 i P110.

För framtida verksamheter får spillvattenflödet beräknas med hjälp av kapitel 4 i P110 såvida vattenförbrukning inte är känd. Ytterligare underlag finns i kapitel 8 i P83.

22.4 Förbrukningsmönster

Vid kalibrering bör spillvattenbelastningen läggas in i modellen med en dygnsvariation eftersom vattenförbrukningen i verkligheten varierar över dygnet. Detta är särskilt viktigt i områden där spillvattenflödet varierar mycket över dygnet och utgör en betydande del av flödet. I områden där spillvattenbelastningen är liten i förhållande till flödestopparna från ytavrinningen vid regn kan spillvattenflödet läggas in som ett basflöde från respektive avrinningsområde.

Det är än så länge sällsynt med flödesloggande vattenmätare på distributionsnätet och hos abonnenter. Om det finns kan sådan information användas för att skapa erforderliga tabeller med dygnsvariationer under förutsättning att det inte finns någon reservoar efter vattenmätaren. I normalfallet kan man utgå från de tabeller som finns i kapitel 4 i P110 samt kapitel 8 i P83. Vid kalibrering av modellen anpassas dygnsvariationerna så att det simulerade flödet stämmer överens med det uppmätta.

Om modellen belastas med typregn (blockregn eller CDS-regn) bör förbrukningsmönster inte användas eftersom regnet kan inträffa vid dygnets alla timmar. För att vara på säkra sidan kan medelförbrukningen multipliceras med en lämplig faktor till exempel maxdygnsfaktor eller maxtimfaktor enligt P110. Vid kapacitetskontroll av ett system kan det vara lämpligt att räkna med medelförbrukningen medan det kan vara lämpligt att använda en säkerhetsfaktor vid dimensionering av ett system.

23 Tillskottsvatten, annan flödespåverkan

Så gott som alla spillvattenförande ledningssystem belastas utöver spillvatt-
net av vatten med annat ursprung. Detta vatten brukar sammanfattande
kallas för tillskottsvatten och omfattar allt det vatten som borde vara någon
annan stans än i spillvattennätet. Om det är ett kombinerat system eller ett
dagvattensystem som modelleras hör det mesta av tillskottsvattnet hemma
där.

Det flöde som är lättast att beskriva i modellen är regnvattenflöde från
ytor kopplade till ledningssystemet. Det beskrivs närmare i kapitel 28.1.1.
Det finns dock många andra källor för tillskottsvatten. Det kan till exempel
röra sig om grundvatten som tar sig in genom otäta eller trasiga ledningar
och uppträder i systemet som ett konstant flöde eller ett flöde som varierar
långsamt över året. Det går att beskriva antingen som ett konstant flöde,
som får väljas efter årstid, eller med RDI-funktionen för beskrivning av
långsamma flöden. Se kapitel 28.1.2.

Husdräneringar ger oftast upphov till ett flöde som liknar inläckageflödet
och kan beskrivas på samma sätt, men i vissa fall där dräneringsledningarna
är ytligt förlagda kan den vid långvariga regn ge upphov till ett flöde som
mer påminner om avrinning från naturmark. Beroende på flödets karaktär
och modellens detaljeringsgrad bör det beskrivas antingen som ett avrin-
ningsområde med lång koncentrationstid och stor initialförlust eller med
RDI-funktionen för beskrivning av långsamma flöden.

Vid intensiv nederbörd eller höga vattennivåer i hav, sjöar och vatten-
drag kan plötsligt nya flöden uppkomma i systemet. Det kan vara fråga om
vatten som rinner in genom bräddpunkter som inte utrustats med bakvat-
tenstopp men det kan även vara fråga om överläckage från otäta dagvatten-
system när dessa går dämnda upp till markytan.

Trånga sektioner i dagvattennätet, till exempel rännstensbrunnar, kan
göra att vattnet inte kan ta sig ner i dagsystemet utan rinner vidare på mark-
ytan och hamnar någon annanstans än där det var tänkt. Det är viktigt att
ha i åtanke när mycket intensiva regn modelleras med en modell kalibrerad
för normal nederbörd.

24 Meteorologisk indata

24.1 Nederbörd

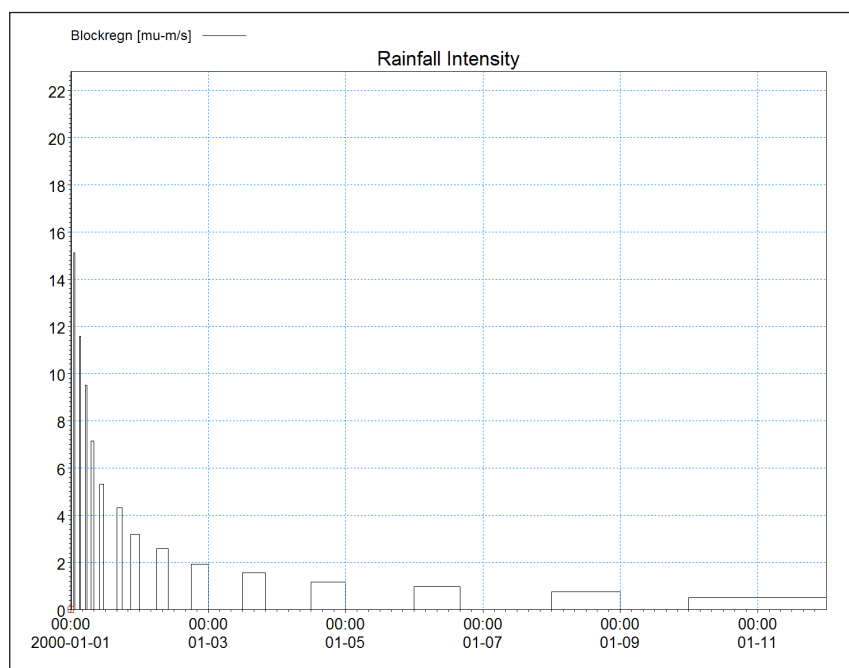
24.1.1 Regn och typer av regndata

Det finns tre typer av regn som vanligtvis används vid simulering i modeller. Det är blockregn, CDS-regn och historiskt uppmätta regn. Blockregn och CDS-regn är syntetiska framtagna regn vars regnintensitet beräknas med formler eller baseras på regnstatistik i ett bestämt område. De formler som vanligtvis används är någon av Dahlströms formler. Av dessa rekommenderas att enbart Dahlströms nya formel (för detaljer se P104 och P110) användas då ny forskning baserad på längre regnserier visat att den tidigare formeln (med Z-värden) inte är lämplig att använda. Om block- och CDS-regn baseras på lokalt uppmätt regnstatistik är det viktigt att fundera över regnens giltighet för långa återkomsttider samt långa och korta varaktigheter. Det går inte att ange någon skarp gräns för när ett regnvärde baserat på en regnserie med viss längd ska anses ”säkert” respektive ”osäkert”. Ju längre regnserien är i förhållande till den återkomsttid som ska studeras desto högre statistisk säkerhet kan regnvärdet för den aktuella återkomsttiden anses ha. I tabell 2.2 i P104 finns en viss vägledning. Av tabellen framgår att om det antas att det kraftigaste regnet i en 10-årig regnserie motsvarar ett 10-årsregn så är det 18% risk att det regn som då betraktas som ett 10-årsregn egentligen är ett 50-årsregn. För regn med återkomsttider som överskrider den lokalt uppmätta regnseriens längd eller ligger nära denna bör i stället Dahlströms formel användas.

För Dahlströms nya formel anges följande. I en SVU-rapport (Dahlström, 2010) anges att formeln är giltig för varaktigheter mellan 5 minuter och 24 timmar och återkomsttider mellan 1 månad och 10 år. P104 är utgiven senare och anger också att formel gäller för varaktigheter upp till 1 dygn. Däremot finns i P104 ingen uppgift om för vilka återkomsttider formeln är giltig. Dock finns intensitets-varaktighets-kurvor utritade för återkomsttider från 0,5–100 år. Enligt Claes Hernebring (huvudförfattare till P104) ligger det i sakens natur att 100-årsskattningarna blir osäkra. Sammanfattningsvis kan sägas att medan det ofta finns behov av att göra beräkningar med regn för långa återkomsttider finns det inga regnserier som är tillräckligt långa för att ge ett tillräckligt statistiskt underlag enligt Viktor Arnells tumregel (vilken säger att regnserien bör vara 3 gånger så lång som den återkomsttid man vill bestämma). Det får därför helt enkelt konstateras att det kommer att vara en större osäkerhet i 100-årsregnet än i 10-årsregnet men att den formel som nu tagits fram, Dahlströms nya formel, bedöms vara den som ger den bästa bedömningen av hur stort till exempel ett 100-årsregn är.

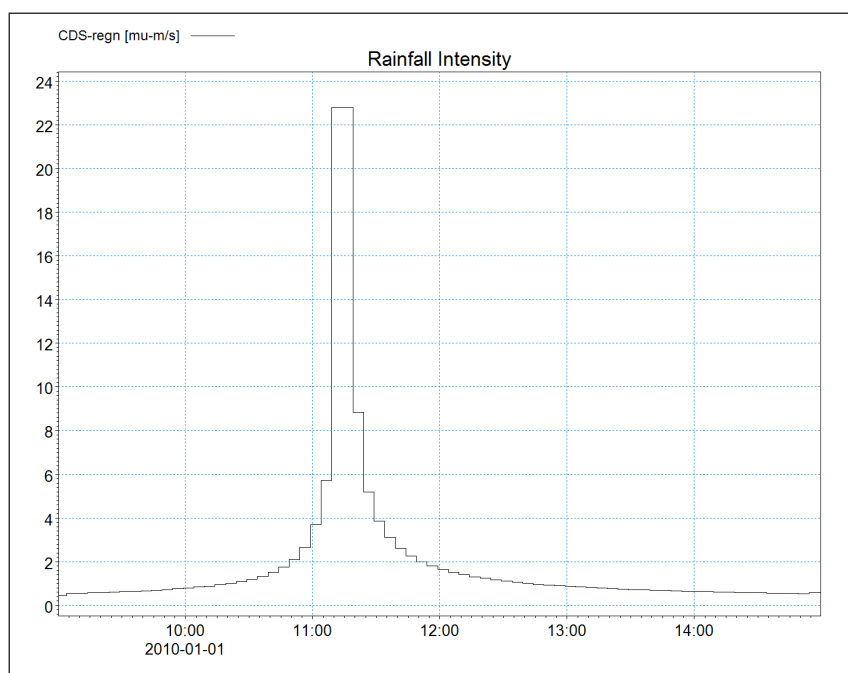
Nedan beskrivs de tre olika typregnen mer noggrant.

1. *Blockregn*: En regnhändelse som har samma intensitet längs händelsen se Figur 24-1. Varaktigheten på blockregn väljs med hänsyn till systemets rinntid fram till den ledning som ska dimensioneras eller kontrolleras. När blockregn används i modellberäkningar är det möjligt att förenkla förfarandet genom att ta fram en serie blockregn med olika varaktigheter som med marginal täcker in systemets kortaste och längsta rinntid. Varaktigheter kortare än 10 minuter behöver dock inte väljas eftersom de anvisningar (P110) som finns för dimensionering anger 10 minuter som kortaste varaktighet för dimensionerande regn.



Figur 24-1 Exempel på blockregn. 10 års återkomsttid, varaktigheter från 10 minuter till 2 dygn.

2. *CDS regn*: Chicago Design Storm (Se Figur 24-2) är ett syntetiskt regn uppbyggt av ett antal blockregn med olika varaktigheter. CDS-regnet är uppbyggt så att intensiteten för det centrala blocket är samma som intensiteten för ett blockregn med samma varaktighet. Regnintensiteten för blocken utanför det centrala blocket är beräknade så att regnet blir volymriktigt för motsvarande varaktighet. CDS-regnet beskrivs utförligt i P104. Där finns även formler för att beräkna intensiteten för respektive regnblock i CDS-regnet. CDS-regnen byggs ofta upp så att det centrala blocket inte är centralt placerat utan kommer tidigare än regnets halva varaktighet. P65 anger att intensitetsmaximum bör läggas vid en tidpunkt mellan 0,32 och 0,48 av regnets totala varaktighet. Arnell (1991) rekommenderar 0,37.



Figur 24-2 Exempel på CDS-regn beräknat med Dahlströms nya formel (P110). Återkomsttid 10 år, varaktighet 6 timmar, centralt block 10 minuter, tidssteg 5 minuter.

3. *Historiskt regn:* Uppmätta regnhändelser. Vid kalibreringar är det nödvändigt att använda verkliga uppmätta regnhändelser. Vid vissa typer av beräkningar är det också en stor fördel om beräkningen kan göras med uppmätta regnserier, se text nedan. Om nederbörden ska användas till kalibrering av modeller för långsam nederbördspåverkan och de efterföljande beräkningarna är det i vissa modellprogram (till exempel Mike Urban RDI) viktigt att den nederbörd som används innehåller "korrekt" volym över tiden. Orsaken till att uppmätta regnserier inte alltid innehåller korrekt volym är till exempel att mätaren varit ur funktion, loggningen av data inte fungerat, att mätaren inte är uppvärmd så att snönederbörd därmed inte mäts. Ifall regnserien kan misstänkas innehålla felaktig volym under vissa perioder är det lämpligt att under dessa perioder ersätta med uppmätt nederbörd från någon närliggande nederbördsmätare som bedöms tillförlitlig. Förslagsvis används närmast belägna SHMI-mätare. Dessa är i allmänhet försedda med uppvärmning och de som avläses manuellt får dessutom tät och regelbunden tillsyn. Nederbörd kan laddas ner från SMHI.² Om inga närliggande nederbördsmätare finns tillgängliga kan som en sista utväg platsens normala månadsnederbörd användas. Kartor med normal månadsnederbörd kan laddas ner från SMHI.³

Frågan om vilka regn som är lämpliga för olika situationer behandlas bland annat i P104. Rekommendationen är att använda CDS-regn vid dimensionering av nya ledningar. Vid dimensioneringskontroll av befintliga ledningsnät, till exempel efter inträffade översvämningar, rekommenderas i stället att en

² <http://opendata-download-metobs.smhi.se/explore/>

³ <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/nederbord>

serie blockregn används. Regnserien ska innehålla ett antal regn med samma återkomsttid men med olika varaktigheter. Varaktigheterna ska med marginal täcka in de rinntider som kan förekomma i det undersökta ledningsnätet, se figur 24-1 som visar ett exempel på en sådan serie av blockregn.

Bräddberäkningar kan genomföras med CDS-regn eller kontinuerligt uppmätta regnserier. I det allmänna fallet rekommenderas beräkning med kontinuerligt uppmätta regnserier. Modellbeskrivningen bör vidare inkludera både DNE och INE, dvs. både direkt och indirekt nederbördspåverkan (se kapitel 21, 21.2 och 21.3). Rekommendationen baseras på ett examensarbete, Ryan (1997). I examensarbetet undersöktes förutsättningarna för att beräkna bräddvolymen med CDS-regn jämfört med att använda kontinuerligt uppmätta regnserier i en modell som inkluderar både DNE och INE. Examensarbetet visar förvisso att beräkningar med CDS-regn kan ge en rättvisande mängd bräddning för vissa tillämpningar men att det även finns exempel där bräddvolymen beräknad med CDS-regn kan underskattats ganska mycket. Examensarbetet drar slutsatsen att för system med stora volymer (till exempel utjämningsmagasin) och/eller långa rinntider tenderar beräkning med CDS-regn att underskatta bräddvolymen medan CDS-regnen fungerar bättre för system med små volymer och där bräddavlopp finns placerade långt upp i systemen. Bräddberäkning med CDS-regn ger vidare enbart en bräddvolym motsvarande ett medelår. Om bräddvolymen för ett specifikt år önskas är det alltid nödvändigt att göra beräkningen med en kontinuerlig regnserie.

För dimensionering av utjämningsmagasin på spillvattennät kan det vara en fördel att göra beräkningarna med kontinuerliga regnserier eftersom en dimensionering med block- eller CDS-regn riskerar att underskatta volymen i likhet med hur bräddvolymen kan underskattas.

Det går även att få fram regndata ur radarbilder. Det är ett nytt teknikområde och erfarenheter håller på att byggas upp.

För mer ingående beskrivning av olika regntyper hänvisas till P104.

24.1.2 Snö och snösmältning

Snösmältning är sällan dimensionerande för spill- och dagvattenledningar men kan vara det för vissa system. Det gäller främst dagvattensystem med stora volymer (dammar, magasin mm) som är hårt strypta, dvs. där avrinningens volym snarare än intensitet är avgörande. Modellering av snö och snösmältning görs i huvudsak med två olika metoder:

1. Beräkningen görs utanför modellprogrammet. Nederbörd och temperatur samt eventuellt andra parametrar läggs samman i till exempel Excel eller separat program för beräkning av snö och snösmältning. Snömängd beräknas baserat på dessa parametrar. Den resulterande nederbördsserien kan sedan användas som en vanlig regnserie och ingen temperaturinformation behövs därför i modellprogrammet.
2. Beräkningen görs av modellprogrammet. Olika modellprogram kan ha olika beräkningsmetoder. Den i Sverige vanligast förekommande (grad-dag-metoden) utgår endast från temperaturen. Vid minusgrader lagras all nederbörd som snö och vid plusgrader smälter snön och tillförs

avrinningsmodellen. Hastigheten på snösmältningen beräknas genom en faktor som multipliceras med aktuell temperatur.

I ett examensarbete från SLU (Larsson, 2004) redogörs för grad-dag-metoden samt en annan vanligt förekommande metod för att beräkna snö och snösmältning: *”Modellering av snösmältning har traditionellt sett huvudsakligen dominerats av två olika angreppssätt. Det första baseras på lösningen av snöns energibalans ekvation och det andra på att man antar att det finns ett empiriskt samband mellan snösmältning och lufttemperatur. Dessa så kallade temperaturindexmetoder, där smältningen bestäms med hjälp av grad-dag faktorer som omvandlar antalet grader över en tröskeltemperatur till antal mm smältvatten, har enligt Hock (2003a) av ett antal anledningar varit de mest använda i snösmältningsmodellering. Bland dessa kan nämnas: (1) tillgången på temperaturdata är ofta god, (2) interpolering och prognostisering är relativt enkel för temperatur och (3) att de trots sin enkelhet ofta fungerar bra. På grund av detta bygger de flesta avrinningsmodeller, som används operationellt, på denna metod.”*

Erfarenhetsmässigt har det konstaterats att vid användning av grad-dag-metoden sker snösmältningen för tidigt i modellen. Detta beror sannolikt på att snö fungerar isolerande både för sig själv och för marken. Därmed blir medeltemperaturen i snötäcket lägre än i luften. En lösning som brukar fungera bra är att sänka den uppmätta lufttemperaturen innan den används som indata till modellberäkningar. Ibland räcker det att sänka temperaturen med 0,5 grader och ibland behövs en större justering. Även små justeringar av uppmätt temperatur kan ha ganska stor inverkan på beräknat snötäcke och därmed på snösmältningen. Det gäller framförallt under perioder då temperaturen ligger nära noll grader under en längre tid.

Även om snösmältning sällan är dimensionerande för spill- och dagvattensystem kan det ändå finnas anledning att räkna med denna då modeller kalibreras mot fleråriga tidsserier. I annat fall riskerar mätvärdena för flera månader varje år att inte kunna användas till kalibreringen.

24.2 Temperatur

Vid modellering av spill- och dagvattennät används uppmätt temperatur huvudsakligen för att beräkna snö och snösmältning. Temperaturen varierar vanligtvis ganska långsamt under dygnet och det räcker därför med en tidsupplösning på två till tre avläsningar per dygn. Det är dock en fördel om minst två mätvärden per dygn finns jämfört med om det bara finns ett eller om medeltemperaturen används. Anledningen är att det inte är ovanligt att snösmältning sker under några timmar på dagen även om dygnets medeltemperatur är under noll. Med indata av medeltemperaturen skulle modellprogrammet då inte beräkna någon snösmältning. Om i stället enbart ett temperaturvärde uppmätt på dagen skulle användas skulle i stället modellprogrammet beräkna en för stor snösmältning om temperaturen på natten är under noll. Det är lämpligt att försöka fånga in dygnets max- och min-temperatur i de temperaturdata som används för beräkning av snösmältningen. Mintemperaturen förekommer oftast precis före sol-

uppgången. En temperaturavläsning kl. 07 kan därför vara lämplig med tanke på under vilka årstider snösmältning oftast sker. Maxtemperaturen förekommer oftast någon eller några timmar efter att solen stått som högst på himlen. En temperaturavläsning kl. 16 kan därför vara lämplig.

Vid beräkning av snösmältning kan den uppmätta lufttemperaturen behöva justeras eftersom temperaturen i snön kan avvika från lufttemperaturen, se kap 24.1.2.

24.3 Avdunstning

Uppgifter om potentiell avdunstning används av modeller som beräknar flöden som i hög grad är indirekt nederbördspåverkan, till exempel dränering och grundvatteninläckage, dvs. flöden som påverkas av grundvattennivåer, markens vatteninnehåll med mera. Modellerna beräknar därefter aktuell avdunstning beroende av vattenmättnaden i olika markvattenmagasin.

Månadsmedelvärden över potentiell avdunstning anses av oftast vara ett tillräckligt bra underlag (Gustafsson,1995).

Månadsmedelvärden för potentiell evapotranspiration kan hämtas från Eriksson (1981) som bland annat, med hjälp av Penmans formel, räknat ut månadsmedelvärden för ett mycket stort antal platser i Sverige. Vid urban tillämpning bör enligt Gustafsson (1995) månadsmedelvärdena multipliceras med en faktor 0,9 för att ta hänsyn till att marken delvis är hårdgjord och att växtligheten (till exempel gräsmattor) är mindre omfattande än i ett naturområde för vilka värdena i Erikssons (1981) rapport är framtagna.

25 Randvillkor

Randvillkor är de villkor som sätter ramarna för en hydraulisk modell, till exempel nederbörd, spillvattenbelastning, externa vattennivåer, in- och utströmning, avdunstning och temperatur. Se även kapitel 21.3, 24.1.1 och 24.1.2 som tar upp vissa av dessa parametrar. Detta kapitel behandlar de randvillkor som inte behandlas på annan plats i denna rapport.

Vid osäkerhet kring randvillkoren kan det vara lämpligt att välja randvillkor som ligger på säkra sidan. Dock bör värdena väljas med hänsyn till en total riskbedömning. Om det inte finns något tydligt naturligt samband mellan till exempel kraftig nederbörd och hög vattennivå i recipienterna kan en situation där båda väljs för att motsvara en 10-årshändelse för respektive randvillkor ge en situation som är mycket ovanlig, kanske med en samlad återkomsttid på 50 år. Om modellen dessutom belastas med ett spillvattenflöde motsvarande maxdygn och maxtimme samt dimensionerande dräneringsflöde är det inte osannolikt att det är en 1 000-årshändelse som modelleras. Det kan då vara bättre att göra beräkningar med olika kombinationer av randvillkor så att ett av dessa ges ett dimensionerande värde (till exempel 10-årsregn, högsta högvattennivå, maxdygn-maxtimme för spillvatten) medan de andra läggs på ett normalvärde eller något högre.

25.1 Externa vattennivåer

Externa vattennivåer bör läggas in i modellen som en tidsserie för att simulera tidsberoende variationer om så behövs, till exempel årstidsvariationer eller en vattennivå som varierar under ett regn. Om nivån inte varierar eller om data för variation saknas kan nivån läggas in som ett fast värde. Det är då lämpligt att välja ett värde som är ofördelaktigt för modelleringen för att vara på säkra sidan. Dock bör värdena väljas med hänsyn till en total riskbedömning, se kapitel 25.

Den vanligaste tillämpningen avseende externa vattennivåer är troligtvis vattennivån i en recipient för ett dagvatten- eller bräddutlopp. ”Recipienten” kan i en modellbeskrivning även utgöras av ett dagvattennät. I så fall bör randvillkoret vara en tidsserie med beräknad vattennivå i den punkten på dagvattennätet. Om beräknad nivå saknas kan ett antagande göras. För dagvattennät kan det vara ett rimligt antagande att ledningarna är tomma när regnet börjar och att det vid ett 10-årsregn dämmer nästan till marknivå under intensitetsmaximum. En överslagsberäkning bör dock göras för att avgöra om belastningen på dagvattennätet är så stor att dämning till marknivå kan förekomma.

25.2 In- och utströmningar

Ibland påverkas modeller av in- och utflöden som inte kan modelleras eller som av olika skäl väljs att inte modelleras. Det kan gälla flödet in i en modell

som beräknats av en annan modell, till exempel bräddning från en spillvattenmodell till en dagvattenmodell eller omvänt. Dessa flöden kan då läggas in som tidsserier som belastar en punkt i modellen.

Det går ibland att förenkla dessa randvillkor avsevärt. Om det till exempel finns ett område vars vatten pumpas in i ett annat område och en beräkning ska göras för en Extremsituation kan det förväntas att pumparna kommer att ge maximalt flöde under i stort sett hela beräkningen. I stället för att lägga ner tid på att beskriva pumpstationen och hela avrinningsområdet uppströms pumpstationen i modellen kan ett flöde motsvarande pumpstationens maxkapacitet läggas in som en konstant belastning.

I vissa fall finns ett basflöde i ledningar och diken som inte på något enkelt sätt kan modelleras. Ett exempel är då basflödet beror på grundvatteninläckage i en ledning eller grundvattenutströmning i ett dike. Om det inte finns långa serier med uppmätt basflöde och uppmätta grundvattennivåer är det inte möjligt att med modellberäkningar beskriva hur basflödet varierar med tiden. Det kan då vara lämpligt att i stället ansätta ett konstant flöde i modellen som får representera basflödet. Detta flöde väljs med hänsyn till modelltillämpningen. Om en dimensioneringsberäkning ska göras bör basflödet väljas så att det representerar en hög basflödesnivå. Om en bräddberäkning ska göras är det oftast lämpligt att välja ett basflöde motsvarande en normalsituation.

26 Hydraulisk modelluppbyggnad - Ledningsnät

Underlag till de hydrauliska modellerna går oftast att hämta från ledningsäggarens ledningsdatabas. Det är ofta nödvändigt att bearbeta attributen i databasen innan de kan importeras till modellen. Det kan till exempel röra sig om vattengångsnivåer som måste flyttas från ledning till brunn. Vid importen bör underlaget granskas för att säkerställa att det är heltäckande och rimligt. Kontrollera att indata bygger på samma koordinat- och höjdsystem. Detta gäller särskilt vid utbyggnad av befintliga modeller, då data erhålls vid olika tidpunkter för samma samman.

Se Bilaga 1 för data för uppbyggnad av modell och se checklistan i Bilaga 3.

26.1 Noder: brunnar, utlopp, magasin med mera

26.1.1 Brunnar

Under denna rubrik behandlas brunnar och noder av mindre storlek, till exempel nedstigningsbrunnar och tillsynsbrunnar. Brunnarna ska i modellen kunna beskrivas med bottennivå, locknivå/marknivå, diameter och energiförlust. Energiförluster i brunnar beskrivs i kapitel 26.1.7.

Brunnarnas diameter har i många fall väldigt liten inverkan på beräkningsresultaten om de väljs inom ett rimligt intervall (0,1–2,0 meter). Det gäller till exempel för beräkningar med Mike Urban. Av den anledningen är det sällan motiverat att lägga ner tid på att ta reda på brunnarnas verkliga diameter om denna inte är känd. En diameter på till exempel 1,0 meter kan väljas om diametern inte är känd. Om anslutande ledningar har en diameter som är större än 1,0 meter är det dock lämpligt att även för brunnarna välja en större diameter, förslagsvis samma som för ledningen.

26.1.2 Utlopp

Utlopp är den eller de punkter i modellen där vattnet rinner ut ur modellen. Utloppet i modellen kan vara ett verkligt utlopp, dvs. där vatten från ett ledningsnät, kanal, dike eller vattendrag rinner ut i havet, en sjö, älv, å eller likande. Ett utlopp kan också leda ut vattnet på marken. Utloppet i modellen kan även vara ett fiktivt utlopp, dvs. den punkt där användaren valt att avsluta sin modell. Det kan vara inloppet till ett reningsverk eller en pumpstation. I vissa modellprogram kan modellens utlopp utgöras av en pump, ett bräddavlopp eller en ventil/lucka. Genom att i modellbeskrivningen utelämna information om till vilken nod vattnet pumpas eller bräddas förutsätter dessa modellprogram att vattnet leds ut ur modellen, dvs. pumpen, brädden etc. kommer för modellen att fungera som ett utlopp.

Både för verkliga och fiktiva utlopp är det viktigt att lägga in ett rimligt randvillkor. Om utloppet ligger så högt i förhållande till högsta förväntade vattennivå i mottagande punkt nedströms i systemet att risken för dämning kan uteslutas, behöver inget randvillkor ansättas i utloppspunkten. Det

samma gäller oftast för pumpstationer. För dessa kan det antas att pumpkapaciteten är oberoende av eventuell dämning i mottagande brunn. Detta beror på att energiförlusten i tryckledningen oftast är avsevärt mycket större än vad dämningen i mottagande brunn rimligtvis kan vara.

Hur randvillkoren bör ansättas finns beskrivet i kapitel 25.

26.1.3 Fiktiva noder

Under denna rubrik behandlas noder som läggs in i modellen för att modellprogrammen kräver detta, men där det i verkligheten inte finns någon brunn. Det gäller till exempel noder på ett dike eller en öppen kanal, noder på tryckledningar, noder som läggs in för att kunna ansluta ett randvillkor med mera. Fiktiva noder bör om möjligt undvikas och alltså enbart läggas in i modellerna där det är nödvändigt för modellbeskrivningen.

Noder på tryckledningar läggs ofta in där tryckledningen byter riktning eller lutning. Många modellprogram klarar dock att ledningar läggs in som polylines, dvs. linjer med brytpunkter. I dessa fall är det inte nödvändigt att lägga in fiktiva noder på ledningar till följd av riktningsändringar. Lutningsändringar kan dock till exempel i Mike Urban enbart beskrivas genom att en fiktiv brunn läggs in. Uppgift saknas om hur detta förhåller sig i andra modellprogram. För dessa hänvisas till respektive programs användarmanual. För en tryckledning har dock lutningsändringar oftast ingen betydelse för beräkningsresultaten och en förenklad beskrivning utan lutningsändringar brukar fungera bra. För tryckledningar finns det goda skäl att undvika fiktiva brunnar eftersom tryckledningar oftare än självfallsledningar ger upphov till instabilitet i beräkningarna och många korta tryckledningar ger en ökad risk jämfört med ett fåtal långa. Om det finns en högpunkt på tryckledningen som ligger högre än tryckledningens slutpunkt måste den dock läggas in med korrekt nivå och läge.

I många fall krävs fiktiva brunnar för modellbeskrivningen. I Mike Urban kan ett flöde inte ansättas direkt på en ledning eller ett avrinningsområde anslutas till en ledning. Därför behövs alltid en nod i modellen även om det inte finns någon i verkligheten. Andra modellprogram kan vara uppbyggda annorlunda och kräva fiktiva brunnar för andra sammanhang. Följande exempel gäller för Mike Urban:

- Vid vissa beskrivningar av pumpar, bräddavlopp, luckor och ventiler. Fiktiva noder krävs om flödet leds från en brunn/pumpsump/kammare till en punkt som inte är en brunn. Pumpar leder vattnet från pumpsumpen till tryckledningen. Då måste en fiktiv brunn läggas in på tryckledningen för att pumpen ska kunna leda vattnet dit. Om en bräddkammare i verkligheten består av en enda kammare med ett överfall i kammaren måste detta beskrivas som två noder i modellen så att bräddningen sker från en av dessa till den andra. Samma sak kan gälla för luckor och ventiler.
- När en flödesbelastning eller ett avrinningsområde ska anslutas på en ledning mellan två brunnar. Då måste en fiktiv nod läggas på ledningen i den punkten.
- Om en ledning byter dimension utan att det finns en brunn. Ett ganska vanligt fall är då en ledning infodrats men inte hela ledningssträckan infodrats.

- När ett dike leds in i en ledning eller en ledning leds ut i ett dike. Samma sak gäller för ledningar som leder vatten in eller ur dammar och magasin utan att det sker via en brunn.

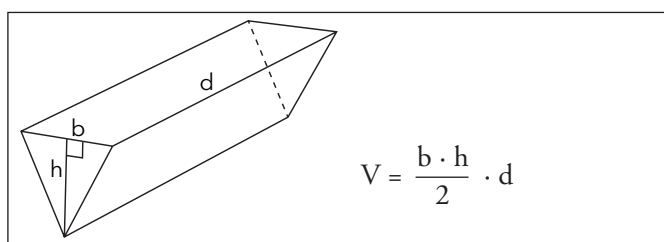
Fiktiva noder bör läggas in så att de påverkar modellberäkningarna så lite som möjligt. Därför bör de läggas in med liten diameter så att inte en konstgjord volym skapas i modellen. Vidare kan det, speciellt för fiktiva noder på tryckledningar, vara bra att välja ett litet djup på brunnarna och ett tätt lock. Även detta syftar till att inte skapa konstgjord volym. I dessa fall läggs brunnens bottennivå på den verkliga bottennivån medan marknivån läggs lägre än verklig marknivå. Fiktiva noder som läggs in enbart för att skapa en brytpunkt på en ledning bör normalt läggas in utan brunnsförluster. I många andra fall krävs det att den fiktiva noden beskrivs med brunnsförluster för att beräkningarna ska bli korrekta, se kapitel 26.1.7.

26.1.4 Större kammare, utjämningsmagasin, dammar

Större kammare, pumpsumpar, utjämningsmagasin, dammar med mera behöver ofta läggas in i modellen med en mer detaljerad beskrivning av dess geometri än vad som till exempel gäller för vanliga nedstigningsbrunnar och andra noder med liten volym.

Om den aktuella anläggningsdelens area är oförändrad på olika nivåer (till exempel en rektangulär pumpsump) går det bra att beskriva detta med en cirkulär nod med en diameter som ger samma area som den aktuella rektangeln. En sådan förenklad beskrivning kan ibland fungera även om arean är oregelbunden, till exempel för en pumpsump med voter som ligger under pumparnas stoppnivå eller en damm där arean är oregelbunden enbart under den permanenta vattennivån. Det sistnämnda gäller dock inte om det är viktigt att i modellbeskrivningen kunna beräkna korrekt flödes-hastighet genom dammen.

För anordningar med oregelbundet tvärsnitt erbjuder modellprogrammen ofta en möjlighet att lägga in ett nivå-volym eller nivå-area samband. I Mike Urban erbjuds möjligheten för "Basin". Användaren anger då nivå, tvärsnittsarea och vattenyte-area. Genom att tvärsnittsarean anges gör Mike Urban en förenklad beräkning av rinntiden genom anordningen. När Basin används i Mike Urban är det viktigt att beakta att beräkningen av volymen utgår från volymen för en prisma, se figur 26-1, dvs. att två motstående sidor är horisontella. Eftersom till exempel dammar oftast är utformade med sluttande sidor runt om lämpar sig Basin-beskrivningen i Mike Urban inte för dessa. I dessa fall kommer en Basin-beskrivning att överskatta volymen. Mest fel blir det om Basin-beskrivningen används till en anordning utformad som en kon eller pyramid. Då överskattas volymen med 50 %.



Figur 26-1 Beräkning av volymen för en Basin i Mike Urban

Som alternativ till att beskriva dessa anordningar som en nod med angiven geometri kan det i vissa fall vara med lämpligt att beskriva dem som en öppen eller övertäckt kanal man angivet tvärsnitt. I vissa modellprogram, till exempel Mike Urban, går det att ange olika tvärsnitt och bottennivå längs kanalens längd. Det går därmed att till exempel beskriva en oregelbundet formad damm med en sådan beskrivning. Att beskriva en damm eller ett utjämningsmagasin som en kanal ger följande fördelar:

- Anordningen får i modellen en geometrisk utbredning till skillnad från en nod med angiven geometri. Eftersom en nod beskrivs som en punkt blir det problem att på ett korrekt sätt ansluta både in- och utloppsledningarna då de i modellen måste anslutas till samma punkt men i verkligheten kan ligga tiotals eller hundratals meter från varandra.
- Flödeshastigheten och dynamiken beskrivs mer korrekt.

Att beskriva en damm eller ett utjämningsmagasin som en nod ger följande fördelar:

- Det blir enklare att identifiera den i modellen.
- Det är även enklare att utläsa volymen vid olika nivåer.

26.1.5 Bräddkammare/bräddbrunnar

Bräddkammare och bräddbrunnar kan ofta beskrivas som en vanlig brunn, enligt kapitel 26.1.1. I vissa fall kan det dock finnas anledning att beskriva dessa annorlunda. Det gäller fall där:

- bräddkammaren är betydligt större än en vanlig brunn.
- bräddkammarens geometri varierar i höjdd, dvs. geometrin kan inte beskrivas med en area som gäller från botten upp till mark.
- om överfallet är mycket långt (till exempel > 5 meter) och kammarens utformning samt flödesriktningen gör att vattennivån i förhållande till överfallskanten varierar mer än obetydligt längs detta.

I de två första fallen bör bräddkammaren beskrivas med en mer detaljerad geometri enligt kapitel 26.1.4. I det tredje fallet kan det eventuellt vara motiverat att beskriva bräddkammaren med två eller flera noder.

26.1.6 Pumpsumpar

Hur pumpsumpar bäst ska beskrivas i modellerna redogörs för i avsnittet om pumpstationer, se 26.4.3.

26.1.7 Brunnsförluster

Energiförluster i brunnar sker huvudsakligen på två olika sätt. Dels handlar det om turbulens och friktionsförluster som innebär att vattnets läges- och hastighetsenergi omvandlas till värme och därmed "försvinner" från systemet. Dels handlar det om att lägesenergi omvandlas till hastighetsenergi, eller hastighetsenergi till lägesenergi. Då finns energin kvar i systemet men om en profil över ledningsnätet studeras framgår det att vattennivån sjunkit eller stigit till följd av denna energiomvandling.

Olika modellprogram ger olika möjligheter att beskriva energiförlusterna i brunnar. Ofta finns en möjlighet att välja att inga energiförluster ska

beräknas, till exempel för att kunna lägga in fiktiva noder, se kapitel 26.1.3. Då läggs noder som inte är brunnar in i modellen och det är ofta rimligt att ingen extra energiförlust ska beräknas i dessa. Det gäller dock att vara uppmärksam på hur modellprogrammen hanterar dessa. Om vattenhastigheten i utgående ledning från en sådan punkt är högre än i inkommande ledning krävs en omvandling av lägesenergi till hastighetsenergi. Vissa modellprogram har dock en förenklad beskrivning som innebär att vattennivån i dessa fall är samma i utgående ledning som i brunnen vilket blir fel.

I Mike Urban finns fem olika beräkningsmetoder för brunnsförluster. Dessa benämns:

- No Cross Section Changes
- Mouse Classic (Engelund)
- Mouse Classic (Engelund)_Modified
- Flow-Through Manhole (Classic)
- Weighted Inlet Energy (Mean Energy Approach)

I samband med att de nyare funktionerna lades in avrådde DHI, som utvecklar programmet, från användning av Classic-funktionerna annat än i speciella fall. I referensmanualen⁴ till version 2016 av Mike Urban står: "The assumption applied in the MOUSE 'standard' solution that the water level in the manhole and all downstream water levels of the inflowing conduits are the same, often leads to overestimates of the energy loss at the inlet". Därmed återstår att använda Weighted Inlet Energy och No Cross Section Changes, vilket även överensstämmer med en muntligen erhållen rekommendation från Olle Ljunggren (Medförfattare till P90 och P110). Weighted Inlet Energy bör användas i vanliga brunnar, kammare dammar etc. No Cross Section Changes bör i många fall användas i fiktiva noder. Om modellen kalibreras mot uppmätt nivå kan det ibland vara motiverat att använda någon av Classic-funktionerna. Dessa kan ge en större energiförlust än Weighted Inlet Energy. Storleken på beräknad energiförlust kan i programmet styras av en förlustkoefficient (km). Standardvärdet är 0,25 men alla värden mellan 0,0 och 1,0 får anses vara rimliga.

P90 redogör för en möjlighet att räkna utan brunnsförluster i modellberäkningar och kompensera detta med större friktionsförluster i ledningar. Detta bör användas med viss försiktighet och speciellt om flödeshastigheten i nedströms ledning är högre än i uppströms ledning kan det bli stora fel vid en sådan tillämpning. Eftersom energiförlusterna är proportionella mot hastigheten i kvadrat gäller det dock enbart fall med höga flödeshastigheter. Vid hastigheter under 1 m/s är det mycket liten risk för att en sådan beskrivning leder till felaktigheter. Vid hastigheter över 2 m/s bör modellören vara uppmärksam på dessa risker. Vid extrema fall, om flödeshastigheten skiljer 3–5 m/s mellan inkommande och utgående ledning kan en modellbeskrivning där brunnsförluster ersätts med ökad råhet i ledningarna underskatta energiförlusten i en punkt med över 1 meter. Störst risk för att flödeshastigheten i nedströms ledning ska vara större än i uppströms gäller då:

- Flödet från en ledning med stor dimension leds in i en ledning med mindre dimension.

⁴ MOUSE, Pipe Flow. Reference Manual. Mike 2016

- Flödet från en ledning med liten lutning leds in i en ledning med större lutning.

För djupare studier i brunnsluster rekommenderas följande litteratur:

- Energiförluster i ledningsbrunnar, laboratiemätningar, Gösta Lindvall, Chalmers Tekniska Högskola (Lindvall, 1986)
- Energital i avløpsnett, Yngve Løken, Norwegian University of Science and Technology (Løken, 2006).

Lathund för val av energiförluster i brunnar för modeller i Mike Urban

Följande rekommendationer för val av energiförluster kan som erfarenhetsvärden.

- Ingen energiförlust (No CRS changes)
 - Fiktiva noder på ledningar, diken med mera där ingen tvärsnittsändring sker. För fiktiva noder på diken förutsatt att det inte finns tvärsnittförändringar som är alltför snabba
 - Om kalibreringen visar att det är rimligt
- "Vanlig" energiförlust (Weighted Inlet Energy, med $km = 0,25$)
 - De flesta vanliga brunnar och kammare
 - Fiktiva noder som lagts in på grund av tvärsnittsändring (dvs. ledningen ändrar dimension utan att det finns en brunn)
 - När en ledning eller trumma mynnar ut i ett dike, damm eller dylikt
- Weighted Inlet Energy, med $km > 0,25$
 - Dike eller damm leds in i en ledning eller trumma
 - Om utgående ledning sticker in i brunnen eller om övergången från brunn till ledning är skarp

26.2 Ledningar, kanaler etc.

26.2.1 Ledningar med konstant tvärsnitt

Ledningar och kanaler kan skapas genom att information från en databas (textfil eller liknande) importeras till modellen. Ledningar konstrueras oftast "med flödesriktningen", det vill säga med uppströms nod som startpunkt. Ledningar kan även skapas genom manuell inmatning eller direkt i grafiken.

Tvärsnittets utformning (cirkulärt, äggformat eller rektangulärt) väljs. För vald tvärsnittsform anges relevant mått. För cirkulära ledningar anges diameter, för äggformad ledning största horisontella diametern och för rektangulära ledningar bredd och höjd. Observera att det finns olika typer av äggformade tvärsnitt, det vill säga att förhållandet mellan höjd och bredd kan variera mellan olika ledningsproducenter.

Ledningens längd och lutning beräknas automatiskt genom att beräkningsprogrammet hämtar höjddata och koordinater från valda noder. Ledningslängd kan även ändras manuellt. Start- och sluthöjder kan manuellt anges till ett värde högre än nodernas vattengångsnivå. Observera att det finns risk för instabilitet i beräkningarna om man använder sig av korta ledningssträckor. För att kringgå detta kan man ofta slå ihop flera korta sträckor, förutsatt att dimensionen är samma och riktningsförändringarna är små. I Mike Urban räknas ledningar med en längd kortare än 10 m som om de vore 10 m. Det påverkar såväl energiförlusten som lutningen och

volymen. Det går att ändra minsta tillåtna längd i filen dhiapp.ini. Minskad minsta längd ökar dock risken för instabilitet i modellen.

Val av ledningsmaterial påverkar ledningens råhet, se 26.2.7.

Ledningar kan definieras så att de får funktionen av en backventil som enkelriktat flödet. Det går även att reglera flödet som tillåts passera genom ledningen. Flödet regleras genom att vattennivå i vald nod får motsvara ett bestämt maximalt flöde i ledningen.

Om ledningen inte har ett tvärsnitt som finns fördefinierat i modellprogrammet kan egna tvärsektioner definieras. Dessa kan vara såväl öppna som slutna.

26.2.2 Naturliga vattendrag och kanaler med varierande tvärsnitt

I vissa program kan naturliga vattendrag och kanaler med varierande tvärsnitt skapas. De tvärsektioner som skall gälla för sträckan matas in och sparas. Vattendraget/kanalen definieras med avstånd från startpunkt, vattengång, tvärsektion och om man vill lokalt avvikande råhet (Manningstal) för varje delsträcka.

26.2.3 Tryckledningar

Hur tryckledningar bäst ska beskrivas i modellerna redogörs för i avsnittet om pumpstationer, se 26.4.2.

26.2.4 Dykarledningar

En dykarledning definieras som en självfallsledning men med täta lock på noderna på vägen.

Om dykarledningen är byggd som vertikala schakt i början och slutet av ledningen blir den enklaste modellbeskrivningen att schakten läggs in som vanliga nedstigningsbrunnar. Modellen kommer då dock inte ta hänsyn till energiförluster och flödesbegränsning som schakten ger i verkligheten. Lösningen är att skapa ett QH-samband eller QdH-samband för att beräkna energiförluster och flödesbegränsning.

26.2.5 Fiktiva ledningar

Fiktiva ledningar används ibland för att överbrygga skillnader mellan modell och verklighet. Till exempel beskrivs ett magasin eller en damm vanligen som en punkt utan ytlig utbredning. För att knyta ihop magasinet/dammen med sitt utlopp kan man skapa en fiktiv ledning.

För att simulera en initial vattennivå i ett system kan en fiktiv ledning skapas till ett fiktivt utlopp med angiven vattennivå. Flödet till utloppet förhindras genom flödesreglering i ledningen. I vissa programvaror kan man ställa in en initial vattennivå i valfri nod och/eller utlopp.

26.2.6 Dammar, utjämningsmagasin med mera beskrivna som ledningar

Som alternativ till att beskriva en damm som en punkt med en area kan man använda sig av ett dike med ett egenkonstruerat tvärsnitt. Många gånger är detta ett bättre sätt att simulera dammar, se kapitel 26.1.4.

26.2.7 Förluster i ledningar, kanaler och vattendrag

Genom val av material på ledningar och kanaler erhålls de för materialet förinställda energiförlustparametrarna. Dessa går att ändra globalt i beräkningsprogrammet. Det går även att skapa egna material med egna parametrar. Parametrarna går även att justera för enskilda sträckor. I Bilaga 5 återfinns rekommendationer på Manningstal och sandråhet (k-värde) för olika material.

Viktigt att komma ihåg är att efterhand som materialet åldras ändras ofta dess ytas egenskaper. Avlagringar och sediment påverkar i stor utsträckning förlusterna i systemet negativt. Avlagring av sediment i ledningen påverkar även ledningens tvärsnittsarea.

26.3 Bräddavlopp nödutlopp och överfall

Med bräddavlopp avses utlopp från systemet som träder i funktion vid flödestopp. De byggs i normalfallet för att förhindra översvämningar vid driftstörningar (nödutlopp). I äldre system kan det finnas kvar bräddavlopp som träder i funktion mycket ofta och snarare hade till uppgift att jämna ut flödet till en pumpstation eller ett reningsverk.

Bräddavlopp kan vara utformade på många olika sätt. Det är dock vanligt med någon form av överfall där vattnet rinner över en kant och ut ur systemet vid höga nivåer. Det kan vara en vägg i en brunn eller en uppåtvänd rörböj. Bräddavloppet kan vara utformat som ett V-format överfall för att förbättra möjligheten att mäta bräddflödet. Det är också vanligt att det bara är en ledning ut ur brunnen på en högre nivå.

När bräddavloppet skall beskrivas i modellen är det viktigt att beakta vart det leder. Det är inte ovanligt att bräddavlopp även släpper in vatten i systemet. Det kan ske vid höga nivåer i en recipient eller i ett dagvattenssystem om det saknas fungerande bakvattenstopp. Det kan leda till att det som skulle vara en spillvattenmodell måste utökas med ett helt dagvattennät.

Flödet över ett överfall beräknas med den allmänna avbördningsformeln för skibord. Avbördningskoefficienten väljs med avseende på hur överfallet är utformat. I Bilaga 4 redovisas formeln samt en tabell med olika koefficienter.

Vid inmatning av avbördningskoefficienten i modellprogrammet är det viktigt att kontrollera så att inga förenklingar av avbördningsformeln har gjorts. Så har tidigare varit fallet i Mike Urban. För att vara säker på att överfallet får rätt QH-samband kan det beräknas utanför modelleringsprogrammet och läggas in som en tabell istället för att använda formeln i programmet.

26.3.1 Överfall som bräddavlopp och nödutlopp

Det är inte nödvändigt att från början beskriva alla bräddavlopp i detalj. När modellen provkörs måste dock alla bräddpunkter studeras. De som träder i funktion ofta bör beskrivas noggrant, se 26.3.2, medan de som sällan eller aldrig är aktiva kan beskrivas mer översiktligt. För de sistnämnda kan beräkningsprogrammets inbyggda beskrivningar användas. Var uppmärks-

sam på att om vattnet strömmar vinkelrätt emot överfallet skall vattnets rörelseenergi beaktas i beräkningen. Om vattnet strömmar parallellt med överfallet skall rörelseenergin inte beaktas. Välj även ett rimligt värde för avbördningskoefficienten. Det som föreslås av beräkningsprogrammet är ofta för lågt. I Bilaga 4 redovisas avbördningskoefficienter för olika typer av överfall.

Om överfallet begränsas uppåt, dvs. snarare utgör en öppning i en vägg än ett överfall som i princip kan däckas obehindrat uppåt, bör det beskrivas med en orifice-funktion snarare än som ett överfall, se kapitel 26.5.

26.3.2 Överfall för reglering av vattennivå

Överfall används inte bara vid bräddavlopp. Det kan till exempel utgöra regleringen av en damm.

I dessa lägen är det viktigt att flödet vid överfallet beskrivs korrekt mot nivån uppströms. Flödet kan även påverkas av dämning från nedströms liggande system.

Det är oftast lämpligt att göra en egen QH-tabell eller QdH-tabell genom att beräkna flödet vid olika nivåer vid de aktuella hydrauliska förhållandena. Det gäller särskilt om det är något annat än bara en rak överfallskant. Ett problem kan vara att alla program inte kan hantera QH-tabeller för överfall som går mellan två noder i modellen utan endas om överfallet leder ut vattnet ur modellen. Det kan lösas genom att i stället definiera överfallet som en pump mellan de två noderna.

Om beräkningsprogrammets funktion används bör flödet kontrollberäknas för hand i ett par punkter för att säkerställa att beskrivningen är korrekt.

26.3.3 Bräddavlopp via ledning

Om bräddavloppet bara består av en ledning med högre vattengång än den normala utgående ledningen beskrivs det bäst i modellen som en ledning. Det finns dock en risk att en ledning, som i verkligheten är tom, skapar fiktivt vatten i modellen eftersom programmet kräver att det finns en viss nivå i röret. Om ledningen lutar kraftigt ner mot utloppsbrunnen kommer vattnet rinna ur ledningen i varje beräkningssteg och nytt vatten skapas av programmet. Det kan störa vattenbalansen i modellen. Om det rör sig om en ledning ut ur systemet påverkar det inte modelleringen såvida inte ackumulerat flöde för bräddpunkten studeras. Då kan det bli en kraftig överskattning av mängden bräddat vatten.

En lösning kan vara att lägga en kort horisontell ledning, på bräddnivån, till en fiktiv brunn och sedan ytterligare en horisontell ledning till utloppet på utloppsnivån. Då generas inget extravatten.

26.4 Pumpstationer

26.4.1 Beskrivning utan tryckledning

I hydrauliska modeller kan pumpstationer beskrivas på olika sätt. I äldre modeller, till exempel i Mouse-modeller, beskrevs pumpning som ett flöde från pumpsumpen till trycksläppspunkten. Flödet styrdes av en QH-tabell

som beskrev hela trycksystemets kapacitet vid olika nivåer i sumpen. Det går fortfarande att beskriva en pumpstation på det sättet och metoden är lämplig om stationens kapacitet är känd. Metoden kan även vara ett bra sätt att beskriva varvtalsreglerad pumpning om pumpens börvärden är kända.

Om två eller flera pumpar, som trycker in på samma tryckledning, skall beskrivas på detta sätt måste t ex QH-tabellen för pump 2 beskriva det tillskott i flöde som pump 2 bidrar med när pump 1 redan går. Om alla pumpar beskrivs med kapaciteten de skulle haft vid drift med en pump kommer kapaciteten kraftigt överskattas vid drift med mer än en pump.

26.4.2 Beskrivning med separat tryckledning

Sedan många år finns i Mike Urban även möjlighet att beskriva tryckledningen i modellen. Det innebär att pumpkurvan för respektive pump läggs in i modellen som en QdH-tabell, att pumparna definieras från pumpsumpen till en fiktiv brunn i början av tryckledningen, samt att tryckledningen definieras med geometri, dimension och material på samma sätt som andra ledningar. Förlusterna i tryckledningen beräknas lämpligen med Colebrook-Whites formel i beräkningsprogrammet. Kontrollera att ekvivalenta råheten är rimlig och justera vid behov.

Ledningen kan antingen definieras som ett objekt med verklig geometri i plan, eller som många objekt mellan fiktiva brunnar, se 26.1.3. För att inte skapa onödigt mycket volym i systemet är det lämpligt att sätta markytan för de fiktiva brunnarna strax över ledningens hjässa. Brunnarna bör även ges en liten diameter.

Fördelen med detta beskrivningssätt är att pumparna, vid parallell pumpdrift, ger rätt flöde under förutsättning att pumpkurvor och tryckförluster beskrivits korrekt.

Tryckförluster i rörgalleriet kan beskrivas som en egen ledning i början av tryckledningssträckan.

26.4.3 Pumpsumpar

Pumpsumpar skall ges rätt volym på rätt nivå. I många fall räcker det att definiera sumpen som en brunn med rätt diameter.

26.4.4 Pumpar

Det finns många olika sorters pumpar. De absolut vanligaste pumparna på avloppsnätet är centrifugalpumpar vars kapacitet är beroende av mottrycket och redovisas med en pumpkurva.

I LTA-system är förträngningspumpar vanliga. Dessa arbetar med små flöden och höga tryck jämfört med centrifugalpumparna. Deras pumpkurva är mycket brant.

I intag till reningsverk är det vanligt med snäckpumpar, som består av en skruv i en lutande ränna. Så länge vattnet är tillräckligt långt upp på skruven i sumpen styrs kapaciteten av den hastighet skruven har.

Vid definition av pumpar i hydrauliska modeller är det även viktigt att ta reda på om pumpen är frekvensstyrd eller om den går med samma frekvens mellan en start och en stoppnivå. Är pumpen frekvensstyrd måste detta återspeglas i QH-tabellen.

26.5 Luckor och öppningar

Öppningar och luckor används ofta för att reglera och styra flöden i avloppssystem. För mer information om hur denna styrning och reglering kan beskrivas hänvisas till kapitel 27. I detta avsnitt beskrivs hur själva öppningen definieras i modellerna.

Luckor och öppningar kan i modellprogram beskrivas med en så kallad orifice-funktion eller med ett QH-samband eller QdH-samband. Vid användande av orifice-funktionen anges öppningens nivå (vattengång), geometri och en förlustkoefficient varefter programmet beräknar flödet som funktion av nivån upp- och nedströms öppningen. Om öppningens hydrauliska egenskaper är kända genom ett QH-samband bör detta användas.

Orifice-funktionen används till vertikala öppningar. För horisontella öppningar, till exempel borrhål ner till en tunnel, saknar modellprogrammen oftast en färdig beskrivning. Då får i stället ett QH-samband läggas in. Den aktuella öppningen/borrhålet kan då till exempel beskrivas som en fiktiv ledning, en fiktiv pump eller ett fiktivt överfall med angivande av QH-sambandet.

26.6 Andra anordningar

På marknaden finns flödesregulatorer av typen Hydrobrake. Dessa har egenskapen att flödet ut från dessa påverkas av vattennivån i betydligt mindre grad än till exempel en ledning, en öppning eller överfall. De används därför vid flödesreglering där det är önskvärt att flödet ut från till exempel ett utjämningsmagasin är förhållandevis oberoende av vattennivån i magasinet. Modellprogrammen saknar oftast fördefinierade beskrivningar av dessa och det är därför lämpligt att göra modellbeskrivningen som en fiktiv ledning med ett QH-samband.

27 Regleringar av flöde och nivå

Med reglering av flöde och nivå avses en mer avancerad reglering av flöde och nivå än den som förekommer i de flesta avloppsnät. Inställning av start- och stoppnivåer för pumpar, varvtalsreglering av pumpar samt till exempel möjligheten att med sättnar justera bräddnivån i ett bräddavlopp är typer av regleringar som är mycket vanligt förekommande. Bräddning och pumpning beskrivs i kapitlen 26.3 och 26.4.

De regleringar som beskrivs i detta kapitel avser regleringar där till exempel:

- pumpars start- och stoppnivåer eller varvtal styrs mot en vattennivå eller ett flöde på annan plats än i pumpstationens pumpsump
- motorstyrda överfall eller luckor vars nivå styrs mot en uppmätt nivå eller flöde i någon punkt på avloppssystemet (vilket kan vara i den brunn/kammare som överfallet/luckan är belägen)
- tidstyrning av pumpars start- och stoppnivåer och/eller varvtal
- tidsstyrning av luckors och överfalls nivåer

27.1 *Passiv reglering, direkt reglering och PID-reglering*

I modellbeskrivningar av reglering finns tre huvudtyper av regleringar:

- Passiv reglering
- Direkt reglering
- PID-reglering

Dessa beskrivs i kapitlen nedan.

27.1.1 **Passiv reglering**

Passiv reglering är den enklaste typen av reglering och anger enbart ett samband mellan nivå och flöde eller skillnad i nivå mellan två noder och flöde. Passiv reglering beskrivs i modeller genom en tabell med QH eller QdH samband. Passiv reglering är till exempel lämplig att använda då en reglering av flöde ska undersökas mer översiktligt, till exempel som svar på frågan ”minskar risken för översvämningar i området tillräckligt mycket om utflödet från magasinet uppströms begränsas till maximalt 30 l/s”. Passiv reglering lämpar sig också för att beskriva fasta regleranordningar med ett konstant samband mellan nivå och flöde.

27.1.2 **Direkt reglering**

Direkt reglering avser regleringar där nivån på en lucka, ett överfall eller pumpars start- och stoppnivåer ansätts som:

- Funktion av flödet eller nivån i någon punkt på ledningsnätet.
- Funktion av skillnaden i flöde eller nivå mellan två punkter på ledningsnät

- Funktion av om en pump är i gång eller står still
- Läget på ett reglerbart överfall eller lucka
- Funktion av tiden

27.1.3 PID-regleringen

PID-reglering styrs precis som den direkta regleringen mot till exempel en uppmätt nivå eller flöde, skillnaden mellan två nivåer eller flöden, tid, pumpar, luckor eller överfall. Den stora skillnaden är att det inte är luckans, överfallets eller pumpens start- och stoppnivåer som ansätts. I stället ansätts ett börvärde för nivå eller flöde i någon punkt på ledningsnätet. Modellprogrammet ansätter därefter nivån på luckan eller överfallet eller pumpkapaciteten till ett värde så att detta börvärde så väl det är möjligt uppfylls.

27.2 Modellbeskrivning av regleringar

I modeller där regleringar finns beskrivna är det vanligt att risken för instabilitet vid beräkningarna ökar. En metod som kan fungera för att minska instabiliteten är att öka diametern på den brunn där regleranordningen är placerad och/eller den brunn som vattnet leds till. Detta bör enbart göras om det är troligt att en större diameter inte har någon märkbar inverkan på beräkningsresultatet.

27.2.1 Reglerbara luckor

I modellerna beskrivs reglerbara luckor som en öppning (se kapitel 26.5) med en lucka som helt eller delvis kan täcka för öppningen. Eftersom flödet även genom en liten öppning kan bli förhållandevis stort om vattennivån är hög bakom öppningen uppstår lätt instabilitet när luckor öppnas och stängs. Detta kan motverkas genom korta beräkningstidssteg eller genom att luckans öppnings- och stängningshastighet begränsas. Om öppnings- och stängningshastighet är känd är det dock lämpligt att använda denna i modellbeskrivningen. Om instabilitet blir ett stort problem och det inte är troligt att en långsammare öppnings- och stängningshastighet har någon större inverkan på beräkningsresultaten är det lämpligt att välja en sådan.

27.2.2 Reglerbara överfall

Reglerbara överfall, dvs. där överfallskantens nivå regleras, kan ge problem med instabilitet i beräkningarna om överfallet höjs eller sänks snabbt. Detta kan motverkas genom korta beräkningstidssteg eller genom att hastigheten varmed höjning sänkning sker begränsas. Om hastigheten är känd är det dock lämpligt att använda denna i modellbeskrivningen. Men om instabilitet blir ett stort problem och det inte är troligt att en långsammare hastighet har någon större inverkan på beräkningsresultaten är det lämpligt att välja en sådan.

27.2.3 Pumpar

För pumpar är det start- och stoppnivåerna som anpassas vid direkt reglering medan det vid PID-reglering, som bygger på att pumparna kan

varvtalsregleras, är pumparnas flöde som regleras. Vid PID-reglering gäller det därför att säkerställa att det flöde pumparna ger inte överstiger pumpkapaciteten alternativt understiger flödet vid lägsta möjliga varvtal. I vissa modellprogram är detta inbyggt genom att pumparnas kapacitet anges med ett övre och lägre värde som kan vara antingen en konstant kapacitet, ett QH-samband eller QdH-samband. QdH-samband är lämpligt att använda om pumparnas pumpkurva är känd vid högsta och lägsta varvtal.

28 Uppskattning av initialvärden för olika parametrar i modellen

I detta kapitel beskrivs initialvärden som behöver ansättas i modellerna innan beräkningar görs. Det gäller till exempel vattennivån i dammar och andra delar av systemet som alltid är delvis fyllda med vatten. Det gäller även hydrologiska parametrar som till exempel snödjup, grundvattennivåer och vattenhalt i olika markvattenmagasin.

28.1 Hydrologiska parametrar

28.1.1 Avrinning från hårdgjorda ytor och annan snabb avrinning

För modellering av avrinning från hårdgjorda ytor är det i stort sett aldrig nödvändigt att manuellt ansätta initialvärden för modellparametrarna. Anledningen är att volymerna (initialförluster) är så små och flödena ändras så snabbt att de värden som kanske gäller för dessa parametrar i början av en beräkning räddar till sig mycket snabbt även om de av programmet förvalda skulle vara felaktiga.

Undantaget är snödjupet om snö och snösmältning beräknas. Om en beräkning inleds då snötäcket är djupt kan det vara stora volymer nederbörd som saknas om ett initialvärde för snödjup inte ansätts. I Mike Urban finns ingen möjlighet att ansätta ett initialt snödjup. De metoder som får användas är att antingen köra en längre beräkningsperiod så att beräkningen inleds innan snöuppbyggnaden sker. Alternativt beräknas snösmältningen utanför programmet och läggs på modellen som en fiktiv nederbörd, se kapitel 24.1.2.

28.1.2 Långsam nederbördspåverkan

I Sverige används huvudsakligen Mike Urban RDI för modellering av långsam nederbördspåverkan i spill- och dagvattennät. Då det saknas erfarenhet av att modellera detta med andra modellprogram kommer detta kapitel enbart att redogöra för modellering av långsam nederbördspåverkan med Mike Urban RDI.

Vid val av initialvärden för RDI-parametrar finns det några saker att beakta.

1. Ett års simulering innebär i allmänhet att felaktigheter i initialvärdena blir försumbara. Det betyder att om indata (nederbörd, temperatur, potentiell avdunstning) finns tillgängligt minst ett år innan den period för vilken beräkning ska genomföras så bör man använda dessa indata för att skapa ett startläge för modellberäkningen, d.v.s. en initialperiod beräknas. Därmed blir det av underordnad betydelse hur initialvärdena väljs. Dock kan det ändå bli fel om initialvärdena väljs på ett mycket olämpligt sätt. Därför bör även i dessa sammanhang dessa väljas med omdöme. Värden enligt punkt 4 nedan kan användas som utgångsvärden om det inte finns speciella omständigheter som talar för annat.

2. Under sommaren blir de flesta vattenmagasin (grundvatten, rotzon, och ytligt) i stort sett tömda. Modellen blir därmed i stort sett nollställd. Det innebär att om initialperioden (som beskrivs i punkt 1 ovan) innehåller en sommarperiod kan den vara kortare än ett år. Erfarenheten har visat att ca sex månaders beräkning före sommarperioden brukar vara tillräckligt.
3. Om initialperiod inte kan användas körs först en beräkning för den period som ska simuleras. Därefter undersöks vilka värden som gäller i den simuleringen för de parametrar för vilka initialvärden ska ansättas. Om beräkningen till exempel ska börja 1 januari ett visst år undersöks vilket värde dessa parametrar har 1 januari under följande år i beräkningen. Initialvärdet för de olika parametrarna väljs sedan till medelvärdet av dessa.
4. Om ingen av ovanstående metoder går att använda kan parametrarna väljas till nedanstående värden som kan anses vara rimliga antaganden. Förslag ges för beräkningar som påbörjas 1 januari eller 1 juli.
 U (ytvattenmagasin [mm]): 0
 OF (avrinning från ytvattenmagasinet [m^3/h]): 0
 IF (markflöde från ytvattenmagasinet [m^3/h]): 0
 L (rotzonsmagasin [mm]): 1 januari: 75 % av L_{max} ; 1 juli: 35 % av L_{max}
 GWL (fiktiv grundvattennivå [m]): 1 januari eller 1 juli: 9.7; värdena gäller om parametern "Max. GW depth causing baseflow (GWLbf0)" satts till 10.

U, OF och IF är starkt beroende av nederbörden innan beräkningen börjar. Därför är det inte möjligt att välja lämpliga värden på dessa om den inte är känd. Även om den är känd går det inte att ge generella rekommendationer för hur dessa ska väljas. Om metod 1 eller 2 ovan används kommer de att få korrekta startvärden. Om metod 3 används går det att ansätta startvärden för dessa med den beskrivna metoden. Osäkerheten hos dessa blir dock ganska stor. Samtidigt utjämnas felet normalt sett inom några dygn efter att beräkningen börjat. Därför fungerar det ofta att sätta dessa tre till 0 som startvärde.

28.2 Hydrauliska parametrar

Den hydrauliska parameter som är viktigast att ansätta ett initialvärde för är vattennivån i systemet. Det gäller då en recipient dämmer upp i ledningsnätet via ett utlopp. Vid ett sådant fall kommer dock modellberäkningen ganska snabbt att rätta till ett felaktigt initialvärde om det inte dämmer upp osedvanligt långt i systemet (flera kilometer). Samma sak gäller för vattennivån i pumphöjningar. De kan vara viktiga men oftast rättar det till sig ganska snabbt i en beräkning. De punkter i modellen där det ofta är mycket viktigt, ibland helt avgörande för vilka beräkningsresultat som erhålls, är att ha rätt initialvärde för vattennivån i magasin, dammar samt vissa diken och vattendrag. Dagvattendammar kan ha en mycket stor permanent vattenvolym, dvs. en volym som alltid är vattenfylld. Om beräkningen genomförs där dammen från början är helt tom kan det leda till felaktiga resultat eftersom

utjämningsvolymen i modellberäkningen då kan bli avsevärt mycket större än den som i verkligheten finns tillgänglig.

Beroende på vilket modellprogram som används kan olika metoder användas för att fylla upp dammar och andra punkter. Samtliga nedanstående metoder fungerar i Mike Urban. För de som kan anses vara mer generella så att de bör kunna användas oberoende av modellprogram anges detta.

1. *Fiktivt utlopp*: En fiktiv ledning dras från dammen till ett fiktivt utlopp. Som vattenstånd i utloppet sätts den nivå som önskas som initialnivå i dammen. För ledningen läggs en reglering som oberoende av vattennivå tillåter ett flöde på max 0 l/s. Därmed kan inget vatten rinna ut via den fiktiva ledningen. Under förutsättning att vattennivån i dammen aldrig kommer att underskrida initialvärdet (till exempel om det är en permanent vattennivå i en damm) kan inte heller något vatten rinna in via ledningen. Metoden kan inte användas i till exempel en pumpsump där vattennivån under beräkningen kan sjunka under initialvattennivån.
2. *Hotstart*: Fiktiva flöden läggs in som en belastning i de punkter på modellen där en initialvattennivå önskas. När dessa flöden fyllt upp modellens ledningar och noder mer än till önskat initialvärde avbryts beräkningen. De fiktiva belastningarna tas bort. Den skapade resultatfilen används som hotstartfil till en andra beräkning. Den andra beräkningen genomförs utan de fiktiva belastningarna. Därmed kommer vattennivåerna i systemet att sjunka ner till de nivåer som styrs av systemets hydraulik (det förutsätts då att till exempel den permanenta vattennivån i en damm styrs av ett överfall eller en utloppsledning på en viss nivå). När beräkningen gått tillräckligt lång tid kommer alla nivåer att ha anpassats efter systemets hydraulik vilket förutsätts vara önskad initial vattennivå. Denna andra resultatfil används sedan som hotstartfil till de beräkningar som görs.
3. *Anpassad belastning (metod som bör fungera i alla modellprogram)*: Fiktiva flöden läggs in som en belastning i de punkter på modellen där en initialvattennivå önskas. Dessa anpassas så att samtliga punkter kommer att erhålla önskad vattennivå vid exakt samma tidpunkt i beräkningen. Då det inte alltid går att förutse exakt hur vattnet kommer att rinna i en modell måste resultatet granskas och flödena eventuellt justeras därefter. Ett antal beräkningar kan behöva göras innan önskat resultat erhålls. Den skapade filen kan sedan användas som hotstartfil till kommande beräkningar. Alternativt läggs de fiktiva belastningarna in som tidsserier som går ner till noll vid den tidpunkt då systemets fyllts till önskad nivå.

29 Mätningar för verifiering av modeller

29.1 Riktlinjer för regnmätning

29.1.1 Kriterier för tidsserier

Nedan beskrivs tidssteg för regnserier som används vid hydraulisk modellering av ledningssystem med regnpåverkan.

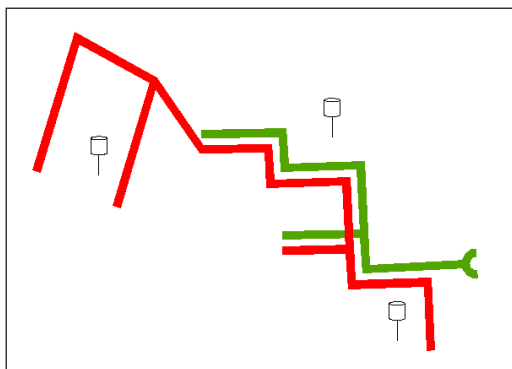
1. *Högupplöst tidsserie:* Vanligen används regndata från en händelseregistrerad tidsserie. Regndata är sparad som tidpunkter för en mängd nederbörd, oftast 0,1, 0,2 eller 0,5 mm, alstrad av signalen från en vippning inne i regnmätaren. Vissa datalagringssystem sparar inte regnhändelserna utan räknar om data till regn (mm) per tidsenhet. Tidsstegets maximala längd bör inte överstiga 5 minuter. Tidserier används vid kalibrering av bestämda händelser eller perioder, som sommarregn eller snösmältning och beräkning av historiska regn för brädd- och magasinvolymberäkningar.
2. *Mellanupplöst tidssteg:* Tidsstegets maximala längd bör inte överstiga 1 timme. Tidserien används vid kalibrering av årstidsperiod som sträcker sig över minst en månad och max ett år. Syftet är att kalibrera kvantitativ vattenbalans.
3. *Lågupplöst tidssteg:* Tidsstegets maximala längd bör inte överstiga 1 dygn. Denna tidsserie används för att kalibrera modellen kvantitativt för en lång period, upp till 5 år. Vid RDI-kalibrering är denna typ av regnserie tillräcklig för kalibrering av huvuddelen av RDI-parametrarna. Vissa kräver dock högre tidsupplösning (1 timme) men för dessa räcker det med kortare tidsperioder, se punkt 2 ovan.

29.1.2 Kriterier för antal och placering av regnmätare

Antal regnmätare och deras placering bestäms av områdets storlek, topografi, geografisk utformning och syftet med modellen. Då modellområdet täcker ett större geografiskt område eller då man av andra skäl, till exempel stora höjdskillnader, kan förvänta sig variationer i nederbördens fördelning krävs regnmätning i flera punkter. Konvektiva regn sommartid har ofta stora variationer i regnintensitet även över små områden. Man bör också planera för att enskilda mätare kan drabbas av mätdatabortfall på grund av till exempel igensättning, vandalism, stöld eller datafel.

Regndata hämtas normalt från den regnmätare, som ligger närmast de aktuella modellavrinningsområdena. För att bestämma vilka avrinningsområden som skall belastas med en särskild regnmätare kan beräkning av Thiessenpolygoner användas. Det är även viktigt att ta hänsyn till områdets topografi.

När flera regnmätare används ska de hellre placeras så att de bildar en triangel än en rät linje. Det gör att det är lättare att avgöra hur regnet har rört sig över modellområdet.



Figur 29-1
Skiss över en lämplig
placering av regnmätare
för modellområdet.

Regnmätarens placering beskrivs i rapporten "Mätningar i avloppsnät samt principer för verifiering av avloppsmodeller" (Granlund & Nilsson, 2000). Kortfattat skall mätaren placeras på en skyddad öppen plats utan påverkan av vind, skymmande föremål osv.

Om regnet fördelar sig likformigt över området kan det räcka med att belasta modellen med data från en enskild regnmätare. Varierar nederbördens intensitet alternativt tidpunkt för regnet bör man använda data från de mätare som bäst speglar regnet över aktuellt delområde. Det finns funktioner i vissa beräkningsprogram för automatiskt val av den regnmätare som ligger närmast ett avrinningsområde. Man kan även justera valet manuellt. Vid kalibrering av modell bör man vara försiktig med att använda regn som ej är homogena över ytan. Om flera regnmätare används blir beräkningen mindre känslig för sådana fel.

Vid modellanalyser används ibland mycket långa regnserier. Då erhålls ett statistiskt säkert resultat genom att effekterna av en stor mängd konvektiva regn tar ut varandra så att slutresultatet blir bra.

29.1.3 Kriterier för regndata och intensitet

Vid kalibrering mot mätdata från ett enskilt regntillfälle bör regnet ha en volym och intensitet som ger ett tydligt utslag i flödesmätpunkten, se kapitel 30.3. Avrinning från hela delområdet bör samverka.

Rekommendationen är att mätserien skall innehålla minst tre regn med mer än 5 mm varav ett är större än 10 mm under högst tre timmar. För att åstadkomma en tydlig kalibrering bör regnet inte föregås eller följas av andra regn inom tre timmar. Rekommendationen bör ses som en lägsta nivå, Granlund & Nilsson (2000) anger "fem större regn" som krav, men en avvägning mellan kostnad och kvalitet får göras.

Hur stort och hur intensivt regnet måste vara beror på områdets storlek och utformning. Modellen kalibreras alltid mot flera enskilda regn med hög intensitet. Kalibrering bör också ske med ett regntillfälle med större volym över längre tid (flera timmar).

Extremregn bör normalt undvikas. Dels för att ytavrinningen ändras, vattnet tar andra rinnvägar än det normalt gör, dels på grund av variationen i nederbördens arealutbredning, se P104.

Det regn som används för kalibrering av modellen bör beskrivas i modelldokumentationen och i kalibreringsrapporten. Parametrar som kan anges är datum, volym, varaktighet och kanske återkomsttid. Det kan även vara

intressant att beskriva regnets karaktär, t.ex. åskväder eller höstregn, samt hur lång torrperioden före regnet var och skillnad mellan olika regnmätare.

29.1.4 Snösmältningens påverkan på datakvalitet

Snö och snösmältning påverkar såväl ytavrinning som nederbördsregistrering på ett inte alltid förutsägbart sätt. Är nederbördsmätaren ouppvärmd kommer det att samlas snö i mätaren tills det blir töväder och snön smälter. En uppvärmd mätare smälter snön momentant och registrerar den som regn. Mätfelet kan dock vara stort då snön dunstar vid uppvärmning och för att mängden vid lätt nederbörd som snö, ofta underskattas av den vanliga typen av regnmätare. För snösmältningens påverkan på ytavrinningen se 29.2.3.

29.2 Riktlinjer för flödesmätning - Hydrauliska mätdata

29.2.1 Kriterier för val av mätpunkter

Val av mätpunkter i samband med hydrauliska mätningar i VA-system i syfte att ta fram kalibreringsunderlag baseras på modellens syfte, detaljeringsgrad och ledningsnätets utformning. Den vanligaste typen av mätning är att en portabel flödesmätare sätts ut i en självfallsledning, men där det är möjligt kan fasta installationer på ledningsnätet med fördel utnyttjas. Naturliga mätpunkter kan vara pumpstationer, dammar och magasin, bräddar och överkopplingar, in- och utflöden till och från modellområdet.

I pumpstationer kan pumparnas start och stopp loggas för att beräkna inflödet under stilleståndstiden och pumpkapaciteten under pumpgången. Om nivån i sumpen också loggas med tillräcklig tidsupplösning (till exempel 1 gång var 10:e sekund) kan beräkningarna förbättras avsevärt. Det kan även finnas möjlighet att logga det pumpade flödet med en fast eller portabel flödesmätare på tryckledningar. Nivån kan loggas i dammar och magasin och nivå eller flöde kan loggas vid bräddar och överkopplingar.

Genom att välja mätpunkter med omsorg kan man studera händelseförlopp i de punkter som är intressantast för den aktuella frågeställningen. Valet av mätpunkter blir i slutändan ofta en kompromiss mellan ekonomi, krav på ingångsdata samt möjliga mätplatser. Logistiken kring mätningar och mätdatahantering underlättas betydligt av de system med fjärravläsning/onlinedata som utvecklats på senare år.

För mer detaljer om flödesmätning hänvisas till Granlund & Nilsson (2000). I rapporten beskrivs bland annat loggning av pumpars start och stopp samt registrering av flödet i tryckledningar. Sedan rapporten skrevs har möjligheterna att hantera stora mängder mätdata förbättrats. Det gör det bland annat möjligt att även logga nivån i sumpen med hög tidsupplösning. Det ger en mycket god bild av inflödet till stationen under förutsättningen att sumpens spegelarea är känd i det aktuella nivåspannet.

29.2.2 Kriterier för utvärdering av mätdata

Kriterier för utvärdering av mätdata baseras på följande:

1. Tidsstegets längd måste vara anpassat så att variationer i mätserien återges på ett riktigt sätt. Vid flödesmätning på självfallsledning bör det oftast inte överstiga 5 minuter. Om det finns pumpstationer uppströms mätaren bör tidssteget vara kortare.
2. För varje mätpunkt bör följande data registreras, till exempel i fältprotokoll:
 - Mätarens ID
 - Mätperiod
 - Anläggningens (Brunnens/Pumpstationen/Bräddavloppets etc.) ID
 - Mätpunktens utformning (Diameter, Djup, Volym etc.)
 - Platsbeskrivning
 - Ledningsdiameter (Höjd och Bredd)
 - Ledningsform (Cirkulär, Äggform, Konisk, Oval, Rektangulär, Tunnel etc.)
 - Ledningsmaterial (Betong, Plast etc.)
 - Övriga intressanta upplysningar, exempelvis väder vid mätarutsättningen
 - En ritning över ledningsnätet som visar mätarens placering och mätarens avrinningsområde
3. Mätperioden i de olika mätpunkterna bör om möjligt vara densamma. Detta ger möjlighet att följa händelseförlopp i systemet samt minskar antalet kalibreringsberäkningar.
4. Mätserien analyseras först mätpunktsvis. Vid analys av torrvädersperiod studeras totalmängd (m^3), max- minflöde (l/s), max- minnivå (m), antal pumpningar etc. Vid analys av regntillfälle studeras totalmängd (m^3), max- minflöde (l/s), max- minnivå (m), antal pumpningar etc. Dessutom studeras för varje regntillfälle vattentillskottet regnet ger upphov till. Om vattentillskottet divideras med nederbörds mängden erhålls ett nyckeltal på den fiktiva hårdgjorda yta som belastar mätpunkten. Det kan vara en hårdgjord yta uppströms mätpunkten men det kan också komma från andra källor som dräneringsvatten och överkopplingar eller läckage från dagvattenledningar uppströms. Analysdata från respektive mätpunkt jämförs sedan. Valda regntillfällen bör vara av den storleken, intensitets- och volymmässigt, att man får ett tydligt genomslag i mätpunkten och att hela ytan uppströms samverkar. Totalt bör analys av flera regnhändelser ge ett likvärdigt resultat.

29.2.3 Påverkan av snösmältning

Vid hydrauliska mätningar där den direkta nederbördsbelastningen på ledningssystem skall bestämmas är snö och snösmältning något som bör undvikas. Dels kan snön, i form av till exempel vallar, isproppar etc., vara ett fysiskt hinder för regnavrinning. Dels kan den extra smältvattenvolymen som snön genererar ge felaktiga flödesvärden i ledningssystemet.

30 Kalibrering och validering

Det är viktigt att komma ihåg att en modell inte är verkligheten utan en bild av verkligheten. För att säkerställa att modellen ger en tillräckligt bra bild av verkligheten bör modellen kalibreras mot uppmätta värden. Kalibreringen kommer alltid att vara ett medelvärde av de verkliga händelser modellen kalibreras emot. Det innebär att en viss osäkerhet alltid kommer finnas i resultatet. Det är därför viktigt att sträva efter att kalibrera mot data och tillfällen som minskar osäkerheten i modellresultatet.

Underrubrikerna i detta kapitel beskriver olika aspekter av kalibrering och validering. Syftet är att ge förslag på arbetsgång för att genomföra kalibreringen, ge riktlinjer för när en kalibrering bedömas vara tillräckligt bra, beskriva vilka parametrar som i första hand ska justeras med mera. Kalibreringen mot mätvärden från pumpstationer skiljer sig en del från kalibrering mot mätvärden från ledningsnät både i arbetsgång, bedömning av mätvärdernas kvalitet och bearbetning av mätdata. Därför beskrivs detta i ett separat avsnitt 30.4. Avsnittet är inte tänkt att ersätta övrig text kring kalibrering när mätvärdena avser pumpstationer utan ska ses som en komplettering med extra information som är viktig för just denna tillämpning.

Granlund & Nilsson (2000) definierar följande begrepp.

- *Verifiering:* Verifieringsproceduren består av momenten kalibrering och validering.
- *Kalibrering:* Modellen anpassas till data uppmätta på ledningsnätet. Uppmätta värden (ofta nivå och hastighet varifrån flöde beräknas) för en viss period jämförs med beräknade värden för samma period. Modellens parametrar justeras tills en så god överensstämmelse som möjligt erhålls.
- *Validering:* Test av modellen mot uppmätta data. Uppmätta och beräknade värden jämförs för mätdata mot vilken kalibrering ej tidigare skett. Har modellen tidigare kalibrerats mot samma mätpunkt som valideringen sker skall valideringen alltså ske mot en annan mätperiod. Justering av modellens parametrar skall ej ske vid validering.

Tabell 30-1 Verifieringsproceduren enligt Granlund & Nilsson (2000).

Period:	Kalibrering	Validering
	Jämförelse av beräknade och observerade värden Justering av modellens parametrar OK → Validering	Jämförelse av beräknade och observerade värden Ej justering av modellens parametrar OK → Modellen är validerad! EJ OK → Åter till kalibrering

Vid verifieringen skall modellen först kalibreras mot torrvädersförhållanden och sedan mot regntillfällen.

Modellen skall först kalibreras mot uppmätta flöden. Vid kalibrering av torrvädersflödet är det basflöde (till exempel inläckage) och spillvattenflöde som justeras. Vid kalibrering av regnberoende flöden är det i första hand andelen bidragande yta som justeras. Om avrinningsområdenas egenskaper (area, avrinningskoefficient och koncentrationstid) inte är rätt beskrivna

måste även dessa justeras, men oftast kan dessa beskrivas tillräckligt bra genom ett noggrant förarbete med kartor och flygfoto som underlag.

När flödet är korrekt beskrivet skall nivån kalibreras genom att strömningsförluster i ledningar och brunnar justeras så att beräknade nivåer överensstämmer med uppmätta.

Granlund & Nilsson (2000) (bilaga 4) anger att modellen helst skall kalibreras mot 5 större regn. Dessutom skall den valideras mot ytterligare ett regntillfälle. Har man tillgång till 6 större regn är det utmärkt, men i de flest fall tvingas man hålla till godo med färre regn. Det kan då vara lämpligt att kalibrera mot de regn man har och avstå från valideringen.

30.1 Kontroll av modellen

Det bör säkerställas att modellen är stabil innan den kalibreras. Detta görs genom att kontrollera vattenbalansen och studera hydrografer för vattennivå och flöde i huvudstråk i systemet (dimension över Ø 400 mm i en detaljerad modell). Vattenbalansen skall stämma så bra som möjligt, men en differens på upp till $\pm 10\%$ är godtagbar. Vattenbalansen och hydrograferna används för att bestämma om några oscillationer eller instabilitet uppstår i systemet. Om oförklarlig instabilitet uppstår skall modellen justeras.

Systemet bör testas både med och utan regnbelastning. Förslagsvis belastas systemet med två CDS-regn med en varaktighet på en timme samt en återkomsttid på 10 år respektive 50 år.

Se även kapitel 32.2 som mer generellt beskriver kvalitetskontroll av modellerna.

30.2 Kalibreringsmall - Kalibreringskriterier

I detta kapitel ges ett förslag på arbetsgång vid kalibrering av spillvattenflöde och tillskottsvatten som i huvudsak utgörs av anslutna hårdgjorda ytor. För kalibrering av annat tillskottsvatten se kapitel 30.3.3.

Vid kalibrering av modeller för spill- och dagvattennät är det lämpligt att först kalibrera mot flödet så att korrekt ansluten yta och korrekt beskrivning av övriga flöden finns inlagd i modellen. Kalibreringen av flöde görs först för uppströms belägna områden och fortsätter sedan till nedströms belägna områden. Anledningen till detta arbetssätt är att uppströms belägna områden flödesmässigt påverkar nedströms belägna områden medan det omvända inte gäller. För att spara tid kan det ibland trots det vara lämpligt att översiktligt påbörja kalibreringen av nedströms belägna områden samtidigt som de övre kalibreras. Det gäller till exempel om det visar sig finnas en stor skillnad mellan uppmätt och beräknat flöde i de nedströms belägna mätpunkterna och det är uppenbart att kalibreringen av de uppströms belägna mätpunkterna inte kommer att vara tillräcklig för att rätta till avvikelserna. De viktigaste parametrarna vid kalibrering av flöde är ansluten hårdgjord yta, koncentrationstid (eller annan tidskonstant för nederbördspåverkat flöde), spillvattenbelastning och mängden övrigt tillskottsvatten.

När flödena kalibrerats till tillfredsställande överensstämmelse kalibreras nivåerna. Dessa kalibreras nerifrån och upp eftersom vattennivåer nedströms påverkar de uppströms i betydligt högre grad än tvärtom. De viktigaste parametrarna vid kalibrering av nivå är ledningarnas råhet och brunnsförluster.

30.2.1 När är en kalibrering tillräckligt bra?

Frågan är svår att ge ett generellt och exakt svar på. Dels beror det på om tidserien med mätvärden är tillräcklig lång och om den innehåller tillräckligt många bra regntillfällen att kalibrera emot. Dels beror det på kvaliteten på mätvärdena som kalibreringen görs mot. Vid kalibrering mot en tidsserie som har stora osäkerheter kan modellören vara tvungen att nöja sig med att jämföra modellens teoretiska värden mot uppmätt, osäker, data. Om skillnaden mellan uppmätta och beräknade värden inte är större än osäkerheten i mätvärdena kan det vara rimligt att inte justera modellparametrarna. Men en känslighetsanalys enligt kapitel 32.3.1 kan vara motiverat att genomföra om mätvärdena bedöms som osäkra. Om mätvärdena anses för osäkra för att kalibrera mot kan det ändå vara motiverat att justera vissa avrinningsparametrar om avvikelsen mellan uppmätta och beräknad flöden överstiger den bedömda osäkerheten för mätningen. En sådan justering är dock inte alltid lämplig att göra. Om mätpunkten anses mycket viktig för modellen bör i stället en ny flödesmätning genomföras. För modeller över dagvattennät eller kombinerat avloppsnät kan det ofta förutsättas att de hårdgjorda ytor som kan identifieras på kartan också belastar ledningsnätet. Då kan karteringen anses vara säkrare än en ”dålig” mätning och därför bör i ett sådant fall ytorna inte justeras.

Ett exempel på hur kalibreringen kan bedömas med avseende på kvalitet är den metod som Stockholm Vatten använder, se tabell 30-2. Stockholm Vatten har börjat sammanställa statistik över kalibreringar för flöden och nivåer. Statiskunderlaget är fortfarande (2015) ganska litet (ca 20 st. olika punkter). Tabell 30-2 redovisar nuvarande resultat för kalibrering mot regntillfällen i kombinerade system samt rena dagvattensystem.

Tabell 30-2 Stockholm Vattens statistisk bedömning (20 punkter) av kalibrering mot regntillfällen i dagvatten och kombinerade ledningssystem. Mycket bra motsvarar övre kvartilen, ok median och dålig första kvartilen.

Bedömning	R-värde	Volymfel [%]	Nivåfel [mm]
Mycket bra	> 0,85	± 5	± 10
Ok	0,7-0,85	± 10	± 20
Dålig	< 0,7	± 20	± 50

En kalibrering för ett litet avrinningsområde är oftare lättare och där bör en ”mycket bra” kalibrering eftersträvas.

30.2.2 Arbetsgång vid kalibrering

I detta avsnitt ges en mer detaljerad genomgång av hur en kalibrering kan genomföras.

För en modell med regnpåverkan rekommenderas följande arbetsmetodik för att kalibrera in den snabba regnpåverkan.

- Kontrollera att regnmätarna inte divergerar konstant i volym över tiden
- Välj ut minst 3–5 lämpliga kalibreringsregn
- Kalibrera in volym och form på flödestoppen vid regn
- Kalibrera in nivå
- Kontrollera och eventuellt kalibrera flödet igen om nivåkalibreringen påverkat flödet

Kontrollera att regnmätarna inte divergerar konstant i volym över tiden

Det bör finnas minst två lokala regnmätare i modellområdet som ska kalibreras. Ibland händer det dock att en regnmätare hela tiden visar mer nederbörd jämfört med andra. Detta kan bland annat bero på dålig installation eller fel i regnmätaren. Om detta upptäcks ska inte den regnmätaren användas till kalibreringen då den kan ge stora fel.

Välj ut minst 3–5 lämpliga kalibreringsregn

Valet av kalibreringsregn är avgörande då kalibreringen blir ett medelvärde av kalibreringsregnen. Två regnmätare i närheten av varandra kan visa stora skillnader i volym och intensitet för ett enskilt regn. Detta innebär att ett regn kan vara mycket ojämnt fördelat över ett avrinningsområde och därmed ge stor osäkerhet vid kalibreringen. Välj därför regn som har bra korrelation mellan tid, volym och intensitet för att minska osäkerheten.

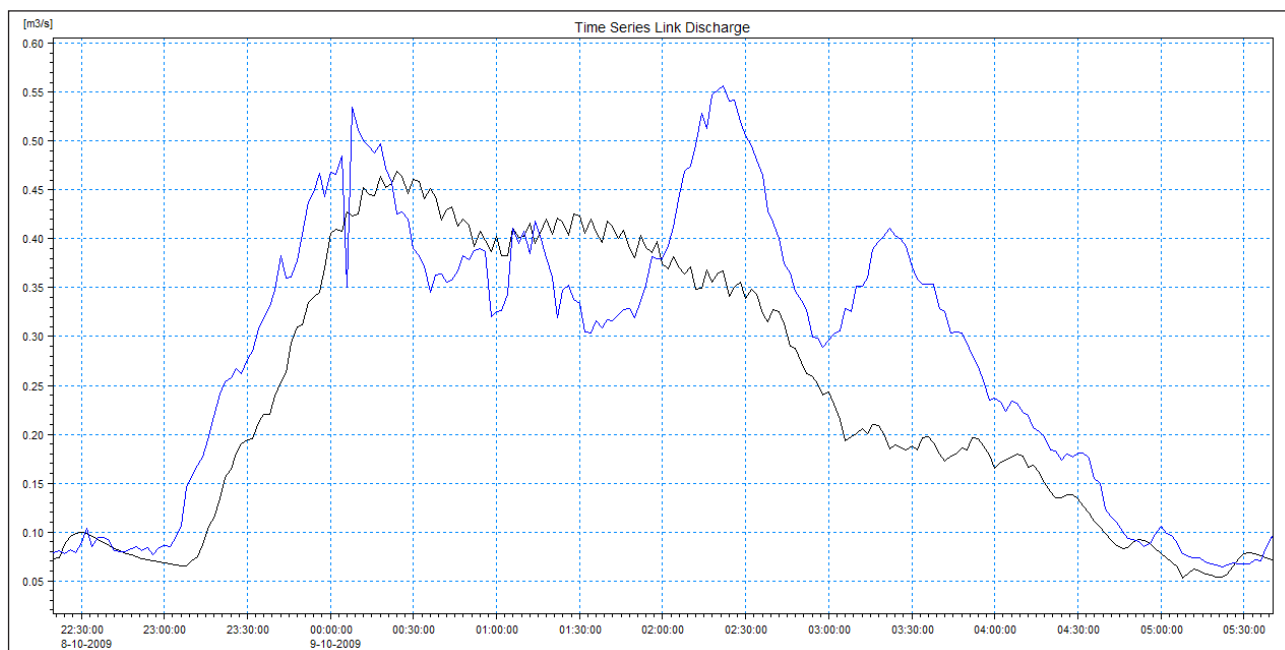
Kalibrera in volym och formen på flödestoppen vid regn

Det är alltid bra att börja med att få in rätt volymen i regntoppen. Volymen kalibreras genom att ändra den bidragande ytan. När den bidragande ytan är korrekt inställd återstår justeringar av koncentrationstid och val av tid-area-kurva. Dessa påverkar inte avrunnen volym utan enbart formen på flödestoppen. I allmänhet innebär dessa justeringar mindre ändringar av flödestoppens utseende.

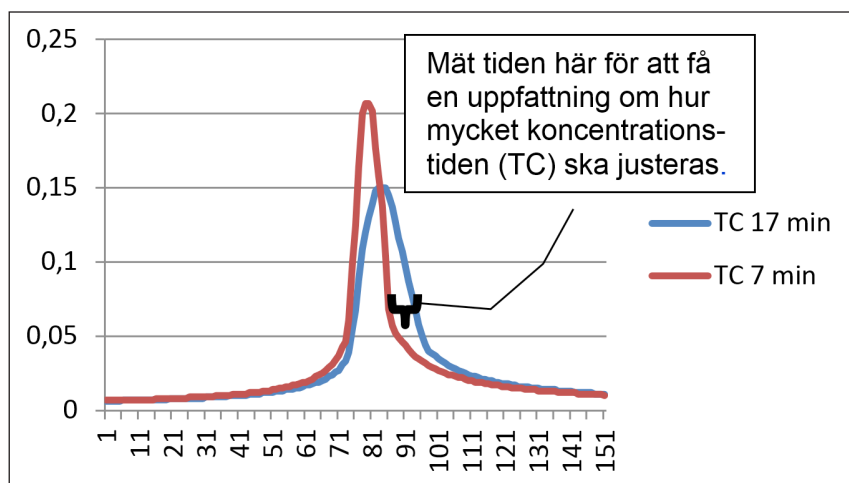
Om det blivit en mindre bra överensstämmelse på topparna inom ett regntillfälle, jämfört med uppmätt, så beror det ofta på att de regnmätarna, som används för att kalibrera modellen, inte beskriver regnet som det var i verkligheten. I dessa fall går det inte att få till en bättre överensstämmelse. Ett exempel visas i Figur 30-1. Detta är ofta fallet i stora avrinningsområden.

Koncentrationstiden och tid-areakurvan för kalibreringsområdet påverkar utseendet på flödestoppen.

I figuren nedanför visas skillnaden mellan 7 och 17 minuters koncentrationstid för ett avrinningsområde. Genom att mäta tiden i nedre botten mellan den modellerade och uppmätta flödestoppen går det att få en uppfattning om hur mycket koncentrationstiden ska ändras i nästa beräkning, se figur 30-2.



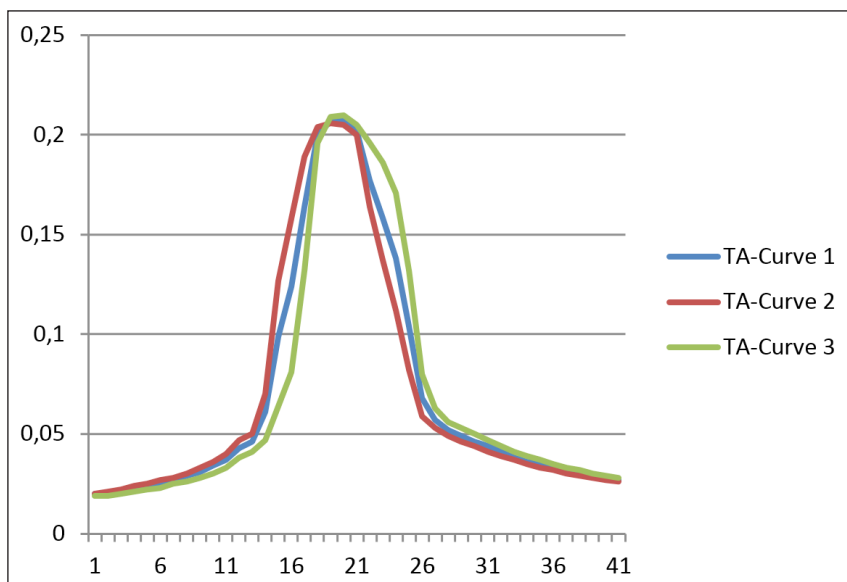
Figur 30-1 Mindre bra överensstämmelse mellan modellerat, svart, och uppmätt, blått, flöde.



Figur 30-2 Flödestopp med 7 respektive 17 minuters koncentrationstid, TC.

När tid-areakurvan ändras så ändras flödestoppens lutning, se figur 30-3. Benämningarna gäller för tid-areakurvorna som finns som standarder i Mike Urban.

- TA-Curve 2 lutar flödestoppen åt vänster i förhållande till TA-curve 1
- TA-Curve 3 lutar flödestoppen åt höger i förhållande till TA-Curve 1



Figur 30-3 I övrigt identiska flödestoppar men med olika TA-Curve

Kalibrera in nivån

Vid basflöden bör det inte vara någon större skillnad mellan uppmätt och beräknad nivå. Vid riktigt låga nivåer i ledning (< ca 6 cm) påverkar ofta flödesmätarens nivåsensor nivå i ledning varvid det inte är rimligt att försöka justera modellen mot nivåer under denna.

Vid nivåer över denna kan parametrar justeras för att få till korrekt nivå-beskrivning.

Nivåkalibrering görs endast där det finns bra överrensstämmelse mellan beräknat och uppmätt flöde.

Justera i första hand ledningens råhet. Är det en modell som inte kalibrerats förut kan materialets råhet ändras (vilket påverkar alla ledningar i modellen med aktuellt material). Annars bör enbart ledningarna direkt uppströms/ nedströms mätpunkten justeras.

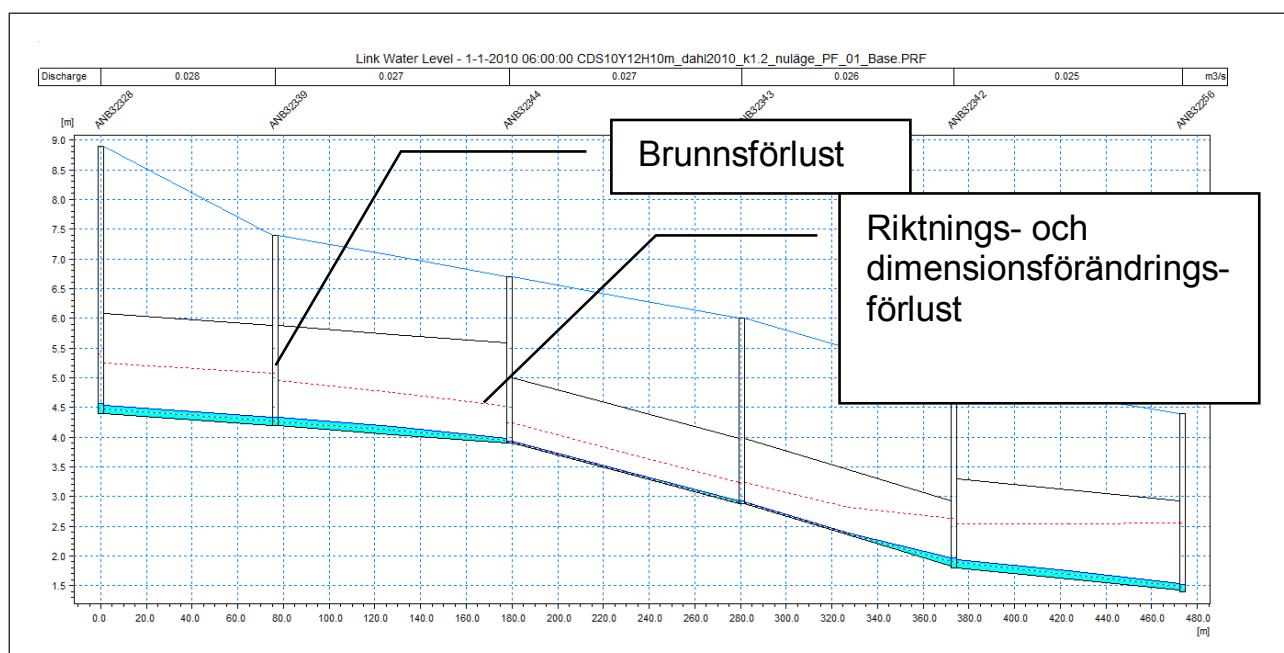
En justering av råheten ger enbart en liten nivåförändring vid låga flöden då friktionsförlusten beror på vattnets hastighet i ledningen.

Om det finns ett konstant nivåfel mellan uppmätt och beräknat kan det vara ett fast hinder, till exempel sediment, rötter el dylikt, som stör. Om det är motiverat att lägga in detta hinder i modellen beror på syftet med modellen.

Stora nivåskillnader vid regn kan bero på felaktig beskrivning av brunnsförluster i modellen. Brunnsförluster avhandlas i kapitel 26.1.7.

Att ta fram en ledningsprofil över kalibreringspunkten och undersöka var eventuella höga trycknivåer härstammar ifrån är ett bra sätt att förstå vilken parameter som ska justeras. Hoppen i trycklinjen visar var förlusterna uppstår, se figur 30-4.

Se till att justeringarna hamnar inom det rimliga. Manning 10 i en ledning är till exempel inte rimligt.



Figur 30-4 Tryckprofil med tydliga punktförluster i brunnar.

30.4 Kalibreringsmetoder

I detta avsnitt beskrivs lämpliga tillvägagångssätt för att kalibrera modeller med avseende på olika typer av flöden. Indelningen är:

- Spillvatten (från vattenförbrukning)
- Avrinning från hårdgjorda ytor och annan snabb nederbördpåverkan
- Övrigt nederbördspåverkat flöde
- Övrigt ej nederbördspåverkat flöde, till exempel inläckande vatten från hav, sjöar och större vattendrag. Dessa flöden är förvisso till viss mån nederbördsberoende eftersom en sjö eller ett vattendrag kan få högre vattenstånd efter ett regn. Tidsförloppet är dock ofta så annorlunda mot övriga flöden i ett avloppsledningsnät att en kalibrering med nederbörd som indata inte är möjlig. Vattenståndet i havet, sjön eller vattendraget är den viktiga parametern och detta går inte att modellera med en modell avsedd för avloppsledningsnät.

I texten delas kalibreringen upp i spillvattenkalibrering och kalibrering av nederbördspåverkat flöde. Det innebär inte ett ställningstagande om att separerade spillvattenledningar ska antas vara opåverkade av nederbörd. Snarare är erfarenheten att spillvattenförande ledningar ofta är mer eller mindre nederbördspåverkade oavsett om VA-huvudmannen klassat ett ledningssystem som separerat eller kombinerat. Detta innebär att även för spillvattenssystem behövs kalibrering av typiska dagvattenparametrar och andra parametrar som beskriver nederbördspåverkat flöde.

I tabell 30-3 listas de parametrar som vanligen användas vid kalibrering av modeller över avloppsledningsnät.

Tabell 30-3 Parametrar som används vid kalibrering av modeller över avloppsledningsnät.

Parameter	Hur vanligt är det att justera den?	Vad styr denna parameter?	Kommentar
FRC-ytans storlek	Alltid	Volymen i flödestoppen	
Koncentrationstid	Alltid	Bredd och amplitud på flödestoppen	
Förbrukningsmönster	Alltid	Dygns/veckomönster på spillvattenförbrukningen	Genom att beskriva denna parameter blir det lättare att kalibrera FRC-ytan.
Tvärsektion	Ibland	Vattennivå i ledningen	Om det till exempel finns permanenta sediment-nivåer i ledningarna används denna parameter för att beskriva detta
Ledningsråhet	Ibland	Vattennivå i ledningen	Vid normala hastigheter ger en rimlig justering enbart små effekter (någon cm)
SRC-ytans storlek/RDI-parametrar/basflöde	Ofta	Bredd och amplitud på flödestoppen/svansar på flödestoppar/nivå på basflödet	Vanligen går det att hitta flödestoppar med liten eller ingen SRC-påverkan som gör att detta moment kan undvikas. Däremot finns det ofta ett basflöde med som måste tas med vid kalibreringen.
TA-kurvan	Sällan	Formen på flödestoppen	Om modellen innehåller relativt små avrinningsområden finns inget behov att frångå standardvalet, TA-curve 1.
Energiförluster i brunnar	Sällan	Vattennivå i ledningen	Parametern används vid kalibrering för att erhålla större punktförluster i en brunn än vad som normalt ansätts, dvs. om mätningen visar på ovanligt stora punktförluster.
Vattenförbrukning	Sällan	Spillvattenflödet	Ofta finns ett bra underlag i form av debiteringsregister som gör justering onödig.
Energiförluster i skibord	Sällan	Vattennivå i pumpsump vid bräddning	Ofta används standardfaktorer på denna parameter.

30.3.1 Kalibrering av modeller med spillvatten

Vid kalibrering av modeller med spillvattenbelastning är det ofta lämpligt att börja med att ställa in rätt spillvattenmängd samt dygnsvariationen och eventuell veckovariation för spillvatten. Vid senare analyser kan dessa flöden förvisso ha en ganska underordnad betydelse om det är ett ledningsnät med stor nederbördspåverkan eftersom analyserna ofta görs med mycket stora regn, till exempel 10-årsregn. Vid kalibreringen är det dock normalt frågan om betydligt mindre regn. Och då kan dygnsvariationen för spillvatten vara av samma storleksordning som tillskottsflödet vid regn. Då är det viktigt att ha korrekt dygnsvariation för att kunna avgöra vilket flöde som beror på spillvatten och vad som är nederbördspåverkat flöde.

Kalibreringen av spillvatten behöver dock sällan göras med samma omsorg som kalibreringen av nederbördspåverkat flöde eftersom det trots allt sällan har samma betydelse vid de analyser som ska göras med modellen.

Arbetsgång vid kalibrering av spillvatten

De modellparametrar som hänvisas till i texten är hämtade från Mike Urban.

Kalibrering av spillvatten ska om möjligt genomföras under en torrperiod där påverkan av RDI-flöde är minimal. Förslagsvis väljs en vecka under sommaren innan eller efter industrisemestern. Vid kalibrering ska observerade flöden och nivåer kalibreras mot beräknade. Efter kalibreringen ska båda graferna följa varandra såväl i form som i volym.

I detta moment ska spillvattenmängden och förbrukningsmönstret, (förbrukat vatten), justeras. Bäst är det om modellens spillvattenmängd är base-

rad på ett (pålitligt) debiteringsregister. Om underlag för spillvattenmängd saknas får en rimlig ansats göras för att beräkna det.

Spillvattenmönstret kan beräknas från uppmätt flöde. Men om det finns timmupplöst producerat/levererat dricksvatten för delområdet kan det självklart användas.

Långt ner i ett ledningssystem kan RDI-flödet vara så betydande att det inte går att bortse från. Om detta är fallet finns det några valmöjligheter. Om det finns en RDI-kalibrering i modellen kan följande göras:

- Använd RDI+A avrinningsberäkning tillsammans med en RDI-hotstart vilket ger rätt nivå på SRC-flödet.
- Om modellen ger för lite/för mycket RDI-flöde. Flytta RDI-yta uppströms/nedströms din kalibreringspunkt för att få till rätt basflöde. Tänk bara på att totalsumman ska vara densamma.⁵

Om modellen saknar RDI-kalibrering kan följande göras:

- Lägg in en tidsserie i modellen som motsvarar basflödet. Observera att detta basflöde enbart gäller för det aktuella kalibreringstillfället.

För att säkerställa ett bra resultat för den efterföljande TA-kalibreringen bör följande kalibreringskriterier uppfyllas under spillvattenkalibreringen.

- Tiden för beräknat spillvattenflödesmax ska avvika mindre än 1 timme från uppmätt.
- Dygnsflödestoppen ska vara inom ± 10 % differens
- Volymdifferensen ska vara inom ± 10 % differens

30.3.2 Tid-area-metoden (hårdgjorda ytor)

Tid-area-metoden är den i Sverige vanligast förekommande metoden att beskriva avrinning från anslutna hårdgjorda ytor och annat snabbt nederbördspåverkat flöde (i Mike Urban benämns den Runoff A). I texten och tabellerna nedan ges råd kring hur kalibreringen bör gå till samt vilka parametrar som bör ändras i första hand.

Metoden används för att beskriva snabb avrinning i såväl dagvattennät som kombinerade nät och separerade nät. De flesta avloppsledningsnät är mer eller mindre påverkade av nederbörd. Det innebär att kalibreringsmetodiken är den samma för de flesta ledningssystem. Det som skiljer kalibrering av rena dagvattensystem från andra är att det ofta saknas ett basflöde/torrvädersflöde (RDI-flöde och spillvatten).

Om modellbeskrivningen innehåller beräkning av övrigt tillskottsvatten med RDI (se kapitel 30.3.3) bör en grov kalibrering av detta göras först. Därefter kan det finnas behov av att växelvis kalibrera RDI-parametrarna och tid-areaparametrarna eftersom de påverkar varandra. Vid förekomst av ej nederbördspåverkat tillskottsvatten kan det ofta vara viktigt att även detta kalibreras före tid-area-kalibreringen alternativt kalibreras växelvis. Risken finns annars att kalibreringen av nederbördspåverkat flöde kommer att felaktigt kompensera för höga flöden som inte är nederbördspåverkade.

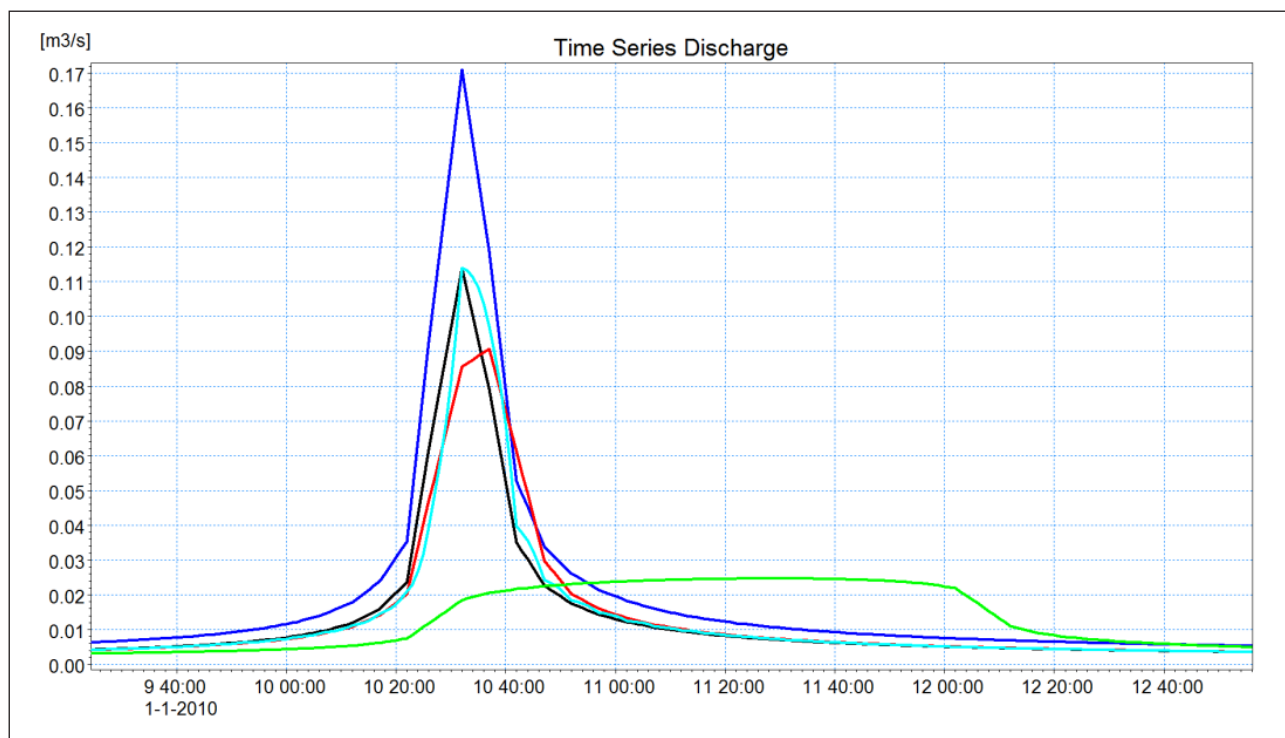
I tabell 30-4 visas de parametrar som kalibreras för tid-areametoden. Parametrarna anges i prioriteringsordning efter hur viktiga de bedöms vara. Tabellen förklarar även vilken funktion respektive parameter har för kalibreringen.

⁵ Undantag finns då det finns bräddpunkter i din modell som även bräddar SRC-flöden.

I figur 30-5 visas hur flödet från en yta påverkas då parametrarna ändras på ett antal olika sätt.

Tabell 30-4 Parametrar som kalibreras vid användande av tid-areametoden

Prioritet	Parameter	Kommentar
1	Hårdgjord yta	Ansluten hårdgjord yta brukar vara den viktigaste parametern vid kalibrering av nederbörds-påverkade ledningsnät. Parametern avgör avrinningsvolymen vid varje regn.
2	Koncentrationstid	Koncentrationstiden är tillsammans med hårdgjord yta den parameter som är viktigast för hur höga flödestopparna blir vid regn. En ökad koncentrationstid ger ett mer utdraget förlopp men påverkar inte den totala avrunna volymen.
3	Tid-area-kurva / Tid-area-koefficient	Parametern påverkar hur snabbt avrinningen sker inom ramen för koncentrationstiden. Vanligtvis väljs parametern så att det blir ett rakt samband mellan tiden och avrunnen volym. Men det går att välja parametern så att en större eller mindre andel av volym kommer i början av avrinningen. Parametern påverkar avrinningskurvans utseende men har betydligt mindre inverkan än koncentrationstiden.
4	Initialförlust	Initialförlusten beskriver att den första delen av regn (vanligtvis 0,6 mm) inte ger upphov till någon avrinning. Parametern representerar ojämnheter i de hårdgjorda ytorna där vatten kan samlas utan att avrinna till ledningsnätet. Parametern har liten betydelse vid beräkning med stora regn. Men om en lång regnserie som innehåller många små regn används kan parametern ha förhållandevis stor betydelse för den totala avrunna volymen. Parametern är därför viktig främst då det är viktigt att beräkna total volym. Vid beräkning av dimensionerande flöden är parametern oftast utan betydelse.



Figur 30-5 Avrinning vid 10-årsregn från en 1 ha stor yta med avrinningskoefficient 0,5 och koncentrationstid 10 minuter. Tid-areakurvan beskriver ett rakt samband mellan tid och avrunnen volym. Svart = grundförut-sättning. Blå = avrinningskoefficienten ökas med 50%. Röd = koncentrationstiden ökas 50%. Turkos = Tid-areakurva som ger mindre volym i början och mer volym på slutet. Grön = koncentrationstid 100 minuter.

Ibland finns i modellprogrammen två eller flera parametrar som kan ge samma resultat. Då är det upp till modellören att välja vilken av dessa eller vilken kombination av dessa som ska användas. För att modeller ska kunna användas av andra personer än den som först tog fram modellen är det en fördel om parametrarna används på ett logiskt sätt och att de finns doku-

menterade i en modelldokumentation. För att underlätta modellarbetet är det bra om alla modellörer använder parametrarna på samma sätt. Då behöver den som ska arbeta med en modell som tagits över av någon annan inte hela tiden läsa på i modelldokumentationen för att förstå hur parametrarna använts. I texten som följer återges några möjligheter att använda parametrarna till tid-areametoden och därefter ett förslag på enhetlig arbetsgång. Arbetsgång och benämning på parametrar är gjord med utgångspunkt i Mike Urban, men motsvarande parametrar finns även i andra modellprogram och råden bör därför kunna anses vara allmängiltiga oberoende av modellprogram.

Kalibrering av ansluten hårdgjord yta

I Mike Urban beräknas ansluten hårdgjord yta på följande sätt:

$$\text{Area} \cdot \text{Imperviousness} \cdot \text{Reduction factor}$$

där:

Area = avrinningsområdets verkliga area

Imperviousness = sammanvägd avrinningskoefficient

Reduction factor = faktor som kan användas för att öka eller minska reducerad area.

Då det finns tre parametrar går det att vid kalibrering välja att ändra en av dessa eller en kombination av dessa. Att minska avrinningsområdets totala area med 20 % ger samma effekt som att minska Imperviousness med 20 % eller att ändra reduction factor från 1,0 till 0,8.

Nedan följer ett förslag på hur dessa tre parametrar bör användas.

Area

Ändras enbart om det under kalibreringen visar sig eller finns anledning att tro att avrinningsområdets storlek beskrivits felaktigt, till exempel för att underlaget vid framtagande av avrinningsområden varit felaktigt eller otillräckligt.

Imperviousness

Ändras enbart om det under kalibreringen visar sig eller finns anledning att tro att avrinningsområdets sammanvägda avrinningskoefficient bedömts felaktigt, till exempel om det visar sig att LOD är utbyggt på fastigheter vars dagvatten antagits vara anslutet till den allmänna avloppsledningen.

Reduction factor

Används för att justera reducerad area i avrinningsområden uppströms en viss mätpunkt då det finns en avvikelse mellan uppmätt och beräknat flöde och denna avvikelse inte kan förklaras av någon av de två anledningar som anges ovan under Area respektive Imperviousness.

Baserat på vilket underlag som funnits då modellen byggts upp kan det finnas anledning att genomföra kalibreringen på olika sätt varav några avviker från den ovan beskrivna metodiken.

Tabell 30-5 Olika metoder att justera ansluten yta i en modell i samband med kalibreringen

Metod	Kommentar
Reduction factor ändras till samma värde för alla avrinningsområden uppströms en mätpunkt	Alla områden uppströms en viss mätpunkt ändras lika mycket (procentuellt) jämfört med ursprungligt antagen yta. Används då det inte finns anledning att tro att den ursprungliga ansatsen är bättre eller sämre i vissa delområden.
Imperviousness och Reduction factor sätts till samma värde för alla avrinningsområden uppströms en mätpunkt	Alla områden uppströms en viss mätpunkt ges samma sammanvägda avrinningskoefficient. Används då det saknas underlag för att ansätta olika avrinningskoefficient i olika delavrinningsområden.
Olika justering av Reduction factor för olika områdestyper, till exempel separerat-kombinerat; högexploaterat-glesbebyggt	Används då det finns anledning att tro att den ursprungligen beräknade anslutna ytan är behäftad med större felmarginal i vissa områden. För dessa justeras ytorna mer i samband med kalibreringen.
Reduction factor sätts till samma värde för alla avrinningsområden av en viss typ oberoende av mätpunkt	Områden av samma typ (till exempel kombinerat-villaområde; separerat-centrumområde) justeras lika i hela modellen oberoende av mätpunkt, men med sådan justering att bästa möjliga överensstämmelse erhålls för samtliga mätpunkter. Metoden är till exempel lämplig då anslutna ytor till stor del beror på okända felkopplingar. Underlaget för att bedöma anslutningsgraden i respektive typområde bedöms som osäkert och kalibreringen används som en bedömningsgrund.
Reduction factor justeras enbart för vissa avrinningsområden	Ett användningsområde är att enbart i områden med (okända) felkopplingar justera Reduction factor. I kända kombinerade områden kan kartans uppgift om anslutna hårdgjorda ytor antas vara en säker uppgift.

30.3.3 RDI-kalibrering (annat nederbördspåverkat flöde)

I detta avsnitt beskrivs hur kalibrering av så kallat RDI-flöde genomförs. RDI-flödet representerar i modellerna nederbördspåverkat flöde som inte beskrivs med Tid-areametoden eller annan liknande metod. Det handlar till exempel om dräneringsvatten inläckage och överläckage från dagvattenledningar. I Sverige finns i stort sett enbart erfarenhet av att använda Mike Urban RDI. Detta kapitel är därför inriktat på denna tillämpning.

Avrinningsområdet beskrivs med en konceptuell modell som inte är direkt relaterad till avrinningsområdets fysiska egenskaper. Modellens parametrar är svåra (i stort sett omöjliga) att bestämma utan kalibrering mot uppmätta flöden.

I ett examensarbete (Gustafsson, 1992) har betydelsen av kalibreringsperiodens längd undersökts. Resultatet visar att kalibreringsperioden bör vara minst 2 år. Exemplet i examensarbetet genomfördes med ett mycket blött år och ett mycket torrt år. Examensarbetet visar dessutom att kalibrering mot torra perioder ger förhållandevis stora fel om modellen därefter används vid blöta perioder. Därmed blir slutsatsen att examensarbetets rekommendation om minst 2 års kalibrering enbart gäller om förutsättningarna är goda, dvs. kalibreringsperioden innehåller minst ett förhållandevis nederbördsrikt år och ett förhållandevis nederbördsfattigt år. Om detta inte är uppfyllt bör kalibreringsperioden väljas längre än 2 år. Det bör även noteras att det ger en säkrare kalibrering om kalibreringsperioden innehåller minst ett nederbördsrikt år.

Vissa parametrar kan kalibreras mot kortare perioder. I Mike Urban gäller det framförallt Umax, CQof och TC overland flow (CK). Dessa parametrar kräver i allmänhet högre tidsupplösning på mätdata än övriga parametrar. Det innebär att om det finns några års mätningar med dygnsupplösning och sedan några månader med timupplösning (eller bättre) bör det alltså vara tillräckligt för att få en bra kalibrering.

Som indata till modellen behövs:

- Nederbörd
- Temperatur
- Potentiell avdunstning

För nederbörden gäller att det är viktigt att nederbördsvolymen för hela kalibreringsperioden är korrekt uppmätt. Vissa mätfel går naturligtvis inte att undvika, vilket gäller alla typer av mätningar. Det som är viktigt är att det till exempel inte finns mätavbrott där ingen nederbörd uppmätts. Ett annat vanligt fel är att nederbördsmätarna saknar uppvärmning och att snö-nederbörd därför inte mäts eller inte mäts korrekt. Om det finns anledning att tro att den regnmätare som ska användas har varit ur funktion under någon period eller inte mäter snö-nederbörden korrekt är det lämpligt att för dessa perioder ta in nederbörd från en närliggande nederbördsmätare som bedöms trovärdig. För att upprätthålla korrekt nederbördsvolym är det tillräckligt med dygnsupplösning på nederbörden vilket innebär att SMHI:s nederbördsmätning kan användas för dessa perioder. Det fel som uppstår i modellberäkningen om nederbördsserien saknar nederbörd för vissa perioder är att vattenmängden i de delmagasin som RDI-modellen innehåller töms av. Därefter kan det ta lång tid innan modellen återgår till rätt vattenbalans. Några veckors avsaknad av snönederbörd under vintern kan därför påverka kalibreringen under flera månader.

Temperaturen avser lufttemperatur och bör vara uppmätt minst två gånger per dygn för att under snösmältningen fånga in att snön kan smälta på dagen trots att dygnsmedeltemperaturen är under noll grader. En erfarenhet är att den uppmätta lufttemperaturen ger en för tidig och snabb snösmältning. Troligtvis på grund av att snön isolerar marken som därmed behåller en lägre temperatur än luften. För att få en korrekt snösmältning kan det därför ibland vara nödvändigt att sänka den uppmätta lufttemperaturen innan den används i modellberäkningar. Sänkningar på 0,5–1,5 grader är ganska vanligt.

Potentiell avdunstning med månadsupplösning baserat på tabellvärden ger ett tillräckligt underlag för kalibreringen (Gustafsson, 1995). Denna typ av indata är det som vanligen använts vid RDI-kalibreringar i Sverige.

Viktiga parametrar i RDI-kalibrering (i fallande ordning):

1. Area
2. Tidskonstant för baseflow (BF)
3. Ytmagasin (U_{max})
4. Fördelning ytavrinning-perkolation (CQof)
5. Snösmältningskoefficient (grad-dag) under tidpunkter med snösmältning
6. Temperaturen under perioder med snöuppbyggnad och snösmältning
7. Tidskonstant för interflow (CKif)
8. Tidskonstant för overland flow (CK)

Eftersom RDI-kalibreringen kräver långa tidsserier med mätvärden är urvalet av mätpunkter starkt begränsat, såvida det inte bedöms rimligt att placera ut några mätare och avvakta med kalibreringen under några år. Långa mätserier med förhållandevis säkra mätvärden brukar finnas från avloppsrenings-

verk och ibland större pumpstationer. Mätvärden med god kvalitet och hög tidsupplösning kan ibland finnas vid kommun-gränser. Det handlar då om mätningar som ligger till grund för debitering av avlopps-vatten som produceras i en kommun och behandlas i reningsverk i en annan. Mätvärden för pumpstationer som hämtats från driftövervakningssystem får i det allmänna fallet betraktas som förhållandevis osäkra. Ibland är de baserade på gångtider med en antagen pumpkapacitet och ibland beräknade på uppfyllnad-avtömning i pumpsumpen. Det är inte ovanligt att pumpsumpens geometri är felaktigt beskriven i dessa system, och därmed de beräknade flödena. Mätmetoden fungerar inte heller bra under kraftigare regn då pumparna går för fullt eftersom det då inte sker någon uppfyllnad eller avtömning. På senare tid har det dock blivit vanligare att flödesmätare med god noggrannhet installerats på pumparnas tryckledningar. Om sådana mätvärden finns tillgängliga tillsammans med uppmätt nivå i pumpsumpen får detta bedömas som ett mycket gott underlag.

En svårighet som kan uppstå när mätvärden hämtas från reningsverk är att det ibland enbart är utgående flöde som mäts. Det innebär dels att eventuell bräddning i reningsverket inte ingår i detta flöde och dels att flödet kan vara avsevärt utjämnat och fördröjt i mätpunkten jämfört med inkommande flöde. Bräddningen mäts ibland separat och då kan den läggas till det uppmätta utgående flödet.

Kalibreringen görs mot den eller de mätpunkter som bedöms ha tillräcklig god noggrannhet. Det innebär ofta att det för ett helt ledningsnät

Tabell 30-6 Fördelning och anpassning av RDI-parametrar

Metod	Beskrivning	Kommentar
Jämn fördelning	Samtliga delavrinningsområden ansätts samma RDI-parametrar och samma andel RDI-area, dvs. om RDI-arean för hela avrinningsområdet kalibrerats till 75 % av totalarean så ansätts RDI-arean till 75 % av totalarean i varje delavrinningsområde	Metoden används enbart om det inte finns något underlag för att anpassa RDI-parametrarna eller fördela RDI-area olika i olika områden.
Fördelning efter pumpstations-områden	Om mätvärden finns från pumpstationer men dessa bedöms för osäkra att kalibrera mot kan de ändå användas för att fördela RDI-arean över modellen. Mätvärdena från pumpstationerna kan ofta visa i vilka områden flödet ökar mycket vid nederbörd och i vilka det är en liten nederbördspåverkan.	RDI-arean fördelas så att områden där mätvärden visar på hög nederbördspåverkan får större andel RDI-area.
Fördelning mot kampanjmätningar	Flödesmätningar på ledningsnätet som pågår 4 – 8 veckor på sommaren kan användas för att anpassa vissa RDI-parametrar till olika områden. Det gäller främst parametrar med snabb reaktionstid, i Mike Urban Umax, CQof och TC overland flow (CK). En flödesmätning kan även visa från vilka områden det kommer mer eller mindre tillskottsvatten. Det flöde som beräknas med RDI är dock vanligtvis på lägst på sommaren, ibland mindre än 1/10 av vad som gäller under höst-vinter-vår.	En fördelning mot de låga RDI-flödena under sommaren ger en ganska stor osäkerhet. Om flödesmätningen även pågått under höst-vinter-vår blir en fördelning baserat på dessa mätningar säkrare.
Fördelning mot drifterfarenheter	Ibland finns en ganska bra uppfattning om från vilka områden det kommer stora mängder tillskottsvatten. Då kan fördelningen baseras på dessa erfarenhetsvärden.	
Fördelning mot topologi	Det är vanligt att de största mängderna tillskottsvatten tillförs ledningsnätet i lågpunkter och dalgångar. Det kan därför vara rimligt att lägga en större andel av RDI-arean i låglänta områden och dalgångar.	Om gamla kartor kan frambringas går det ibland att se att det i dalgångarna funnits bäckar. Om så varit fallet finns anledning att misstänka stor mängd tillskottsvatten i dessa områden.
Fördelning mot nattmätning	Om s.k. nattmätning genomförts kan RDI-arean fördelas mot de flöden som uppmätts i samband med denna. En osäkerhet blir att tillskottsvatten kan variera på olika sätt i olika områden. Det område som visar mest tillskottsvatten i mars behöver inte göra det i november. Bortsett från detta får en fördelning baserat på nattmätningar ändå anses som en av de säkrare metoderna.	En nattmätning innebär att flödet mäts momentant i en ledning på natten då det kan antas att inget spillvatten tillförs ledningen. Nattmätningen bör utföras under en period med högt flöde av tillskottsvatten.

anslutet till ett reningsverk finns en uppsättning RDI-parametrar och en total area att fördela på modellens delavrinningsområden. Några metoder för att fördela och anpassa RDI-kalibreringen till den mer detaljerade ledningsnätmodellen med ett flertal delavrinningsområden presenteras i tabell 30-6.

30.3.4 Randvillkor/Indata: Ej nederbördspåverkade flöden (utöver spillvatten)

Det är av stor vikt att de uppmätta flöden som modellen kalibreras mot korrigeras för eventuella ej nederbördspåverkade flöden. I annat fall kommer modellen kalibreras så att det beräknade flödet kompenserar för detta. Då finns risk att de parametrar som tas fram i kalibreringen blir helt missvisande och att beräkningar som genomförs för andra perioder än den kalibrerade blir felaktiga.

Vissa av de flöden som avses kan vara nederbördspåverkade. Det gäller till exempel vattenståndet i en sjö eller ett vattendrag. Den typ av nederbördspåverkan som berör ett vattendrag eller en sjö är dock av så annorlunda karaktär mot dem som påverkar ett avloppsledningsnät att den inte kan beskrivas med dessa modeller. Vattenstånden måste därför ansättas som externa randvillkor.

Exempel på flöden som påverkas av vattenstånd i hav, sjöar och vattendrag är inläckage i ledningar som ligger under dessas vattennivå. Ett annat exempel är lågt belägna bräddavlopp och nödutlopp utan bakvattenlucka där vatten kan rinna in i ledningar och pumpstationer vid höga vattenstånd i recipienterna. Denna typ av randvillkor kan läggas in i modellerna antingen som ett vattenstånd i utloppen eller som flöden som läggs in i utvalda punkter.

Modellerna kan även påverkas av flöde som är oberoende av både nederbörd och vattenstånd, eller där detta samband i alla fall inte beskrivs med modellparametrar. Det kan vara ett uppmätt flöde som läggs in som en punktbelastning, till exempel ett flöde som är uppmätt i en pumpstation som inte ingår i modellen. I stället för att beskriva pumpstationen och dess ledningsnät läggs det uppmätta flödet in som en belastning på modellen. Flödet kan förvisso vara nederbördspåverkat, men det beskrivs inte med modellens parametrar. Ett annat exempel är en industri eller en hamn som pumpar ut spillvatten i ledningsnätet under vissa tider på dygnet, till exempel under natten då det finns mer kapacitet i såväl ledningar som reningsverk. Om det är känt vilka flöden som pumpas och mellan vilka tider kan detta läggas in som en tidserie i modellen.

30.3.5 Manuell- och autokalibrering

Vissa modellprogram har en funktion för autokalibrering. Erfarenheten av att använda dessa är i Sverige begränsad och det bedöms inte finnas tillräcklig erfarenheter av metoden för att ge rekommendationer kring användningen.

30.4 Kalibrering av belastning på pumpstationer

Flödesmätning i pumpstationer kan utföras med i princip tre olika metoder som alla har sina för- och nackdelar.

- Genom att logga till- och frånslag eller mäta nivån med täta intervall kan tillrinningen till pumpstationen beräknas baserat på uppfyllnad och avsänkning i pumpsumpen. Metodens största fördel är att tillrinningen till pumpstationen kan beräknas. Den största nackdelen är att metoden blir osäker när tillrinningen är stor och pumparna går för fullt under lång tid.
- Genom att mäta pumparnas gångtid kan flödet som pumpats beräknas om pumparnas kapacitet är känd. Fördelen med metoden är att gångtiden är en förhållandevis säker uppgift som brukar vara enkel att få fram. Nackdelen är dels att tillrinningen inte kan beräknas och dels att metoden blir osäker om pumpkapaciteten varierar med vattennivån i pumpsumpen.
- Flödesmätning på utgående tryckledning. Fördelen med metoden är att dessa flödesmätare ofta har hög noggrannhet och att pumpat flöde därmed blir en säker uppgift. Nackdelen är att tillrinningen inte kan beräknas.

Kalibreringen bör göras mot tillrinningen oberoende av hur mätningen gått till eftersom en kalibrering mot utpumpat flöde blir mycket svår att genomföra och kvalitetsbedöma på grund av de kraftiga variationerna i flödet till följd av pumparnas till- och frånslag. Undantaget är varvtalsreglerade pumpar där det pumpade flödet följer tillrinningen.

Kalibrering mot tillrinning

Om flödet beräknats från till- och frånslag eller uppmätt vattennivå i pumpsumpen blir problemet den förhållandevis stora osäkerhet som kan finnas under perioder då pumparna går kontinuerligt under en längre tid. Då kan det vara lämpligt att under dessa perioder använda flöde beräknat från gångtid och pumpkapacitet för att få rätt volym under regnen. Även den metoden har en tydlig felkälla då pumparnas kapacitet ibland kan öka märkbart när vattennivån stiger i pumpsumpen. För dessa fall kan kalibreringen vid regn göras mot nivån i stället för mot flöde. Det gäller under förutsättning att pumpstationen är detaljerat beskriven med pumpsump, tryckledning och pumpkurvor för pumparna.

Kalibrering mot flöde beräknat från gångtider

Om det för beräkning av flödet enbart funnits uppgifter om pumparnas gångtider och kapacitet kan det vid kalibrering vara bra att ha i beaktande att pumpskapaciteten troligtvis ökar under perioder med långa gångtider eftersom det kan antas att vattennivån i pumpsumpen då varit högre än normalt. Det flödet som beräknas av modellen bör därför vara något högre än det uppmätta.

Kalibrering mot flöde uppmätt på tryckledningen

Om flödet mätts på tryckledningen och pumparna inte är varvtalsreglerade är det lämpligt att räkna om detta flöde till ett medelflöde för några lämpliga tidsperioder, till exempel 10 minuter, 1 timme och 3 timmar. Vilken tidsperiod som är lämplig beror på hur ofta pumparna startar och hur lång

gångtid de normalt har. Ibland kan olika tidsperioder vara lämpliga för olika tillfällen. Under torrväder när pumparna går sällan kan en längre tidsperiod behövas medan det under regn kan behövas en kortare. Under regn är det ibland dessutom lämpligt att kalibrera direkt mot det uppmätta utpumpade flödet.

För att kunna jämföra det av modellen beräknade flödet med det enligt ovan framtagna medelflödet är det lämpligt att antingen göra pumparna i modellen varvtalsreglerade under kalibreringen eller att det av modell beräknade inflödet till pumpstationen jämförs med det framtagna medelflödet. Båda metoderna har för- och nackdelar. Att göra pumparna varvtalsreglerade kan eventuellt påverka beräkningsresultaten och då är det inte lämpligt. Om vattennivån i pumpsumpen mätts går det inte heller att jämföra uppmätta och beräknade nivåer om pumparna i modellen gjorts varvtalsreglerade men inte är det i verkligheten. Att jämföra med inflödet kan vara svårt om det dämmer upp i inkommande ledning. Då blir det ett ojämnt flöde. I annat fall är det en metod som fungerar bra. Om det finns en brädd i pumpstationen så kommer flödet i inkommande ledning att även innehålla det som bräddar medan det uppmätta pumpade flödet är exklusive bräddningen. Om vattennivån mätts går det dock att avgöra om det bräddat och därmed att ta hänsyn till detta.

30.5 Kalibrering av pumpstationers kapacitet

Kalibrering av pumpstationer är ofta tidskrävande och kräver även mycket indata i form av mätdata och information om själva pumpstationen. I tabell 30-7 listats typiska parametrar som kan behöva justeras vid kalibrering i en pumpstation.

Tabell 30-7 Parametrar som kalibreras vid kalibrering mot mätvärden från pumpstationer.

Parameter	Hur vanligt att man justerar?	Vad styr denna parameter?	Kommentar
FRC-ytans storlek, Koncentrations-tid, Förbrukningsmönster, SRC-ytans storlek/RDI-parametrar/basflöde, TA-kurvan, Energiförluster i brunnar/skibord, Vattenförbrukning	Se kapitel 30.3	Spill- och dagvattenflödet samt annat nederbörds-påverkat flöde	Dessa parametrar behöver kalibreras mot mätvärden från pumpstationer. Men då de finns beskrivna i kapitel 30.3 och 30.4 görs ingen ytterligare genomgång här.
Statisk lyfthöjd	Ibland	Starttrycket i tryckledningen	Om trycket i tryckledning mäts efter pumpar och ventiler erhålls detta som ett mätvärde.
Ledningsråhet	Ibland	Tryck/flöde i tryckledningen	För att kunna beskriva nedsättning av tryckledningens kapacitet eller stora punktförluster.
Ledningsdimension	Ibland	Tryck/flöde i tryckledningen	Tryckledningar av plast kan erfarenhetsmässigt öka med ca 5 % i diameter.
Pumpkurva	Ibland	Tryck/flöde i tryckledningen	Om mätningen visar på att pumpen är sliten kan denna justeras.

I avsnitten nedan redogörs för en rekommenderad arbetsgång vid kalibrering av pumpstationers kapacitet. Denna kalibrering innebär alltså en kalibrering av själva pumpstationen, dvs. justering av pumpkurvor, tryckledning, punktförluster med mera. Kalibrering av belastningen på pumpstationer (spillvatten, dagvatten etc.) beskrivs i kapitel 30.3.

30.5.1 Förarbete

Innan kalibrering av pumpstationer påbörjas gäller det att vara säker på att pumpstationen och tryckledningen är beskriven så korrekt som möjligt. Kontrollera gärna följande punkter en extra gång.

- Pumpsumpsgeometri (uppmätt eller kontrollerad mot ritning)
- Nivåer för:
 - Start-stopp för P1,P2, P1+P2
 - Botten
 - Inkommande
 - Nödbredd
 - Utgående tryckledning
 - Högpunkter på tryckledning
 - Släppunkt på tryckledning
- Dimension på nödbredd
- Dimension och material på tryckledningen
- Pumpar, pumphjul, motor (för att kunna ta fram pumpkurvan)

Genom att ha koll på samtliga dessa parametrar minskar osäkerheten kring vilka parametrar som bör justeras och vilka som kan anses som "låsta" vid kalibreringen.

30.5.2 Metoden baseras på typ av mätdata

Vilken typ av kalibreringsdata som finns tillgänglig påverkar kalibreringsmetoden. I texten nedan redogörs för två metoder.

Kapacitetsmätning av pumpar eller flöde beräknat från start/stopp alternativt flödesmätare på utgående tryckledning.

För att kunna göra en kalibrering av pumpstationer är det nödvändigt att åtminstone ha en uppmätt kapacitet. Kapacitetsmätningen kan baseras på flödesmätning på utgående tryckledning eller beräknad kapacitet från start/stopp-tidpunkter.

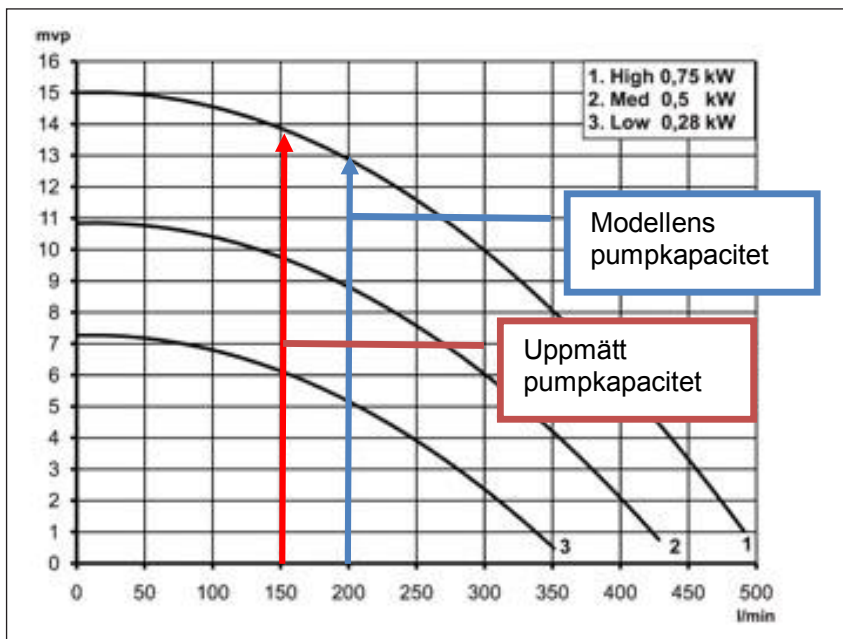
Med detta underlag går det dock inte att avgöra om det är tryckledningens eller pumpens kapacitet som är nedsatt. Rekommendationen i detta fall är att lägga all justering på tryckledningen, till exempel genom att ändra Mannings tal, för att inte behöva justera pumpkurvor. För att beräkna tryckledningens nya Mannings tal kan följande metod användas:

Förutsättning exempel: Tryckledning 500 m, Ø 0,3 m invändigt, Manning 120 för tryckledning i modellen. 200 l/s i beräknad modellkapacitet och pumpkurva 3 i Figur 30-6.

1. Titta på pumpkurvan och se vilken dH-skillnad som behövs för att uppnå den uppmätta kapaciteten. I detta fall $14 - 13 \text{ mvp} = 1 \text{ mvp}$
2. Beräkna nuvarande friktionsförlust i den okalibrerade pumpen med Mannings formel:

$$h_f = \frac{L \cdot Q^2}{M^2 \cdot A^2 \cdot R^{4/3}}$$

$$h_f = \frac{500 \cdot 0,2^2}{120^2 \cdot 0,071^2 \cdot 0,075 \cdot R^{4/3}} = 8,8 \text{ mvp}$$



Figur 30-6 Pumpkurvor, uppmätt och modellens

3. Slå ihop de båda dH för att få totala dH som kalibrerade tryckledningen ska ha.

$$1 + 8,8 = 9,8 \text{ mvp}$$

4. Ta Mannings formel och lös ut Mannings tal:

$$M = \sqrt{\frac{Q^2}{\frac{h_f}{L} \cdot A^2 \cdot R^{4/3}}} = \sqrt{\frac{0,15^2}{\frac{9,8}{500} \cdot 0,071^2 \cdot 0,075^{4/3}}} = 85$$

Tryckledningen behöver Mannings tal 85 för att ge korrekt flöde.

Kapacitetsmätning av pumpar, tryckmätning på tryckledning samt nivåmätning i sumpen.

Detta är den metod som bedöms ge mest säkerhet i kalibreringen. Metoden har tagits fram i ett examensarbete.⁶

1. Använd tryckmätningen på tryckledningen för att bestämma den statiska lyfthöjden. Om mätningen ger en differens på mer än 5 %⁷ så korrigeras den statiska lyfthöjden. Visar mätningen på en högre statisk lyfthöjd än modellen så beror detta troligtvis på att tryckledningens släpppunkt ligger lägre än tryckledningens högsta punkt. Placera i så fall en fiktiv brunn på 2/3 av tryckledningens längd från pumpstationen. Brunnen motsvarar den uppmätta statiska lyfthöjden. Rekommendationen 2/3 avstånd gäller om det inte finns annat underlag för att avgöra var höjdpunkten är. Om marknivåer finns längs tryckledningen bör dessa kunna användas för att avgöra ungefärligt läge för tryckledningens högsta punkt.

⁶ Modellering av avloppspumpstationer (Lindblom, 2014)

⁷ Inbyggda mätosäkerheten var 5% där av denna gräns.

I de fall som mätningen tyder på än lägre statisk lyfthöjd korrigeras detta antingen genom att sänka tryckledningens släppunkt eller att höja botten i pumpsumpen. Det får avgöras av vilken parameter som bedöms minst säker.

2. Om det finns en högpunkt på tryckledningen som inte ligger i slutet av tryckledningen ska tryckledningen efter högpunkten beskrivas som en självfallsledning⁸ men med samma grid-slot som en tryckledning. Dvs. 0,00001 ggr ledningens diameter.
3. Det uppmätta medelflödet under ett antal pumpcykler, fria från tryckslag, jämförs med modellens pumpade medelflöde i tryckledningen.

Om beräknat flöde > uppmätt⁹ flöde antas att punktförluster i tryckledningen var större i verkligheten och /eller att tryckledningens kondition var sämre. Kompensera detta genom att sänka Mannings tal tills differensen < 5 % i uppmätt/beräknat flöde.

Om beräknat flöde < uppmätt¹⁰ flöde kan, om tryckledningen är av plast, ett antagande göras att diametern ökar med upp till 5 %.¹¹ Räcker inte korrigeringen av diametern höjs Mannings tal för tryckledningen.

⁸ Detta då Mike Urban ger felaktiga flöden/tryck i fallande tryckledningar.

⁹ Om skillnaden var större än 5%

¹⁰ Om skillnaden var större än 5%

¹¹ Empiriskt värde, *Modelleringar av avloppspumpstationer*, sida 6 (Lindblom, 2014).

31 Simuleringar med färdig modell

31.1 Nuläge

Den kalibrerade modellen beskriver nuläget. För framtida användning är det viktigt att dokumentera när kalibrering genomfördes och hur systemet var uppbyggt då. Alla system är dynamiska och förändras över tid. Det som är aktuellt idag blir snart inaktuellt. Det är därför önskvärt med kontinuerlig uppdatering av modeller.

Modellen som beskriver nuläget används som jämförelse när olika scenarier simuleras. Modellen belastas efterhand med de randvillkor, tidsserier etc. som framtida studier kräver.

Den hydrauliska datormodellen används ofta som verktyg i kapacitetsutredning för VA-system. Genom att modellen belastas med aktuella basbelastningar och dimensionerande regn kan en dimensioneringskontroll göras. Dimensioneringskraven beskrivs i Svenskt vattens publikation, P110.

31.2 Framtid/Scenarier

För att simulera framtida klimat används för nederbörd föreslagna faktorer i Svenskt Vattens publikationer, för närvarande P110. Vanligen multipliceras nederbördsintensiteten i använda regnserier med en föreslagen klimatfaktor. För framtida vattennivåer i vattendrag och hav kommer fortlöpande riktlinjer och beräknade värden från SMHI och länsstyrelserna.

Exploateringsområden simuleras genom att belastningar i form av ytor, spillvatten etc. beräknas enligt Svenskt Vattens senaste gällande publikation, för närvarande P110. Där finns också anvisningar till vilka faktorer (till exempel maxtim- och maxdygnfaktor) som skall användas. Beräkningsresultaten kan jämföras med kapacitetsberäkningar för systemet före exploatering.

Åtgärdsalternativ för att förbättra systemets funktion tas fram och beräknas i modellen. Åtgärder kan dels vara kapacitetsökande, till exempel större ledningsdimensioner, anläggande av diken och magasin, dels belastningsminskande, till exempel bortkoppling av anslutna hårdgjorda ytor, anlägga magasin uppströms problemområdet etc.

31.3 Dimensionering/Nybyggnad

Den färdiga modellen kan användas för att kontrollera effekten på ledningssystemet från nya planområden eller andra anslutningar. Belastningen kan bestå av såväl basflöde med dygnsvariation, för till exempel spillvattensystem, som belastning i samband med nederbörd, för till exempel dagvattensystem. Dimensionerande förhållande tas fram genom att belastningarna multipliceras med rätt faktorer. Se P110 och P104. Modellberäkning av systemet före och efter anslutning jämförs sedan. Det är då intressant att stu-

dera förändringar av dämningssprofiler och uppstående kapacitetsproblem eller bräddningar. Ett mått på kapacitetsutnyttjandet i ledningssträckor är nyckeltalet $Q/Q_{\text{teoretisk}}$.

Man kan med fördel dimensionera det nya ledningssystemet i det planerade området i ett hydrauliskt beräkningsprogram. Systemet kan då optimeras på ett sätt som är svårt att göra när man dimensionerar med andra mer manuella metoder.

Genom att studera och analysera problembilden i modellen, i det befintliga och planerade systemet, kan olika åtgärdsalternativ provas. Exempelvis kan systemets kapacitet ökas genom dimensionsökning, nya sträckningar eller uppgradering av anläggning. Hög flödesbelastning och höga dämningssnivåer kan minskas exempelvis genom att magasin byggs.

31.4 Bräddning

Nulägesmodellen kan användas för att beräkna bräddade avloppsvattenmängder till den årliga miljörapporten. Detta är ofta ett ekonomiskt fördelaktigt alternativ till kontinuerlig mätning i bräddar och nödutlopp. Modellen måste då kalibreras mycket noga i bräddpunkterna. Man måste också ta hänsyn till de ofta betydande variationerna i basflöde. Spillvattenmängden ger upphov till en variation över dygnet. Vatten som tränger in i systemet under mark, läck- och dräneringsvatten, ger upphov till en längre variation med toppflöden vid främst snösmältning och efter längre våtperioder. Detta kan simuleras med RDI-beräkning. Ett alternativ till RDI är att använda olika belastningar i form av basflöde på systemet för olika grundvattenförhållanden. Som hjälp för att avgöra vilket förhållande som råder under en period kan exempelvis dygns- eller nattminflödet till ett reningsverk eller pumpstation användas.

Vid bräddberäkningar belastas modellen med regnserier som täcker den period där bräddningen skall studeras. Perioden kan vara från några månader upp till flera år.

Brädden byggs så att dess funktion i så stor utsträckning som möjligt liknar den verkliga. Man måste ta hänsyn till påverkan från systemet nedströms brädden. Om brädden på ett spillvattenförande system är kopplad till ett dagvattensystem måste man vara uppmärksam på risken för bakvattenflöde från ett dämt dagvattensystem till spillvattensystemet. I sådana fall kan det finnas anledning att modellera båda systemen i samma modell.

32 Dokumentation och kvalitetssäkring

32.1 Dokumentation

Till varje modell bör en grundlig dokumentation genomföras som följer modellen så att alla som kommer i kontakt med modellen och dess resultatfiler kan skapa sig en bild av modellens bakgrund och noggrannhet.

Av modelldokumentationen skall det framgå:

- vem som har skapat modellen (person och företag/myndighet)
- på vems uppdrag modellen har skapats (person och företag/myndighet)
- när modellen skapades, med vilket program och version
- vilket som var/är huvudsyftet med att bygga modellen
- användningsområden för modellen som är lämpliga och olämpliga
- vilket underlag som använts och kvaliteten på det
- vad modellen är avsedd att användas till
- hur den är kalibrerad och efter vilka mätningar (bifoga mätrapport)
- om det finns delar av modellen som är skapade med lägre upplösning än andra
- om det finns kända osäkerheter i underlaget eller modellen
- vilka känslighetsanalyser som har gjorts och på vilka parametrar

Det är mycket viktigt att samtliga antaganden som gjorts under modellarbetet tydligt framgår. Dokumentationen bör vara så utförlig att om någon annan gör om samma arbete skall de komma till samma resultat.

Dokumentationen skall göras klar och överskådlig. Det är inte lämpligt att göra den i dagboksform där alla ändringar läggs in i kronologisk ordning. Beskrivningen skall i stället göras i rubrikform så att all information om ett ämne står att läsa på samma ställe.

Det är lämpligt att göra skärmdumpar av tabeller och kartbilder och sätta in som illustrationer i dokumentationen.

Om modellen senare justeras, utökas eller kalibreras, skall dokumentationen uppdateras och det skall framgå vilka förändringar som gjorts.

Om modellen sparas i olika versioner, till exempel olika scenarier, skall det dokumenteras och det skall tydligt framgå vilken version som är den kalibrerade grundmodellen.

Checklista för uppbyggnad av modellen återfinns i Bilaga 3.

Känslighetsanalysen kan dokumenteras genom att planbilder eller profiler som visar exempelvis effekter av olika regn visas.

I Mike Urban går det även att föra anteckningar i modellen för olika objekt. Det kan vara ett bra komplement till modelldokumentation. I förvaltningsskedet är det fördelaktigt att kunna läsa den viktigaste informationen, till exempel kalibreringspunkter och osäkerheter, direkt i modellen.

Om några värden är okända och man därför har tvingats göra antaganden, kan det vara bra att lägga in ett värde som avviker från de normala värdena, men ändå är i rätt härad. En okänd brunnsdiameter kan till exempel ansättas till 0,99 m i stället för till 1,0 m.

För att underlätta arbetet när en befintlig modell skall användas bör alla modeller ges tydliga och strukturerade namn. Namnet bör innehålla information om objektets namn, datum då modellen senast justerades samt initialer för den som senast arbetade med modellen. Se exemplet nedan.

Åkershöga_20150814_NN.MUP

32.2 Kvalitetssäkring

Det är viktigt att arbetet med modellering kvalitetssäkras. Det görs bäst genom att en erfaren modellör (annan än den som byggt upp modellen) granskar både rörnätsmodellen och den hydrologiska modellen tillsammans med underlaget. Samtliga förenklingar och antaganden bör diskuteras. Verifieringen bör också granskas av en erfaren modellör.

Det är inte rimligt att i detalj granska varje parameter i en stor modell. Men det går att med några enkla metoder göra överslagsanalyser och genom att strategiskt välja ut objekt för granskning i alla fall hitta viktiga fel. Det är nästan ofrånkomligt att mindre ”fel” finns i stora modeller. Det kan vara fråga om att felaktigt material valts på en ledning, att fel brunnslöslustsbeskrivning finns i någon eller några brunnar med mera. Om det är fråga om ett fåtal fel av denna typ kan deras inverkan på beräkningsresultaten antas ligga inom felmarginalen för hur noggrant det går att beskriva ett avloppsnät i en modell. De kan därför anses ha försumbar betydelse. Kvalitetssäkringen bör därför inriktas på fel som har avgörande betydelse för beräkningsresultaten. Tabell 32-1 ger förslag på hur kvalitetssäkringen kan gå till.

Tabell 32-1 Förslag på tillvägagångssätt för kvalitetssäkring av modeller.

Vad	Hur	Kommentar
Spillvattenbelastningen	Genomför en beräkning för ett dygn med enbart spillvattenbelastning. Vilken volym blir det ut från modellen. Antag specifik förbrukning, till exempel 200 l/pe,dygn. Dividera beräknad volym med specifik förbrukning. Är det antal (pe) som då erhålls rimligt i förhållande till områdets storlek?	Industrier, handelsområden med mera måste också beaktas
Ansluten yta	Kontrollera avrinningskoefficienterna för avrinningsområdena. I första hand kontrolleras ett antal områden med de högsta respektive lägsta avrinningskoefficienterna. Är de rimliga för respektive område. Till exempel avrinningskoefficient 0,6 i ett grönområde eller 0,1 i stadskärnan. Höga avrinningskoefficienter i villaområden eller områden som i princip är separerade men där felkopplingar förekommer är ett varningstecken.	Att rita ut avrinningsområdena på en karta med ett flygfoto som bakgrund kan vara ett snabbt sätt att hitta felaktigheter.
Avrunnen volym	Genomför en avrinningsberäkning med till exempel ett 10-årsregn. Om regnet är 6 timmar så är regnvolymin ca 41,5 mm. Beräkna avrinningsområdets totala area. Gör en grov bedömning av avrinningsparametern för området. Om den av modellen beräknade volymen ligger utanför en rimlig felmarginal är något troligtvis fel. En beräknad volym som är dubbelt eller hälften så stor som den överslagsmässigt beräknade kan vara rimlig men bör ge anledning att kontrollera modellen.	Exempel: Avrinningsområde 20 ha med blandad bebyggelse, anta avrinningskoefficient 0,3. 10-årsregnet ska då ge en avrunnen volym på ca 2 500 m ³ .
Felaktiga nivåer och för små dimensioner på ledningsnätet	Genomför en beräkning för några dygn med enbart spillvattenbelastning. Rita ut resultatet som vattennivå över ledningshjässan. Där det sker dämning över ledningshjässan beror det ofta på bakfall eller att någon ledning fått en felaktigt liten dimension.	Det behöver inte alltid vara fel, men just dessa områden i modellen bör granskas mer i detalj.

Vad	Hur	Kommentar
Felaktigt införda stora dimensioner	Ett ganska vanligt fel som uppstår när modeller byggs upp från databaser beror på att ledningsdimensionen i vissa modellprogram anges i meter medan den i databaserna oftast är angiven i mm. Därmed finns exempel på modeller med ledningar som är 300 meter i diameter. Även om det innebär att ledningens hjässa kanske hamnar nästan 300 meter över mark ger modellprogrammens felsökning oftast inget felmeddelande för dessa. Eftersom det är mycket ovanligt med ledningar som är större än 10 meter eller mindre än 10 mm är en lämplig metod att söka ut alla ledningar som i modellen har en diameter större än eller lika med 10 meter.	Metoden gör att eventuella ledningar som är större än 10 meter "felmarkeras". Den kommer inte att finna ledningar med dimension under 10 mm som blivit felaktigt införda på detta sätt, till exempel om det i underlaget finns ledningar som är 5 mm som blivit inlagd som 5 meter kommer detta inte upptäckas.
Felaktiga dimensioner på ledningar i underlaget	Ett vanligt "fel" i underlaget är att ledningar är angivna med ytterdimension medan modellerna kräver innerdimension för att räkna rätt. Vanligtvis är det plastledningar varför felsökning efter detta fel kan begränsas till dessa. Om ledningsmaterialet saknas för många ledningar går det dock inte att göra urvalet på material. Då kan i stället vanligt förekommande dimensioner undersökas. Till exempel kan dimensionerna 200, 280, 315 och 630 mm antas ange ytterdimension på plastledningar. För andra dimensioner, till exempel 250 och 400 mm är det svårare att bara utifrån dimensionen anta att det är ytterdiameter. Ledningens ålder och material på andra ledningar i området kan ge ledtrådar.	
Bräddavlopp och pumpstationer	Vilket underlag har använts. Ledningskartor ger ofta ett otillräckligt underlag. Ritningar ger ett bättre underlag men om de är gamla kan ombyggnader ha skett. I bräddavlopp framgår sällan sättnar, strypningar på utgående flöde med mera av kartor och ritningar och kan behöva kontrolleras i fält. För pumpstationer saknas ledningskartorna ofta uppgift om nivå på inkommande ledning. Även tryckledningar saknar ofta nivåer. Inkommande ledning kan i modellen ha anslutits till pumpsumpens botten vilket ofta är fel. Start- och stoppnivåer kan vara svårt att få korrekta uppgifter om. Det har ofta ganska liten betydelse. Men en felaktig startnivå nära eller över bräddnivån kan ge stora fel. Om det finns tre pumpar i stationen kan underlaget ha gett startnivåer för alla tre. Men i verkligheten kanske styrsystemet begränsar driften till högst två samtidigt.	
Volymkontroll och stabilitetskontroll efter en beräkning, utlopp	Om ett utlopp ligger (för) lågt i modellen kommer vatten att rinna in i modellen om recipientnivån överstiger lägsta tröskelnivå. Med tröskelnivå avses den lägsta nivån som krävs för att vatten från ett utlopp ska kunna rinna in bakvägen i modellen, vanligtvis nivån för ett bräddavlopp eller nödutlopp.	Kontrollera om modellen får in flöden via utlopp
Volymkontroll och stabilitetskontroll efter en beräkning, pumpstationer	Pumpstationer som beskrivs i modellen kan orsaka stora fiktiva flödestillskott om de är felaktigt beskrivna, till exempel om instabilitet uppstår i tryckledning. Om pumpens stoppnivå ligger precis över pumpsumpens botten kan en fiktiv volym skapas då modellen blir instabil.	Kontrollera att pumpstationerna inte tömmer pumpsumpen helt samt att flödet ut från tryckledningen är detsamma som pumpas in i den
Volymkontroll och stabilitetskontroll efter en beräkning, massbalansen	Kontrollera massbalansen efter beräkningen. Massbalansen jämförs med totalt in- och utflöde i modellen. Ett massbalansfel på < 1 % får anses mycket bra och värden upp till 10 % kan anses vara acceptabla. Massbalansfelet kan variera under beräkningen och därför bör tidsserien över massbalansen studeras. Om den ökar eller sjunker mycket snabbt under vissa tider, till exempel under ett regn, är det ett tecken på att beräkningen inte varit stabil under dessa perioder trots att massbalansen totalt sett ser bra ut.	
Korta ledningar	Kontrollera om det finns korta ledningar som har en stark strypande effekt i modellen. Modellprogrammen kan ha en gräns för kortast tillåtna ledningar. Gränsen är införd för att minska risken för instabilitet i beräkningarna. I Mike Urban är gränsen satt till 10 meter. Detta kan dock ändras i filen dhiapp.ini. Om värdet väljs kortare än 10 meter ökar risken för instabilitet samtidigt som energiförlusten över korta ledningar blir mer korrekt beräknad. Ett alternativ till att tillåta ledningar kortare än 10 meter är att beskriva ledningen som en öppning eller en längre ledning men med en motsvarande friktionsförlust som den korta verkliga ledningen.	Kontrollera om det finns korta ledningar och om dessa har en strypande effekt på flödet
Tidssteg vid beräkningarna	Modeller kan ge dålig massbalans vid långa beräkningstidssteg. Ett sätt kan vara att sänka beräkningstidssteget. Dock ger ett kort beräkningstidssteg längre beräkningstid. Om det krävs mycket korta beräkningstidssteg, 2 sekunder eller lägre, så är det lämpligt att istället ta reda på vad det är som orsakar behovet av detta och göra justeringar i modellen så att ett högre beräkningstidssteg kan användas.	Kontrollera att valt beräkningstidssteg ger stabila beräkningar

32.3 Känslighetsanalys

En känslighetsanalys kan dels ses som en del av kvalitetssäkringen av modellen och dels som en metod att avgöra vilket underlag som behövs.

Känslighetsanalyser kan göras för alla modellparametrar genom att ändra en parameter och registrera vilken effekt det har på resultatet. Eftersom en sådan känslighetsanalys skulle bli mycket tidskrävande är det inte motiverat att göra en sådan total utvärdering. Dessutom kan vissa parametrar behöva undersökas i kombination. Känslighetsanalysen bör omfatta de parametrar som bedöms ha störst osäkerhet och där det kan förväntas att osäkerheten har betydelse för beräkningsresultatet.

32.2.1 Ansluten hårdgjord yta

En parameter som brukar påverka beräkningsresultatet i stor utsträckning i modeller över dagvattennät och kombinerade spillvattennät är ansluten hårdgjord yta. I tabellen nedan ges några exempel på hur känslighetsanalyser kan utnyttjas för ansluten hårdgjord yta.

Tabell 32-2 Exempel på känslighetsanalyser relaterade till hårdgjord yta.

Typ	Metod	Kommentar
Kalibrering	Om modellen kalibrerats och mätningarna från olika regn ger olika resultat, avseende ansluten hårdgjord yta, kan ytan i modellen ökas respektive minskas för att få en uppfattning om hur stor betydelse den osäkerheten har.	
Underlag för behov av flödesmätning	Ansluten hårdgjord yta beräknas från kartuppgifter. Ytan i modellen ökas och minskas med vad som bedöms vara osäkerheten. Om beräkningsresultatet för den analys som ska göras inte ändrar på slutsatserna av analysen kan det vara onödigt att göra en flödesmätning.	
Kontrollberäkning efter översvämningar	En modell ska användas för en kontrollberäkning efter källaröversvämningar. Om modellen då visar att översvämning sker vid 10-årsregn oberoende av om ytan ökas eller minskas inom ett intervall för bedömd osäkerhet så behövs ingen flödesmätning för att med modellen avgöra att ledningsnätet är underdimensionerat. Samma resonemang gäller om ingen översvämning sker oberoende av om ytan ökas eller minskas	Om i ett nästa steg modellen ska användas för att undersöka åtgärder för att klara 10-årsregn kan det å andra sidan ändå vara motiverat med flödesmätningar. Men då är syftet med flödesmätningarna ett annat.

32.3.2 Pumpkapacitet

Pumpkapaciteten för pumpar i äldre pumpstationer är en parameter som kan anses ha förhållandevis stor osäkerhet och som kan vara svår att få ett bra underlag för. Framförallt gäller det uppgifter om kapaciteten då flera pumpar går samtidigt.

Genom att öka och sänka den antagna kapaciteten kan det avgöras vilken betydelse den har och om det därmed är motiverat att lägga ner mer tid och kostnader på att ta fram underlag för detta, till exempel genom att mäta pumpkapaciteten.

32.3.3 Nivåer på brunnar och ledningar

Nivåer på vissa brunnar och ledningar saknas ofta i underlaget. I många fall har det ganska liten betydelse för resultatet om det inte berör just det område som är mest intressant för den aktuella modellanalysen, till exempel om det saknas nivåer på ledningarna utanför en fastighet som drabbats

av källaröversvämningar. Eftersom det är ett ganska omfattande arbete att kontrollera nivåerna genom avvägningar kan det vara lämpligt att genom känslighetsanalys avgöra vilka nivåer som har betydelse för den studie som ska göras. Ahlin (2012) har visat att det för dagvattennät har förhållandevis liten betydelse med en skillnad i brunnsdjup som varierar inom 1 meter.

32.3.4 Vattenstånd i utlopp

Vattenståndet i ett utlopp kan ibland ha stor inverkan på beräkningsresultaten och ibland liten. Det kan vara svårt att få uppgifter om medel- och högvattenstånd om det är en liten recipient. Då kan en känslighetsanalys med olika rimliga vattenstånd behövas för att belysa vilken osäkerhet som finns i beräkningsresultaten. Om känslighetsanalysen visar att vattenståndet har stor betydelse kan det användas som motivering för att lägga ner den tid det kan ta att få fram uppgifter om högvattenstånd eller göra en mer avancerad bedömning av rimligt högvattenstånd.

32.3.5 Vattenförbrukningen

Om det är ett separerat spillvattennät kan det vara motiverat att göra en känslighetsanalys på vattenförbrukningen om underlaget för denna är osäkert. Faktorerna för maxdygn och maxtimme kan väljas inom ett ganska stort spann vilket kan få stor betydelse för beräkningsresultaten i spillvattennät. Då är det motiverat att undersöka vilken effekt det har hur dessa väljs.

Referenslista

- Ahlin, E. (2012). *Modellering av dagvattennät utgående från markhöjder*. Examensarbete Uppsala Universitet.
- Andersson, C. (2015). *Modellering av avrinning från gröna tak. Avrinningskoefficienter och modellparametrar*. Examensarbete Uppsala Universitet.
- Arnell, V. (1991). *Nederbördsdata: vid dimensionering och analys av avloppssystem*. Svenska vatten- och avloppsverksföreningen, Stockholm.
- Chow, V.T. (1959). *Open-channel hydraulics*. New York: McGraw-Hill. ISBN: 070107769.
- Dahlström, B. (2010). *Regnintensitet – en molnfysikalisk betraktelse*. Svenskt Vatten Utveckling, rapport Nr 2010-05.
- Eriksson, B. (1981). *Den potentiella evapotranspirationen i Sverige*. RHO 27, SMHI.
- Granlund, B. & Nilsson, D. (2000). *Mätningar i avloppsnät samt principer för verifiering av avloppsmodeller*. VAV AB, VA-Forsk rapport 2000-7.
- Gustafsson, A-M. (1992). *Den hydrologiska modellen NAM. Kalibreringsperiodens inverkan på modellparametrar och verifieringsresultat*. Examensarbete 1992:4, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Gustafsson, L-G. (1995). *Utveckling och tillämpning av en konceptuell avrinningsmodell för urban hydrologi*. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Gustafsson & Mårtensson (2014). *Kartläggning av skyfalls påverkan på samhällsviktig verksamhet*. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, PublNr: MSB694.
- Hanley, N. & Barbier, E. B. (2009). *Pricing nature: Cost-Benefit Analysis and Environmental Policy*. Edward Elgar Publishing Limited, Cheltenham. ISBN: 978 1 84542 789 4.
- Häggström, S. (2009). *Hydraulik för samhällsbyggnad*. Liber. ISBN: 9789147093441.
- Hock, R. (2003). *Temperature index melt modelling in mountain areas*. Journal of Hydrology 282 (2003) 104–115.
- Karlsson & Larsson (2014). *Cost-benefit Analysis: A tool for decision-making in pluvial flood risk management*. Chalmers University of Technology.
- Johannesson & Vretblad (2011). *Byggformler och tabeller*, 11:e upplagan. Liber. ISBN: 9789147100224.
- Larsson, J. (2010). *Metodik för beräkning av anslutna hårdgjorda ytor till spillvattennätet*. Examensarbete Uppsala Universitet.
- Larsson, P. (2004). *Utveckling och tillämpning av en distribuerad GIS-baserad snösmältnings- och avrinningsmodell*. Per Larsson, Examensarbete Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.

- Lindblom, T. (2014). *Modellering av avloppspumpstationer – En modelloptimering och känslighetsanalys av pumpstationer i Uppsala och Västervik*. Examensarbete, Uppsala Universitet.
- Lindvall, G. (1986). *Energiförluster i ledningsbrunnar, laboratoriemätningar*. Geohydrologiska forskningsgruppen meddelande nr 81, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Lundmark, M. (2010). *Metodik för bestämning av hårdgjorda ytor i beräkningsmodeller för Stockholms huvudavloppsnät*. Examensarbete Uppsala Universitet.
- Lyngfelt, S. (1981). *Dimensionering av dagvattensystem – Rationella Metoden*. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Løken, Y. (2006) *Energitap i avløpsnett*. Examensarbete Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- Ryan, T. (1997). *Single Event versus Continuous Rain Series Data for the Modelling of Three Storm Pipe Systems in Sweden*. Examensarbete Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm (Examensarbete nr 383).
- Rössert, R. (1999), *Hydraulik im Wasserbau*. Oldenbourg. ISBN-10: 3486264397
- Svenskt Vatten (2001). *Allmänna vattenledningsnät. Anvisningar för utformning, förnyelse och beräkning*. Publikation P83.
- Svenskt Vatten (2004). *Dimensionering av allmänna avloppsledningar*. Publikation P90.
- Svenskt Vatten (2011). *Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem*. Publikation P104.
- Svenskt Vatten (2016). *Avledning av dag-, drän- och spillvatten*. Publikation P110.
- Stern. (2006). Stern review: *The economics of climate change*.
- Trafikverket. (2012). *Samhällsekonomiska principer och kalkylvärden för transportsektorn*. ASEK 5.

Bilaga 1: Indata för uppbyggnad av avloppsmodell

Önskat format för indata listas nedan i fallande ordning.

1. GIS-fil
2. *.xls (Excel)
3. *.mdb (Access)
4. *.dwg (CAD)
5. *.pdf
6. Paper

Nödändig data är markerad med **fet** stil. Önskad data är *kursiv*

	Mottaget	Behandlat	Importerat	Modellerat	Datakälla / Anmärkningar
Brunnar:					
Läge					
Namn/ID (till exempel SNB0001)					
Bottennivå (finns inte alltid - i så fall behövs vattengång upp- och nedströms på ledningar, se nedan)					
Locknivå/marknivå					
Dimension					
<i>Form och mått om tvärsektionen inte är cirkulär</i>					
Ledningar:					
Ledningsdimension					
Vattengång nedströms					
Vattengång uppströms					
Tvärsnittsform					
Material					
<i>Från brunn-Till brunn</i>					
<i>Ålder</i>					
<i>Namn/ID</i>					
Pumpstationer					
Startnivåer för samtliga pumpar					
Stoppnivåer för samtliga pumpar					
Pumpkurvor eller information om tillverkare och modell och pumphjul för samtliga pumpar alternativt maxflöde för var pump och för hela pumpstationen					
Ritning på pumpsumpsgeometri med nivåer (plushöjd i RH2000 eller annat angivet höjdsystem), helst som nivå-areatabell					
Varvtalsreglerade pumpar kräver även börnivåer och vilka intervall som pumparna jobbar inom.					
Information om styrning, till exempel om alla pumpar går samtidigt					

	Mottaget	Behandlat	Importerat	Modellerat	Datakälla / Anmärkningar
Bräddar/nöddavlopp/skibord					
Dimensionen på bräddledning/skibord					
Bräddnivå och längd på överfallet.					
Ev. strypning på utgående ledning från skibordskammare.					
<i>Ev. förbindelsepunkter mellan spill och dagvattensystem</i>					
Utjämningsmagasin					
Läge					
Geometri (ritning)					
<i>Driftdata</i>					
<i>Bottenmaterial</i>					
Luckor och andra konstruktioner					
Läge					
Geometri (ritning)					
Nivåer					
Beskrivning					
Driftdata					
Vattenförbrukning					
Debiteringsregister med angiven brukarkategori					
Distribuerad samt debiterade totalvolym, m ³ /år (för ett par år tillbaka)					
Läge eller X/Y-koordinat för förbrukaren/fastigheten					
<i>Ev. prognos för framtida förbrukning (om framtidsmodell ska tas fram)</i>					
Topografi					
Höjddata från laserskanning, helst i färdigt rasterformat (ESRI GRID eller motsvarande)					
(alt. Höjdpunkter)					
(alt. höjdkurvor med kopplat höjdvärde, om ovanstående inte finns)					
Kartor					
Baskarta					
Hus					
Vägar. Bäst är färdiga vägar i polygonformat. Mittlinjer är ett alternativ (många kommuner har data från nationella vägregistret och i den GIS-data-basen finns mittlinjen för alla vägar).					
Fastighetsgränser som polygoner					
Ortofoto					
<i>Markanvändning (polygoner)</i>					
<i>Stora hårdgjorda ytor såsom parkeringar m.m. (polygoner)</i>					
<i>Vattendrag</i>					
Reningsverket					
Max kapacitet på reningsverkets inlopp (Blir randvillkor i modellen)					
Recipientnivåer					
Med tanke på höga nivåer i vattendrag/sjöar/hav och kommande klimat-förändringar kan det vara relevant att i modellen ta hänsyn till dessa nivåer (randvillkor). Tidsserier är bäst men min/medel/max funkar.					
Flöden (vid kalibrering)					
Högupplöst flödesmätning under sommarmånader					

	Mottaget	Behandlat	Importerat	Modellerat	Datakälla / Anmärkningar
Flöden (vid RDI-kalibrering)					
Minst 3 års inkommande flöden till reningsverk med dygnsupplösning (långsamma ytor)					
Minst 3 månaders inkommande flöden till reningsverk under sommarmånader med högsta upplösning (snabba ytor)					
Flöden från relevanta mätpunkter på nätet till exempel huvudpumpstationer, ska vara högupplöst					
Nederbörd (vid kalibrering)					
Högupplöst nederbördsmätning under samma period som flödesmätningen					
Nederbörd (vid RDI-kalibrering)					
Lågupplöst nederbördsmätning under samma period som lågupplöst flödesmätning					
Övriga intressanta indata:					
Projekteringsritningar • Plan • Profiler • Tvärsektioner					
Driftserfarenheter om kapacitetsproblem, bräddning och översvämningsområden					
Rapporter • VA-planer • Översiktsplaner • Särskilda avtal om systemet (till exempel avtal om in- och utflöde med andra system)					
Särskilt juridiskt avtal eller texter om systemet					
Tillåten vattenmängd avlett till systemet från fastigheter					
Tidigare modellers modell-filer, resultatfiler, GIS-filer, syfte och scenarier					

Bilaga 2: Erfarenhetsvärden av avrinningskoefficienter för spillvattensystem och kombinerat system

I tabellerna nedan redovisas erfarenhetsvärden av avrinningskoefficienter för spillvattensystem och kombinerat system hämtade ur examensarbetet Metodik för beräkning av anslutna hårdgjorda ytor till spillvattennätet (Larsson, 2010). Värdena kan användas för modeller som ska kalibreras.

K = kombinerat system, S = Spillvattensystem utan utbyggt dagvattensystem, S+D = Spillvattensystem i område med utbyggt dagvattensystem.

Kategori	Innerstad/Höghus förort			Villaförort/Villaområde i mindre ort			Övriga områden		
	K	S	S+D	K	S	S+D	K	S	S+D
Tak: villa, fritidshus	0,90	0,90	0,09	0,45	0,45	0,09	0,32	0,27	0,06
Tak: flerfamiljshus	0,90	0,90	0,18	0,90	0,90	0,18	0,63	0,54	0,12
Tak: Industri, övrigt	0,90	0,90	0,18	0,90	0,90	0,18	0,63	0,54	0,12
Hårdgjord yta	0,90	0,40	0,00	0,80	0,40	0,00	0,56	0,24	0,00
Grusad yta	0,20	0,10	0,00	0,20	0,10	0,00	0,14	0,06	0,00
Gatuyta	0,90	0,80	0,00	0,80	0,00	0,00	0,56	0,00	0,00

Bebyggelseyp	Innerstad/Höghus förort			Övriga områden		
	K	S	S+D	K	S	S+D
Slutet byggnadssätt, ingen vegetation	0,74	0,33	0,052	0,28	0,21	0,028
Slutet byggnadssätt med planterade gårdar, industri- och skolområden	0,53	0,24	0,037	0,2	0,15	0,02
Öppet byggnadssätt (flerfamiljshus)	0,42	0,19	0,03	0,16	0,12	0,016
Radhus, kedjehus	0,42	0,19	0,03	0,16	0,12	0,016
Villor, tomter < 1 000 m ²	0,26	0,12	0,019	0,1	0,075	0,01
Villor, tomter > 1 000 m ²	0,16	0,072	0,011	0,06	0,045	0,006
Park, gräsyta med mera	0,053	0	0	0,02	0	0

Bilaga 3: Checklista för uppbyggnad av modellen

	Beskrivning	Filnamn, typ och datum	Färdigt (Initialer Datum)	Granskat (Initialer Datum)
1	Avrinningsområdesgränser och utlopp			
2	Markanvändning och hårdgjorda ytor			
3	Modelluppbyggnad brunnar och andra noder			
4	Modelluppbyggnad ledningar			
5	Förenkling av modellen			
6	Mannings tal			
7	PE			
8	Pumpar			
9	Bräddar			
10	Luckor			
11	Andra konstruktioner			
12	Andra konstruktioner			
13	Andra konstruktioner			
14	Extern vattennivå			
15	Regndata			
16	RDI-parametrar och tillskottsvatten			
18	Flöde- och nivåmätnings- data			
17	Stabilitet i torrväder simulering			
18	Stabilitet i regnväder simulering			
19	Kalibrering			
20	Validering			

Bilaga 4:

Avbördningskoefficienter för överfall

Allmänna avbördningsformeln för skibord:

$$Q_{\text{weir}} = 2/3 \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2}$$

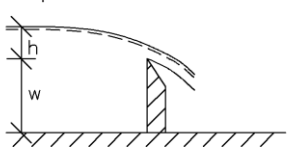
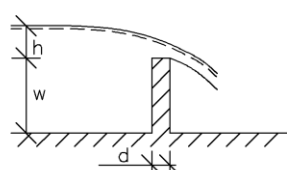
Q_{weir} = flödet över skibordet

b = utskovets bredd

h = överfallshöjden

μ = avbördningskoefficient

g = jordaccelerationen

Överfallstyp	Avbördningskoefficient μ														
Skarpkantat överfall 	$\mu = 0,605 + \frac{1}{1000 \cdot h} + 0,08 \cdot \frac{h}{w}$ (h & w i m) Giltig för w > 0,06 m; h > 0,01 m; h < 0,8 w														
Brett överfall 	Värdet för μ för skarpkantat överfall ska multipliceras med e. <table><tr><td>d/h</td><td>$\leq 2/3$</td><td>1,0</td><td>1,5</td><td>2,0</td><td>2,5</td><td>3,0</td></tr><tr><td>e</td><td>1,0</td><td>0,88</td><td>0,82</td><td>0,79</td><td>0,77</td><td>0,76</td></tr></table>	d/h	$\leq 2/3$	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	e	1,0	0,88	0,82	0,79	0,77	0,76
d/h	$\leq 2/3$	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0									
e	1,0	0,88	0,82	0,79	0,77	0,76									

Avbördningskoefficienter enligt: "Hydraulik im Wasserbau, Rössert" (Rössert, 1999).

I "Hydraulik im Wasserbau" (Rössert, 1999) återfinns avbördningskoefficienter för fler överfallssektioner.

Formler för triangelformat överfall (Thomsonöverfall) återfinns bland annat i "Byggformler och tabeller" (Johannesson & Vretblad, 2011).

Bilaga 5: Friktionsförluster Mannings tal

Värden på Mannings tal hämtade ur "Byggformler och tabeller" (Johannesson & Vretblad, 2011).

Begränsningsytornas beskaffenhet	M grov yta	M slät yta
Ledningar / kanaler		
Gjutjärnsrör nya, obehandlade	70	90
Gjutjärnsrör med rost (avdrages från diametern)	65	75
Glaserade lerrör	60	90
Betong stålslipad yta	85	100
Betong, gjutning mot plåtform	80	90
Betong, gjutning mot träform	65	85
Betong, putsad eller brädriven yta	65	75
Plåtklädda ledningar (försänkta nitar / släta skruvar)	80	100
Plåtklädda ledningar (oförsänkta nitar / utskjutande skruvar)	50	75
Stensatta kanaler (jämn huggne sten)	60	75
Stensatta kanaler (tuktad sten i cementbruk)	45	60
Sprängda kanaler / tunnlar	25	35
Grävda kanaler (raka jämna ytor)	40	60
Grävda kanaler (stenigt jordmaterial eller någon växtlighet)	25	40
Naturliga vattendrag		
Jämna ytor, jord eller sand, inga grund eller gölar	30	45
Stenigt jordmaterial eller något bevuxen botten	25	35
Stenigt material (morän) med grund och gölar	20	30
Stark växtlighet, grund och gölar	12	20

Värden på Mannings tal hämtade ur *Hydraulik för samhällsbyggnad* (Häggström, 2009).

Material	M
Stål	90-100
Hyvlat trä	85-95
Ohyvlat trä	70-80
Slät betong	80-90
Brädriven betong	65-75
Gjutjärn	60-70
Slät jord	35-50
Lös stenkastning	25-35
Berg	20-35

Naturliga vattendrag kan ha Mannings tal som är avsevärt lägre än vad som redovisats i tabellerna ovan. För utförlig beskrivning av Mannings tal i naturliga vattendrag hänvisas till "Open-Channel Hydraulics" (Chow, 1959). Där redovisas bilder på olika vattendrag och kanaler samt Mannings tal för dem.

Ekvivalent sandrårhet (k-värde):

Rekommenderade värden på råhet (k-värde) för ledningar i god kondition hämtade ur Svenskt vattens publikation P110, Tabell 4.16.

Material	k (mm)
Betong	1,0
Gjutjärn	1,0
Stål	1,0
PE, PVC	0,2

Ekvivalent sandrårhet (k-värde) hämtade ur "Byggformler och tabeller" (Johannesson & Vretblad, 2011).

Material	k (mm)
Rör av glas, koppar, mässing	0-0,02
Dragna stålrör, nya	0,02-0,05
Galvaniserande järnrör	0,15
Gjutjärnsrör, nya	0,25
Järn- och stålrör, rostiga	0,5-2
Betongrör	0,2-0,8
Trätuber	0,3-0,5
Sprängd bergtunnel	100-500

Ekvivalent sandrårhet (k-värde) hämtade ur "Hydraulik för samhällsbyggnad" (Häggström, 2009).

Material	k (mm)
Gjutjärn, nya huvudledningar	0,1
Gjutjärn, nya övriga ledningar	0,2-0,5
Gjutjärn, i burk, något rostangripna	1,0
Stålrör, nya (sömlösa eller svetsade)	0,1-0,2
Stålrör i bruk, något rostangripna	0,5
Stålrör i bruk, starkt rostangripna	1-5
Kopparrör, d < 200 mm	0,01
Betongrör, nya avloppsledningar	0,2-0,5
Betongrör, äldre avloppsledningar	1
Lerrör, nya ledningar	0,2
Lerrör, äldre avloppsledningar	1
PE och PVC, d < 200 mm	0,01
PE och PVC, d > 200 mm	0,05
GAP (Glasfiberarmerad polyester)	0,1

Med hjälp av Mannings formel och Colebrook-Whites formel kan ekvivalent sändrâhet râknas om till Mannings tal och tvârt om.

$$q = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot M \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} = - \frac{\pi \cdot d^2}{2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot d \cdot I} \cdot \log \left[\frac{2,51 \cdot \nu}{d \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot d \cdot I}} + \frac{k \cdot 10^{-3}}{3,71 \cdot d} \right]$$

dâr

q = flöde [m³/s]

d = diameter [m]

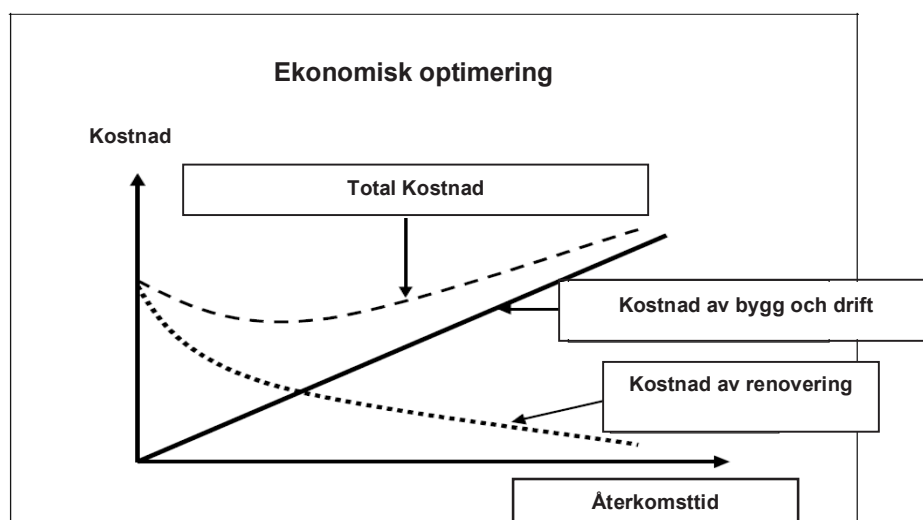
I = energilinjens lutning [m]

k = ekvivalent sändrâhet [mm]

ν = kinetisk viskositet [m²/s] ($1,31 \cdot 10^{-6}$ vid temperaturen 10° C)

Bilaga 6: Kostnad-nyttoanalys med hjälp av modellering - steg för steg

Figuren nedan beskriver ekonomisk optimering för åtgärder mot översvämning. Ju högre återkomsttid en åtgärd är anpassad efter, desto större implementeringskostnad men också lägre reparationskostnad kan förväntas. Vid projektering och teknisk förvaltning är målet att med så liten kostnadspåverkan som möjligt nå gällande riktlinjer, dvs. den lägsta punkten på totalkostnadskurvan i figuren nedan.



Figur B6-1 Den grundläggande principen för ekonomisk optimering beträffande relationen mellan bygg- och renoveringskostnaden omvandlas till en genomsnittlig årlig kostnad som funktion av återkomsttid.

Detta avsnitt presenterar hur kostnads-nyttoanalys med modellering som underlag kan användas för ekonomisk optimering av översvämningsförebyggande åtgärder.

Kostnad-nyttoanalys för översvämningsförebyggande åtgärder

Nedan beskrivs metodiken för en kostnads-nyttoanalys av översvämningsförebyggande åtgärder steg för steg.

1. Hydraulisk modellering

Det första steget i kostnads-nyttoanalysen är att uppskatta omfattningen av de översvämningsscenarier vars skadekostnader skall itereras över den avsedda tidsperioden. Detta görs för nulägesalternativet, det vill säga utan åtgärd implementerad. Minst tre scenarier bör simuleras för att uppnå tillräcklig noggrannhet, till exempel 10, 50 och 100 års återkomsttid. Vattennivå, utbredningen och varaktigheten varierar med översvämningsscenariots återkomsttid. Med hjälp av hydraulisk modellering kan varje översvämningsscenariots omfattning bestämmas och med hjälp av GIS kan de olika typer av skador som uppstår till följd av översvämningen identifieras.

Beroende på översvämningsorsakerna, samt ytterligare randvillkor, kan olika typer av modelleringsverktyg vara lämpliga. Översvämningar som orsakas av vattendrag erfordrar en ytöversvämningsmodell (se kapitel 15) medan nederbördsorsakade översvämningar bör behandlas i en modell där ledningsnätet ingår för att till exempel kunna identifiera källaröversvämningar.

Ur simuleringsresultaten för varje scenario identifieras de skador (till exempel antal översvämmade hus och bilar) som är relevanta för området. Detta görs antingen genom att för hand räkna objekt inom området för ytöversvämning (ytöversvämningsmodell) eller antal objekt i närheten av en ledning där trycknivån överstiger marknivå (röfnätsmodell). För att identifiera antal översvämmade källare i respektive scenario kan det antas att fastigheter där trycknivå i anslutande spillvattenledning överstiger känd källargolvsnivå räknas som skadade objekt. Om källargolvsnivån är okänd kan ett tröskelvärde om 0,5 meter över ledningshjässa ansättas i stället. Volymer, arealer och liknande data kan oftast hämtas direkt ur modellen. För större modeller kan identifiering av skadade objekt för hand vara tidskrävande och andra metoder kan användas.

För att kunna reflektera den totala skadan på samhället som översvämningar orsakar så gott det går bör så många skadekostnadskategorier som möjligt inkluderas i kostnads-nyttoanalysen. För exempel på vilka kategorier av skador som kan inkluderas i en kostnads-nyttoanalys se Karlsson & Larsson (2014).

2. Ekonomisk uppskattning av skadekostnader

När mängden eller antalet skadade objekt är identifierad i steg 1 skall värdet multipliceras med skadekostnaden för varje kategori uttryckt i monetära termer. Beroende på skadekategori kan olika värden, till exempel marknadsvärde eller försäkringsvärde, användas. För vissa kategorier finns schablonvärden att tillgå, till exempel försäkringsstatistik på översvämmade villor och den genomsnittliga skadekostnaden för en bil som översvämmas. För schablonvärden anpassade för svenska förhållanden, se Karlsson & Larsson (2014).

3. Uppskattning av riskkostnad

Riskkostnaden för varje översvämningsscenario beräknas genom följande ekvation:

$$R = P_f \cdot C_f$$

Där:

R = riskkostnaden

P_f = sannolikheten för översvämning

C_f = skadekostnad

Den totala riskkostnaden för hela tidsperioden är summan av skadekostnaden för samtliga möjliga översvämningshändelser under perioden multiplicerat med sannolikheten.

Ekvationen för den totala riskkostnaden blir således:

$$R_{\text{tot}} = P_{\text{fi}} C_{\text{fi}} + \sum_i^n P_{\text{fi}} (C_{\text{fi}} - C_{\text{fi}(i-1)})$$

Där:

n = antal beräknade översvämningsscenario

$i = 1, 2, 3 \dots n$

4. Åtgärdsidentifiering

Beroende på typ av översvämning och lokala förhållanden kan olika åtgärdsalternativ vara lämpliga. Åtgärder inkluderar alla metoder som minskar riskkostnaden och kan därmed ha olika funktioner såsom att översvämningens utbredningen minskar och därmed reducera antal skadade objekt eller minskning av sårbarheten och därmed reducera kostanden som uppstår vid skada.

Vissa översvämningståtgärder bidrar till extra nyttor, till exempel kan omläggning av avloppsledningar medföra en extra nytta i form av att tillfället att förnya dricksvattenledningar kan tas i akt. Ett annat exempel är att ett parkområde med utjämningsfunktion också kan fungera som rekreationsområde, vilket kan öka både människors välbefinnande och marknadsvärden för fastigheter i området. Extra nytta implementeras i modellen i form av en pluspost på den totala riskkostnaden.

5. Kostnadsuppskattning av åtgärdsimplementering

En åtgärd medför ofta olika kostnader såsom investeringskostnad, underhåll och dylikt. Då kostnads-nyttoanalysens resultat är ett nettonuvärde är det viktigt att ta reda på när åtgärdskostnaderna kommer infalla.

6. Uppskattning av riskreducering

Detta steg innebär att nya simuleringar utförs i den hydrauliska modellen med de olika åtgärdsalternativen inkluderade. Steg 2 och 3 utförs sedan igen för att identifiera den totala riskkostnaden för varje åtgärdsalternativ.

7. Kostnads-nyttoanalys

I kostnads-nyttoanalysen jämförs kostnaden för varje åtgärdsalternativ med respektive nytta i form av reduktion i riskkostnad (skillnaden i riskkostnad mellan nuläggesscenariot, steg 3, och åtgärdsalternativen, steg 6). Ekvationen för kostnads-nyttoanalysen för varje åtgärdsförslag är som följer:

$$NNK_i = \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+r)^t} [(R_{\text{tot}, 0}(t) - R_{\text{tot}, i}(t)) - K_i(t)]$$

Där:

NNK = nettonuvärdeskvot

r = diskonteringsränta

T = tidshorisont

K = åtgärds-kostnad

t = år

R = riskkostnad

Ett positivt resultat av ekvationen ovan indikerar att åtgärden är försvarbar att implementera ur ett samhällsekonomiskt perspektiv. Val av diskonteringsränta påverkar utslaget; ASEK 5 rekommenderar 3,5 % (Trafikverket,

2012) medan Sternrapporten rekommenderar 1,4 % (Stern, 2006). Innan analysen utförs bör val av diskonteringsränta övervägas noggrant.

8. Val av åtgärd

Den åtgärd som får störst nettonuvärdeskvot bör ur ett samhällsekonomiskt perspektiv implementeras.

9. Osäkerhets- och känslighetsanalys

En kostnads-nyttoanalys inkluderar alltid många osäkerheter. Variationer i resultaten från den hydrauliska modellen, schablondata, åtgärdskostnader, val av diskonteringsränta med mera påverkar resultatet. Med anledning av detta bör en osäkerhets- och känslighetsanalys alltid utföras i samband med kostnads-nyttoanalysen. Till exempel kan statistiska fördelningskurvor appliceras på de olika indata för att få en inblick i hur säkert resultatet är och vilka parametrar som har störst påverkan på utfallet.



Box 14057 • 167 14 Bromma
Tfn 08 506 002 00
Fax 08 506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se