

Slutrapport

Vattenavledning för en säker bebyggd miljö

**Forskningsgruppen Stadens Vatten
Luleå Tekniska Universitet**

Sammanfattning

Följande rapport är en sammanställning av ett 3-årigt forskningsprojekt som utförts av forskningsgruppen Stadens vatten vid Luleå Tekniska Universitet. Projektet har finansierats av Länsförsäkringars forskningsfond.

Projektet har bestått av tre stycken delprojekt; Avrinning baserat på regn, Avrinning baserat på snö samt Utvärdering av dagvattenssystemet. I det första delprojektet så är det utvärderat hur valet av regntyp, d.v.s. användandet av blockregn, CDS-regn eller uppmätta, högupplösta regn, påverkar resultatet av en modellsimulering för ett urbant dräneringsområde. Studien visade på att CDS regn ger en större hydraulisk respons i systemet än blockregn vilket därmed är att föredra då maximal påverkan på systemet ska analyseras. Däremot kan vid användandet av blockregn specifika kritiska varaktigheter analyseras vilket kan hjälps till att analysera olika problembilder i systemet. Uppmätta regn ger liknande hydraulisk respons i systemet men har fördelen att de är mer varierade i form (när maximal intensitet inträffar samt hur volymen fördelas över hela regnet) vilket ger ytterligare en dimension vid analys. Dessutom kan både konstant klimatfaktor eller en mer avancerad teknik så som Delta change-faktor användas vid studier av framtida klimatförändringars påverkan på dagvattenssystemet. Studien presenteras i en vetenskaplig artikel i Urban Water Journal (Berggren m. fl, 2014).

I det andra delprojektet undersöks olika tillgängliga snösmältningsmodeller och deras kapacitet att simulera snösmältningsförloppet i urban miljö. Studien visade att alla modeller har kapacitet att mer eller mindre väl simulera de urbana förloppen men ingen på ett tillfredställande sätt täcker in alla situationer i den heterogena urbana miljön. Rekommendationen från studien är att föra in ett klassificeringssystem för olika snötyper i urban miljö och simulera dessa olika med modellerna. De olika snötyper klassificeras enligt hur de har hanterats (plogats, packats och nedsmutsats) samt vart de placeras och vilka förhållande de utsätts för där (skugga, vind och strålning). Viktiga parameterar som förändras beroende av dessa förhållanden är t.ex. snöns densitet och albedo. Studien presenteras i en vetenskaplig artikel accepterad för publikation i Urban Water Journal (Moghadas m fl.).

Det sista delprojektet har varit en förstudie för att ta fram ett koncept för utvärdering av dagvattenssystemet ur översvämningsperspektiv. Studien bygger på att använda sig av metoderna multikriteria, risk och sårbarhetsanalys samt mervärdesanalys. Med användandet av dessa metoder är tanken att flera intressenters åsikter ska kunna tas hänsyn till och viktas utifrån hur mycket hänsyn som ska tas till olika aspekter just i det specifika, undersökta fallet. Beroende på vad målet är för området, vilket slags område det är och resurser inom projektet kommer dessa kriterier vara olika angelägna och därmed viktas olika högt. Avsikten i forskningsgruppen är att arbeta vidare med dessa metoder tillsammans med intresserade kommuner för att utvärdera och utveckla föreslagna modell.

Slutrapport

Vattenavledning för en säker bebyggd miljö

Utvärderingmetoder för dagvattensystemet är ett viktigt verktyg vid uppbyggnad av nya områden, omarbetande av existerande områden och planering inför framtida förändringar i t.ex. klimatet eller stadstruktur. Vid dessa utvärderingar ger den Europeiska standarden EN 752 (EU 2008) och Svenska rekommendationer (t.ex. Svenskt vatten, 2004) en bra vägledning. Dock är det inte alltid självklart hur man ska hantera nederbördsdata (regn och snö), beräkning av resulterande avrinning, utvärdering av systemet samt utformning av systemet. De svenska rekommendationerna arbetas om för tillfället och kommer att innebära nya tankar vad gäller avrinning vid extrem nederbörd och avledning via ytan. En allmän trend världen över är ett önskemål att gå mot en mer naturlig vattencykel även i den urbana stadsmiljön med ökad möjlighet för infiltration och evapotranspiration. Detta kan medföra en bättre lokal miljö med höjda grundvattennivåer, ökad luftfuktighet och sänkt temperatur inne i täta stadsområden. Införandet av dessa tekniker för även in mer gröna och blåa ytor i stadbilden vilket gynnar en ökad biologisk mångfald. Ett dagvattensystem med många olika komponenter så som ledningar, gröna ytliga avrinningsvägar, öppna dagvattenkanaler och dammar innebär ett komplexare system som påverkar sin omgivning mer än dagens i huvudsak ledningsburna system. Detta kräver en annan organisation med flertalet inblandade parter både inom kommunens verksamhet (VA, trafik, park, stadsbyggnad m fl.) och utanför (fastighetsägare, boende, affärsidkare m fl.). För att hantera detta krävs bra underlag och effektiva beslutsstöd. Detta projekt avser att belysa nederbördens inverkan på utvärderingar med dagvattenmodeller, både som regn och snö, kopplat till avrinning samt föra fram en metodik för att hantera komplexa beslutsprocesser med flertalet intressenter inblandade.

Avrinning baserat på regn

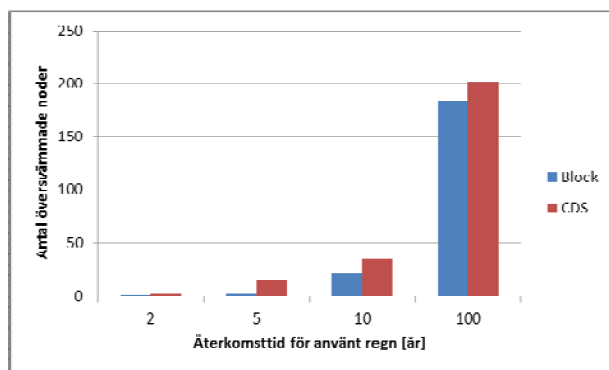
I Sverige rekommenderas att använda olika typer av designregn beroende på om systemet ska dimensioneras eller utvärderas. Det finns även olika bra underlag över landet i form av lokalt, högupplöst regndata som grund för regnstatistik, vilket påverkar kommunernas möjligheter när de vill använda sig av dagvattenmodeller. Dagens rekommendation är att använda designregn med varierande intensitet (t.ex. CDS, Chicago design storm) vid dimensionering av nya system och blockregn vid utvärdering av existerande system. Utöver det är rekommendationen att använda lokalt uppmätt, högupplöst regndata när sådant är tillgängligt. För urban modellering av dagvattensystemet krävs en upplösning i regndata på högst några minuter, då det i många fall råder brist på sådana data används vanligtvis block- och CDS-regn.

Tidigare studier har visat på att CDS-regn ger större hydrauliska konsekvenser än blockregn (t.ex. Arnell, 1982), d.v.s. fler översvämningar, högre maxflöden och fler rör som går fulla. Därför rekommenderas de vid dimensionering av systemen. Allt fler studier tar även med framtida

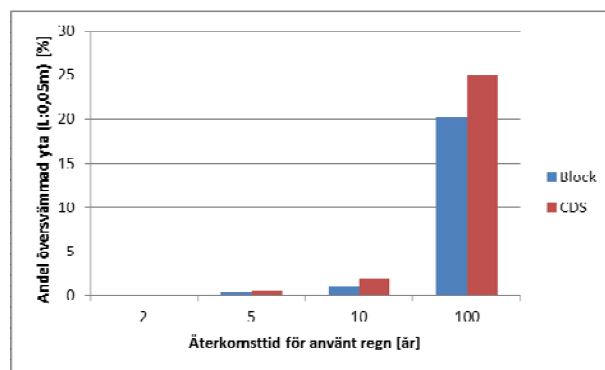
klimatförändringar som en undersökningsparameter och ur det syftet är det intressant att undersöka hur skillnaden blir i utvärderingsresultat då block-, design- och uppmätt regn används tillsammans med vanliga metoder för klimatförändringsundersökningar. De två vanligaste metoderna är att använda antingen en konstant klimatfaktor eller en varierande klimatfaktor, och i denna studie används en konstant klimatfaktor på 1,2 och varierande beroende av intensitet och säsong (i denna studie kallad delta change (DC), se t.ex. Olsson et al, 2009 för utförlig metodbeskrivning). Den konstanta klimatfaktorn kan användas på alla tre regntyper medan DC-metoden endast appliceras på uppmätt regn. Studien utfördes som en modellstudie utförd på ett avrinningsområde i en förort till Kalmar. Området har en total bedragande area på 2,3 km² och ett område på 0,54 km² direkt kopplat till dagvattenssystemet som består av 440 brunnar (noder). För mer information om systemet, modellen, använt indata samt fullständigt resultat se Berggren m fl. (2014).

Jämförelse mellan blockregn och CDS-regn

I studien har designregn tagits fram baserade på statistisk data för aktuellt område utifrån de rekommendationer som finns i nationella guider (Svenskt vatten, 2011; Dahlström, 2010). Blockregn togs fram för varaktigheter mellan 5-120 min och återkomsttider på 2, 5, 10 och 100 år. Blockregn för en återkomsttid kopplade till de olika varaktigheterna kördes i en tidsserie med 24 h intervall mellan varaktigheterna (för att minimera interferens mellan de olika intensiteterna). Detta för att kunna identifiera kritiska varaktigheter inom systemet enligt rekommendationer i Svenskt vatten (2011). CDS-regn med en total varaktighet på 120 min togs fram för återkomsttiderna 2, 5, 10 och 100 år. I ett CDS regn ligger korta och långa varaktigheter ihopsamlade i ett enda regn.



Figur 1a. Antal översvämmade noder för återkomsttiderna 2, 5 10 och 100 år, för block- och CDS-regn.

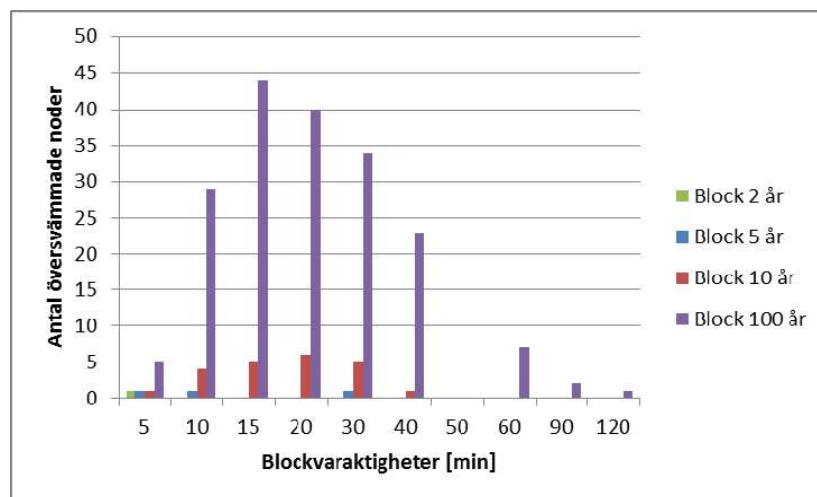


Figur 1b. Procentuell andel översvämmad yta med ett vattendjup på 5 cm eller mer, för block- och CDS-regn. L: lägsta djup

Som förväntat enligt tidigare resultat ger CDS-regn fler antal översvämmade noder samt ett större översvämmat område (vattendjup 5 cm eller mer) än blockregn, Figur 1. Observera att för blockregn kan översvämmningar ske för olika varaktigheter på använt regn. Simulerat resultat visar

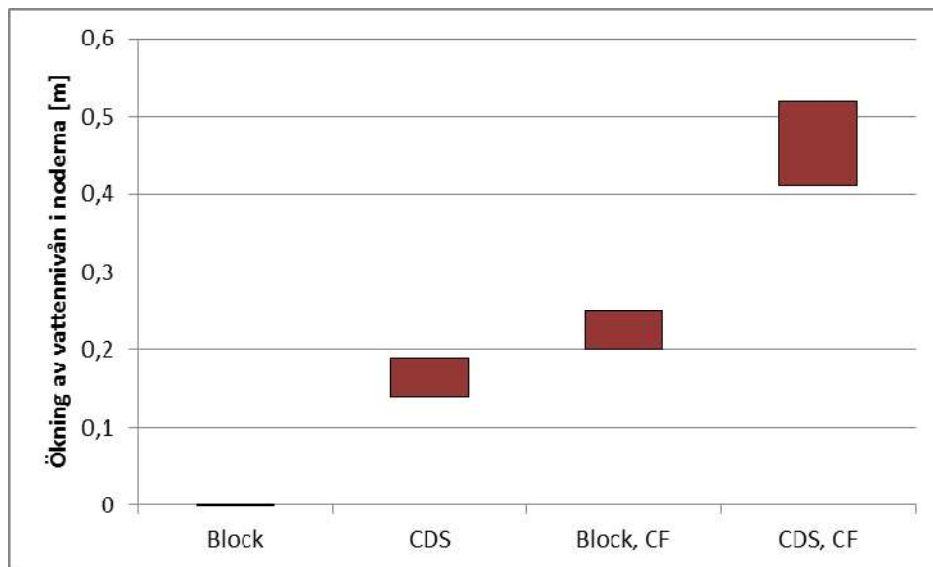
att för aktuellt system ger CDS-regn 1, 12, 13 respektive 17 fler översvämmade noder än blockregn för återkomsttiderna 2, 5, 10 respektive 100 år.

Blockregn kan användas för att identifiera kritisk regnvaraktighet för systemet, relaterat till specifika noder. Koncentrationstiden för huvudutloppet i Kalmar-modellen är 60 min, men genom att använda blockregn med varaktigheter mellan 5-120 min kunde kortare kritiska varaktigheter identifieras för delområden i avrinningsområdet. Denna information kan vara användbar när man ska diskutera olika anpassningsåtgärder i systemet då en kort kritisk varaktighet (uppströms i systemet) kan behöva åtgärder som fokuserar på att reducera toppflödena medan för en längre varaktighet (nedströms i systemet) istället kan behövas fokusera på minskning av volymen. Ett blockregn med återkomsttid på 2 år ger för detta system 1 översvämmad nod (Figur 2) vid användande av 5 min varaktighet, dvs för ett kort, intensivt regn. För 5 års-regn fås en översvämmad nod antingen med 5, 10 eller 30 minuters varaktighet (totalt 3 översvämmade noder). Detta visar på att systemets olika delar är känsliga för olika slags varaktighet – högentensiva regn med kort varaktighet eller lägre intensitet med längre varaktighet. Ju större regn desto fler blockvaraktigheter resulterar i översvämmning.



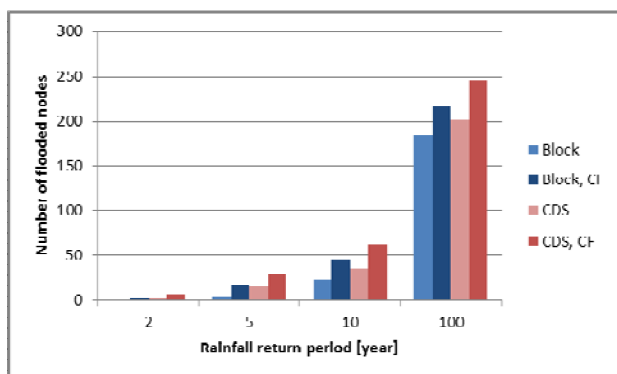
Figur 2. Antal översvämmade noder i relation till varaktighet på blockregnet.

När en konstant klimatfaktor med en ökning på 20 % läggs på block- och CDS-regn syns en tydlig skillnad i utvärderingsresultat (Figur 3). Beroende på vilka utvärderingsindikatorer som används fås lite skilda resultat då effekten är systemberoende (vilka säkerhetsmarginaler som finns i dagvattensystemet). Om alla vattennivåer i noderna jämförs mellan block- och CDS-regn för dagens klimat ger CDS-regn 0,14 - 0,19 m högre vattennivåer än blockregnet. Med en klimatfaktor på 20 % ökar vattennivåerna för CDS-regn med 0,27 - 0,33 m jämfört med idag medan för blockregn är ökningen 0,2 - 0,25 m. För detta system blir skillnaden i att använda ett CDS-regn som utvärderingsmetod nästan 50 % större ökning i den totala vattennivån, beroende på hur nära vattenytan i noderna ligger marknivån kan denna skillnad ger avsevärt fler antal översvämmade noder.

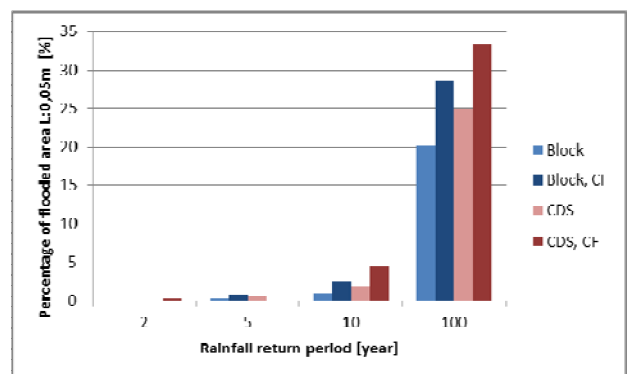


Figur 3. Ökning av vattennivåerna i noderna jämfört med blockregn för CDS-regn, blockregn med konstant klimatfaktor och CDS-regn med konstant klimatfaktor på 1,2.

För det undersökta systemet, resulterade ett 10 års-regn i 22 respektive 35 översvämmande noder för block- respektive CDS-regn, i dagens klimat (Figur 4). Efter tillämpning av en konstant klimatfaktor är dessa siffror 45 respektive 61 översvämmande noder. Det betyder att för blockregn ökar antalet översvämmade noder med ca 105 % medan för CDS-regn är ökningen 74 %.



Figur 4a. Antal översvämmande noder för olika återkomsttider för block- och CDS-regn med och utan konstant klimatfaktor på 1,2.



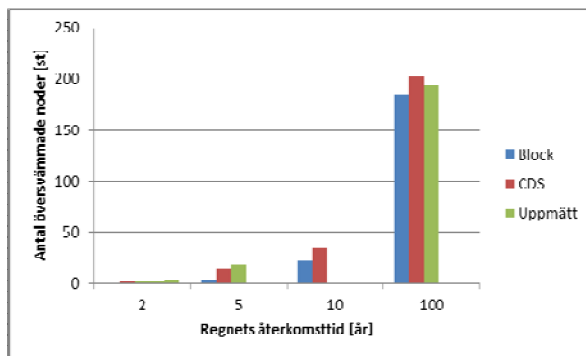
Figur 4b. Procentuell andel översvämmande ytor vid ett vattendjup på 5 cm eller mer för block- och CDS-regn med och utan konstant klimatfaktor på 1,2.

Om istället procentuellt översvämmad yta studeras fås för 10 års-regn att blockregn ökar andelen yta från 0,9 till 2,5 % (178 % ökning) medan CDS-regn ger en ökning från 1,8 till 4,5 (150 % ökning). Motsvarande siffror för ett 100 års-regn är för blockregn att antalet översvämmade

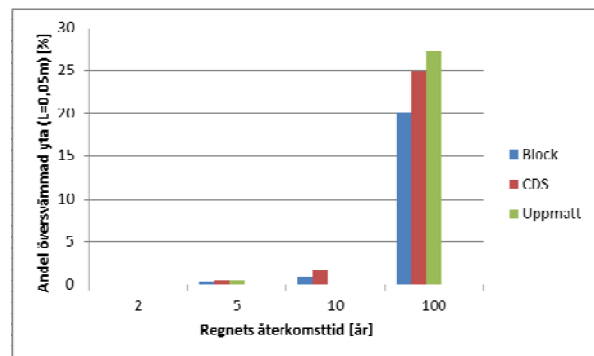
noder ökar från 185 till 215 och andel översvämmade yta ($L=0,05$ m) ökar från 20,2 till 28,7 % av total yta. Om CDS-regn istället används vid utvärderingen ökar antalet översvämmade noder från 202 till 246 och andel översvämmade yta ($L=0,05$ m) från 24,9 till 33,3 %. Skillnaden i resultat mellan de två olika utvärderingsmetoderna kan i sin tur leda till olika åtgärdsprogram för det aktuella dagvattensystemet.

Jämförelse med uppmätt regn

Det är även vanligt att utvärdera systemen utifrån en existerande mätserie. I det aktuella avrinningsområdet fanns en 14 årig regnserie (1991-2004, tipping bucket mätning) som applicerat på modellen gav översvämningar vid 5 tillfällen. Vid dessa tillfällen så har återkomsttiden för regnen beräknats till 2 år för tre tillfällen, 5 år för ett tillfälle och 100 år för det sista regntillfället. Då antalet översvämningstillfällen inte är så stort används dessa resultat endast som indicier vid en jämförelse med observerade, uppmätta händelser och med designregn. I Figur 5 visas antal översvämmade noder och andel översvämmad yta för de olika utvärderingsmetoderna block-, CDS- och uppmätt regn. För 2 års-regn gav blockregn 1 översvämmad nod, CDS-regn 2 översvämmade noder och uppmätt regn 2, 2 och 3 översvämmade noder för de tre regntillfallen. Vid en jämförelse av medelvattennivån i alla systemets noder visade uppmätt regn på samma som CDS-regn. Även vid en jämförelse med specifika noder gav det uppmätta regnet översvämning i samma noder som CDS-regnet. Vilket från den här studien kan tolkas att uppmätta regn ger resultat som mer liknar CDS-regn. Detta kan bero på att båda regntyperna har en förändring i regnintensitet över tiden med en eller flera toppar.



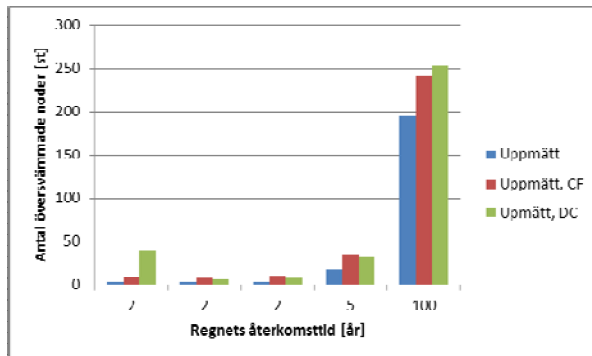
Figur 5a. Antal översvämmade noder vid utvärdering med block-, CDS- och uppmätta regn.



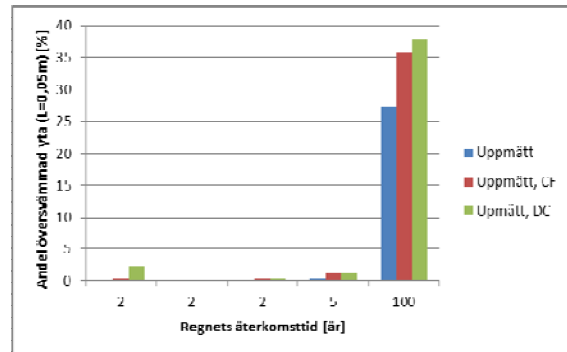
Figur 5b. Andel översvämmade yta vid utvärdering med block-, CDS- och uppmätta regn.

Vid analys av dagvattensystemets funktion för framtida klimat har för uppmätt regn i denna studie använts två metoder; konstant klimat faktor och delta change metod (varierande klimatfaktor). Figur 6 visar antalet översvämmade noder och andel översvämmad yta, med en vattennivå på 5 cm eller mer, för uppmätt regn, uppmätt regn med en pålagd konstant klimatfaktor (1,2) samt uppmätt regn med pålagt delta change påslag. Observera att i delta change metoden varierar påslaget beroende av intensitet och säsong. Ett av 2 års-regnen skedde

under höstsäsongen medan de andra 2 års-regnen skedde sommartid. Hösten i Kalmarområdet har högre påslag än sommartid vilket kan ses i figuren, där delta change appliceringen ger avsevärt fler översvämmade noder och andel översvämmad mark för ett av 2 års-regnen jämfört med de andra. Generellt sett i denna studie uppvisar konstant klimatfaktor och delta change metoden liknade resultat. Detta beror till stor del på att de påslagsfaktorer som används i delta change metoden för Kalmar området sommartid är i överensstämmelse med den använda konstanta klimatfaktorn 1,2.



Figur 6a. Antal översvämmade noder som resultat av de 5 uppmätta regnhändelserna idag, med konstant klimatfaktor (CF) samt delta change anpassat framtida klimat (DC).



Figur 6b. Andel översvämmad yta som resultat av de 5 uppmätta regnhändelserna idag, med konstant klimatfaktor (CF) samt delta change anpassat framtida klimat (DC).

Studien visar att valet av regntyp (block, CDS eller uppmätt) påverkar utvärderingsresultatet så väl som metod för klimatanpassning av använt regn. Som avslutning ges följande rekommendationer i studien:

Blockregn: ger generellt sett lägre hydraulisk respons i ledningssystemet jämfört med CDS regn, specifika kritiska varaktigheter på regnet kan identifieras samt om problem sker vid stor volym eller hög intensitet, om flera blockregn används vid undersökningen förlängs simuleringstiden och konstant klimatfaktor kan användas.

CDS regn: ger generellt sett högre hydraulisk respons i ledningssystemet jämfört med block, om utvärderingen görs för att få fram maximala responsen i ledningssystemet är CDS att föredra jämfört med block, kritiska varaktigheter inkluderas i CDS regnprofilen men kan inte identifieras specifikt, relativt korta simuleringstider och konstant klimatfaktor kan användas.

Uppmätt högupplöst regndata: Liknande respons i hydraulisk funktion som CDS regn, konstant klimatfaktor eller mer avancerad delta change metod kan användas.

Avrinning från snö

Avrinning från snösmältning i urban miljö är inte lika välstuderat som avrinning från regn. Detta till trots att snön påverkar den urbana hydrologiska cykeln i områden där snötäcket blir liggande

under längre perioder då 1) ansamling av vatten, föroreningar och andra material frigörs vid snösmältning (lång uppsamlingsperiod och relativ kort snösmältningsperiod) och 2) potentiellt minskad funktion hos alternativa dagvattenlösningar, genom t.ex. en minskad infiltrationskapacitet och en minskad reningsmöjlighet. Dessutom dimensioneras dagvattensystemen idag för de förhållanden som råder under sommarhalvåret.

I forskningssammanhang är den urbana snösmältningen inte heller lika välstuderad som den rurala (naturliga områden som ej är påverkad av mänskligt beteende). I den urbana miljön störs snön av mänsklig snöhantering (t.ex. plogning), föroreningar (t.ex. sandning) och den omgivande staden (skuggeffekter och värmeavgivning). I ett urbant avrinningsområde finns flertalet olika förhållanden så som vägar som plogas, snöhögar som byggs upp och naturliga snötäcken i parker och trädgårdar. Alla dessa smälter utefter sina förutsättningar och beroende av områdets karakteristik fås en specifik avrinningshydrograf.

För att snösmältningsperioden ska få större utrymme vid utvärderingar av dagvattensystemet krävs att det finns lämpliga verktyg som fungerar för den heterogena, urbana snösmältningen. Därför genomfördes en litteraturstudie över urban snösmältningsmodellering med följande syfte: 1) att klassificera olika urbana snötäcken utifrån deras snösmältningskaraktistik och representativa urbana miljöer; 2) att utforska möjligheten för existerande snösmältningsmodeller att på ett tillfredställande sätt simulera snösmältning för olika typer av snötäcken och utvärdera modellerna svagheter och styrkor; och 3) öka kunskapen om existerande snösmältningsmodeller vilket kan ge stöd vid val av lämplig modell och identifiering av framtida forskningsbehov. För en detaljerad beskrivning av studien se Moghadas m fl (accepterad för tryck, 2014).

Klassificering av urbana snötäcken

Snön i den urbana miljön påverkas av ett antal mänskliga aktiviteter samt av omgivningen. En viktig process är snöhanteringen där snö flyttas, packas och omformas för att hålla gator, gångstråk, parkeringar mm farbara. Under denna process förändras bland annat densitet, väderexponerad yta, snötäckets form och albedo (reflexionsförmåga, andel strålning som återkastas från en yta), vilka alla påverkar hur mycket energi som behövs för att smälta snön. Annan påverkan är trafiken som släpper ut både värme och föroreningar samt antihalk- och avisningsåtgärder som tillförsel av salt, sand och grus. Byggnader kan ge skuggeffekter vilket minskar den kortvågiga strålningen och ökar den långvågiga med värmeavgivning från byggnaderna. Smältprocessen påverkas även av vind vilken i sin tur påverkas av hur staden är utformad.

Den utförda klassificeringen av snötyper baserades på tre kategorier: 1) ursprung för snön där snön ackumulerades; 2) markanvändning där snön förvaras; och 3) formen på den slutgiltiga snöförvaringen. Den första kategorin snöursprung avgör hur påverkad snön blir av omgivningen och hur den utsätts för vissa faktorer. Var den förvaras påverkar möjligheten för infiltration, hur den utsätts för olika klimatparametrar och anknytning till dagvattensystemet. Slutligen, formen

som kan vara allt från konisk eller halvsfär (stor volym relativt yta) till tunt, platt täcke (stor yta relativt volym) påverkar smältmöjligheterna.

I studien definierades 13 olika typer av snöklasser formade utifrån snöhög, plogkarm och naturligt snötäcke (platt). Snöns ursprung klassades utifrån sju områden; tak, huvudväg, mindre väg, gångstråk (hög-, mellan- och lågfrekvent användning) samt grönområden. Den slutgiltiga förvaringen för dessa snöursprung kan vara antingen på tak eller nedskottat bredvid byggnaden, bortkört till större snöförvaring/hög vid en öppen yta (antingen på en vattengenomsläpplig yta eller inte), placeras längs med vägen som en plogkarm eller kvarlämnad på ursprungsplatsen orörd. Detta kommer att påverka hur packad, smutsig och formad snön blir som i sin tur påverkar snösmältningen. Rural snö t.ex. har en densitet som varierar mellan 100-500 kg/m³ medan urban snö kan ha en densitet upp till 900 kg/m³. Detta varierar även över säsongen med en allt högre densitet ju längre tiden lider. Albedo för rural snö ligger på 0,4-0,8 medan för urban snö kan den gå ner till ungefär 0,15. Ett lägre albedo betyder att mer energi kan absorberas i snön vilket leder till en snabbare smältprocess. Allt grus och all sand som ansamlas i snön kan dock även lägga sig som ett isolerande täcke och förhindra strålningen att komma åt snön. Viktigt för båda de här parametrarna är att de förändras utmed säsongen och beroende på nederbörd, vilket påverkar snösmältningen. Det är därför viktigt att vid modellering få med dessa variationer. De olika snöklasserna med tillhörande beskrivning presenteras i Tabell 1. Värdena är hämtade från litteraturen och är för den urbana miljön oftast baserad på enskild eller fåtal studier begränsade till en specifik plats.

Tabell 1: Klassifikation av olika snötyper

Snötäcke	Ursprung	Mark-användning	Snödensitet (kg/m ³)	Albedo	Evaporation	Vindutsatt	Markvärme	Långvågig strålning	Kortvågig strålning	Avisningsmedel	
Snöhög	Tak	Runt byggnader	300-600	0,7*-0,4	Låg	Kraftig påverkan	B	Påverkad	Skugg-effekt		
	Huvudväg	Öppna ytor (vatten-genomsläppliga eller inte)	500-900	0,5-0,15		Påverkad	N	Normal	Påverkas av snötäckets form	+	
	Mindre väg										
	Gångväg (högfrekvent användande)		350-700	0,7*-0,3		Normal					
	Gångväg (medelfrekvent användande)		500-700								
	Gångväg (lågfrekvent användande)		500-900								
Plogkarm	Huvudväg	Huvudväg	500-600*	0,5-0,15	Mellan	Påverkad	B	Normal	Påverkas av snötäckets form	+	
	Mindre väg	Mindre väg									
	Gångväg (medelfrekvent användande)	Gångväg (medelfrekvent användande)	160-410	0,7*-0,3		Normal	N				
	Gångväg (lågfrekvent användande)	Gångväg (lågfrekvent användande)									
Naturlig snötäcke	Tak	Tak	100-500	0,8-0,4	Hög	Kraftig påverkan	B	Normal	Normal		
	Runt byggnader	Runt byggnader						Påverkad	Skugg-effekt		
	Gröna områden	Gröna områden					Vegetationsberoende	N	Normal	Normal	

* medelvärde baserat på andra relevanta värden, då ingen information gick att finna i litteraturen för denna specifika kategori, +påverkan av antihalk- eller avisningsmedel (t.ex. salt), B: beroende, N: negligerbar

Existerande snömodellers förmåga att simulera urban snösmältning

I studien valdes 14 modeller ut vilket inkluderade viktiga modeller som används både inom branschen och eller enbart i forskningssyfte. Utav dessa var flertalet ursprungligen utvecklade för rurala miljöer, några var anpassade för urban miljö och endast ett fåtal direkt utvecklade för urbana förhållanden. Modellerna har utvärderats utifrån tre viktiga attribut 1) egenskaper relaterade till beräkningsrutiner för snö och snösmältning, inklusive nödvändigt indata och definition på snöparametrar samt smältmetoder; 2) kännetecken som definierar arealutbredning med avrinningsområdets karakteristik (t.ex. ytor, mark, grundvatten, dagvattensystem), rumsupplösning (från punkt till distribuerad modell uppdelad på flertalet beräkningsceller) och generell områdesbeskrivning (t.ex. lutning, växtlighet, sol- och skuggaspekter, snödrift, snöhantering); och 3) generell karakteristik på modellen så som tillgänglighet, användarvänlighet och potentiell användning.

Det finns två huvudsakliga matematiska subrutiner som beskriver snösmältningsprocessen; energibalans och graddagar. Energibalansmetoden är den mest omfattande metoden men också den som kräver mest indata (t.ex. nederbörd, temperatur, vindhastighet, dagpunkt, relativ fuktighet, kort- och långvågig strålning samt molnighet). Graddagarsmetoden har en mycket enklare utformning som baseras på nederbörd, temperatur och en snösmältningkoefficient. Utöver dessa två metoder finns det varianter och kombinationer av dessa metoder. I de undersökta modellerna användes fyra olika metoder 1) energibalans 2) enkel energibalans 3) hybrider av de två metoderna och 4) graddagar.

Som beskrevs i föregående avsnitt "Klassificering av urbana snötäcken" så finns det ett antal parametrar hos snön som påverkar hur snösmältningen sker så som densitet, albedo, form på snötäcke samt områdets utformning och snöhanteringsrutiner. Hur dessa beskrivs i modellerna påverkar hur väl modellen fungerar i den urbana miljön. Vissa modeller använder sig av konstanta värden, andra tidserier baserade på empiriska resultat för specifika situationer eller på användargivna värden. Vissa modeller tittar endast på snösmältning i en punkt medan andra kan distribuera ut den över ett större område där det även kan inkluderas infiltration, olika områdeskarakteristik samt dagvattensystem. För detaljerad information om hur de utvärderade modellerna fungerar i olika sammanhang och vilka parametrar de beaktar hänvisas till artikeln Moghadas m fl (accepterad för tryck 2014).

När modeller har använts i forskningssynpunkt har fokus ofta legat på de fysiska aspekterna i snöuppbyggnad och snösmältning och därmed har energibalansmetoden varit den mest använda. I andra sammanhang är dock graddagarsmetoden mer använd på grund av sin enkelhet och sitt behov av få in-parametrar. Studien visar att alla undersökta modeller har kapacitet att modellera urban snö, dock att det inte finns någon modell som är helt tillfredsställande i den heterogena urbana miljön, utan olika modeller har sina fördelar beroende på vilken snötyp som är dominerande. Studien visar på ett fortsatt forskningsbehov för att få fram en lämplig snösmältningsmodell som klarar de heterogena förutsättningarna samtidigt som den ställer

rimliga krav på indata och andra nödvändiga resurser. En möjlig väg är att utgå från de olika snöklasserna och implementera dessa i en (modifierad) graddagarsmetod i en distribuerad modell som tar hänsyn till områdets karakteristik, snöhanteringsrutiner och lämpliga klimatdata.

Utvärdering av dagvattensystem

De rekommendationer som idag finns för hur dagvattensystemet ska dimensioneras håller på att förändras. Från att enbart förhålla sig till hur ofta ledningssystemet får gå fullt kommer allt fler tankar om en helhetssyn där även strategier för avledning via ytan ska finnas när avrinningen är så stor att ledningssystemet översvämmas. Det finns även en strävan om att återgå till en mer naturlig vattencykel också i den urbana miljön med ökad möjlighet för infiltration och evapotranspiration. Detta kräver en annan organisation än förut där flera olika avdelningar inom kommunen måste samarbeta och flera olika intressenter ibland måste kompromissa för att få till en tillfredsställande lösning. För att underlätta i detta arbete behövs bra beslutsunderlag och beslutstöd som utgår från kommunens mål för området.

Det finns flera olika lämpliga metoder men i den här studien rekommenderas en kombination av multikriterieanalys (MKA), Risk- och sårbarhetsanalys (RSA) och Mervärdesanalys (MVA). Studien har utförts som en litteraturstudie och är delvis baserat på två stycken exjobb utfört/under utförande vid forskningsgruppen SVAT. Dessa arbeten har inte fokuserat på översvämningsproblematik utan istället kapacitetsförstärkande åtgärder i VA-systemet (spill- och dricksvatten) i tillväxt områden (Kotiranta-Lundberg, 2012) samt jämförelse mellan alternativa dagvattensystem och traditionella ledningssystem (Karlsson, pågående).

Med alla dessa metoder är tanken att flera intressenters åsikter ska kunna tas hänsyn till och viktas utifrån hur mycket hänsyn som ska tas till olika aspekter just i det specifika, undersökta fallet. Inom varje metod har i denna studie fem kategorier använts: teknik (T), miljö (M), ekonomi (E), sociokulturell (SK) och hälsa (H). Under varje kategori definieras ett antal kriterier som är lämpliga för aktuell studie, t.ex. funktion, reningsmöjlighet, installationskostnad, multifunktionalitet och säkerhet. Beroende på vad målet är för området, vilket slags område det är och resurser inom projektet kommer dessa kriterier vara olika angelägna och därmed viktas olika högt. Detta måste ske för varje enskilt projekt med en projektgrupp som har insyn i de olika intressenternas behov och önskemål. Tanken med att använda sig av flera metoder är att det vid användandet av en metod kommer fram information som är användbar ur andra perspektiv men inte utnyttjas i aktuell metod, t.ex. ur funktionalitetsperspektiv kan flera åtgärder vara lämpliga men vissa av dessa ger dessutom en stor säkerhetsmarginal för att klara ytterligare nederbörd. Denna information kan då användas i risk-och säkerhetsanalysen och i mervärdesanalysen och ge den åtgärden högre poäng där om det är en aspekt som viktats högt.

Risk och sårbarhetsanalys på existerande område

För att få en bild av hur dagvattensystemet fungera i ett existerande område är det vanligt att använda sig av olika modeller för utvärdering. En metod består i att "hålla vatten" över området

med hjälp av GIS teknik och se vart vatten ansamlar sig i lågpunkter, rinnvägar och därmed kunna bestämma potentiella skador. En annan metod är att använda sig av en detaljerad ledningsmodell ev. i kombination med en mer eller mindre avancerad ytvavrinningsmodell för att kunna se exakt hur ledningssystemet fungerar för olika sorters nederbörd och vart och i vilken utsträckning översvämningar sker. Utifrån detta kan man sedan också bestämma potentiella skador i området och prova sig fram med olika åtgärder.

När man har skapat sig en överblick av hur det existerande systemet fungerar kan man göra en risk- och sårbarhetsanalys över dagens system (nollalternativet) och med den göra en bedömning av kostnad för potentiella skador, konsekvenser för samhället och för enskilda individer. Detta kan sedan ligga till grund när man beslutar om åtgärder; både för omfång, risknivå och kostnadsperspektiv. Exempel på RSA redovisas längre ner i texten under rubriken ”Risk- och sårbarhetsanalys”.

Multikriterieanalys (MKA)

Multikriterieanalys är en metod för att rangordna ett antal alternativ utifrån fastställda mål. Det finns olika varianter av analysmetoden och vilken man använder påverkar bland annat hur man viktat de olika kriterierna. Begrepp som används inom denna studie härrör sig från forskningsprogrammet Urban Water (Malmqvist m fl., 2006) och är mål, kategorier, kriterier och indikatorer. Beslutsprocessen börjar med att lämplig beslutsgrupp sätts ihop och fastställer målen för området och förändringen. Utifrån målen tas sedan lämpliga åtgärdsalternativ fram samt de kriterier som ska användas vid jämförelsen mellan de olika åtgärderna och hur väl de uppfyller målen. Varje kriterium måste vara mätbar, vilket kan ske i absoluta värden, jämförande värden t.ex. 1-10 eller mer figurativt som t.ex. färgkodning. Beslutsgruppen kan sedan analysera och göra val utifrån det som kommer fram.

Tabell 2 visar på ett exempel av en multikriteriematris med möjliga kriterier och indikatorer under de fem olika kategorierna för bedömning av ett dagvattensystem. För teknik kategorin kan viktiga indikatorer vara översvämningens frekvens (antal/år), möjlighet för ombyggnad (hög/medel/låg) och behov och frekvens på drift och underhåll (D&U) (hög/medel/låg). För att få ett hanterbart projekt används endast en del av kriterierna där situationen, uppsatta mål och resurser bör styra vilka och hur många. Det kan även finnas andra kriterier eller indikatorer som är mer lämpliga för aktuellt projekt. Ju mer projektgruppen arbetar med att förstå syfte och mål kommer kriterier och medhörande indikatorer falla ut naturligt.

För att kunna sortera och prioritera mellan de olika kriterierna måste en viktning göras. En vanlig metod är ”Swing weights” som innebär att den indikator som anses viktigast tilldelas 100 poäng. Därefter sker en jämförelse mot detta kriterium för alla andra indikatorer baserat på hur viktigt den nya indikatorn är, t.ex. häften så viktigt ger 50 poäng. Om flera personer deltar i viktningen sker en första tilldelning individuellt, därefter diskuteras det i grupp där de viktningar som sticker ut diskuteras. Därefter kan en gemensam viktning göras utifrån gruppens perspektiv. Andra viktningmetoder går att läsa om i handböcker för multikriterieanalys, t.ex. Dodgson m fl. (2009).

Tabell 2: Exempel på multikriteriematris

Kategori	Kriterium	Indikator	Enhet
Teknik	Översvämningskontroll	Översvämningsfrekvens	Antal/år
		Designad återkomsttid	År
		Magasineringsvolym	m ³
	Flexibilitet / resiliens	Möjlighet för ombyggnation	hög/medium/låg
		Hantering av klimatförändring	hög/medium/låg
	Systemtillförlitlighet	Risk för haveri	%
		Konsekvenser vid nederbörd som överstiger design	Översvämningsdjup [m]
	Drift & Underhåll	Behov och frekvens på D&U	hög/medium/låg
Miljö	Påverkan på recipient, volym	Nedströms erosion	hög/medium/låg risk
		Nedströms volymförändring	hög/medium/låg risk
		Temperaturpåverkan	Förändrad temperatur [°C]
	Ekologisk mångfald	Biologisk indikator, t.ex. antal arter	hög/medium/låg
Ekonomi	Livscykelkostnad	Installationskostnad	kr
		D&U kostnad	kr/år
		Bortskaffande av sediment	kr/år/livstid
	Samhällsekonomi	Dagvattentaxa	Ökning/minskning
	Förändrade värden	Förändrat egendomsvärde	kr/ha
Sociokulturella	Rekreation & estetik	Nivå på rekreationsmöjlighet	hög/medium/låg
		Estetiskt bidrag i den lokala miljön	hög/medium/låg
		Multifunktionell användning	hög/medium/låg
	Hållbarhet	Bidrag till de lokala hållbarhetsmålen	hög/medium/låg
Hälsa	Risk för allmänhet	Översvämning i avloppssystemet	hög/medium/låg
		Säkerhet, t.ex. drunkning	hög/medium/låg
		Hälsa, t.ex. skada sig på anläggning	hög/medium/låg

De olika indikatorernas enheter behöver sedan graderas så att de blir jämförbara med varandra, t.ex. antal översvämnningar per år med högt/medel/lågt behov av D&U. För det kan en valfri skala användas t.ex. 1-100 eller 1-10. Om enheten är absoluta värden som t.ex. installationskostnad sätts de ingående åtgärdsalternativens högsta installationskostnad som 0 och den lägsta som 100 (om skalan upp till 100 används), däremellan görs en linjär beräkning mellan åtgärdens kostnad

och den poäng den får. Om enheten är relativ som t.ex. hög/medel/låg placeras dessa ut på skalan på lämpligt sätt, t.ex. hög ger 100, medel ger 50 och låg ger 0 poäng. Poängsättningen görs så att det som är mest eftersträvarsvårt får högst poäng.

När alla åtgärder är viktade och graderade kan en sammanställning göras genom att multiplicera viktning och gradering för varje enskild indikator. Därefter summeras alla indikatorernas poäng för varje enskild åtgärd. Den åtgärd som får flest poäng är den som uppfyller målen bäst.

Risk- och sårbarhetsanalys

Syftet med en risk- och sårbarhetsanalys är att minska sårbarheten i samhället och öka förmågan att hantera potentiella kriser. Om ett område har potentiellt sårbar verksamhet kan en högre säkerhetsnivå behövas. I listan nedan anges exempel på risker som kan förekomma för ett delsystem/åtgärd, flertalet andra kan vara aktuella beroende på systemets och områdets karaktär. En risklista bör arbetas fram för varje enskilt projekt utav projektgruppen utifrån aktuella åtgärder. Antal åtgärder som tas med i studien bör beslutas utifrån resultatet av multikriterieanalysen. Här kan väljas att inkludera uppströms- och nedströmeffekter beroende av potentiella problem och resurser inom projektet.

1. Översvämning till följd av underdimensionering eller feldimensionering
2. Översvämning till följd av extrema regn >100 års återkomsttid
3. Översvämning till följd av extrema regn ~20 års återkomsttid
4. Översvämning till följd av mycket snabb snösmältning
5. Översvämning till följd av proppning, bråte eller annat blockerande skräp
6. Inläckage i ledning vid extrema regn med ev. bräddning till följd
7. Otillräckligt självrens i ledning till följd av feldimensionering
8. Otillräckligt självrens i ledning till följd av felaktig lutning
9. Bräddning till följd av dagvatten kopplat till spillvattenledning
10. Frysning till följd av extrem kyla
11. Erosionsskador till följd av extrema vattenmängder, kraftiga flödespikar
12. Litet spill eller läckage av petroleumprodukter eller kolväten till dagvattnet
13. Stort spill eller läckage av petroleumprodukter eller kolväten till dagvattnet
14. Uppträngande grundvatten i anslutning till dagvattenanläggningen vintertid
15. Trafikolyckor orsakade av dagvattensystemet t.ex. siktförändringar
16. Trafikfara pga snöupplag som skymmer sikten
17. Skadedjur frodas i systemet och förökar sig
18. Förökning av mygg vid stillastående vatten inom systemet
19. Drunkning inom systemet
20. Djur, barn kryper in och fastnar i ledningar, brunnar eller liknande

De fem kategorierna teknik (T), miljö (M), ekonomi (E), sociokulturell (SK) och hälsa (H) används i denna metod också. Det första steget är att bestämma olika nivåer för konsekvenserna

för dessa kategorier. Ett exempel visas i Tabell 3 där skalan 1-5 har använts där 1 innebär minst konsekvens och 5 störst konsekvens. Därefter ska dessa appliceras på den aktuella risklistan för projektet.

Tabell 3: Konsekvensskala för de olika kategorierna

Skala	Teknik	Miljö	Ekonomi (kr)	Sociokulturell	Hälsa
1	Tillfälligt stopp som inte kräver åtgärd	Ingen miljöskada	0-10.000	Inget missnöje	Ingen eller obetydlig skada
2	Tillfälligt stopp med enkel åtgärd	Övergående miljöskada, liten utbredning	10.000 – 100.000	Missnöje	Mindre skada eller endast fåtal berörda
3	Tillfälligt stopp med dyr, tidskrävande åtgärd	Långvarig miljöskada, viss utbredning	100.000 – 1.000.000	Protester	Allvarlig skada eller ett flertal berörda
4	Långvarigt stopp	Permanent miljöskada, viss utbredning	1.000.000 – 10.000.000	Kraftiga protester	Invaliditet eller dödsfall
5	Totalhaveri	Permanent miljöskada, stor utsträckning	10.000.000 –	Upplopp alternativt inget förtroende kvar	Flertalet svårt skadade eller döda

På samma sätt som för multikriterieanalysen måste de fem kategorierna viktas i förhållande till varandra. I denna metod ansätts en viktning baserad på en totalsumma på 100 %. För varje kategori anges en procentsats, ju högre procent desto viktigare kategori. Summering av alla fem kategorierna ska resultera i 100 %. Viktning tillsammans med konsekvensen sätts sedan samman till en viktad konsekvens (VK) enligt Ekvation 1, där värdet på T, M, E, SK, H är mellan 1-5 enligt Tabell 3.

$$VK = (T \cdot vikt_T + M \cdot vikt_M + E \cdot vikt_E + SK \cdot vikt_{SK} + H \cdot vikt_H) / 100 \quad [1]$$

Utöver det här ska en sannolikhet (S) beräknas för varje angiven risk samt en bedömning av konsekvenserna. Sannolikheten för en händelse delas in på en 5-gradig skala som t.ex.

1. Osannolik händelse - återkomsttid på mer än 100 år
2. Liten sannolikhet - återkomsttid på ca 50 år
3. Viss sannolikhet - återkomsttid på 10 år

4. Sannolik händelse - återkomsttid på 1 år
5. Mycket sannolik händelse - återkomsttid på mindre än 1 månad

Bedömningen görs utifrån en RSA-matris med konsekvenser på den vertikala axeln och sannolikheter på den horisontala. Riskerna bedöms sedan utifrån tre kategorier där olika åtgärder krävs, Tabell 4. Riskerna är färgkodade i RSA-matrisen, med grönt för 1. acceptabel risk, gult för 2. viss risk och rött för 3. allvarlig risk.

Tabell 4. Risk och åtgärdsskala

	Risk	Åtgärd
1	Acceptabel risk	Ingen åtgärd eller bevakas
2	Viss risk	Bör åtgärdas på sikt
3	Allvarlig risk	Bör åtgärdas snarast

Nedan visas ett exempel på hur två risker utvärderas från de fem kategorierna för en specifik åtgärd (Tabell 5). För den första risken har fyra av kategorierna bedömts som en 1:a på konsekvensskalan, vilket är den lägsta påverkan, och teknik (T) har bedömts till en 3:a. Den viktade konsekvensen är uträknad till 1,1; sannolikheten för att det ska hända (S) bedöms som osannolik (1) och risken blir därmed en 1:a.

Tabell 5: Bedömning av en risk för en åtgärd

Viktning av kategorierna [%]	Konsekvens					Bedömning		
	30	30	30	5	5			
Riskkälla	T	M	E	SK	H	VK	S	Risk
1. Översvämning till följd av mkt snabb snösmältning	3	1	1	1	1	1,1	1	1
2. Översvämning till följd av proppning, bråte eller annat blockerande skräp	2	2	1	1	1	1,35	4	2

Denna utvärdering sätts sedan in i RSA-matrisen (Tabell 6) med riskkällans nummer (1 och 2 i detta fall) utifrån vilken sannolikhet och konsekvens den har för varje enskild kategori. Hamnar en kategori i de röda fälten måste en åtgärd göras snarast och för gula fält bör en åtgärd göras på sikt. En RSA matris görs för varje fortfarande aktuell åtgärd efter utvärdering av multikriterieanalysen. Här ankommer det på varje projekt att bestämma hur många åtgärder som ska gå vidare från multikriterieanalysen beroende av hur de förhåller sig till varandra poängmässigt.

Tabell 6: Exempel på en RSA-matris

5	T					
	M					
	E					
	SK					
	H					
4	T					
	M					
	E					
	SK					
	H					
3	T	1				
	M					
	E					
	SK					
	H					
2	T				2	
	M				2	
	E					
	SK					
	H					
1	T					
	M	1				
	E	1			2	
	SK	1			2	
	H	1			2	
K S		1	2	3	4	5

Mervärdesanalys

Som motsats till risk- och sårbarhetsanalysen där eventuella negativa konsekvenser undersöks finns mervärdesanalysen för att undersöka vilka övriga positiva egenskaper ett system har förutom de rent VA-tekniska perspektiven. Tanken är att skapa en djupare förståelse utifrån andra direkta intressenter samt ur samhällssynpunkt men det kan även vara VA-tekniska aspekter om dessa är utöver de krav som ställts på åtgärderna under multikriterieanalysen, t.ex. reningsaspekt och förbättrad funktion nedströms. Vanliga aspekter i MVA är människans fysiska aktivitet, den bebyggda miljöns utseende och funktion.

Mycket av det som ska tas hänsyn till här har redan kommit upp i multikriterieanalysen och risk- och sårbarhetsanalysen. Utgångspunkt är de fem kategorierna teknik (T), miljö (M), ekonomi (E), sociokulturell (SK) och hälsa (H). Nedan följer ett antal exempel för varje kategori, dessa viktas utifrån en skala på 1-5 med högre siffra för ju positivare det är ur ett annat perspektiv. Ju högre sammanslagen summa en åtgärd får desto fler och större mervärden har åtgärden.

Teknik:

Finns det extra magasinering av volym i åtgärden?

Har åtgärden dämpande egenskaper på flödet nedströms?

Hjälper åtgärden till att förbättra t.ex. energiförbrukningen för något annat system eller byggnad?

Miljö:

Bidrar anläggningen till den biologiska mångfalden i staden?

Bidrar anläggningen till någon rening (förutom de krav som ställts på funktionen)?

Hjälper åtgärden till att förbättra lokalklimatet?

Ekonomi:

Ger åtgärden några ekonomiska mervärden för boende i omgivningen, t.ex. höjt fastighetsvärde?

Minskar åtgärden potentiella ekonomiska skador vid extrem nederbörd?

Minskar åtgärden kostnaderna för någon annan kommunal verksamhet?

Sociokulturell:

Bidrar åtgärden till en attraktivare stadsbild?

Bidrar åtgärden till att människor aktiveras eller vistas mer utomhus?

Bidrar åtgärden till stadens hållbarhetsmål?

Hälsa:

I vilken grad bidrar åtgärden till ökad trafiksäkerhet?

I vilken grad bidrar åtgärden till att minska luftföroreningar eller buller?

I vilken grad bidrar åtgärden till att öka människors välbefinnande?

Referenser

Artiklar genomförda inom projektet

Berggren, K., Packman, J., Ashley, R., Viklander, M. (2014). Climate Changed Rainfalls for Urban Drainage Capacity Assessment, Urban Water Journal 11:7, 543-556.

Moghadas S., Marsalek J., Muthanna T.M., Gustafsson A-M., and Viklander M. (2014). Review of models and procedures for modelling urban snowmelt. Accepted to Urban Water Journal (October 2014)

Examensarbeten utförda inom forskningsgruppen SVAT

Kotiranta Lundberg K. (2012). VA-system i tillväxtområden: Bedömning av kapacitetsförstärkande åtgärdsalternativ genom multikriterieanalys. Examensarbete vid Luleå tekniska universitet. Luleå, Sverige. [LTU-EX-2013-41945452.pdf](#)

Karlsson L. Mervärdes- och riskanalys i samband med dagvattensystem. Pågående examensarbete vid luleå tekniska universitet. Luleå Sverige.

Övriga referenser

Arnell V. (1982). Rainfall Data for the Design of Sewer Pipe Systems. PhD thesis. Report Series A:8. Chalmers University of Technology. Göteborg.

Dahlström, B., (2010). Regnintensitet – en molnfysikalisk betraktelse. Svenskt Vatten AB. Rapport 2010-05

Dodgson, J. S., Spackman, M., Pearman, A. & Phillips, L. D. (2009). Multi-criteria analysis: a manual. 11. uppl. London: Department for Communities and Local Government. Hämtad från: http://eprints.lse.ac.uk/12761/1/Multi-criteria_Analysis.pdf (2014-10-15).

EU (2008). European Standard: Drain and sewer systems outside buildings, EN 752:2008.

Malmqvist, P-A., Heinicke, G., Kärrman, E., Stenström, T. A. & Svensson, G. (2006). Urban water in context. I Strategic planning of sustainable urban water management, 1-21. London: IWA Publishing

Olsson, J., Berggren K., Olofsson M., Viklander M., (2009). Applying climate model precipitation scenarios for urban hydrological assessment: A case study in Kalmar City, Sweden, Atmospheric Research, 92(3), 364-375.

Svenskt Vatten, Publikation P90 (2004): Dimensionering av allmänna avloppsledningar. Svenskt Vatten AB

Svenskt Vatten, Publikation P104 (2011): Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem. Svenskt Vatten AB