Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

Pluviala översvämningar

Konsekvenser vid skyfall över tätorter

En kunskapsöversikt

MSB:s kontaktperson:
Ulrika Postgård, 010-240 50 33

Foto: Fotolia © Michal Kolodziejczyk

Publikationsnummer MSB567-13
ISBN 978-91-7383-347-9

Förord

DHI har på begäran från MSB utarbetat föreliggande rapport. Uppdraget gavs till DHI i slutet av oktober 2012 och handlade om att sammanställa en kunskaps-/forskningsöversikt över pluviala översvämningar och dess konsekvenser på avloppssystem. Rapporten skulle färdigställas snarast efter årsskiftet 2012/2013, och tiden för detta har alltså varit knapp. Innehållet har därför till större delen baserats på tillgänglig litteratur. Många av de kontakter som planerades i projektets inledningsskede fick då tyvärr strykas från agendan.

Ett avstämningsmöte med representanter för Göteborg Vatten (Håkan Strandner och Johan Jansson) och Räddningstjänsten i Storgöteborg (Daniel Gillesén) hanns i alla fall med och hölls den 18/1 2013.

Rapporten har författats av Claes Hernebring och Erik Mårtensson. Lars-Göran Gustafsson har kvalitetsgranskat text och innehåll (samtliga från DHI Sverige AB).

Rapporten har i en konceptversion skickats till personer enligt listan nedan samt till ovan nämnda representanter för Göteborg Vatten och Räddningstjänsten i Storgöteborg. Några synpunkter från dessa har hunnit inarbetats i rapporten.

Hans Bäckman, Svenskt Vatten

Magnus Billberger, Trafikverket

Erik Kjellström, SMHI

Jonas Olsson, SMHI

Bengt Dahlström, Ombros, f.d. SMHI

Rolf Larsson, Teknisk vattenresurslära, Lunds universitet

Dadi Thorsteinsson, Räddningstjänsten Syd, Malmö

Göteborg och Lund

April 2013.

Innehållsförteckning

1. Bakgrund 7
1.1 Inledning 7
1.2 Problemställning och avgränsningar 7
2. Skyfall över tätorter 9
2.1 Extrem nederbörd 9
2.1.1 Statistik för korttidsnederbörd - Dagens situation 9
2.1.2 Framtida scenarier 11
2.1.3 Extremregnen finns redan idag 13
2.2 Stadsmiljö 15
2.2.1 Urban avrinning 15
2.2.2 Samhällsutveckling planerad/oplanerad 19
3. Konsekvenser för samhället 20
3.1 Skadetyper 20
3.2 Skadekostnader 23
4. Metodik för utredning av konsekvenser 28
4.1 Arbetsgång – översikt 28
4.2 Översvämningsberäkningar 29
4.2.1 Terrängmodell (DEM) 29
4.2.2 Analys av lågpunkter 31
4.2.3 Markavrinningsmodell (2D) 33
4.2.4 Kombinerad dagvattenmodell (1D) och modell för nätverk av flödesvägar på markytan (1D) 34
4.2.5 Kombinerad dagvattenmodell (1D) och markavrinningsmodell (2D) 35
4.2.6 Jämförelse av metoder 36
4.2.7 Prognossystem 37
4.3 Sammanställning av skador 37
4.4 Värdering av skador och prioritering av områden 40
5. Vad kan olika aktörer göra? 42
5.1 På kort sikt (timmar, dagar) – prognoser 42
5.1.1 Direkta åtgärder vid inträffade händelser 42
5.1.2 Nyttan av prognoser 43
5.2 På lång sikt (år) – samhällsplanering 45
5.2.1 Befintlig bebyggelse 45
5.2.2 Nyexploatering 47
6. Behov av kunskapsutveckling 49
6.1 Avloppssystem 50
6.1.1 Åtgärder mot tillskottsvatten i spillvattensystem 51
6.1.2 Dagvattenavrinning vid "normala" regn 52

6.2 Ytavrinning/dagvattensystem vid extremsituationer 52
6.2.1 Översiktliga avrinningsanalyser vid extremsituationer 52
6.2.2 Metodik för framtagande av åtgärdsplan 53
6.2.3 Kostnad-nyttoanalys 53
6.3 Korttidsnederbörd 54
6.3.1 Prognossystem för korttidsnederbörd 54
6.3.2 Nationellt system för dokumentation av korttidsnederbörd 54
6.3.3 Metodutveckling - markbaserat "Early-Warning"-system 55
7. Referenser 56

Bilaga 1: Köpenhamn den 2/7 2011 61

Bilaga 2: Västra Orust 1-3/7 2002 65

Sammanfattning

Syftet med studien är att beskriva hur översvämningar i urbana områden, förorsakade av extrem nederbörd, kan förutsägas och hanteras och hur dess konsekvenser eventuellt kan lindras på kort och/eller lång sikt. Uppdraget har bedrivits som en kunskaps-/forskningsöversikt för att beskriva pluviala (orsakade av skyfall) översvämningars konsekvenser på samhället och samhällsviktiga funktioner.

Nuvarande kunskap om svensk statistik för kortvariga häftiga regn har relaterats, och några av de bedömningar som finns beträffande inverkan av framtida klimatförändringar på förekomsten av skyfall i Sverige i framtiden. För urbana avrinningssystem är det så gott som alltid händelser med avsevärt kortare tidsskala än dygnet som är kritiska.

I rapporten redovisas översiktligt hur våra urbana avrinningssystem är uppbyggda och vilka sårbarhetsfaktorer som systemuppbyggnaden innebär. Systemen kan inte dimensioneras för alla tänkbara skyfall, utan vanligen är det 10-årsregnet (d.v.s. ett regn som statistiskt sett återkommer en gång vart 10:e år), som varit vägledande.

Intensiva regntillfällen med större volym/intensitet än ”10-årsregnet” inträffar årligen i Sverige på flera platser. Konsekvenserna beror dels på var de slår ner – utbredningen kan vara mycket lokal – och dels på de avrinningsförutsättningar som ges av kombinationen av ledningssystem, terrängformationer, geologiska förutsättningar och bebyggelse etc.

Den typen av händelser det handlar om här, kortvariga konvektiva skyfall, är mycket svåra att förutsäga inom rimlig tidsram. Det är svårt att hinna göra något på kort sikt. För att minska samhällets sårbarhet för skyfall är man därför hänvisad till långsiktiga, proaktiva, förebyggande åtgärder.

För ”normala” regn är VA-huvudmannen alt. väghållaren (eller fastighetsägaren) ansvarig för att avloppssystemet är korrekt dimensionerat och underhållet. När samhällets ledningssystem inte längre räcker till, måste avrinningen ta andra vägar. Situationen blir då en samhällsplaneringsfråga i vid mening, och inkluderar i ett extremfall räddningstjänsten.

Metoder med olika komplexitet redovisas för hur utredning och kartläggning av konsekvenser av ett överfullt ledningssystem kan beskrivas, och med hjälp av skadevärdering, åtgärdskostnader och en riskanalys hur åtgärden kan prioriteras.

Här föreslås att det genomförs projekt med syftet att vara ett metodstöd för en eventuell framtida mera nationell tillämpning av översiktliga urbana avrinningsanalyser, framtagande av översiktliga åtgärdsalternativ och metodstöd för åtgärdsprioritering/kostnads-nyttoanalyser.

Det noteras i rapporten att det pågår forskning betr. prognossystem för korttidsnederbörd för svenska förhållanden, och att ett nyttiggörande av resultaten för urbana förhållanden vore angeläget.

Vidare efterlyses en bättre uppföljning av inträffade händelser som kan karakteriseras som skyfall/katastrofregn genom en nationell samordning av insamling av högupplösta regndata, vilken nu sker spritt på många ställen bl. a. inom kommuner, samt även till viss del av SMHI. Dessutom föreslås att ett enkelt, markbaserat "Early-Warning"-system utvecklas och testas baserat på momentana on-line-registreringar av nederbörd.

1. Bakgrund

1.1 Inledning

Syftet med studien är att beskriva hur översvämningar i urbana områden, förorsakade av extrem nederbörd, kan förutsägas och hanteras och dess konsekvenser eventuellt lindras på kort eller lång sikt.

Hur kommer extrem nederbörd och kommande klimatförändringar påverka samhället och därtill hörande samhällsviktig verksamhet? Hur kan extrema nederbördssituationer som den som inträffade i Köpenhamn 2011 prognostiseras och hanteras?

Mål

Förhoppningen är att studien ska leda till att öka kunskapen om pluviala översvämningar så att dessa på sikt kan hanteras i arbetet med översvämningsförordningen. Detta för att minska sårbarheten i samhället.

Uppdraget

Uppdraget har bedrivits som en kunskaps-/forskningsöversikt för att beskriva pluviala översvämningars konsekvenser på samhället och samhällsviktig verksamhet.

1.2 Problemställning och avgränsningar

Att en översvämning är ”pluvial” betyder nog även på svenska (även om ordet inte finns i SAOL utan härstamar från engelskan) att den ”kommer uppifrån” – är regnrelaterad.

Houston m.fl. (2011) uttrycker det enligt följande i en rapport rubricerad ’Pluvial (rain-related) flooding in urban areas: the invisible hazard’:

> *”The most common source of flooding is when water levels in rivers rise and overtop their banks (‘fluvial’ flooding). Another familiar source of flooding along coasts results from a combination of high tides and stormy conditions. Less well known and understood are ‘pluvial’ (rain-related) floods. These floods occur after short, intense downpours which cannot be quickly enough evacuated by the drainage system or infiltrated to the ground. Pluvial floods often occur with little warning in areas not prone to flooding – hence the ‘invisible hazard’ tag.”*

JRC-ISPRA (2011) definierar begreppen “flash flood” och ”pluvial flooding” – på svenska kanske: ”plötslig översvämning” respektive ”pluvial översvämning” som:

> *“FLASH FLOOD: a flood that rises and falls quite rapidly with little or no advance warning, usually the result of intense rainfall over a relatively small area.*
>
> *PLUVIAL FLOODING: direct runoff over land causing local flooding in areas not previously associated with natural or manmade water courses.”*

I det första fallet är betoningen på att det är en plötslig händelse, i det andra att ledningssystemet inte har tillräcklig kapacitet, även om grundorsaken kan vara densamma: ett häftigt skyfall.

Intresset begränsas här också till urbana områden beroende på de speciella förhållanden som en koncentration av människor och sårbara resurser (innefattande stora värden) innebär.

I rapporten har vi fokuserat på förhållanden som vi bedömt vara relevanta för Sverige.

Framställningen har på grund av att tidplanen för färdigställande varit mycket knappt tilltagen, med nödvändighet blivit kortfattad och ofullständig i många avseenden. I litteraturlistan finns hänvisningar till flera utförliga dokument/handledningar i ämnet för den som vill fördjupa sig, t.ex. Världsbankens ”Cities and Flooding” (Jha m.fl., 2012) – 632 sidor. Där skiljer man på fem olika typer av urbana översvämningar, av vilka en - eller möjligen två - är orsakade av häftig nederbörd.

2. Skyfall över tätorter

Skyfallet som inträffade i Köpenhamn den 2/7 2011 slog ut viktiga samhällsfunktioner. Enligt uppgift registrerades 150 mm under 1½ timme. De klimatologiska faktorerna bakom skyfallet har analyserats av Woetman (2011). Detaljer om detta regn återkommer senare i rapporten. Regnvolymen motsvarar en återkomsttid på mer än 1 500 år, om data utvärderas enl. svensk etablerad regnstatistik (Dahlström, 2010). Det är orimligt att använda detta tillfälle som dimensionerande regn för urbana avrinningssystem, men det lär oss dels att det kan hända, och dels kanske får oss att tänka: vad händer om det inträffar här i Sverige?

Figur 1 Köpenhamn 2/7 2011. Foto: Polfoto-Mogens Flindt/Scanpix,

2.1 Extrem nederbörd

2.1.1 Statistik för korttidsnederbörd - Dagens situation

När vi i det följande nämner begreppen regnstatistik, extrema regn osv. avses här korttidsnederbörd, d.v.s. regnförlopp som sker inom dygnet, från några minuter upp till 24 timmar. Man kan naturligtvis göra statistik och bearbetningar av regn med längre varaktighet, men för urbana avrinningssystem är det så gott som alltid händelser med kortare tidsskala som är kritiska.

Här är också lämpligt att notera att det är en skillnad mellan SMHI:s dygnsnederbörd och vad vi här kallar 24-timmarsnederbörd. SMHI:s dygnssiffra avser summavolym från kl 06 till 06 i UTC-tid (kl 08-08 svensk sommartid), medan ”24-timmarsnederbörd” även kan gå över ett dygnsskifte. Statistik baserad på SMHI-dygnsnederbörd kommer därför att underskatta den verkliga 24-timmarsstatistiken.

Statistiken för korttidsnederbörd som är framtagen representerar en stationsplacering, en ”punkt”. Statistiken är tillämplig för en begränsad areal, visserligen inte så liten som mätarens uppfångningsyta (vanligen ca 200 cm²) men ändå rimligtvis något 10-tal ha. Representativiteten har att göra med skalan på regnen, vilket för kortvariga skyfall sommartid kan innebära stora variationer

inom exempelvis en stad. Det finns tumregler (Arnell, 1991) som säger att stationsavståndet inom en tätort inte bör överstiga 2 km om man vill fånga dynamiken i korttidsnederbörden. Det finns till och med uppgifter om (Pedersen, 2009) att stora skillnader i registrering kan uppkomma inom mindre än ett 100-tal meter.

Tillvägagångssättet vid statistisk bearbetning av regndata finns beskrivet i Svenskt Vatten (2011 a). Resultatet av bearbetningen är s.k. intensitetsvaraktighetssamband (engelska: IDF, Intensity-Duration-Frequency), d.v.s. regnintensitet som funktion av varaktighet med en viss sannolikhet, återkomsttid. Regnstatistiken används för dimensionering av exempelvis dagvattensystem, som inte kan utformas att klara alla skyfall som kan tänkas förekomma.

Både varaktighet och volym måste beaktas samtidigt. Om ett regn kommer att orsaka problem t.ex. för ett dagvattensystem, beror på avrinningskapaciteten. Regnvolymen 20 mm behöver inte innebära något bekymmer jämnt fördelad under ett dygn, men kan bli katastrofal lokalt om den faller under en kort period, exempelvis under 10 minuter.

För svenska förhållanden, i de (fåtal) fall, där jämförelser med regnstatistik långt bakåt i tiden varit möjliga, ses ingen trend i form av ökade regnintensiteter den senaste 25-30-årsperioden jämfört med tidigare data, se t.ex. Hernebring (2008). Statistiken för två regnserier uppmätta i Stockholm 1984-2006 har visat sig ha nära nog identiska egenskaper med avseende på korttidsnederbörd jämfört med tidigare publicerade ”Stockholmskurvor” baserade på regndata för perioden 1907-1946. Från Barlastplatsen i Göteborg har en mycket lång serie regnhändelser analyserats, för perioden 1926-2007. Jämfört med perioden som helhet, och om den analyseras i delperioder om ca 20 år, varierar de aktuella statistiska egenskaperna betydligt – som det verkar i 35-40-årscykler.

Bengtsson (2008) analyserade dygnsnederbörd från Skåne och västkusten som längst för perioden 1919 till 2007. Han fann inte någon trend mot ökande dygnsnederbörd. Hernebring och Salomonsson (2009) visade att kopplingen var svag mellan stora nederbördsvolymer på lång sikt (månad, år) och extremstatistiken för korttidsnederbörd, vilket man annars kan ha tendens att tro: att ökade (års)volymer ger intensivare regn i minut- eller timskala.

Svenskt Vatten (2011 a) uttryckte nyligen att det ännu inte finns någon anledning att revidera rådande statistik for korttidsnederbörd, exempelvis för Stockholm, på grund av någon hittills observerad klimattrend. Man rekommenderade att för Sverige som helhet använda regnstatistik enligt samband som presenterades av Dahlström (2010) om inte annat är känt, d.v.s. den aktuella orten har statistik som bygger på egna data. De regionala variationer i nederbördsintensiteter över Sverige, uttryckta med en parameter Z, som hade presenterats av Dahlström (1979) visade sig i jämförelse med tillkommande data sedan 1980-talet, ge överdrivna skillnader mellan olika regioner. Exempel på vad regnstatistik enl. Dahlström (2010) konkret innebär i form av regnvolymer under en viss tid och med viss sannolikhet (återkomsttid), ges i en figur senare i rapporten.

Olsson (2012a) har observerat en ”nutida” trend, uttryckt som att 10-årsregnets dygnsvolym har ökat med 6.4 % med små regionala skillnader inom Sverige, om perioden 1961-1990 jämförs med perioden 1981-2010. Analysen gjordes på stationsdata från totalt 540 stationer inom SMHI:s stationsnät.

2.1.2 Framtida scenarier

För slutsatser om framtidens klimat används resultat från klimatmodeller. Beräkningarna utgår från globala modeller med en rumslig upplösning på i regel 100-300 km som levereras från internationella meteorologiska institut. Dessa resultat används sedan som indata till regionala modeller, i Sverige t.ex. av SMHI vars regionala modell för tillfället heter RCA3. Resultaten från en sådan modellberäkning avser sedan delarealer vanligen med upplösningen 50*50 eller 25*25 km.

Speciellt för nederbörd i kortare tidsskala uppstår svårigheter att tolka scenarioresultaten eftersom de avser förhållanden över stora arealer. Den areella upplösningen är alltså grov, medan tidsupplösningen kan vara ner till 0.5 -1 timme. Det finns olika metodik för att komma dit man önskar, d.v.s. från arealnederbörd till punktnederbörd, vilka med ett gemensamt namn brukar benämnas: ”downscaling”.

Man talar i sammanhanget om "klimatfaktorer" eller ”förändringsfaktorer”. De innebär att tal (vanligen större än 1.0) tagits fram, som nuvarande dimensionerande regnintensiteter ska multipliceras med för att man ska ta höjd för klimateffekter.

Avseende års- och säsongsvolymer råder stor samstämmighet bland forskare att nederbördsmängderna kommer att både öka och minska beroende på var man befinner sig och vilken tid på året man avser. För Sveriges del kommer nederbörden under sommarmånaderna (juni, juli och augusti) att minska i större delen av landet. Under vintermånaderna kommer däremot nederbörden att öka. Frekvensen av regn med höga intensiteter väntas i allmänhet öka i Sverige, på grund av att ett varmare klimat, vilket innebär att luften kan innehålla mera vattenånga.

I Danmark har flera utredningar ägnat sig åt frågan hur kommande klimatförändringar påverkar dimensionering av avloppssystem, t.ex. Miljøstyrelsen (2005). Underlaget för förutsägelserna är globala klimatmodelldata som skalats ner till en-timmesvärden för nederbörd för arealer på 12*12 och 25*25 km både för en kontrollperiod 1961-1990 och för scenarioperioden 2071-2100. Klimatmodellerna förutsäger att det kommer att bli ökad årsnederbörd i Danmark, ca 10 %, och att ökningen kommer att ske under vinterhalvåret. Sommarnederbörden kommer att minska, men den nederbörden kommer att uppträda som fler och kraftigare extremregn än tidigare.

I en rad delprojekt har DTU (Danmarks Tekniske Universitet) jämfört extremstatistiken för en-timmes-nederbörden mellan perioderna i olika delar av Danmark. Jämförelserna uppvisar en betydande variation i den klimatbetingade förändringen från plats till plats. I genomsnitt fanns en ökning av extremnederbörden inom det betraktade området på 20-50% för scenario A2. Miljøstyrelsen (2005) rekommenderar därför, som ”den bedste anbefaling i dag”, att multiplicera nuvarande dimensioneringsregn (återkomsttid 5 och 10 år) med en faktor 1.2-1.5.

I en rapport från IDA (2008) har man för danska förhållanden gått vidare från, att som tidigare refererats, dra direkta slutsatser från resultat i klimatmodellen till framskrivningar enligt tre olika, mer indirekta metoder. Den första metoden går ut på att skatta förändringar i parametrar i en modell för extremvärdesanalys. I den andra metodiken används ett program för generering av syntetiska regnserier, som förutom indata från klimatmodellerna med entimmesupplösning bygger på en skaleringsfunktion som kan fördela den ursprungliga timmens nederbördsvolym på minutbasis inom den aktuella timmen. Skaleringsmetodiken baseras på historiska regnserier och antas alltså opåverkad av klimatförändringar.

Den tredje metoden handlar om att finna ett analogt klimatområde[1]. För Danmarks del identifierades 6 lokaliseringar i Tyskland och 5 st. i Frankrike som lämpliga klimatanaloger, där det också fanns tillgång till insamlade regndata.

De tre metoderna gav liknande resultat och i rapporten sammanfattades slutsatserna enligt Tabell 1. Man fann att klimatfaktorerna stiger med ökande återkomsttid och fallande varaktighet på händelsen. Man valde dock att inte ta med beroendet av regnvaraktigheten på grund av att detta skulle vara svårt att ta hänsyn till praktiskt.

Tabell 1 Danskt förslag till klimatfaktorer vid dimensionering och analys av avloppssystem för en förväntad teknisk livslängd på 100 år (Spildevandskomitéen, Skrift nr. 29)

	Dimensionerande återkomsttid		
	2 år	10 år	100 år
Klimatfaktor	1.2	1.3	1.4

Olsson m.fl. (2010) anger som resultat av studier av framtida korttidsnederbörd för svenska förhållanden (Stockholm) att små förändringar kan förväntas för 10-årsregnen under den närmaste framtiden. I slutet av seklet kan intensiteten för de korta varaktigheterna (30-minutersregn) förväntas öka med 10-20%, medan regn med längre varaktighet ökar i mindre grad.

Hernebring, Dahlström & Kjellström (2012) undersökte hur en sammanställning av insamlad regnstatistik för korttidsnederbörd från 139 stationslokaliseringar spridda över Europa, tillsammans med data från flera klimatscenarier fram till 2100, kunde användas för att förutsäga förekomsten av häftiga regn i Sverige i framtiden. Generella förändringsfaktorer var av storleksordningen 1.1 -1.15, men spridningen mellan enskilda scenarier var stor. Klimatanaloga orter i Europa för 5 utvalda svenska orter (med framtida svenskt klimat) gav mycket små förändringar i deras nuvarande regnstatistik.

EEA (2012) sammanfattar indikatorerna med avseende på nederbördsextremer för Europa med att intensiva nederbördshändelser sannolikt kommer att bli mer frekventa i större delar av Europa. Förändringstendensen är störst i Skandinavien under vintern och i norra och östra Centraleuropa under sommaren. Uttryckt som återkomsttid kommer den regnintensitet som under nuvarande klimat statistiskt återkommer vart 20:e år (20-årsregn) under sommaren i framtiden, för perioden 2071-2100, bli mer frekvent – med en återkomsttid på 6-10år (Nikulin m.fl., 2011).

Olsson (2012a) rapporterar att den framtida ökningen av 10-årsregnet i Sverige, baserat på en RCA3-ensemble, ökar med ökad tidshorisont och minskande varaktighet. Från 1981-2010 ökar 10-årsregnet med varaktigheten 30 minuter (1 dygn) med 6% (3%) fram till 2011-2041, 15% (8%) fram till 2041-2071 och med 23% (13%) fram till 2071-2100.

Ett förändrat klimat kan också innebära högre vattenstånd i hav, sjöar och vattendrag, vilket kan resultera i ökade översvämningsrisker och försämrad avrinningskapacitet. Dessa fenomen ligger dock utanför ämnet i denna rapport.

[1] Med ”klimatanalog” menar man att man försöker finna en ort som i olika avseenden har samma klimat idag som den aktuella orten i ex. Danmark eller Sverige förväntas få i framtiden enligt klimatscenario-framskrivningar.

2.1.3 Extremregnen finns redan idag

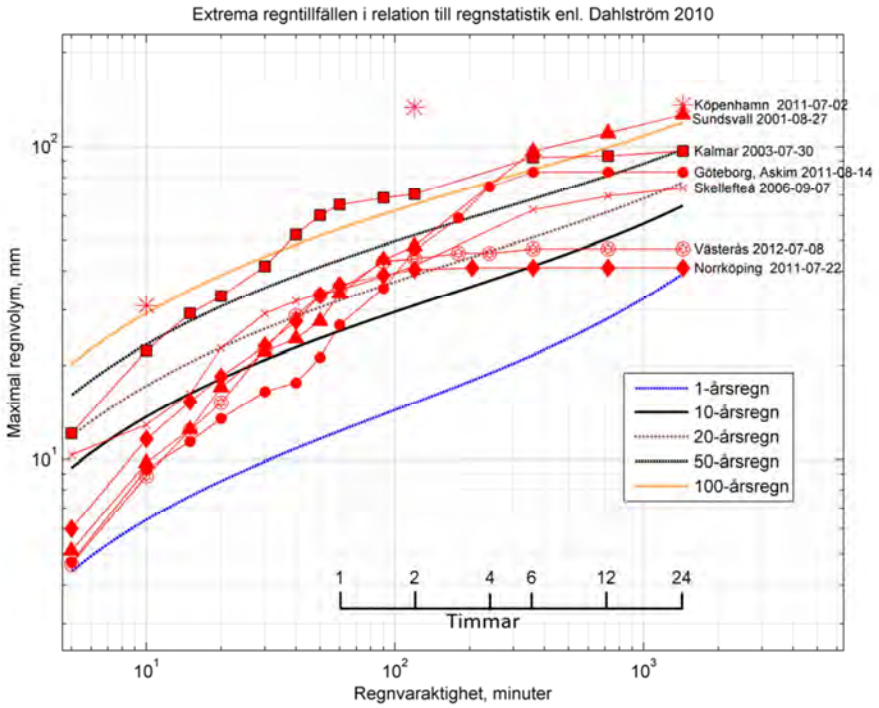
Föregående avsnitt handlar om statistik, t.ex. om ”10-årsregnet”, vilket grovt sett våra VA-system ska vara dimensionerande att tåla enligt Svenskt Vatten P90. Sannolikheten för överskridande av denna intensitet är inte försumbar, speciellt inte om den ”integreras” över hela Sverige.

Nilson (2012) har kartlagt händelser av intensiva regn i Sverige under åren 2009-2011. Han fann drygt 200 ”händelser”, av vilka omkring hälften innebar skador eller störningar av varierande grad.

I Figur 2 återges detaljerade regnförlopp för regntillfällen där DHI haft tillgång till högupplösta regndata. Data för Köpenhamnsregnet har hämtats från Vejen (2011). Skyfallen har inträffat under perioden 2001-2012 och har samtliga inneburit allvarliga skador och störningar, exempelvis för Kalmarregnet 2003-07-30 med ca 600 källaröversvämningar.

Följder av Norrköpingsregnet den 22/7 2011 beskrivs på Norrköping Vattens hemsida:

> *”På natten mellan fredag och lördag 22-23 juli kom det stora mängder regn i Norrköping vilket tyvärr inte våra dag- och avloppsledningar klarade av. Det har medfört att ca 800 av våra kunder fick översvämning i sina källare.*
>
> *Det är ovanligt att så många fastigheter drabbas av källaröversvämning men en förklaring är att de regnmängder som föll var exceptionellt stora. År 2002 kom också ett stort regn men då fick "bara" ca 100 fastigheter översvämningar. Regnet som föll 2011 klassas som ett s.k. 27-årsregn, d.v.s. regnet var av den storleken att det bara statistiskt sett faller vart 27:e år.”*



Figur 2 Extrema regntillfällen i relation till svensk regnstatistik enl. Dahlström (2010). Maximala regnvolymer för olika varaktigheter under regnet. Regnvaraktighet från 5 minuter upp till ett dygn (1440 minuter).

Längs x-axeln finns data från 5 minuter upp till ett dygn (1440 minuter). Längs y-axeln har avsatts de maximala volymer (mm) som uppträtt någon gång under regnet med motsvarande varaktigheter. Exempelvis innebär 10-minutersvolymen i Köpenhamn (31 mm) – hela regnförloppet är inte känt i detta fall -

den högsta korttidsintensitet som någonsin registrerats i Danmark. Kurvorna i bakgrunden är ritade enl. Dahlströms (2010) intensitets-varaktighetssamband med angiven återkomsttid enligt förklaringen. Bilden visar att regnet kan ha betydande skadeverkningar utan att det återspeglar sig på dygnsvolymen. T.ex. är Norrköpingsregnet ”bara” ett drygt 1-årsregn med avseende på 24-timmarsvolymen. Data i figuren representerar punktmätningar från nederbördsstationer. Det kan alltså vara sannolikt att förloppet varit annorlunda eller intensivare i andra delar av närområdet[2].

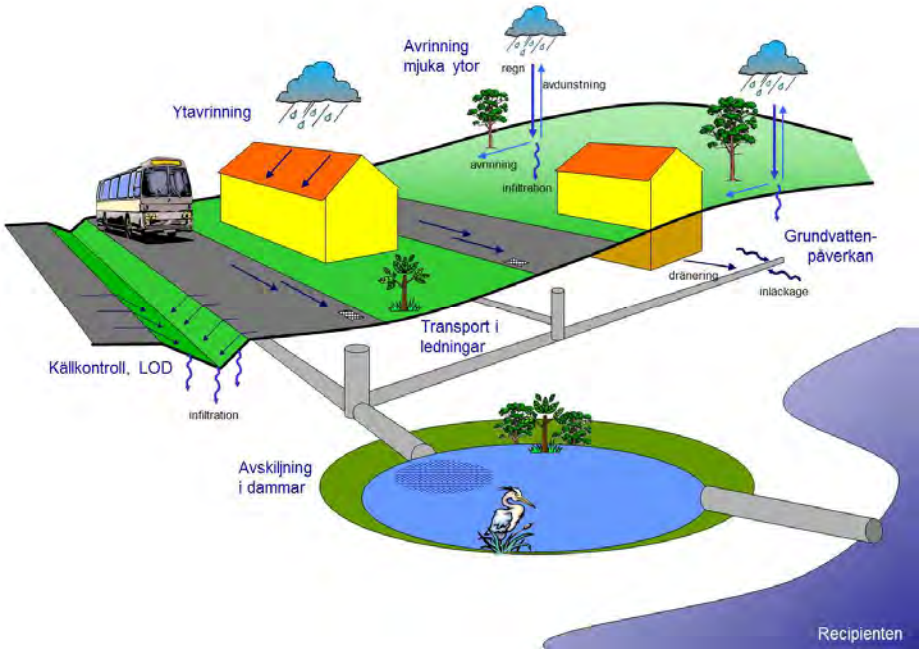
Om återkomsttiden ökar en tiopotens (ex. från 1 till 10 år) så ökar regnintensiteterna med ca en faktor 2; en ökning till den dubbla återkomsttiden en ökning med faktorn ca 1.25. Det innebär att ”dimensionering för 20-årsregn i stället för 10-årsregn” (med nuvarande regnstatistik) är samma sak som att tillämpa en ”klimatfaktor” på 1.25.

[2] Det största korttidsintensitet som registrerats i Sverige under ”modern tid” är 30.1 mm under 10 minuter, som uppmättes i Uppsala 1997-08-17 (Hernebring, 2006). Höganäs avloppshandbok (1965) anger att ”Det häftigaste regn som inträffat i vårt land, inträffade i Stockholm den 27 juli 1916 och uppgick vid Slussen till inte mindre än 25.4 mm på 5 minuter.”

2.2 Stadsmiljö

2.2.1 Urban avrinning

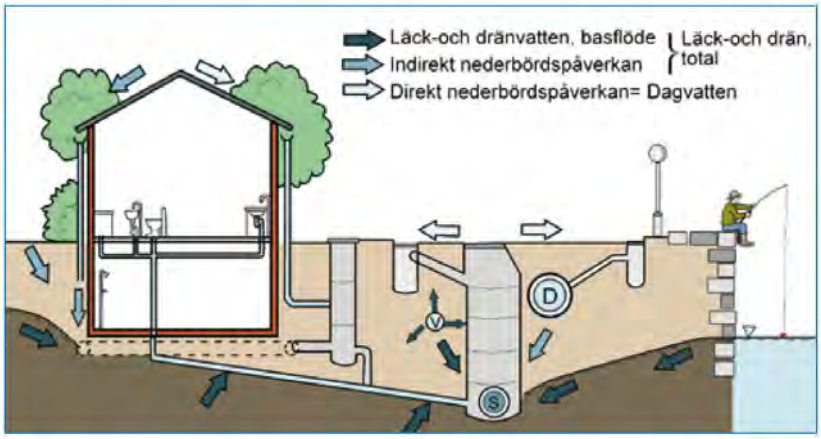
När ett naturligt markområde bebyggs, förändras den naturliga vattenbalansen. De viktigaste hydrologiska effekterna av urbanisering är en ökad ytavrinning både till intensitet och volym, reducerad infiltration och sänkning av grundvattennivån. Avrinningsförloppen blir snabba på grund av att exploaterade områden innehåller en stor andel hårdgjorda avrinningsytor. Från ett högexploaterat område kommer huvuddelen av årsnederbörden (kanske 80-90 %) att avrinna i ett snabbt förlopp jämfört med omkring 30-50 % från ett naturområde, i det senare fallet betydligt mera utjämnat i form av mark- och grundvattenavrinning.



Figur 3 Komponenter i ytavrinning från bebyggda områden. Bild: Lars-Göran Gustafsson, DHI.

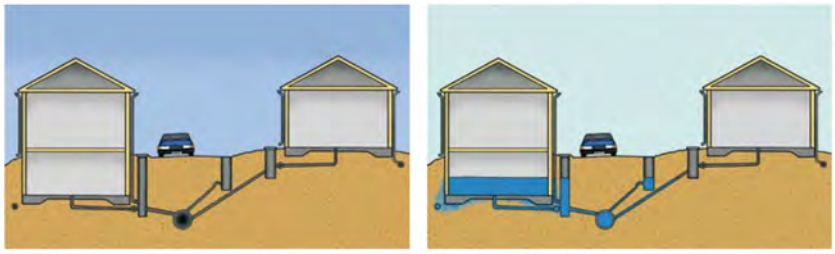
Samhällets dagvattensystem är till för att avleda denna avrinning, som kan ske i ledningar eller öppna diken. Dagvattensystem dimensioneras för regn med viss återkomsttid (vanligen 10 år). När rörets kapacitet överskrids kommer dagvattensystemet att börja dämmas. När hela dagvattensystemet är fullt kommer vatten på vissa ställen att tillfälligt dämmas upp på markytan. Detta bör naturligtvis kunna ske utan att allvarliga konsekvenser uppstår för bebyggelsen.

En annan komponent i stadens vattenbalans i vid mening, är vattenförsörjningen. När dricksvattnet är ”förbrukat” avleds det via ett spillvattensystem till rening i ett avloppsverk innan det släpps ut i en recipient. Flödet i spillvattenledningen späds så gott som alltid ut på vägen till avloppsverket i varierande grad på grund av att det finns förbindelser med omgivningen, några tänkbara avbildade i Figur 4. Ur spillvattensystemets synpunkt benämns detta ”tillskottsvatten”. Några av de tänkbara källorna är starkt påverkade av förekommande nederbörd. Det är vanligt att tillskottsvattnet till volym utgör lika stor andel som det egentliga spillvattnet från industrier och hushåll (SNV, 1995). Lundblad och Backö (2012) redovisar metodik för att hitta källorna till tillskottsvatten, samt att situationen kan vara komplex och inte enkel att komma tillrätta med.



Figur 4 Olika typer av källor till tillskottsvatten (Bäckman m.fl. 1997). S betecknar spillvattenledning och D dagvattenledning.

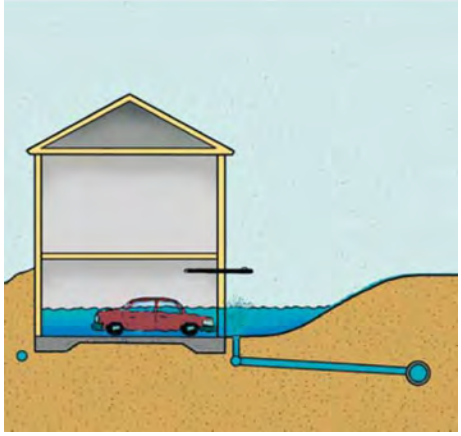
I Svenskt Vatten (2007), meddelande M134, beskrivs bakgrunden till våra avloppssystems nuvarande uppbyggnad, och relateras kortfattat här. Fram till början av 1950-talet dominerade det kombinerade ledningsnätet. I ett kombinerat avloppssystem avleds dag-, dränerings- och spillvatten i samma ledning. Till det kombinerade systemet hör även bräddavlopp för att skydda lågt liggande bebyggelse vid kraftig nederbörd. De kombinerade systemen finns av naturliga skäl i huvudsak i städernas centrala och äldre bebyggelseområden. Systemet innebär översvämningsrisk för lågt belägna källare. Duplikatsystemet blev det dominerande avloppssystemet från 1950-talet. Där avleds spill- och dagvatten i skilda system. Dräneringssystemet anslöts av höjdskäl normalt till den lägst belägna spillvattenledningen.



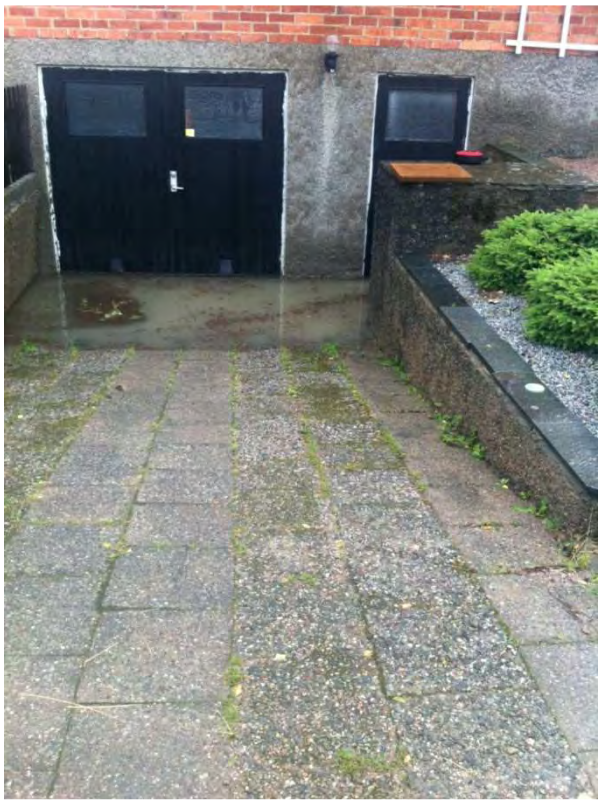
Figur 5 Kombinerat avloppssystem med gemensam avledning av spill-, dag- och dränvatten. Bild från Svenskt Vatten M134.

För att förbättra funktionen hos befintliga kombinerade system (minska bräddning av obehandlat avloppsvatten, minska risk för översvämning) kan man separera, d.v.s. koppla bort dagvattenbelastade ytor eller t.ex. utjämna flödestoppar genom utjämningsmagasin. Detta förbättringsarbete har pågått i kommunerna åtminstone sedan 1980-talet.

M134 ger exempel på en onormal väg för vattnet in i avloppsystemet: spygatt (brunn utan vattenlås) från garagenedfarter anslutna till dag- eller kombinerad ledning, vilket kan medföra problem vid mycket kraftig nederbörd. Översvämning av källare kan ske genom att stora flöden leds ned mot garageporten och det kan finnas risk att spygatten inte kan avbörda flödena. Situationen förvärras givetvis om den allmänna avloppsledningen är överbelastad vilket gör att avledning ej kan ske ut från fastigheten eller att bakåtströmning sker från den allmänna ledningen.



Figur 6 Garagenedfart med spygatt ansluten till dagvattenförande ledning i samband med dämning. Bild från Svenskt Vatten M134.



Figur 7 Översvämmad garagenedfart i Västerås den 8/7 2012. Bild: Birger Wallsten, Mälarenergi.

Det blir allt vanligare att man i nybyggnadsområden och även i vissa befintliga områden försöker minska mängden dagvatten som behöver avledas i ledningssystem genom lokala åtgärder nära källan (LOD – lokalt omhändertagande av dagvatten) och öppna dagvattenlösningar, till skillnad mot avledning genom ledningar.

I Svenskt Vatten P105 väljer man i stället för det äldre svenska begreppet LOD, använda benämningen ”Hållbar dagvattenhantering”, dels för att LOD-begreppet tidvis blivit missförstått, och dels för att markera en helhetssyn där syftet är att fördröja avrinningen för att mer likna naturens förlopp innan området blev urbaniserat. I Storbritannien benämns samma ambition: SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems) och i USA: BMPs (Best Management Practices), Jha m.fl. 2012.

Citat från VA-Syd:s hemsida:

> *”Dagvattenförande ledningar dimensioneras så att de ska klara alla normala regn. Att dimensionera ledningarna för exceptionella regn är i praktiken omöjligt.”*

VA-huvudmannen (ledningsägaren, vanligtvis kommunen) är ansvarig för att ledningssystemet är korrekt dimensionerat och att funktionen bibehålls genom underhållsåtgärder.

Var gränsen går för ett ”normalt regn” framgår av dimensioneringsanvisningarna enligt Svenskt Vatten, publikation P90. Juridiskt prövas tvister i ansvarsfrågan mellan VA-huvudmannen och fastighetsägare av Statens va-nämnd[3]. När det gäller källaröversvämningar är det ”10-årsregnet” som gäller. Kommunen som huvudman för den allmänna va-anläggningen blir skyldig att ersätta uppkomna skador om det inte går att bevisa att den kombinerade avloppsledningen kunnat avleda ett tioårsregn utan dämning till källargolvets nivå.

Dimensioneringsanvisningarna i P90 avseende regnpåverkan gäller enbart ”medvetet” dagvattenförande ledningar, för spillvatten: kombinerade avloppssystem. Kommunen blir skadeståndsskyldig om källaröversvämning inträffat orsakat av dämning i spillvattenledningen inom ett duplikat avloppssystem (där det finns både dag- och spillvattenledning i gatan), även om det går att ”bevisa” att ett tioårsregn inte orsakar dämning till källargolvsnivå. En vanlig orsak till denna typ av oönskad nederbördspåverkan i separerade spillvattenledningar är felkopplade tak.

För den typ av nederbördspåverkan i spillvattensystemen som utgörs av anslutna dräneringar har omgivande geologiska förhållanden stor betydelse. Det är stor skillnad på om man befinner sig i ett område med urberg/lera som exempelvis i Göteborgstrakten jämfört med mer sandiga förhållanden. Detta påverkar både ytavrinningen och dräneringsflödens tidsvariation och därmed översvämningsrisken från spillvattenledningen.

Förenklat kan man säga att infiltrationskapaciteten för typiska svenska förhållanden ungefär motsvarar ett 10-årsregn, precis som ett rätt dimensionerat ledningsnät. Även med enbart gröna ytor i staden skulle inte konsekvenser av ett extremt regn elimineras.

Effekten av s.k. gröna tak, vilket brukar nämnas som en effektiv LOD/SUDS-/BMP-åtgärd, är begränsad i detta sammanhang. Insatsen kan ha betydelse för vattenbalansen över lång tid (omkring 50 % av årsnederbörden anges avrinna), men under enskilda häftiga regntillfällen förmår det gröna taket bara kvarhålla omkring 5 mm initialt av nederbördstillfället. (Svenskt Vatten P105).

En mångfald exempel på "Sustainable Stormwater Management”-tillämpningar kan man finna t.ex. på staden Portlands hemsida[4] eller Seattles[5] . Från Seattles hemsida kan invånarna ladda ner anvisningar hur de ska anlägga egna ”rain

---

[3] Det finns en utredning som handlar om att avveckla va-nämnden (SOU 2011:53). Betänkandet föreslår att landets länsstyrelser och Mark- och miljödomstolen vid Nacka tingsrätt tar över de mål som idag prövas av Statens va-nämnd, vid en avveckling av nämnden. När detta skrivs existerar va-nämnden fortfarande.

[4] www.portlandoregon.gov/bes/34598

[5] www.seattle.gov/util/MyServices/DrainageSewer/Projects/GreenStormwaterInfrastructure/ResidentialRainWise

gardens", Hinman (2007). Man rekommenderar att dessa ska kunna ta emot och utjämna avrinningen från som mest halva fastighetens tak.

2.2.2 Samhällsutveckling planerad/oplanerad

Vid nyexploateringar tillförs staden nya områden, där avvattningen måste hanteras. Det sker även förtätning inom existerande tätortsbebyggelse, vilket kan innebära en ökad belastning på existerande va-system. Samhällsutvecklingen tycks också gå i den riktningen att man inom befintlig tomtmark vill förändra markbeläggningen, hårdgöra, för att få den mera lättskött.

I Svenskt Vatten Meddelande 134 (2007) anges att konsekvenserna av att (klimat-) förändringarna kommer att ske mycket långsamt, ger möjlighet till anpassning av dagens va-system. En långsam förändring mot högre intensiteter, vilket i och för sig skulle innebära ökad frekvens av översvämning, innebär att avloppssystemen kommer att anpassas i motsvarande grad genom de kontinuerliga förbättringsåtgärder som ju alltid sker. Avloppssystemen anpassas successivt till bebyggelsen och de förändringar som sker i denna. De effekter ökad exploateringsgrad och andra förändringar kan innebära för risken för översvämning är sannolikt oftast större än de långsiktiga klimateffekterna. Även om en ökning av nederbördsintensiteterna sker kommer denna ökning endast att drabba delar av existerande avloppssystem. T ex kommer de områden som idag är kritiska att fortsatt vara kritiska och utbredningen av översvämningarna något större. Möjligen kommer nya kritiska områden att uppträda. Detta innebär att åtgärder aldrig kommer att krävas för hela va-systemet utan bara de kritiska delarna.

I Svenskt Vatten P105 anges att krav på hårdgöringsgrad (maximal andel av tomtytan som får vara hårdgjord, minimal andel av tomtytan som bör vara tillgänglig för infiltration) borde vara möjliga att ställa som planbestämmelser. Boverket (2010) anger också samma faktorer som lämpliga att reglera genom planbestämmelser.

Tegelberg och Svensson (2013) undersökte 67 områden i Sverige med olika bebyggelsetyper med avseende på hårdgörningsgrad. Områdena karterades utifrån ortofoto och primärkarta med fjärranalys. Rekommendationer för val av avrinningskoefficient finns bl. a. i Svenskt Vatten P90, men de rekommenderade värdena har inte utvärderats med avseende på bebyggelsetyp under de senaste 50 åren. Hårdgöringsgraden och därigenom den faktiska avrinningskoefficienten befanns nu vara högre än rekommenderade värden i P90 för alla bebyggelsetyper som undersökts förutom för områdeskategorin "radhus".

Den största avvikelsen i värdet för avrinningskoefficienten från P90 återfinns för villaområden och verksamhetsområden där ökningen motsvarade 55% respektive 38% av rekommenderade värden. I villaområden hårdgörs garageuppfarter och plattläggs gångstigar mm i stor utsträckning, dessutom har tak på altaner och garageuppfarter tillkommit. I verksamhetsområden har grusade ytor ersatts med asfalterade ytor. I områden som i huvudsak behållit sin karaktär från 1970 talet fram till idag har hårdgörningsgraden ökat med ca 10% för villaområdena. Slutsatsen i rapporten är att de i P90 rekommenderade värdena bör korrigeras, annars riskerar dagvattensystemen att bli underdimensionerade av denna orsak.

SCB (2003) anger att andelen bebyggd tätortsareal i storstäderna Stockholm, Göteborg och Malmö har ökat från 69 % till 73.3 % mellan åren 1970 och 2000. För samtliga tätorter är motsvarande ökning: från 56 % till 62.7%. Tätortsförtätningen, alltså omfördelning till bebyggd mark inom befintlig tätort, är 251 ha i storstäderna resp. 1640 ha för samtliga tätorter för perioden 1995 till 2000. Omkring 1% av Sveriges totalareal (ca 530 000 ha av ca 530 000 km^2) utgörs av tätorter enligt SCB:s definition (SCB 2003, 2012).

3. Konsekvenser för samhället

När dagvattensystemets avbördningskapacitet överskrids sker ytlig avrinning och ansamling av vatten i lågpunkter. Ytvattentransporten kan dessutom medföra att transportkapaciteten i dagvattensystemet nedsätts ytterligare, genom transport av skräp, löv etc. som sätter igen rännstensbrunnar, trummor mm. Hur mycket vatten som transporteras på ytan och blir stående är naturligtvis avhängigt av hur kraftigt regnet är. Regn med en återkomsttid på under 10 år orsakar oftast problem endast för delar av dagvattensystemet. Översvämningen och konsekvenserna blir däremot oftast betydande vid ett 50–100-årsregn.

Översvämningar, dvs. ansamlingar av vatten på markytan, utgör inte nödvändigtvis ett problem. Problem uppstår när vattnet orsakar en värdeförlust. Exempelvis uppstår sällan en värdeförlust då grönytor översvämmas medan stora värden kan gå förlorade då ett villaområde drabbas.

Skador som uppstår i samband med en översvämning kan reduceras genom att t.ex. minska översvämningens omfattning, styra vilka områden som översvämmas, varna för översvämningar samt ha en beredskap för hur en översvämning ska hanteras. Olika typer av åtgärder, både lång- och kortsiktiga, diskuteras i kapitel 5.

3.1 Skadetyper

Skador till följd av pluviala översvämningar, och av andra naturolyckor, kan delas in i två kategorier: direkta och indirekta (Tabell 2). På samma sätt brukar kostnader som är kopplade till skadorna delas upp. (MSB, 2010)

En direkt skada kan exempelvis vara materiella skador som uppstår då en källare översvämmas. Indirekta skador är de som kan kopplas till en händelse men som inte orsakats direkt av händelsen. Exempel på denna typ av konsekvenser är störningar i trafiken så som vattenplaning eller produktionsförluster som uppstår då exempelvis en fabrik översvämmas.

Direkta och indirekta skador kan delas upp i tangibla och intagibla. Tangibla skador kan direkt kopplas till en kostnad medan intangibla skador inte kan mätas i pengar.

Tabell 2 Direkta och indirekta skador, efter MSB (2010).

	Tangibla	**Intangibla**
Direkta	Fysisk skada på tillgångar: • Byggnader • Inventarier • Infrastruktur	• Förlust av liv • Hälsoeffekter • Ekologiska förluster
Indirekta	• Produktionsförluster • Utryckningskostnader • Trafikstörningar	• Ökad sårbarhet • Obekvämlighet

Paludan m.fl. (2011) nämner även en tredje typ av skada: sociala omkostnader. I dessa inkluderas exempelvis mer långtida konsekvenser av psykologisk karaktär som t.ex. värdeminskning av fastigheter i områden som ofta utsätts för översvämningar.

Nilsson (2012) har sammanställt information från totalt 207 kraftiga nederbördshändelser under åren 2009-2011. För 87 av händelserna finns rapporter om vilka konsekvenserna var. Översvämning av byggnader och vägar var de i särklass vanligaste konsekvenserna vilka rapporterades i 74 respektive 36 av 87 fall.

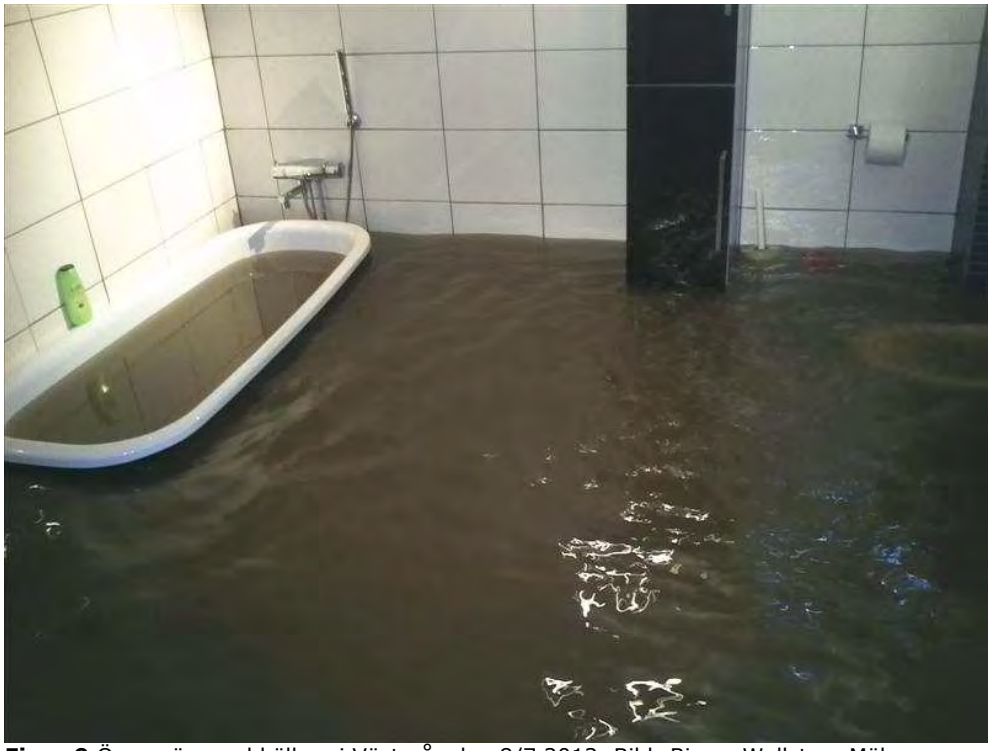
Enligt Svenskt Vatten M134 inträffade under åren 2003-2005 knappt 2 000 källaröversvämningar per år om tillgänglig statistik extrapoleras till hela Sverige. I siffran ingår också översvämningar som beror på stopp i avloppsnätet, så statistiken blir något överskattad när det gäller översvämningar orsakade av kraftig nederbörd.

Källaröversvämning

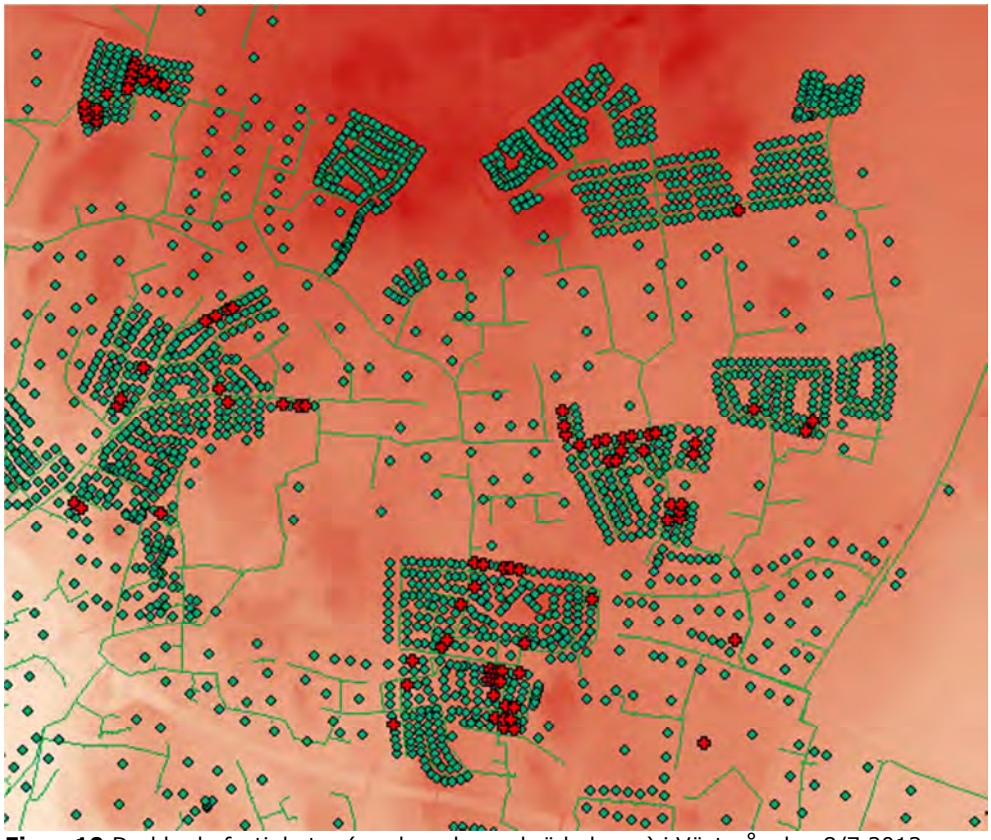
Spillvattensystemet kan bli överbelastat genom tillförsel av dagvattenpåverkad avrinning från t.ex. takavvattning. Effekten blir att vatten tränger upp genom lågt belägna brunnar i källaren, om inte en backventil är installerad (Figur 8 och Figur 9). Vatteninträngning i källare kan också ske ytledes genom grundmuren vid hög vattennivå på andra sidan. Vidare kan onormala vägar in i spillvattensystemet uppkomma, t.ex. genom brunnslock eller att det finns en garagenedfart med spygatt som får avrinning från gatumark (Figur 7).

Har vattnet väl kommit in i källaren finns det bara en väg ut – genom golvbrunnen. Det betyder att grannen nedströms kan drabbas sekundärt, även om han har klarat sig från början. Det är vanligt att man ser en ansamling av drabbade fastigheter (Figur 10), kanske inte bara av detta skäl. Anledningen kan vara att ledningssystemet i grannskapet är dimensionerat och utfört på samma sätt och har samma anslutningsförhållanden till fastigheterna.

Figur 8 Kalmar den 30/7 2003. Bild: Kalmar Vatten AB



Figur 9 Översvämmad källare i Västerås den 8/7 2012. Bild: Birger Wallsten, Mälarenergi.



Figur 10 Drabbade fastigheter (markerade med röda kryss) i Västerås den 8/7 2012. Spillvattensystemet är markerat med gröna linjer. Bild: DHI

Hälsoeffekter

Översvämmade viadukter och vägar kan utgöra en direkt fara för liv. I Göteborg var tillståndet kritiskt för en kvinna som körde ner i vattnet på Slakthusgatan och blev liggande under vatten i ca 20 minuter innan räddningstjänst bärgat bilen (GP, 2012). I samband med översvämningarna i Köpenhamn fick räddningstjänst komma till undsättning för ett stort antal bilister vilka blivit stående i på översvämmade vägar (European Environmental Agency, 2012).

En följd av att kombinerade ledningssystem överbelastas är att orenat avloppsvatten riskerar att tränga upp och bli stående på mark- och vägytor. Detta utgör en risk för smittspridning av sjukdomar då avloppsvatten är fullt av bakterier. I en enkät till 257 personer som yrkesmässigt exponerats för avloppsvatten i samband med översvämningarna i Köpenhamn uppgav 22 % att de blivit sjuka. De vanligaste symptomen var diarré, förkylning och huvudvärk. Det konstaterades även att sjukdomsfallen kunde associeras med rökning (hand-i-mun kontakt) och bristande handtvätt. (Statens serum institut, 2012)

I Köpenhamn insjuknade även totalt fem personer i leptospiros[6] varav två togs in på sjukhus och en dog (Statens serum institut, 2012). Svenska Dagbladet rapporterade den 23 juli 2011 följande:

> *”Den 2 juli vräkte regnet ner över Köpenhamn i ett av de värsta skyfallen som drabbat staden. Mängder av hus översvämmades och samtidigt pressades råttor fram ur kloaker och avlopp.*
> *En 62-årig man som röjde upp i sin översvämmade källare smittades av vattnet som förorenats av döda råttor. Han fick leptospiros eller Weils sjukdom som det också kallas, rapporterar danska DR.”*

3.2 Skadekostnader

Det är svårt att beräkna samtliga kostnader som uppstår till följd av ett extremt regn. Lättast är att uppskatta de direkta, tangibla kostnaderna medan indirekta kostnader är svårare och ofta bortses ifrån eller enbart diskuteras (MSB, 2010). Information från försäkringsbolag kan ge en bild av omfattningen på de direkta, tangibla kostnaderna. I Tabell 3 visas en sammanställning från Olsson (2012) över försäkringskostnader från de fyra största försäkringsbolagen för ett antal stora naturskador som inträffat under åren 1997-2010.

De enskilda skyfall som har orsakat störst kostnader är de som inträffade på Orust, 2002, samt i Kalmar, 2003. Under 2007 respektive 2010 översteg skadekostnaden 100 Mkr för händelser orsakade av extrema regn. I jämförelse med översvämningar i sjöar och längs vattendrag till följd av mer långvarigt regn vållar extrema regn minst lika stora skador om inte högre. Stormskador, exempel Gudrun, Per och Anatol, orsakar de i särklass största kostnaderna.

[6]Leptospiros är en zoonos, det vill säga en sjukdom som kan överföras mellan djur och människa. Sjukdomsbilden kan variera. Det vanligaste torde vara en helt symtomlös infektion eller en infektion med feber och influensaliknande symtom. Vid Weils sjukdom, då bakterierna ger blodförgiftning (sepsis), sker ett snabbt insjuknande med hög feber, frossa, huvud- och muskelvärk samt påverkat allmäntillstånd. Dödligheten uppges vara 5-10 %. Smittskyddsinstitutet (2011)

I MSB (2010) studerades tre skyfall som inträffat i Värmland under 2000-talet. Samtliga vållade stor skada och den beräknade skadekostnaden uppgick till som mest 49 Mkr för skyfallet i Hagfors 2004.

Tabell 3 Försäkrad skada (Mkr) för stora naturskador under senare år baserat på uppgifter från de fyra största försäkringsbolagen (Folksam, If, Länsförsäkringar och Trygg Hansa). Olsson (2012)

Händelse	**År**	**Mkr**
Jordskred Vagnhärad	1997	50
Storm Anatol	1999	970
Översvämning Vänern	2000	57
Översvämning Mellannorrland	2000	91
Skyfall Orust	**2002**	**123**
Skyfall Kalmar	**2003**	**63**
Översvämning Småland	2004	41
Storm Gudrun	2005	3965
Översvämning Västsverige	2006	98
Stormen Per	2007	551
Skyfall södra Sverige	**2007**	**100**
Skyfall	**2010**	**140**
Kyla och snö	2010	1000

Skyfallet över Orust är det enskilda skyfall som orsakat den största kostnaden; 123 Mkr. Skyfallet inträffade den 2 augusti 2002 då det föll mellan 180-200 mm på 12 timmar i de mest utsatta områdena enligt trovärdiga privata mätningar. Återkomsttiden för ett sådant skyfall uppskattas till 100 år. Ett dygn senare föll ytterligare 40-90 mm. De största skadorna uppstod på vägnätet (Figur 11) och fastigheter; ett stort antal källare översvämmades och ca 10 mil allmän väg skadades.

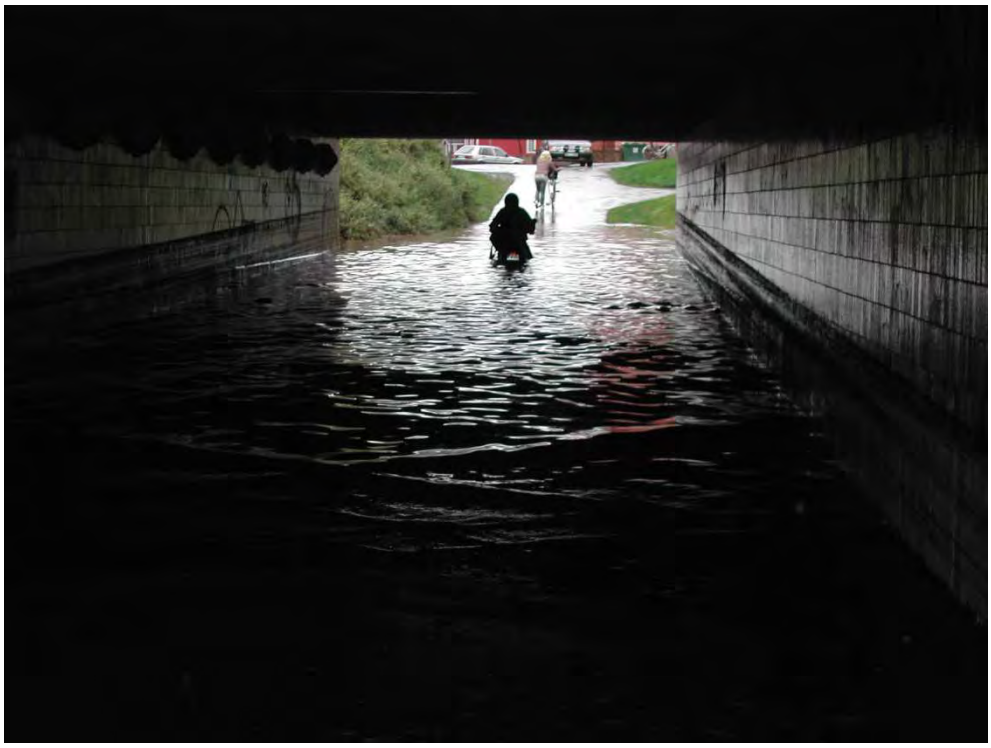
Det allvarligaste tillbudet var en man som håll på att drunkna i sin källare, men räddningstjänsten lyckades få ut honom (Naturolycksdatabasen, 2012). Tur i oturen var att regnet föll över ett relativt glesbebyggt område och det går enbart att spekulera i hur stora konsekvenserna/skadorna blivit om motsvarande regnmängder fallit över ett mer tättbebyggt område som t.ex. Göteborg. En mer utförlig beskrivning av händelseförloppet, hämtad från MSBs Naturolycksdatabas, ges i Bilaga 2.

Figur 11 Bortspolad väg i samband med åskoväder över Orust i augusti 2002. Bild: Naturolycksdatabasen.

Liknande regnmängder som föll över Orust 2002 föll över Köpenhamn under eftermiddagen den 2 juli. Skillnaden var att de 150 mm som föll kom under enbart ca 2 timmar. Detta är det största enskilda nederbördstillfället i Köpenhamn sedan mätningarna startade i mitten på 1800-talet. Avloppssystemet hade naturligtvis inte en chans att ta hand om de enorma mängderna vatten vilket resulterade i översvämmade gator, hus och källare. Stora delar av den lokala tågtrafiken fick stoppas då stationer stod under vatten. (Vejen, 2011)

Räddningstjänst fick stänga av vägar och evakuera människor instängda i sina bilar. Läget var så pass akut att stadens två största sjukhus var minuter från att behöva evakueras till följd av översvämning och elavbrott. Försäkringsskadorna uppskattas uppgå till 650 – 700 miljoner euro. Skador på kommunal infrastruktur som inte täcks av försäkringar, som vägar, uppgick till 65 miljoner euro (European Environment Agency, 2012). Enligt den schweiziska återförsäkringsbolagsjätten Swiss Re[7] - den dyraste ”väderskadan” i Europa år 2011. En mer utförlig beskrivning av händelseförloppet, från Institut for Beredskabsevaluering, ges i Bilaga 1.

[7] Swiss Re nämner också Hull (2007) och Istanbul (2009): ” The Hull flooding cost the insurance industry about USD 270 million, Istanbul losses were at USD 430 million, and Copenhagen could cost more than USD 800 million.” http://www.swissre.com/reinsurance/insurers/property_casualty/The_ripples_of_heavy_cloudbursts.html



Figur 12 Skellefteå den 7/9 2006. Bild: Kjell Lundqvist, Skellefteå kommun.

Figur 13 Skellefteå den 7/9 2006. Bild: Kjell Lundqvist, Skellefteå kommun.

Figur 14 Göteborg, Årekärrsvägen den 14/8 2011. Bild: Göteborg Vatten

4. Metodik för utredning av konsekvenser

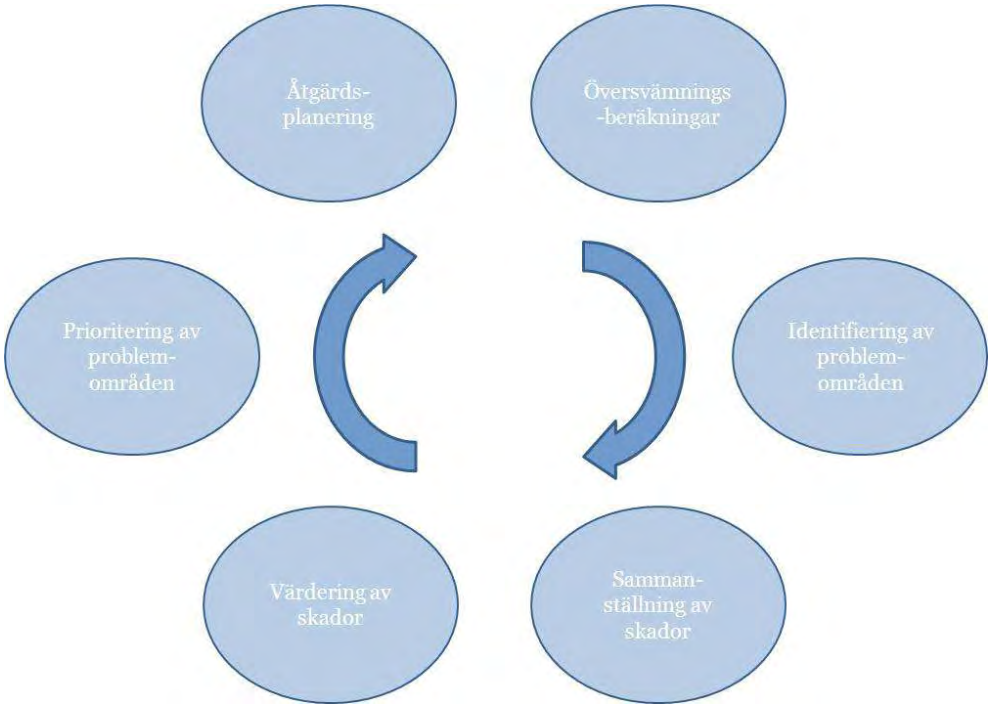
I det här kapitlet redogörs för kunskapsläget rörande olika metoder för att analysera och kartlägga konsekvenserna av extrema regn i urban miljö. Fokus ligger på metodiken kring framtagande av översvämningskartor (avsnitt 4.2). Översiktligt berörs även hur resultaten från översvämningsberäkningar kan användas för att sammanställa skador (avsnitt 4.3) och hur dessa kan värderas (avsnitt 4.4).

4.1 Arbetsgång – översikt

Ett första steg mot att utvärdera konsekvenserna av ett skyfall är att göra någon form av översvämningsberäkning/analys. Utifrån enbart en översvämningskarta kan det dock vara svårt att uppskatta konsekvenserna. För att underlätta för beslutsfattare att tolka resultaten och fatta beslut kring åtgärder kan en värdering av skadorna göras. Detta kan göras med olika detaljeringsgrad beroende på syfte och budget. (DHI m.fl. 2012)

Skadevärderingen tar lämpligen sin utgångspunkt från översvämningskartorna vilka visar beräknad översvämningsutbredning och vattendjup. Genom att kombinera dessa resultat med olika typer av GIS-information och/eller flygfoton kan problemområden identifieras.

För utpekade problemområden kan en lista på skador sammanställas vilka sedan kan värderas. Utifrån skadevärderingen kan problemområden rangordnas efter prioriteringsgrad varefter åtgärdsplanering kan ta vid. I Figur 15 illusteraras arbetsgången.



Figur 15 Exempel på arbetsgång i samband med utredning av konsekvenser av extrema regn. Bild: DHI.

4.2 Översvämningsberäkningar

Det finns en lång historik av modellering och kartering av fluviala översvämningar från sjöar och vattendrag. Däremot är det först under senare år som mer avancerade modellverktyg utvecklats och gjorts tillgängliga för att modellera och kartlägga pluviala översvämningar. Den huvudsakliga skillnaden mellan modellering av en fluvial och pluvial översvämning är att graden av detaljrikedom, och därmed upplösningen på modellen, måste ökas väsentligt för att kunna beskriva vägar, broar, hus och andra strukturer på ett representativt sätt i modellen. (Henonin m.fl., 2013)

Sedan långt tillbaka har ledningssystemens kapacitet och flaskhalsar analyserats och modellerats med hydrauliska modeller som MOUSE/ MIKE URBAN (DHI 2012a), Info Works (Bouteligier m.fl. 2001), SWMM (Huber och Dickinson 1988), men det är först på senare år som mer avancerade metoder utvecklats för att beskriva interaktionen mellan ledningssystem och marköversvämning. Utvecklingen har dock gått snabbt, påskyndad av accelererande datorprestanda, och idag finns ett flertal olika metoder som, med varierande detaljeringsgrad, kan beskriva konsekvenserna av ett extremt regn (Freni m.fl. 2010).

Vilken metod som väljs avgörs av vilken typ av data/information som finns tillgänglig och vad syfte med analysen är. I ett inledande skede är det oftast av intresse att enbart ta reda på vilka områden som riskerar att översvämmas. I andra fall kan det finnas behov av mer detaljerade beräkningar av översvämningens utbredning för t.ex. regn med olika återkomsttider. Ahlman 2011, DHI m.fl. 2012, Henonin m.fl. 2013 och Paludan m.fl. 2011 redogör för ett antal metoder med olika detaljeringsgrad:

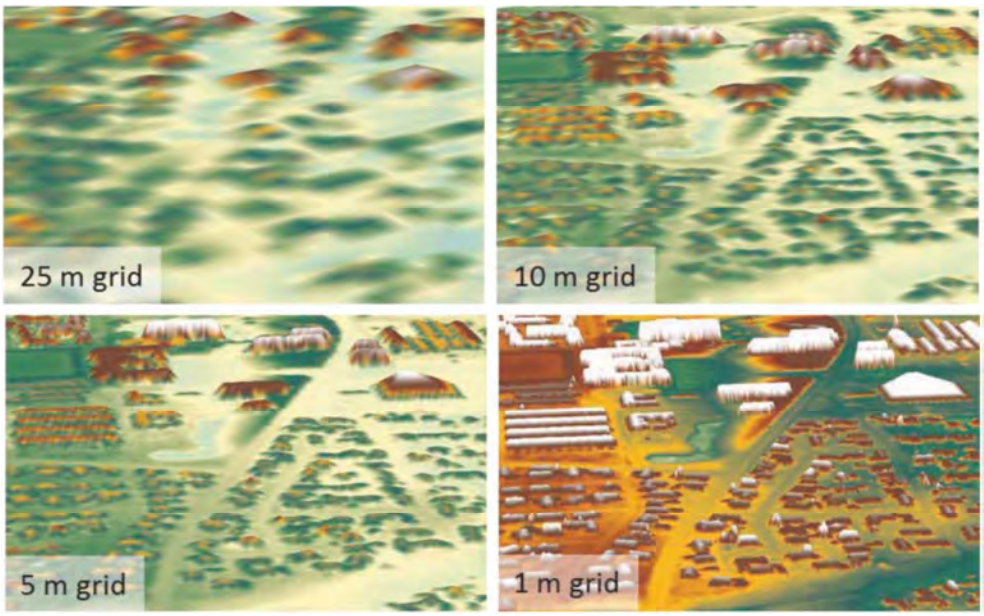
1. *Analys av lågpunkter*
   GIS-analys där fördjupningar i terrängmodellen identifieras. Ingen hänsyn tas till ledningssystemets kapacitet eller övrig hydraulik.
2. *Tvådimensionell hydraulisk beräkning (2D)*
   Analys av hur vattnet rinner på markytan och var det blir stående. Ingen hänsyn till ledningssystemets kapacitet, men schablonmässiga antaganden kan göras.
3. *Endimensionell hydraulisk beskrivning av ledningsnät och vattenvägar på ytan(1D – 1D)*
   Endimensionell beskrivning av flödet längs fördefinierade vattenvägar på ytan kopplat till kapacitet och uppfyllnad av ledningsnätet.
4. *Tvådimensionell hydrodynamisk beräkning med ledningsnät (1D - 2D)*
   Tvådimensionell analys av hur vattnet rinner på markytan kopplat till kapacitet och uppfyllnad av ledningsnätet.

I följande avsnitt beskrivs ovanstående metoder i mer detalj.

4.2.1 Terrängmodell (DEM)

Enbart en terrängmodell i sig själv ger information om var det är troligt att det bildas en översvämning till följd av en extrem regnhändelse. Potentiella problemområden, dvs. svackor/lågpunkter i terrängen, kan identifieras utifrån terrängmodellen (DHI m.fl. 2012; Paludan m.fl. 2011). En förutsättning är att terrängmodellen är tillräckligt detaljerad för att resultaten ska vara användbara. En upplösning på 1-5 m rekommenderas för att kunna beskriva urbana strukturer som vägar och hus på ett tillfredsställande sätt. (Prodanovic m.fl. 1998; Mark m.fl. 2004) Med en grövre upplösning tenderar översvämningsutbredningen att ”smetas ut” och resultera i mindre vattendjup (Adullah m.fl.

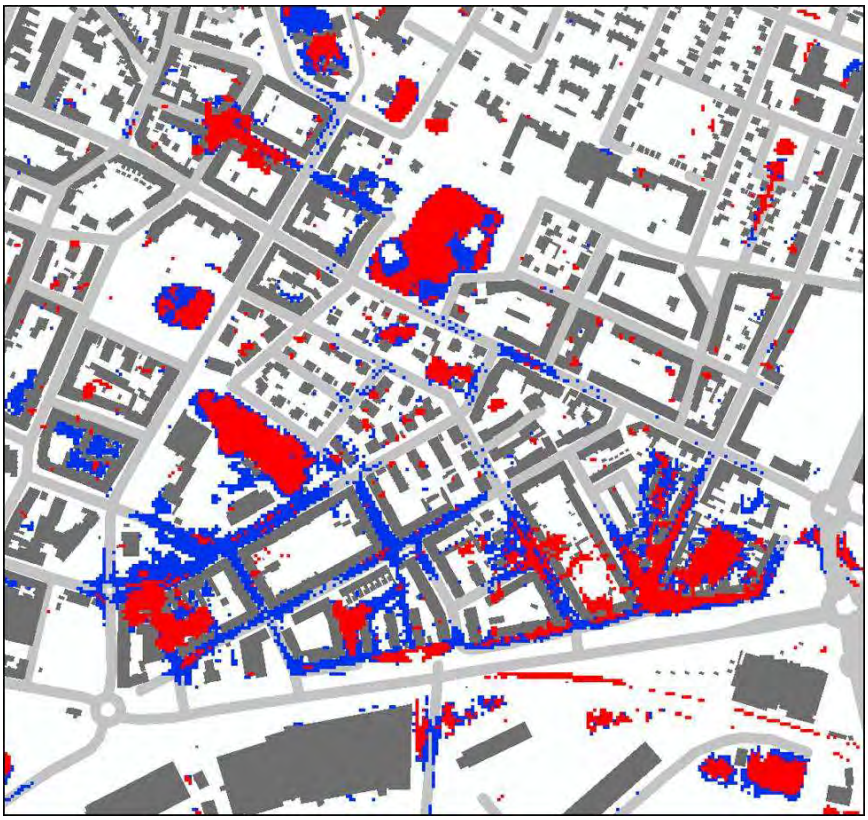
2012; Vojinovic m.fl. 2010) I Figur 16 illusteras hur detaljeringsgraden varierar med terrängmodellens upplösning.



Figur 16 Exempel på bearbetad höjdmodell med olika upplösning, från Henonin m.fl., 2013.

I dagsläget finns laserskannad höjddata i form av Nya nationella höjdmodellen (NNH) tillgänglig för stora delar av Sverige. Upplösningen är 2x2 m och noggrannheten på plana hårdgjorda ytor i NNH är normalt bättre än 0.1 meter (Lantmäteriet, 2011).

En bearbetning av den råa höjdmodellen är allt som oftast nödvändig för att beskriva de verkliga vattentransportförhållandena. Detta innebär i praktiken att höjdmodellen behöver justeras så att byggnader och andra vattenhinder inkluderas i modellen. På motsvarande sätt behöver vattenvägar som inte existerar i den råa höjdmodellen läggas in. Ett exempel är broar (viadukter) som fungerar som barriärer i den obearbetade höjdmodellen precis som vägtrummor och kulverterade sträckor av vattendrag och diken gör. Om inte höjdmodellen justeras för att inkludera verkliga vattenhinder och –transportvägar kan stora skillnader i beräknad översvämningsutbredning uppstå (se Figur 17). (Abdullah m.fl. 2012; Vojinovic m.fl. 2011; DHI m.fl. 2012)

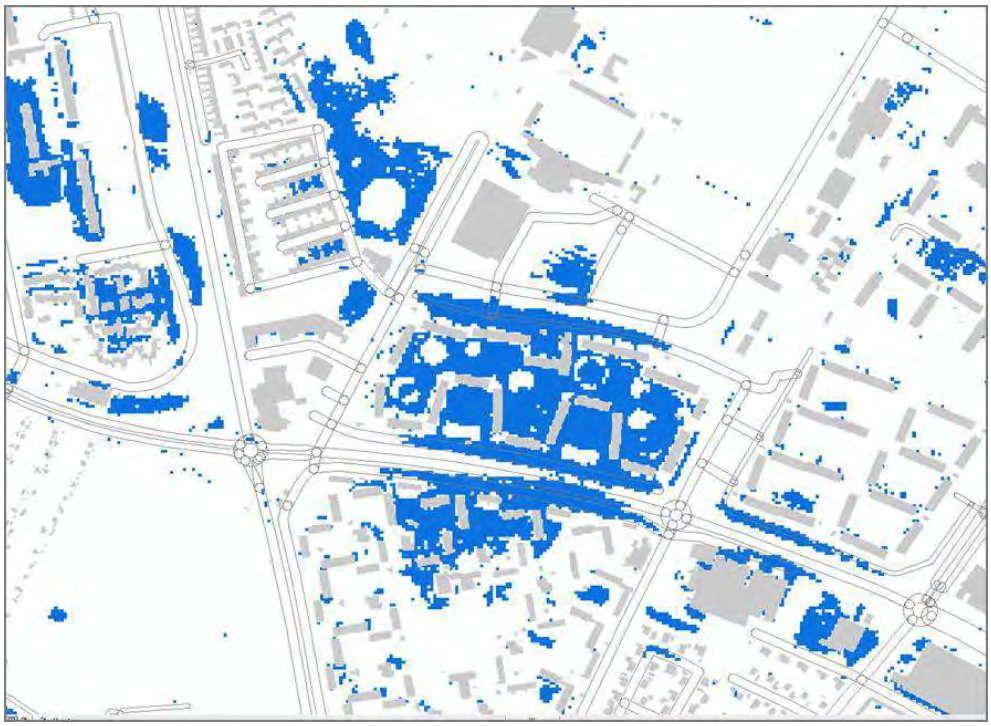


Figur 17 Översvämmad yta beräknad med (blå områden) och utan (röda områden) hänsyn till byggnader. Bild: DHI

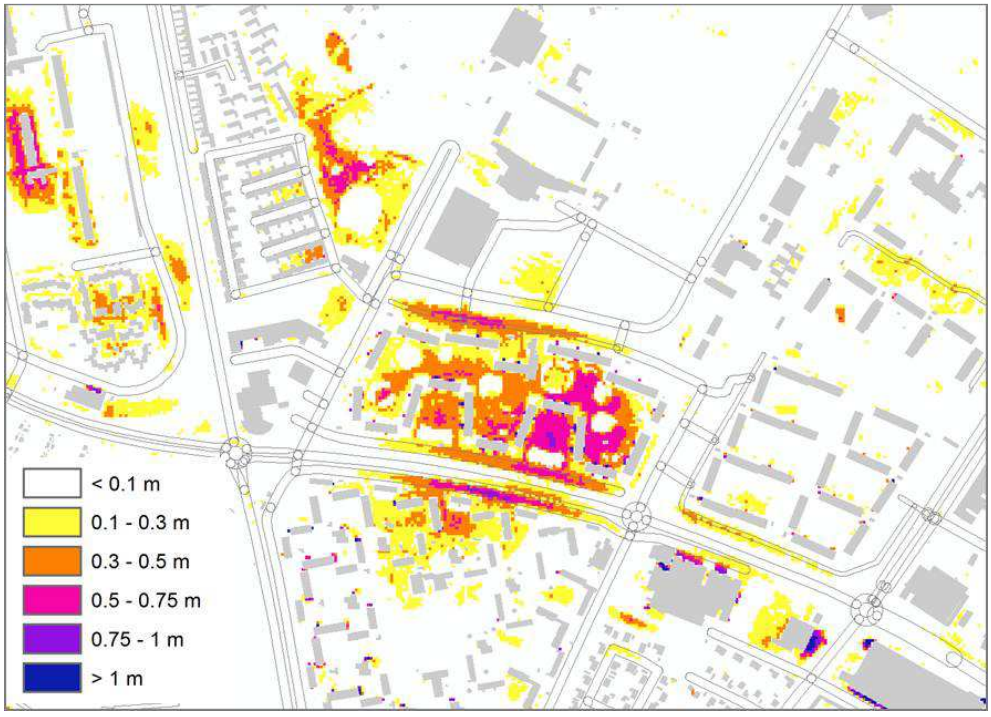
4.2.2 **Analys av lågpunkter**

Med hjälp av analyser i GIS är det möjligt att identifiera lågpunkter i terrängen där vatten riskerar att ansamlas. (Jha m.fl. 2012; DHI m.fl. 2012; Paludan m.fl. 2011). I den här typen av beräkningar antas oftast alla ytor vara impermeabla, dvs. det finns ingen möjlighet för vatten att infiltrera eller rinna upp eller ner i dagvattensystemet.

Utifrån den inledande identifieringen kan utbredning, volymer och djup beräknas för respektive fördjupning/lågpunkt (se Figur 18 och Figur 19). Ytterligare analyser kan göras för att beräkna flödesvägar samt respektive lågpunkts tillrinningsområde (se Figur 20). Det är viktigt att poängtera att analysen inte säger något om vilka nederbördsmängder som krävs för att lågpunkterna ska fyllas med vatten. Man bör även vara uppmärksam på felaktigheter som kan uppstå då ingen hänsyn tas till hydrodynamiken i systemet. Fördelen är att analysen är enkel och snabbt ger en överblick över stora geografiska områden (DHI m.fl. 2012; Paludan m.fl. 2012).



Figur 18 Beräknad översvämningsutbredning baserat på GIS-analys av lågpunkter. Bild: DHI

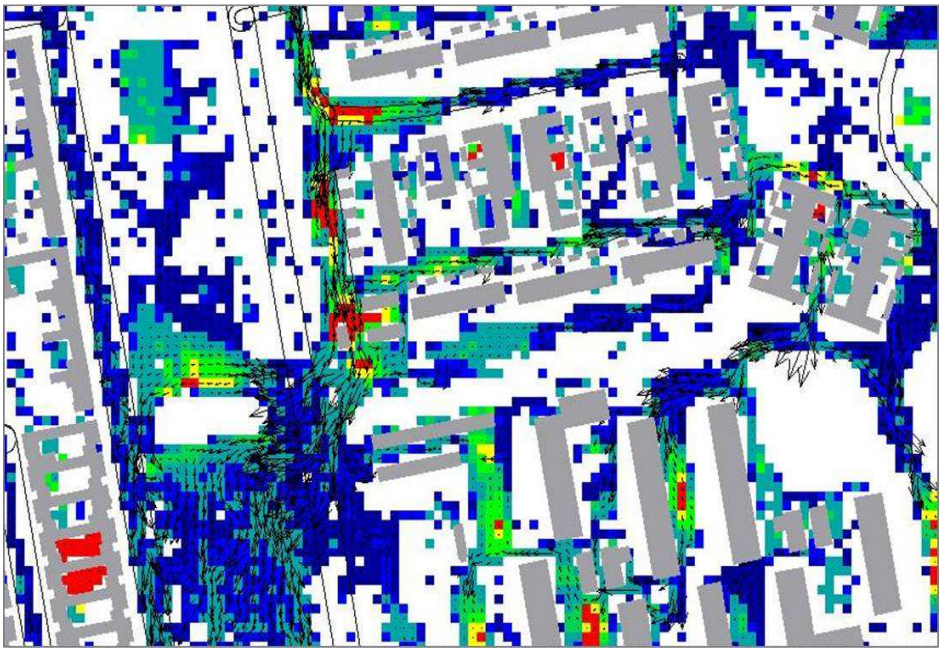


Figur 19 Beräknat översvämningsdjup baserat på GIS-analys av lågpunkter. Bild: DHI

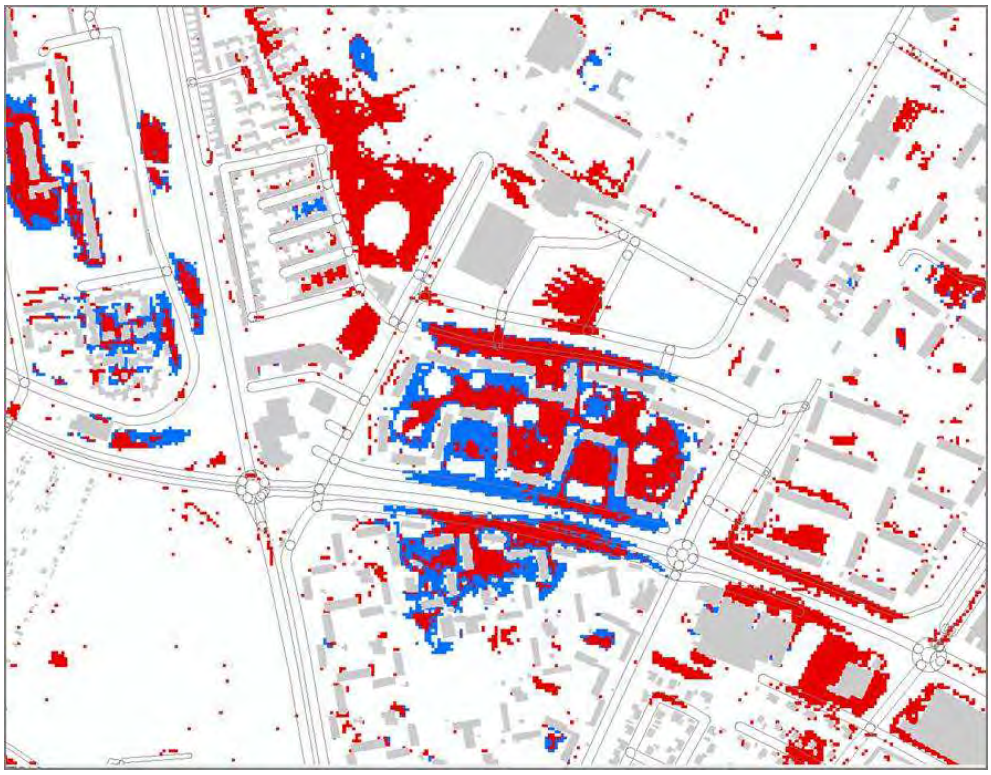
Figur 20 Beräknade tillrinningsområden (svarta linjer) till identifierade lågpunkter. Bild: DHI

4.2.3 Markavrinningsmodell (2D)

Metoden beskriven ovan beräknar enbart lågpunkternas maximala djup och utbredning. Genom att komplettera med information om hårdgjorda ytor finns underlag för att göra hydrauliska beräkningar av markavrinningen för riktiga regnhändelser (Gourbesville 2009; Henonin m.fl. 2013). Förutom vattendjup kan flödesriktningar och hastigheter beräknas, se exempel i Figur 21. I Figur 22 visas jämförelse mellan beräknad översvämningsutbredning beräknat med GIS utifrån lågpunktsanalys och beräknat med en tvådimensionell modell (MIKE 21).



Figur 21 Beräknat översvämningsdjup (färgskala) och flödeshastighet (vektorer). Bild: DHI



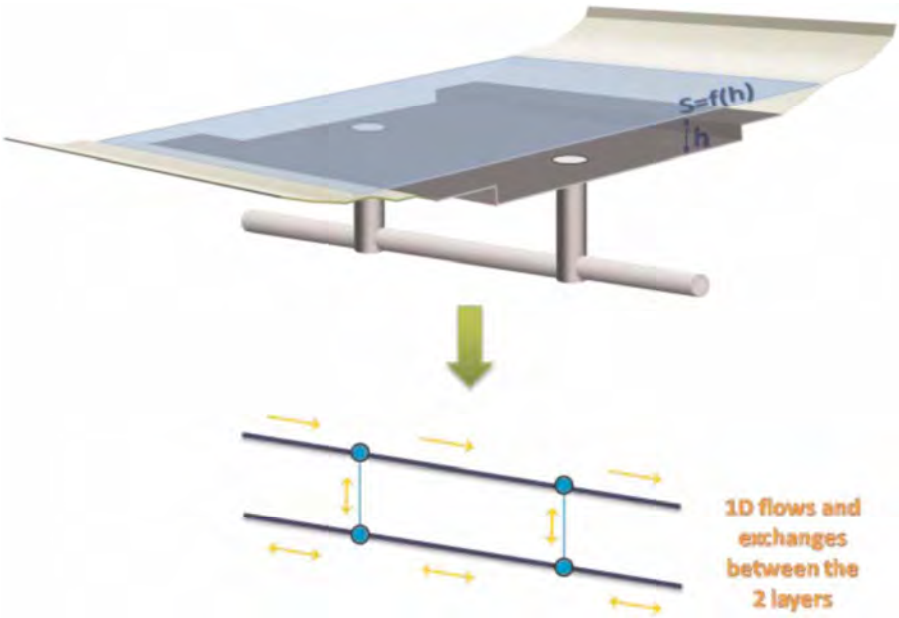
Figur 22 Beräknad översvämningsutbredning med MIKE 21 (röda områden), en 2D-modell, och från analys av lågpunkter i GIS (blå områden). Bild: DHI

En tvådimensionell beräkning av flödet på markytan ger en bra beskrivning av förhållandet mellan bidraget från uppströms liggande områden och volymen av lågpunkterna. Däremot tas ingen hänsyn till den aktuella kapaciteten i ledningsnätet. Dock kan man göra schablonmässiga antaganden om ledningsnätets kapacitet genom att vid beräkningen exkludera den del av regnet som bedöms kunna avledas av ledningsnätet. Som nämnts tidigare hänger noggrannheten i beräkningarna ihop med dels höjdmodellens upplösning och storleken på beräkningsnätet.

Fördelen med denna metod är det går snabbt att få en överblick över ett stort område (beräkningstiden kan vara relativt lång men etablering av modellen går förhållandevis snabbt). Däremot fångas inte dynamiken i översvämningsförloppet på ett korrekt sätt i de områden där det finns ett ledningsnät. Metoden är lämplig då t.ex. information om ledningsnätet saknas, om ledningsnätet inte har så stor påverkan på den studerade översvämningssituationen (exempelvis vid regn med hög återkomsttid) eller då områden som helt saknar ledningsnät ska analyseras. (Henonin m.fl. 2013)

4.2.4 Kombinerad dagvattenmodell (1D) och modell för nätverk av flödesvägar på markytan (1D)

Den här metoden kombinerar en 1D-modell för dagvattensystemet med en 1D-modell för flödesvägar (huvudsakligen vägar) på markytan (Stephenson 1987; Djordjevic m.fl. 1999; DHI m.fl. 2012; Henonin m.fl. 2013). Utbytet mellan modellerna sker via dagvattenbrunnar. Detta illustreras i Figur 23.



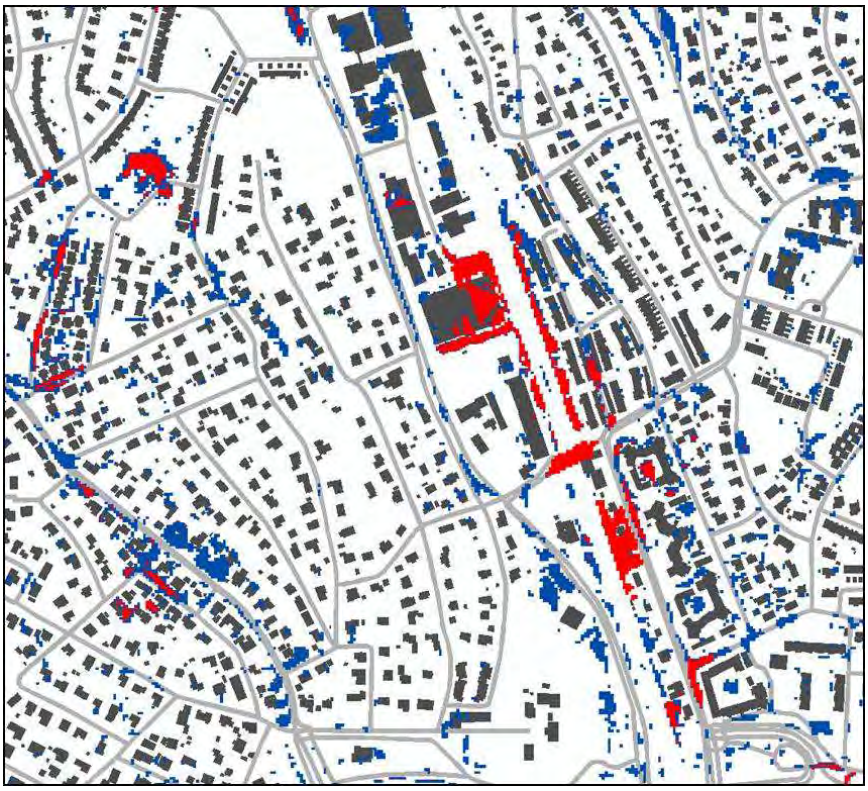
Figur 23 Illustration av 1D-1D modell, från Henonin m.fl. 2013.

Allt flöde på markytan utanför de fördefinierade flödesvägarna hanteras genom olika magasinsfunktioner. Arbetet att sätta upp en 1D-modell för flödesvägarna och magasinen kräver mycket information/data och är dessutom tidskrävande även om det utvecklats automatiska GIS-rutiner för detta. Vidare krävs GIS-bearbetning av resultaten för att få fram en översvämningskarta. (Mark m.fl. 2004; Simões m.fl. 2010; Henonin m.fl. 2013)

4.2.5 Kombinerad dagvattenmodell (1D) och markavrinningsmodell (2D)

Den mest korrekta men även mest avancerade och tidskrävande (avseende beräkningstid) metoden att beskriva en pluvial översvämning är med en 1D-modell för dagvattensystemet kopplad till en 2D-modell för markavrinningen. Metoden är tidigare beskriven av bland andra Hsu m.fl. 2000; Mark m.fl. 2004; Djordjevic m.fl. 2005, Chen m.fl. 2005 och Vojinovic och Tutulic 2009. Med denna metod beskrivs strömningen och vattenuppfyllnaden i ledningssystemet och markavrinningen på ytan. På så sätt fångas dynamiken i översvämningsförloppet, såväl variationen med hänsyn till nederbördens förlopp såsom dynamiken i ledningsnätets avledningsförmåga. Till skillnad från 1D-1D metoden beskriven ovan kan vattnet strömma fritt på markytan enligt topografin.

På marknaden finns idag ett antal programvaror med vilka tvådimensionella översvämningsberäkningar kan göras, med eller utan ledningsnät. De mest använda är MIKE FLOOD (DHI 2012b) och InfoWorks (Innovyze 2012).



Figur 24 Jämförelse mellan beräknad översvämningsutbredning med MIKE Urban Flood (röda områden) och beräkning av lågpunker i GIS (röda och blå områden). Bild: DHI

4.2.6 Jämförelse av metoder

Vilken beräkningsmetod/modell som väljs beror i stor utsträckning på vad syftet är. Om syftet är att snabbt få en överblick över områden som riskerar att översvämmas är oftast analys av lågpunkter i GIS eller en tvådimensionell översvämningsberäkning utan ledningsnät ett bra val. En tvådimensionell hydraulisk beräkning är dock att föredra framför GIS-analys. Fördelarna ligger här främst i att översvämmade ytor och vattendjup kan relateras till olika typer av regn; att tidsförloppet kan studeras på ett bättre sätt (maximala vattendjup inträffar vid olika tidpunkter i olika delar av området); samt att vattenhastigheterna kan beräknas. Den senare aspekten kan vara viktig för att bedöma konsekvenserna (erosionsrisk etc.) vid extrema skyfall.

Om syftet däremot är att studera mer i detalj när ledningsnätets kapacitet överskrids och vad det får för konsekvenser för regn med olika intensitet och varaktighet kan inte ledningsnätet bortses ifrån. Detsamma gäller då specifika åtgärder i ledningsnätet ska studeras. Oftast är det lämpligt att börja översiktligt, utan ledningsnät, och sedan inkludera ledningsnätet i kritiska områden. Den mest korrekta beskrivningen av vattnets strömning på markytan fås med en 2D-modell. Det finns idag inget motiv till att beskriva flödet på markytan i 1D istället för 2D mer än att beräkningstiderna blir kortare.

Ledningsnätets betydelse minskar ju mer extrem nederbörden är. Vid händelser som den som inträffade i Köpenhamn sommaren 2011 har ledningsnätet en förhållandevis marginell betydelse. Med andra ord innebär detta att det oftast är möjligt att bortse från ledningsnätet om konsekvenserna av ett mycket extremt regn ska analyseras. Vid den typen av analyser är en tvådimensionell översvämningsberäkning oftast tillräcklig (avsnitt 4.2.3).

4.2.7 Prognossystem

Urbana översvämningsmodeller kan även användas som prognosverktyg och i system för tidig varning. Säkerheten i modellberäkningen är helt avhängig av kvaliteten/säkerheten i nederbördsprognosen som driver modellerna. Detta blir problematiskt då pluviala översvämningar ofta orsakas av konvektiva regn vilka är svåra att prognostisera vilket diskuteras utförligt i avsnitt 5.1.

Ofta kommer varning/prognoser nära inpå (fåtal timmar) själva regnet vilket vållar problem då beräkningstiden för detaljerade urbana översvämningsmodeller oftast är flera timmar. Detta gäller framförallt de metoder som inkluderar en 2D-modell för beräkning av marköversvämning. En lösning kan vara att använda sig av en databas med resultat från översvämningsberäkningar för olika regnscenarier. Ett sådant system byggs för närvarande upp för Amager, en del av/förort till Köpenhamn. Alternativt används ett modellsystem med kortare beräkningstid där resultaten således inte blir lika detaljerade. För Bangkok finns exempelvis ett system baserat på en 1D-1D modell (avsnitt 4.2.4) uppsatt. (Henonin m.fl. 2013)

Det pågår forskning inom området, bl.a. i det EU-finansierade projektet CORFU (COllaborative Research on Flood resilience in Urban areas) där modelleringsmetoder och realtidssystem utvecklas (Djordjevic m.fl. 2011). Inom projektet kommer bl.a. ett prognossystem (1d-2D modell) för Barcelona att etableras. (Henonin m.fl. 2013)

4.3 Sammanställning av skador

Utifrån enbart en översvämningskarta kan det vara svårt att uppskatta konsekvenserna av det studerade skyfallet. Genom att kombinera den beräknade översvämningsutbredningen och vattendjupet med information om markanvändning kan problemområden identifieras. En metod som använts av bl.a. Ahlman (2011) och Larsson (2012) är en kvantitativ analys av nyckeltal. Nyckeltal kan exempelvis vara antalet översvämmade byggnader eller översvämmad vägyta (m^2). Denna metod är även tillämplig då nyttan av olika åtgärdsalternativ ska utvärderas.

Beroende på vilket underlag som finns tillgängligt kan en mer noggrann sammanställning, än genom att enbart utvärdera nyckeltal, göras för identifierade problemområden. Exempelvis kan byggnader delas in efter typ (ex. villor och flerbostadshus) och/eller efter verksamhet (ex. skola, kommunal verksamhet etc.). Fördelen med att göra den indelning är att skadekostnaderna kan variera mycket mellan de olika typerna. (DHI m.fl. 2012;Paludan m.fl. 2011)

Nedan ges exempel på olika typer av fastigheter, verksamheter och infrastruktur som kan sammanställas:

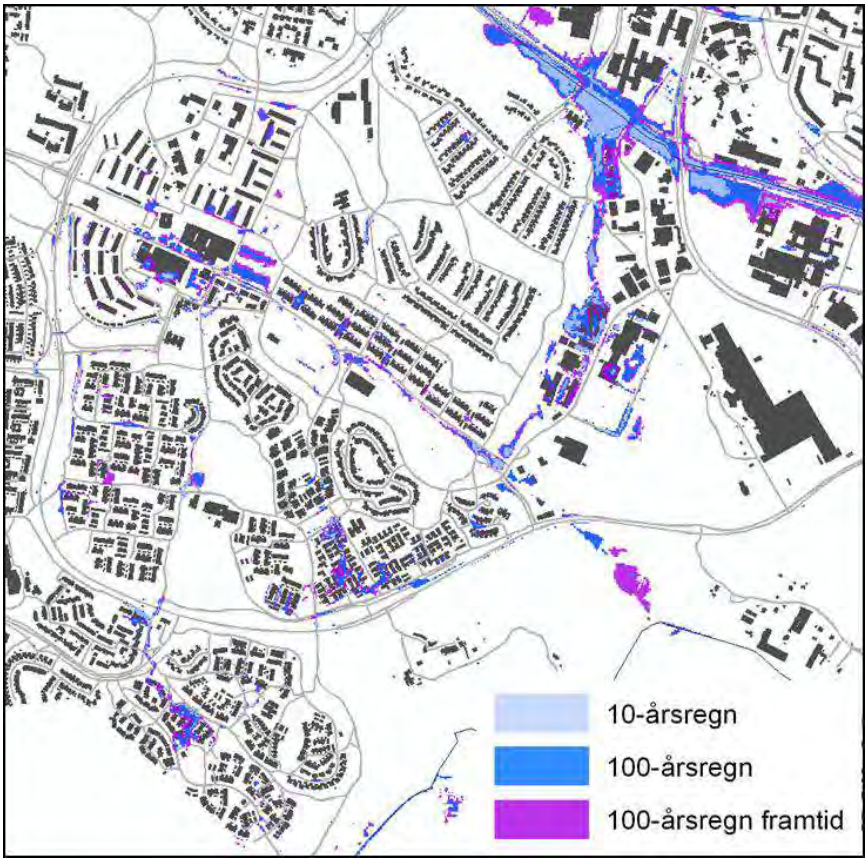
- Byggnader (villor, flerbostadshus, kommunala etc)
- Byggnader med källare
- Industrier
- Vägar och järnväg
- Elskåp och andra installationer
- MIFO- verksamheter (föroreningsklassade områden)
- Bensinmackar
- Pumpstationer och vattenverk

Innan analys och sammanställning bör några övervägande göras. Det handlar exempelvis om att bestämma vid vilket vattendjup ett elskåp kortsluts, källare översvämmas, vatten tränger in på bottenplan i byggnader eller vägar skadas. I

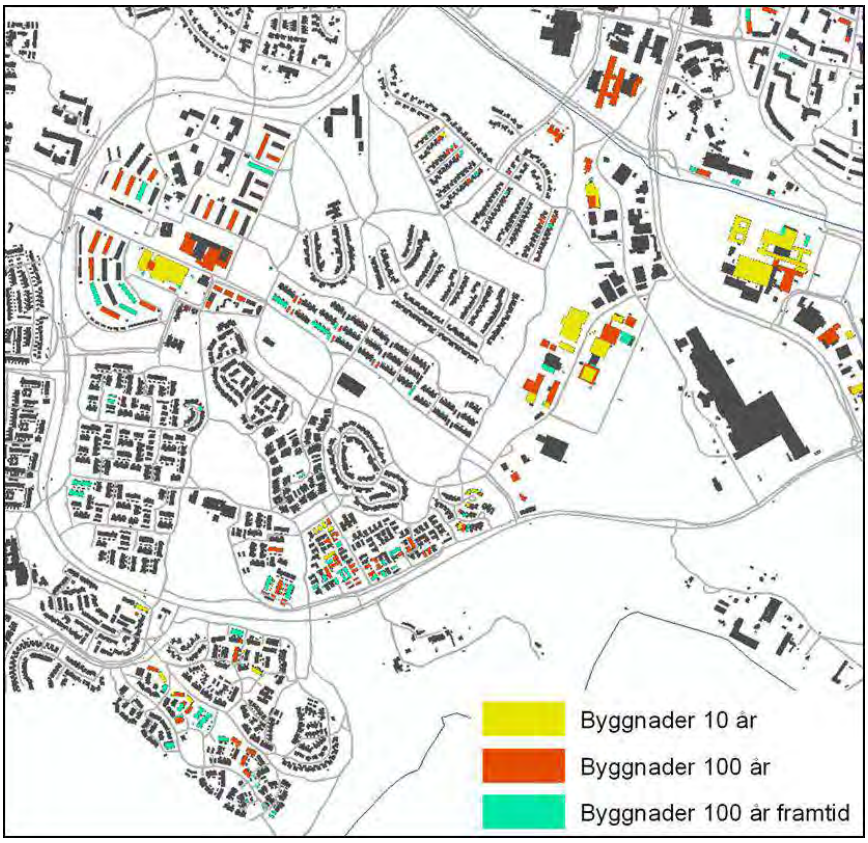
en mer översiktlig analys är det rimligt att anta att t.ex. alla byggnader översvämmas vid ett och samma djup medan det vid mer detaljerade studier kan vara aktuellt att differentiera mellan olika typer av byggnader eller t.o.m. enskilda fastigheter. Något som också bör värderas är osäkerheten i översvämningsberäkningarna. För att ta hänsyn till det kan en säkerhetsmarginal läggas till de beräknade vattendjupen (DHI m.fl. 2012; Paludan m.fl. 2011).

Enklast att utvärdera, räkna upp och värdesätta är direkta, tangibla skador. Indirekta konsekvenser är generellt svårare att bedöma (Freni m.fl. 2010). Dock är det viktigt att exempelvis analysera huruvida vitala kommunikationer påverkas, om tillfartsvägar till sjukhus riskerar att stängas av eller om viktiga samhällsfunktioner som el, vatten-, eller värmeförsörjning riskerar att påverkas. (DHI m.fl. 2012; Paludan m.fl. 2011)

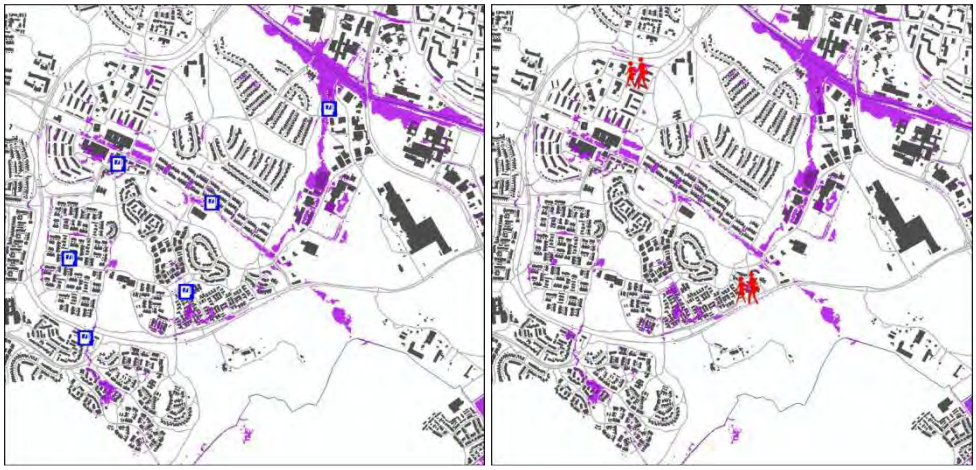
I följande figurer visas exempel på hur sammanställningen kan göras utifrån beräknade vattendjup och illustreras i GIS. I Figur 25 visas översvämningsutbredningen för tre regn: ett 10-årsregn, 100-årsregn och framtida 100-årsregn (dagens 100-årsregn med klimatfaktor). I Figur 26 har översvämmade byggnader markerats för respektive regn. Figur 27 visar elskåp där det beräknade vattendjupet överstiger 0.4 m samt förskolor som riskerar att översvämmas.



Figur 25 Beräknad översvämningsutbredning för 10-, 100- och framtida 100-årsregn. Bild: DHI



Figur 26 Översvämmade byggnader vid 10- och 100-årsregn i dagens klimat samt framtida 100-årsregn. Bild: DHI



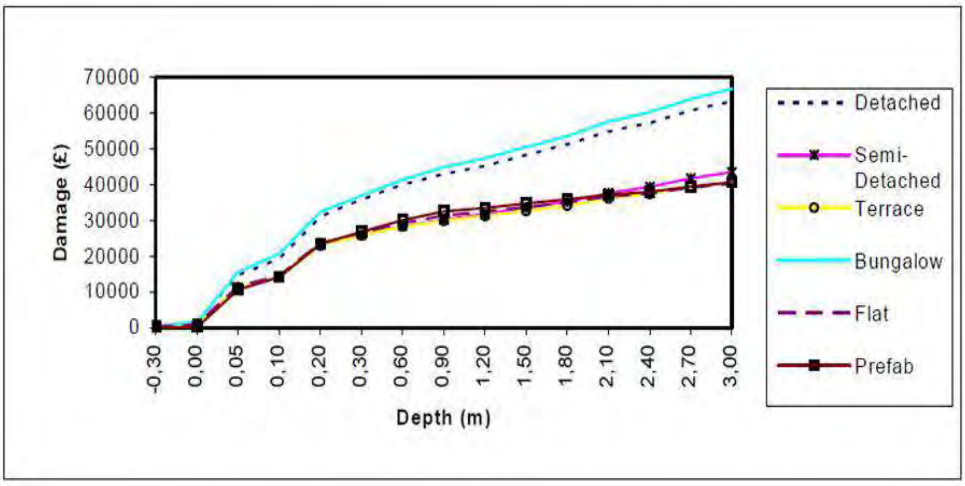
Figur 27 Drabbade elskåp (vänstra bilden) och förskolor (högra bilden). Bild: DHI

4.4 Värdering av skador och prioritering av områden

För att kunna prioritera mellan olika områden måste listade skador värderas. Särskilt viktigt blir det vid kostnad-/nyttoanalyser där skadekostnader ska vägas mot åtgärdskostnader. Skadevärdering är i sig en vetenskap som inte kommer att behandlas i detalj i den här rapporten.

I verkliga tillämpningar brukar skadevärderingen endast omfatta tangibla skador då dessa kan kopplas till en kostnad samt relateras till hydrauliska parametrar som vattendjup eller –hastighet, uppmätta eller från modellberäkningar (Freni m.fl. 2010). Värderingen kan göras schablonmässigt genom att för varje skadetyp (t.ex. byggnader med källare, villor, vägar etc.) ansätta en skadekostnad. Denna kan exempelvis vara baserad på marknadsvärdet för villor i området eller kostnaden för att anlägga ny väg (Messner m.fl. 2007).

I sammanhanget talas det ofta om ”flood damage curves” vilka beskriver skadekostnaden som funktion av skadetyp och vattendjup, se Figur 28. I dagsläget finns inga ”flood damage curves” för bebyggelse framtagna för svenska förhållanden. För andra länder finns detta tillgängligt, exempelvis för Tyskland och England (Messner m.fl. 2007). I ett pågående forskningsprojekt (Olsson, 2012b) är ett av momenten att härleda skadefunktioner genom analys av empiriska försäkringskostnader för ett antal inträffade skyfall i Sverige.



Figur 28 Skadekostnaden som funktion av vattendjupet för olika byggnadstyper, från Messner m.fl. 2007.

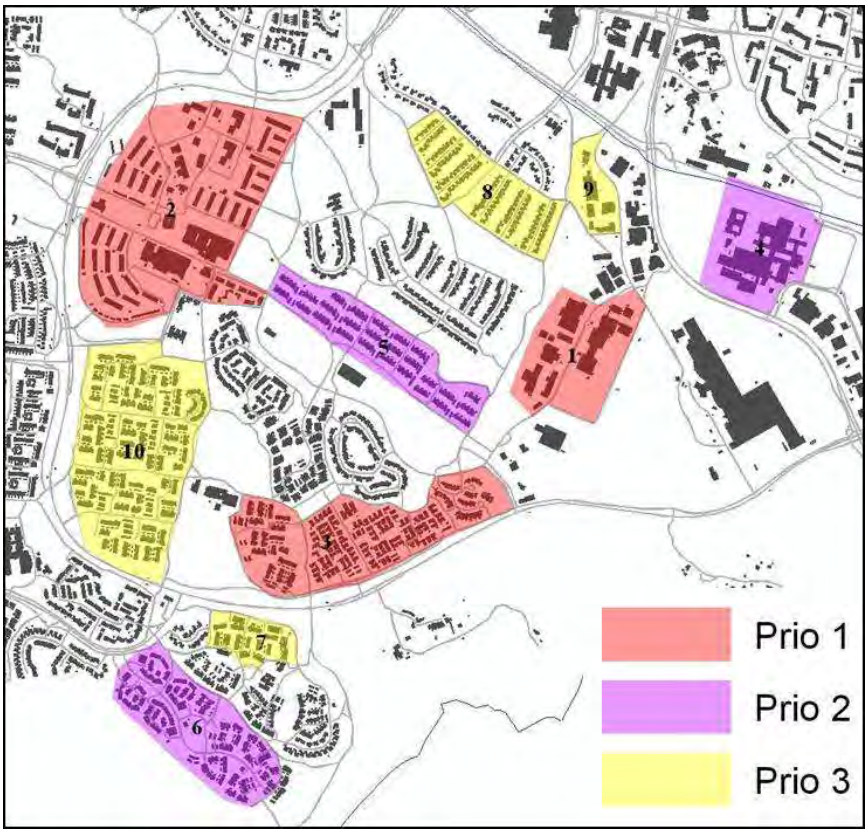
Vägverket har tagit fram en variant av ”flood-damage curves” för vägsträckor (Vägverket 2005a,b).

Genom att kombinera skadekostnaden för en händelse med frekvensen fås den totala risken. I en riskanalys bedöms således både sannolikheten för att en händelse inträffar och konsekvenserna av denna händelse. Rent matematiskt kan risk uttryckas som sannolikhet gånger konsekvens. I Figur 29 visas en så kallad riskmatris med konsekvensen på x-axeln och frekvensen (=1/återkomsttid) på y-axeln. Konsekvensen kan vara kopplad till ett skadekostandesintervall men behöver inte nödvändigtvis vara det. Risken är högst uppe i det högra hörnet av matrisen och lägst nere i vänstra hörnet. Röda områden indikerar en icke tolerabel risk och gröna områden en försumbar risk.

Klassificering		Ingen	Obetydlig	Marginell	Allvarlig	Kritisk	Katastrofal
Frekvensklass Antal per år		0	1	2	3	4	5
10 – 100	7	7	8	9	10	11	12
1 – 10	6	6	7	8	9	10	11
0,1 – 1	5	5	6	7	8	9	10
0,01 – 0,1	4	4	5	6	7	8	9
0,001 – 0,01	3	3	4	5	6	7	8
0,0001 – 0,001	2	2	3	4	5	6	7
0,00001 – 0,0001	1	1	2	3	4	5	6

Figur 29 Riskmatris efter Paludan m.fl. 2011.

Gränsdragningen mellan vad som är en allvarlig och kritisk konsekvens eller mellan vad som är en icke tolerabel och oönskad risk (gula områden i Figur 29) är naturligtvis till viss del subjektiv. Den här typen av matriser kan vara användbara vid prioritering mellan olika delområden i staden eller då olika riskreducerande åtgärder ska utvärderas och jämföras. I Figur 30 visas prioriteringsordningen för olika delområden baserat skadevärdering av sammanställda skador vilka illustrerats i Figur 26 och Figur 27.



Figur 30 Prioriteringsordning för åtgärder baserat på värdering av skador. Bild: DHI

5. Vad kan olika aktörer göra?

5.1 På kort sikt (timmar, dagar) – prognoser

5.1.1 Direkta åtgärder vid inträffade händelser

Ofta tar den kommunala räddningstjänsten hand om den akuta insatsen. Avsikten med enskild räddningsinsats föranledda av skyfall är att rädda värdefullt lösöre och om möjligt förhindra ”stigande vatten” och säkra verksamhetens funktion. En viktig del är att ge råd till hjälpsökande för dennes eget agerande (Ekberg, Gillesén och Nyth, 2011).

Det är viktigt ur ansvarsynpunkt att skilja på marköversvämningar och översvämningar orsakade genom dämning i avloppsledningsnätet, då olika skador belastar olika kollektiv (VA-kollektivet eller skattekollektivet). Har översvämningen uppstått i ett ”VA-förhållande”, ex. uppträngning via spillvattenavlopp, kan VA-huvudmannen bli skadeståndsskyldig om hen inte kan visa att avloppssystemet är korrekt dimensionerat. Vid inträngning av ytvatten från gator och omgivande mark kan det vara väghållaren eller den ansvarige för de allmänna ytorna som bär ansvaret (Svenskt Vatten, 2007).

För den drabbade som får översvämning i sin källare innebär detta ett stort obehag och en mängd extra arbete. Den ekonomiska ersättningen man eventuellt kan få ut från sitt försäkringsolag eller från kommunen uppväger aldrig de olägenheter och skador man drabbas av.

En vanlig villa- eller fritidshusförsäkring gäller för skada på byggnad och lös egendom när vatten strömmar direkt in i huset genom fönster, dörröppningar eller ventiler eller om vatten tränger upp ur avloppsledning inomhus och det beror på skyfall (minst 1 millimeter per minut eller 50 millimeter per 24 timmar), snösmältning eller stigande sjö alternativt vattendrag. Försäkringen täcker inte läckage genom grundmuren på grund av bristande dränering, den täcker inte heller skada på simbassäng, båthus, sjöbod, badhytt eller växthus. Självrisken är normalt 10 procent av skadebeloppet eller lägst 10 000 kronor för skada på byggnad och uthus (lansforsakringar.se, 2012-07-17).

NSVA ger följande råd på sin hemsida (nsva.se):

- Råd vid risk för översvämning i din källare
  - Ta bort värdefulla eller känsliga föremål från källaren.
  - Rensa brunnar, lövsilar och hängrännor på din fastighet för att undvika stora vattensamlingar runt huset.
  - Bor du inom område med stor risk för översvämning bör du överväga att köpa en dränkbar pump för tömning av källaren.
  - Förbered med att ha tunga tättslutande föremål till exempel sandsäckar som kan läggas över golvbrunnar samt toalettstolar i källarplanet.
- Om du drabbas av översvämning
  - Bryt all elektrisk ström i de översvämmade lokalerna på grund av att vattnet kan bli strömförande. Se dock till att eventuell dräneringspump inte stannar.
  - Flytta om möjligt värdefulla eller fuktkänsliga föremål från källaren.
  - Vid behov av pumpning kontakta Räddningstjänsten i din kommun.
  - Var noga med hygien efter kontakt med inträngande avloppsvatten.
  - Kontakta omgående ditt försäkringsbolag och kräv besiktning av skadan.
  - Ordna hjälp med skadereglering och uttorkning.
  - Anmäl översvämningen till NSVA

5.1.2 Nyttan av prognoser

Nyttan av ett prognossystem, eller på engelska Early Warning Systems, EWS, hänger dels ihop med ”förutsägbarheten” hos ”störningsfaktorn” – i detta fall förekomsten av nederbörd till intensitet och volym. För tröga system, t.ex. flöden och nivåer i större vattendrag är inte exaktheten i förutsägelsen till kvantitet och intensitet så viktig, men det råder alltid en viss osäkerhet i prognosutfallet, beroende på modell- och parameterosäkerheter, osäkerheter i indata etc., Abhas m.fl. (2012). Vidare är nyttan med prognosen relaterad till ”prognosho-risonten”, hur lång tid framåt den sträcker sig och om det finns tid och möjlighet att vidta kortsiktiga åtgärder som hinner få effekt för att mildra ogynnsamma konsekvenser.

För urbana avrinningsförlopp är det höga krav på förutsägelsen med avseende på exakthet i det annalkande regnets förlopp, både till volym och till intensitet, om man ska kunna avgöra om det är någon fara på taket.

En åtgärd för att undvika skada kan vara att flytta bort värdefull och känslig egendom från riskområdet. I Tabell 4 anges uppskattade ledtider för olika flyttmoment, Abhas m.fl. (2012).

Tabell 4 Tidsuppskattningar för att flytta olika saker. Från en filippinsk manual, återgiven av Abhas m.fl. (2012).

<30 minutes	<2 hours	<4 hours	>4 hours
Television	Karaoke	Large appliances such as a refrigerator	Big oven, freezer
Stereo equipment	Microwave, small stove, toaster	Bookcases, dining furniture	Kitchen utensils
Small electrical appliances	Items in cupboards	Carpets	Beds
Personal effects	Expensive clothing	Additional clothing and personal effects	
	Vehicles	Chickens, pigs	

Ledtiden för en räddningsinsats vid en allvarlig översvämningshändelse är 6-8 timmar. Detta för att sammankalla personal, rekvirera utrustning och eventuellt förstärka med centrala MSB-resurser[8]. Tiden kan variera beroende på om skadefallet inträffar i en storstad eller i glesbygd. Enklare åtgärder som att upprätta vägavstängningar kan genomföras inom 15-30 minuter.

Med radarteknik kan man upptäcka föremål och bestämma deras position. En väderradar övervakar nederbörd och gör det med hög upplösning i både tid och rum. Tekniken används av meteorologiska institut (ex. SMHI, DMI) som ett hjälpmedel när man gör meteorologiska och hydrologiska prognoser.

Den typ av radar som används av de meteorologiska instituten i vår del av världen benämns C-band-radar, som har en räckvidd på 240-250 km och en horisontell upplösning (pixelstorlek) på ca 2*2 km. Information från flera närliggande väderradar kan sättas samman till en bild som täcker ett större geografiskt område (smhi.se, dmi.dk).

[8] Gillesén D. (2013-01-18) – muntlig uppgift.

DHI har utvecklat en kortdistans-väderradar (Local Area Weather Radar, LAWR) för att detektera den areella variationen i intensitet och volym hos lokala regn (radar.dhigroup.com). Tekniken bygger på marin s.k. X-band-radar, avsevärt billigare än en C-band-radar. Räckvidden anges vara 60 km för en ”kvalitativ” prognos och 20 km för detaljerade kvantitativa uppskattningar. Den horisontella upplösningen är mycket detaljerad, kan varieras från 500* 500 m ned till 100*100 m.

Tekniken, när man utnyttjar väderradarinformation för prognosändamål, kallas ”nowcasting”, brukar på svenska översättas till ”korta nederbördsprognoser”. Den innebär förenklat att man i en sekvens av radarbilder uppskattar hastighet och riktning på vädersystemet för att förutse utvecklingen en kort tid framåt. För att förlänga tidshorisonten kan informationen kombineras med resultatet av numeriska klimatmodeller (metoffice.gov.uk).

Thorndahl m.fl. (2010) utnyttjade under en period online-information från 8 olika X- och C-band radar. Slutsatsen från studien var att det är möjligt att göra en någorlunda tillförlitlig ”nowcast” inom en radie av 100 km och med en ledtid på 60 minuter. Utanför 60 minuter och 100 km räckvidd är endast kvalitativa förutsägelser möjliga. Tillförlitligheten hänger dessutom ihop med vädersystemets karaktär. Den blir mycket god vid frontregn (”stratiform conditions”), som ju har ett stabilt rörelsemönster, sämre vid mera lokala cirkulationsmönster (”cyclonic rotation”), och mycket dålig för den tredje nederbördstypen som undersöktes: konvektivt skyfall. Det beror på att en nowcast bara baseras på extrapolering av radarbilder, och därför inte kan förutsäga skyfall som ”uppstår” i konvektiva nederbördsceller på grund av hävning av fuktiga luftmassor.

Det var ju synd, eftersom det var just detta vi var ute efter: tillförlitliga korttidsprognoser för häftiga skyfall. Svårigheterna illustreras av situationen i Köpenhamn strax före skyfallet. Det var först 15 minuter innan det drabbade staden som DMI uppgraderade riskmeddelandet till en varning (Beredskabsstyrelsen, 2012).

Väderradardata kan dock vara mycket värdefulla i efterhand, historiskt, när en uppkommen situation ska analyseras. Skyfallen har ju ibland en tendens att slinka förbi nederbördsstationer på marken. Speciellt LAWR-data kan ge en mycket detaljerad bild över ett nederbördsförlopp som inträffat över ett område. Vejen (2011) redovisar en analys av Köpenhamnsregnet baserat på DMI:s historiska väderradardata.

DMI planerar, för att tillmötesgå önskemål med anledning av det inträffade i Köpenhamn, att förbättra sin service genom förbättrade radarmätningar och modellberäkningar för att möjliggöra varningar för riskabelt väder, d.v.s. skyfall, tidigare och på en mer lokal nivå än hittills. Man planerar att dela in Danmark i ett 20-tal regioner som ersättning för de 8 mycket stora områden som DMI hittills har varslat inom. Man understryker dock, att det fortsatt kommer att vara mycket vanskligt att förutsäga skyfall både i tid, i rum och till nederbördsmängd (Beredskabsstyrelsen, 2012).

Hvidovre kommun, sydväst om Köpenhamn, har sedan 2008 ett varningssystem on-line som baseras på lokala nederbördsprognoser från LAWR-data. Radarbilder tas fram var 5:e minut och används för att uppdatera prognosen för den kommande timmen. Prognosen används tillsammans med historisk data för att beräkna den ackumulerade nederbörden för 22 delavrinningsområden. Varningar skickas sedan ut, via e-mail eller sms, om fördefinierade kritiska nivåer väntas överstigas. (Henonin m.fl. 2013)

I ett pågående MSB-projekt (2012-2015) : “High-resolution precipitation forecasts for hydrological risk assessment” (Förbättrad beredskap för lokala extrema vattenflöden), Olsson 2012b, kommer tekniken att utvecklas för

svenska förhållanden. I en delrapportering från projektet (Olsson m.fl. 2013) tillämpat på 48 svenska extrema regntillfällen redovisas att förutsägbarheten för en 3-timmarsprognos med använd teknik kunde uttryckas som att ca 20 % av extremvärdena var prognosticerade korrekt geografiskt med ett fel mindre än 25 %. Prognosvärdet minskade om ledtiden ökades till 8 h, och försvann vid ledtiden 24 h. Stora svårigheter redovisas att korrekt förutsäga korttids-(här: 3 h)- extremer.

5.2 På lång sikt (år) – samhällsplanering

I detta avsnitt redovisas översiktligt möjligheter att reducera konsekvenser av häftig regnpåverkan på lång sikt. Redovisningen är översiktlig. För detaljer hänvisas till rapporter/handböcker i litteraturlistan.

Att avgöra vad som är ”rätt” förebyggande åtgärd är inte enkelt. Det finns en tendens, och det är väl naturligt, att VA-huvudmannen känner sig tvingad att prioritera ”att göra något” just inom det område där skyfallet råkat drabba bebyggelsen, även om det kan finnas andra delar av ledningssystemet som i någon objektiv mening är känsligare och kanske borde prioriteras.

Thorsteinsson och Larsson (2012) diskuterar om lokala översvämningar orsakade av exempelvis skyfall fått en underordnad uppmärksamhet i den fysiska planeringen då fokus har varit på regionala händelser och översvämningar från kust, sjöar och vattendrag utifrån översvämningsförordningen.

Det är ju så, att t.ex. vallar som byggts som skydd mot fluviala översvämningar kan innebära att instängda områden skapas, vilket försvårar den urbana avrinningen och ökar risken för pluviala översvämningar.

5.2.1 Befintlig bebyggelse

Spillvattensystem

Akuta kapacitetsproblem i spillvattenförande ledningar orsakas oftast av det komplexa begreppet ”tillskottsvatten”, se Figur 4. De kommunala VA-huvudmännen i Sverige har under de senaste 40 åren haft ambitionen att genom undersökningar och åtgärder minska de oönskade flödestillskotten, allt för ofta utan påtagligt resultat.

Till en början var insatserna till stor del motiverade av miljöskäl, för att minska tillrinningen till reningsverken och förekommande bräddningar av orenat avloppsvatten till recipient, men ständigt med högst prioritet: att minska risken för källaröversvämning. Det finns ett stort antal rapporter om problemet, ex. Bäckman m.fl. 1997, och senast Lundblad och Backö (2012), där följande källor för tillskottsvatten anges:

- Felaktigt anslutna ytor (takytor, gatuytor, gårdsytor etc.).
- Inläckage av olika typer (inläckage av grundvatten via otäta fogar eller sprickor, inläckage av utläckande dricksvatten).
- Vattentillskott via kända nöd- och bräddavlopp (med och utan bakvattenstopp).
- Vattentillskott via okända överkopplingar mellan spill- och dagvattenledningar.
- Vattentillskott från anslutna fastigheters dräneringar.

- Överläckage från otäta dagvattenledningar till otäta spillvattenledningar på allmän och privat mark.
- Vattentillskott via otäta spillvattensbrunnslock.

I rapporten anges ett antal undersökningsmetoder för att hitta källorna till tillskottsvattnet, som t.ex.: flödesmätningar, TV-filmning, anslutningskontroll. Vi går här inte in på de konkreta åtgärdsmöjligheter som finns för att förbättra systemfunktionen i dessa avseenden, på annat sätt än att nämna att de går ut på att uppnå ett spillvattensystem som är så tätt som möjligt, inte belastas av direkt nederbördspåverkan från felkopplade ytor samt tillförs dräneringsvatten i så liten utsträckning som möjligt.

Dagvattenavledning

I Svenskt Vatten P105 ges exempel på möjliga åtgärder inom befintliga områden, men man betonar att det kan krävas detaljundersökningar om dessa är möjliga att genomföra i praktiken. Man är t.ex. begränsad av att bebyggelsens höjdsättning är fastlagd.

- Bortkoppling av stuprör.
- Översyn av anslutningar, ex. för dränvatten.
- Strypning av dagvattenintag.
- Borttagning av kantsten
- Anläggning av infiltrationsstråk.
- Öppen dagvattenkanal i stället för kulvert

I Figur 31 visas exempel på ett instängt område, i detta fall kanske inte så känsligt för allvarliga konsekvenser vid en översvämning.

Figur 31 Exempel på en av människan skapad fördjupning, som inte har någon naturlig avrinning – ett instängt område. Dagvatten måste pumpas, en pumpstation syns till höger om vägöppningen i järnvägsviadukten. Bild: DHI

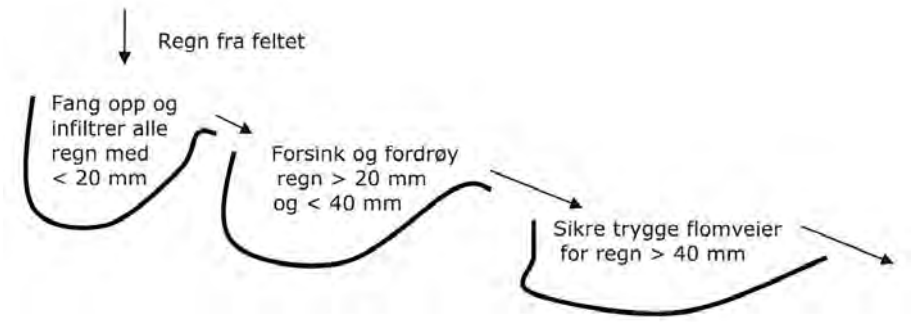
Om dagvattenpumpstationen är korrekt dimensionerad enligt Trafikverkets rådande anvisningar, tidigare Vägverket (2008), riskerar vägen att blockeras av

översvämning i genomsnitt en gång vartannat år, om man utnyttjat den dåvarande möjligheten att dimensionera för regn med 2 års återkomsttid. Om översvämningen når pumpstationens elskåp, kan blockeringen bli långvarig.

5.2.2 Nyexploatering

Ett sätt att resonera för den principiella hanteringen av dagvattenavrinning illustreras av Figur 32 (angivna volymsiffror kan variera beroende på den lokala situationen). Lokalt närmast bebyggelsen bör möjligheter till infiltration anordnas. Om möjligheterna till infiltration eller utjämning inom tomtmark är begränsade kan samlade utjämningsvolymer anläggas. I Svenskt Vatten P104 finns underlag för att bedöma vilka utjämningsvolymer som krävs, beroende på dimensionerande återkomsttid och tömningsstrategi för magasinet. Risken finns alltid att det kommer ett häftigare regn än det man dimensionerat för. Magasinet blir då fullt och volymen är inte längre tillgänglig för flödesutjämning och ledningssystemet nedströms kan då bli överbelastat.

När de ordinarie avrinningsvägarna inte längre räcker till bör man se till att avrinningen kan ske längs säkra alternativa avrinningsstråk (på norska: ”trygge flomveier”) ex. ledas via gatumark, anlagda öppna diken etc.



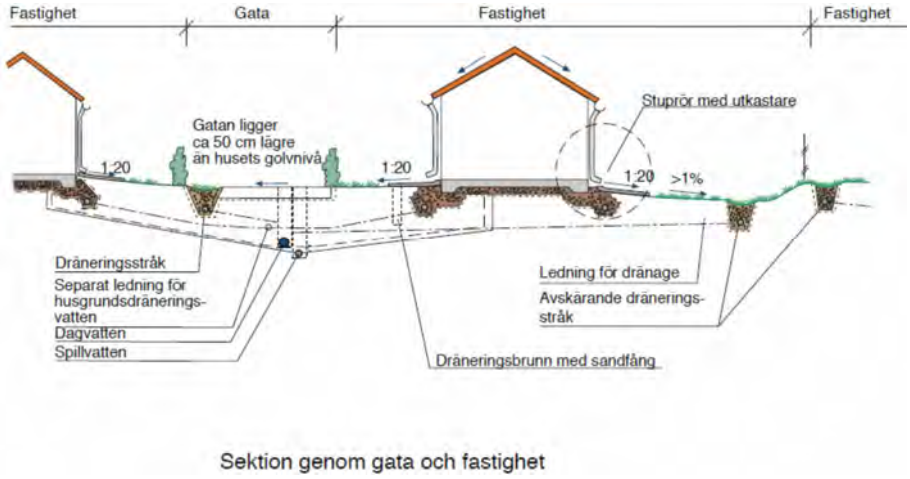
Figur 32 Illustration för hantering av nederbörd (treleddsstrategi) enligt Norskt Vann (2008).

Exempel på analyser ”när inte ledningssystemet räcker till” har nämnts tidigare i rapporten, och finns dokumenterade i t.ex. Ahlman (2011) – kallas där ”plan B” - och Tyréns (2010). Denna teknik och ovanstående resonemang kan naturligtvis också tillämpas på befintlig bebyggelse. Kant (2013) lanserar begreppet ”blåplan” som ett verktyg för att kommunicera hur staden ska hantera extrem nederbörd, visa prioriterade flödesvägar, och utgöra underlag för en mindre sårbar hantering.

Vi nyexploatering har man under planeringsprocessen möjlighet att styra bebyggelsens placering och höjdsättning i relation till de naturliga förutsättningarna. I Svenskt Vatten P105 föreslås höjdsättning av bebyggelsen och öppen dagvattenhantering som metod för att avleda även extrema regn utan att byggnader översvämmas. Där finns detaljerade råd för planering och utformning av dag- och dränvattenhantering. Man delar in förloppet i:

- Lokalt omhändertagande av dagvatten
- Fördröjning nära källan
- Trög avledning
- Samlad fördröjning

Figur 33 visar exempel på rekommenderad höjdsättning i anslutning till byggnader och gatumark. Höjdsättningen av bebyggelsen är central. I Göteborg tillämpas regeln att nivån för färdigt golv ska ligga minst 30 cm över markytan vid anslutningspunkten.

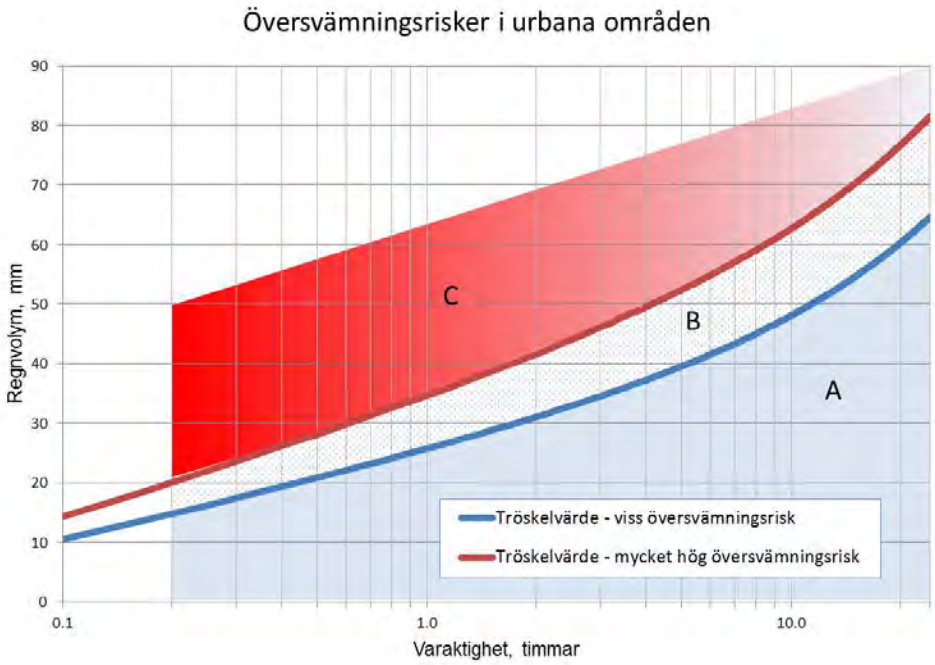


Figur 33 Sektion genom fastighet mellan gata och angränsande fastighet med föreslagna marklutningar och avloppsledningar (Svenskt Vatten P105, figur 9.6)

I Boverkets (2010) skrift ”Mångfunktionella ytor” redovisas detaljerat vilka möjligheter det finns att under planprocessen stärka grönstrukturen, och ”ge plats för stadens vatten”. Skriften har en omfattande källförteckning till skrifter och länkar till information inom området.

6. Behov av kunskapsutveckling

Figur 34 är ett försök att i detta sammanhang ange tröskelvärden för vad ett ”skyfall” är, och därmed indirekt när t.ex. situationen ”räddningstjänst” inträder (samhällsintresse/räddningstjänst) till skillnad mot ”normala” regn, där ansvaret för att hantera dessa ligger inom kommunen/VA-huvudmannen eller hos fastighetsägaren. Följden av detta, är att initiativet till att förebygga och lindra händelser inom olika ”områden” hamnar hos olika parter i samhället. I fallet ”område C” är det kommun/räddningstjänst/staten/MSB. Inom område A är det VA-huvudman, fastighetsägare eller eventuellt väghållarens ansvar. Inom område B är det osäkert[9].



Figur 34 Översiktlig, grov karakterisering av översvämningsrisker inom urbana områden beroende på regnförlopp upp till ett dygn. Under blå kurva (område A) ska normalt ingen översvämning inträffa. Punktvisa trånga sektioner kan dock bli överbelastade. Ovanför röd kurva (område C) är sannolikheten för översvämning hög, sannolikt också att räddningstjänst krävs. Mellan dessa har ett område med osäkert utfall (område B) markerats.

Följande punktlista med förslag till kunskapsutveckling har markerats med bokstaven A eller C för att markera vart det primära intresset för kunskapsutveckling borde ligga: A för väghållare, VA-huvudmän eller branschorganisationen Svenskt Vatten, C på kommunal, regional eller nationell nivå (Länsstyrelse, MSB).

[9] För den som undrar: Linjerna markerar volym/varaktighetssamband enligt Dahlströms (2010) regnstatistik-ekvation för 10-års respektive 25-årsregn.

Tabell 5 Förslag till strukturering av kunskapsbehov

Möjliga utvecklingspunkter för att minska samhällets sårbarhet vid skyfall		**Systemnivå**
1. Avloppssystem		
1.1	Åtgärder mot tillskottsvatten i spillvattensystem	A
1.2	Dagvattenavrinning vid "normala" regn	A
2. Ytavrinning/dagvattensystem vid extremsituationer		
2.1	Översiktliga avrinningsanalyser vid extremsituationer	C (A)
2.2	Metodik för framtagande av åtgärdsplan	C
2.3	Kostnads-nyttoanalys	C
3. Korttidsnederbörd		
3.1	Prognossystem för korttidsnederbörd	C
3.2	Nationellt system för dokumentation av kortidsnederbörd	C
3.3	Metodutveckling - markbaserat "Early-Warning" - system	A, C

6.1 Avloppssystem

- **Förändring av dimensioneringskrav för befintliga och nya avloppssystem.**

Svenskt Vatten har inlett ett arbete att revidera dimensioneringsanvisningarna i skriften P90 (Svenskt Vatten, 2013). De reviderade anvisningarna beräknas bli publicerade 2014. Ambitionen är helt naturligt att minska risken för översvämningar, genom att diskutera och formulera dimensionerande återkomsttider i befintliga och nya system, med de tankesätt som beskrivits tidigare i denna rapport. Vidare anges att man ska ta en större hänsyn till naturmarksavrinning. Här är inte rätt forum för att skriva Svenskt Vatten på näsan vad den reviderade P90 bör innehålla, annat än att framföra önskemål om att funktionskraven ska bli mera anknutna till hur olika systemuppbyggnad fungerar i praktiken. Det är t.ex. inte bara kombinerade spillvattensystem som är nederbördspåverkade, vilket är välkänt och framgått av tidigare framställning. Hur man ska ställa funktionskrav på denna gråzon av tillskottsvattenpåverkan är i behov av klarläggande.

- **Tillsyn och tillståndsgivning för avloppssystem.**

Inom detta område handlar det kanske inte så mycket om kunskapsutveckling. Bra utrednings- och åtgärdsmetoder finns, men problemet ligger mera i att komma till handling och att tillgängliga resurser för detta är otillräckliga. En anledning till att farthållningen på åtgärdssidan för spillvattennäten kan ha minskat de senaste åren är att spillvattennätet ändrades av Naturvårdsverket år 2008 från att vara tillståndspliktigt till att vara varken tillstånds- eller anmälningspliktig (U-anläggning). EU:s avloppsdirektiv, som omfattar uppsamling, avledning och rening av avloppsvatten från tätort, innehåller bland annat tydliga minimikrav rörande avloppsledningsnät. Frågan är om Sverige har implementerat direktivet fullständigt eftersom enbart rening av avloppsvatten är tillståndspliktigt. Genom att åtgärda utsläpp av obehandlat avloppsvatten olämpliga från miljövårdssynpunkt erhålls samtidigt vinster för att minska risken för översvämningssituationer. Trots avloppsdirektivet finns det idag i

Sverige inga bindande föreskrifter om att åtgärda bräddning på avloppsledningsnäten. Inom vissa kommuner finns egna höga ambitioner för att åtgärda problemen utan att det finns ”tryck” från tillstånds- eller tillsynsmyndigheter men det saknas påtryckning för många andra kommuner att genomföra åtgärder.

6.1.1 Åtgärder mot tillskottsvatten i spillvattensystem

- **Källaröversvämningar**

Källaröversvämningar är ett allvarligt samhällsproblem i Sverige. Kanske inte ur skadekostnadssynpunkt, där försäkringbolagen anger andra skadetyper som mera kostsamma, utan mer ur de drabbades synvinkel. En Google-sökning på begreppet ger 5 900 träffar, varav ett stort antal hänvisar till ”va-huvudmän”, som lagt ut information på sin hemsida – på förekommen anledning får man anta.

Vi vet hur man ska minska risken för källaröversvämningar i spillvattensystem - där behövs ingen kunskapsutveckling. Det handlar om att på olika sätt finna och reducera nederbördspåverkat flödestillskott, tillskottsvatten av varierande ursprung. Viss metodik för detta redovisas t.ex. av Lundblad och Backö (2012).

- **Nålen i höstacken.**

Problemet är att det gäller att finna nålen (en eller flera) i höstacken:

Den samlade längden av de allmänna vatten- och avloppsledningsnäten i Sverige uppgår till ca 173 000 km vilket motsvarar ca 4.3 varv runt ekvatorn. De allmänna avloppssystemen svarar för ca 60 % av dessa ledningar, d.v.s. ca 102 000 km. Detta motsvarar ca 2.5 varv runt ekvatorn. Begreppet ”avloppsledningsnät” omfattar både spillvattenförande ledningar och dagvattenledningar. Ansvaret för de allmänna avloppssystemen ligger på den kommunala VA-huvudmannen och omfattar ledningarna inom fastställda verksamhetsområden fram till förbindelsepunkten till abonnenterna. Förbindelsepunkten ligger normalt vid tomtgränsen. Innanför förbindelsepunkten (servisledningen) ligger ansvaret på respektive fastighetsägare. Längden på servisledningar kan grovt uppskattas till ca 20–30 % av det allmänna vatten- och avloppsledningsnätet, dvs. totalt ca 1 varv runt ekvatorn. (Svenskt Vatten, 2007)

- **Prioriteringsmetodik.**

Att undersöka och åtgärda ”allt” går inte. Det krävs prioriteringar, att åtgärder sätts in på ”rätt” ställe samt att det finns resurser i vid mening tillgängliga för detta. Problemen kan ligga innanför tomtgränsen. Hur få fastighetsägaren att vidta åtgärder?

Fungerar systemet riktigt illa brukar det vara ”självmarkerande” (det sker översvämningar även vid mindre regntillfällen) vilket motiverar akuta åtgärder. Sedan är frågan vad som är rätt åtgärd, att ”täta” är inte alltid effektivt. Området kanske behöver förstärkt dränering som avleds separat – som ett exempel.

- **Förebyggande kartläggning i spillvattensystem är resurskrävande.**

Eftersom ett skyfall kan inträffa ”var som helst” bör kartläggning och åtgärdsprioriteringar (som alltid) gå ut på att finna svaga punkter (gärna punktvisa ”hot spots”) i systemen. Detta har varit aktuellt för VA-branschen åtm. de senaste 40 åren. Denna typ av kartläggningar kan bli mycket tids- och resurskrä-

vande eftersom de förutsätter att man utför flödesmätningar för att hitta källorna (se Figur 4), utom för rena kombinerade system där belastande hårdgjorda ytor kan uppskattas från kartmaterial.

6.1.2 Dagvattenavrinning vid "normala" regn

- **Dagvattensystemets kapacitet.**

Det som nämnts ovan betr. trånga sektioner i spillvattensystem gäller också dagvattensystemet. Det är va-huvudmannens ansvar att kartlägga och åtgärda trånga sektioner i dagvattensystemet som inte förmår avbörda ett 10-årsregn utan att dämning sker till markytan. Ett problem kan vara, om ledningen är ålderstigen, att den kan ha dimensionerats för äldre funktionskrav, t.ex. för dämning till ledningshjässa vid 1- eller 2-årsregn och att anslutningsförhållandena förändrats. Påverkan av naturmarksavrinning, som leds via stadens dagvattensystem, kan i vissa fall var mycket svår att förutse, och medverka till obehagliga överraskningar vid skyfallssituationer.

- **Översiktlig karläggning av trånga sektioner.**

Att bedöma kapacitetsfrågor i dagvattensystem är ”enklare” än för spillvattensystem enligt ovan. Belastande hårdgjorda ytor finns i regel dokumenterade som olika markanvändningsskikt i kommunens kartmaterial, och ledningssystemet finns som oftast i en ledningsdatabas. Med dagens modellverktyg och hjälpmedel för dataimport och bearbetning, är det därför i regel ingen större arbetsinsats att översiktligt göra kapacitetsberäkningar baserat på dessa data. Ett problem kan vara den del av dagvattensystemet som utgörs av öppna diken etc., om de inte finns dokumenterade i ledningsdatabasen. Där kan indata hämtas från laser-skannade terrängmodeller. Det kan dock medföra arbetskrävande moment om ledningsdatabasen innehåller fel eller är ofullständig, då kompletterande uppgifter måste inhämtas.

6.2 Ytavrinning/dagvattensystem vid extremsituationer

6.2.1 Översiktliga avrinningsanalyser vid extremsituationer

Här föreslås att det genomförs ett projekt med syftet att vara ett metodstöd för en eventuell framtida mera nationell tillämpning av översiktliga urbana avrinningsanalyser - på många platser, i varje fall i de större städerna i Sverige.

Förstudien/genomförbarhetsstudien bör omfatta följande moment/frågeställningar:

- Vilka krav bör man ställa på terrängmodelldata för översiktliga 2D-analyser (ex. betr. beskrivning av bebyggelse, viadukter och kulverteringar, som kan ha betydelse för avrinningsförloppet)?
- Lämplig rumslig upplösning på terrängmodellen.
- Vilka krav bör man kunna ställa på metoder och beräkningsrutiner i använda beräkningsprogram.
- Hur stora områden är det rimligt att omfatta?
- För- och nackdelar med att ta hänsyn till ledningssystemet.

- Vilken nederbördssituation är det lämpligt att beakta? (100-årsregn?, Vilken extremstatistik ska då tillämpas? Typ av belastningsregn/nederbördsförlopp).
- Hur ska avrinning från olika marktyper hanteras (hårdgjorda ytor, grönområden etc.)?
- Lämplig resultatredovisning, översvämningskartor. Hur förmedlas resultatet? Vad ska redovisas: maxdjup, vattenhastigheter och/eller varaktighet?
- Kan resultatet vara underlag för en beredskapsplan för hur man kan hantera denna typ av situation - via enkla proaktiva förberedande åtgärder eller akutåtgärder? För mera omfattande och långsiktiga ingrepp inom avrinningsområdet - se nästa punkt.

6.2.2 Metodik för framtagande av åtgärdsplan

- **Metodstudie.**

En metodstudie i form av fallstudier föreslås som ska resultera i:

Framtagande av metodik för att kvantifiera hydrauliska effekter av alternativa stödjande åtgärder i terrängen (vallar, kanaler, utjämningsvolymer etc.). Metodiken skall baseras på 2D-modellering alternativt en kombination av 1D/2D-modellering (ledningsnät/terräng). Metodiken skall kunna användas både för befintlig bebyggelse, och inför planerade exploateringar.

Detta moment handlar bara om framtagande av översiktliga åtgärdsalternativ. För prioriteringar och val bland dessa, krävs att åtgärdskostnader vägs mot reducerade skadekostnader, att det görs en kostnads-nyttoanalys – se nästa punkt.

6.2.3 Kostnad-nyttoanalys

Metoder för åtgärdsprioritering baserat på kunskap om relation mellan konsekvenser/skadekostnader och åtgärdskostnad behöver utvecklas.

- **Direkta skadekostnader.**

I det tidigare omnämnda MSB-projektet (Olsson, 2012b) ingår ett moment som handlar om ekonomiska konsekvenser av direkta skador som är relaterade till skyfall. Man planerar att härleda enkla skadefunktioner genom analys av empiriska försäkringskostnader (flood-damage curves).

- **Indirekta skadekostnader.**

Kunskap saknas om hur indirekta kostnader, som t.ex. varaktiga vägavstängningar, ska kvantifieras.

Larsson (2012) redovisar en fallstudie, där olika alternativa åtgärder för att minska översvämningsutbredning utvärderas i en avvägning mellan anläggningskostnad och reducerade skadekostnader. De senare baseras på enkla antaganden om skadekostnad beroende på maximalt översvämningsdjup för olika markslag (byggnader, vägar, grönområden).

6.3 Korttidsnederbörd

6.3.1 Prognossystem för korttidsnederbörd

Framöver kan vi förhoppningsvis dra nytta av resultat från det pågående MSB-projektet ”Snabba flödesprognoser vid skyfall” (Olsson, 2012b). Projektet pågår 2012 – 2015.

Som följd av vad som nämnts tidigare är nyttan sannolikt störst för något trögare avrinningssystem, ex. inom större avloppsnät. Som exempel drivs för tillrinningsområdet till Ryaverket i Göteborg en on-linemodell (RAOM, Hernebring m.fl. 2013*)* som kontinuerligt uppdateras, vilken prognosticerar variationer i tillrinningen och bräddningar till Göta Älv (samt dämningar i ledningssystemet och risk för översvämning) fyra dygn framåt.

- Vilka tillämpningsområden kan dra nytta av korttidsprognoser?
- Vad är konsekvenserna av, och hur kan man komma tillrätta med, osäkerheter i förutsägelsen med avseende på intensiteter/volymer, tidsförlopp och var eventuella händelser kommer att inträffa?

6.3.2 Nationellt system för dokumentation av korttidsnederbörd

Det är önskvärt med en bättre uppföljning av inträffade händelser som kan karakteriseras som skyfall/katastrofregn. I detta avseende kan ett ev. (av Svenskt Vatten föreslaget) framtida operationellt datanät i Sverige för regndata med tillräcklig upplösning (enligt mönster från Danmark[10], IDA Spildevandskomiteen, 1980) vara värdefullt. Kommunerna skulle där kunna spela en viktig roll.

- **Samlad dokumentation av extremhändelser**

Svenskt Vatten utförde under 2012 en inventering av kommunernas insamling av högupplösta data genom en enkät. Det totala antalet stationsplaceringar där registrering av högupplöst nederbörd sker inom kommuner i Sverige är enl. enkätsvaren 408 st. (Svenskt Vatten, 2012). Av landets totala antal kommuner (290 st.) erhölls svar från 43 %. Sett till antalet invånare är siffran mer imponerande: De kommuner som svarat motsvarar befolkningsmässigt 60 % av Sveriges befolkning (5.7 milj. av totalt 9.5 milj.).

Detta kan jämföras med antalet automatstationer som SMHI driver, där potentiellt samma typ av data skulle kunna samlas in. Uppgivet antal varierar något mellan olika publikationer, men det handlar om storleksordningen 110-120 st. Många av de platser där automatstationerna är placerade ligger dock tyvärr långt från stadsbebyggelse, just där information om snabba regnförlopp är efterfrågad.

Trafikverket – tidigare Vägverket – har ett stationsnät inom landet (VViS) med cirka 710 mätstationer som registrerar bl. a. nederbörd, i varje fall med 30-minutersupplösning. Stationerna är av naturliga skäl väsentligen inriktade på

[10] http://www.dmi.dk/dmi/index/erhverv/spildevandskomiteens_regnmaalersystem.htm

att samla in data för vinterväghållning och väglagsegenskaper etc., så sommartid är bara cirka 100 stationer i drift (VTI, 2003).

6.3.3 Metodutveckling - markbaserat "Early-Warning"-system

Det är egentligen först när regnet nått marken, förhoppningsvis i en mätpunkt, som man har facit om det är ett ”skyfall” eller inte, eller inom vilket område man befinner sig i Figur 34, och då kan det vara så dags. I de flesta fall finns det ju trots allt en ledtid (visserligen kort) mellan att regnet fallit och att översvämningen inträffar. Om man då tidigare som förberedelse har identifierat kritiska punkter/områden, t ex vägar som bör stängas, temporära vallar för att skydda problemområden etc. kan det kanske räcka för att minska skadorna. Det innebär en kombination av förberedd kunskap och snabb direkttolkning av ett nät av markstationer, som direktvarnar till räddningstjänst m.fl. Utveckling/framtagande av en sådan metodik vore önskvärd.

- Vilka krav kan man ställa på ett markbaserat (punkt-)varningssystem?
    - Hur tätt ska det vara (en eller flera punktmätningar)/kommuntäckande?
    - Datatillgänglighet (on-line/ledtider i dataöverföring)?
    - Vilka utvärderingskriterier är lämpliga?
    - Hur presenterars utvärderingsresultatet/larmnivåer?

7. Referenser

Abdullah A.F., Vojinovic R., Price R.K., Aziz N.A.A. (2012): A methodology for processing raw LiDAR data to support urban flood modeling framework. Journal of Hydroinformatics, Vol 14, No 1, pp 75-92.

Ahlman S. (2011): Plan B – hantering av översvämningar i tätorter vid extrema regn. Svenskt Vatten Utveckling. Rapport 2011-03.

Arnell V. (1991), VAV P65 ”Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem”

Bäckman, H, Hellström, B G, Jaryd, A, Jonsson, Å, 1997, Läck- och dräneringsvatten i spillvattensystem, Svenskt Vatten Utveckling / VA-FORSK Rapport 1997:15

Bengtsson L. (2008): Extrema dygnsregn och trender i Skåne och på västkusten. VATTEN Vol. 64, 1 (2008), s. 31-39.

Beredskabsstyrelsen (2012). Institut for Beredskabsevaluering 2. Juli 2012: Redogørelse vedrørende skybruddet i Storkøbenhavn lørdag den 2. Juli 2011.

Boverket (2010): Mångfunktionella ytor – Klimatanpassning av befintlig bebyggd miljö i städer och tätorter genom grönstruktur.

Bouteligier R., Vaes G., Berlamont J., van Assel J., Gordon D. (2001): Water quality model set-up and calibration – case study. The Autumn WaPUG Conference, Blackpool, Storbritannien.

Chen A.S., Hsu M.H., Teng W.H., Huang C.J., Yeh S.H., Lien W.Y. (2005): Establishing the Database of Inundation Potential in Taiwan, Natural Hazards.

Dahlström B. (1979): Regional fördelning av nederbördsintensitet – en klimatologisk analys. BFR. Rapport R18:1979.

Dahlström B. (2010): Regnintensitet - en molnfysikalisk betraktelse. Svenskt Vatten Utveckling. Rapport 2010-05.

DHI, Greve Forsyning, VandCenter Syd, PH-Consult (2012): Urban Climate Change Guidelines – The Climate Cookbook. Second edition, DHI, Danmark.

DHI, MIKE by DHI (2012a): MOUSE Pipe Flow Reference Manual. DHI, Danmark.

DHI, MIKE by DHI (2012b): MIKE FLOOD Reference Manual. DHI, Danmark.

Djordjevic S., Prodanovic D., Maksimovic C. (1999): An approach to simulation of dual drainage. Water Sciene & Technology, Vol. 39, No 9, pp 95-103.

Djordjevic S., Prodanovic D., Maksimovic C., Ivetic M., Savic D. (2005): SIPSON – Simulation of interaction between Pipe flow and Surface Overland flow in Networks. Water Science & Technology, Vol. 52, No 5, pp 275-283.

Djordjevic S.,Butler D., Gourbesville P., Mark O., Pasche E. (2011): New policies to deal with climate change and other drivers impacting on resilience to flooding in urban areas: the CORFU approach. Environmental Science & Policy, Vol 14, pp 266-280.

Ekberg M., Gillesén D., Nyth T. (2011): Risk- och olycksanalys. Risktopografiska förutsättningar för Räddningstjänsten Storgöteborg.

European Environment Agency (2012): Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. EEA Report, No 12/2012. DOI: 10.2800/66071

Freni G., La Loggia G., Notaro V. (2010): Uncertainty in urban flood damage assessment due to urban drainage modelling and depth-damage curve estimation. Water Science & Technology, Vol. 61, No 12, pp 2979-2993.

Göteborgsposten (2011): http://www.gp.se/nyheter/goteborg/1.797866-kritiskt-for-kvinna-i-drankt-bil, 12 december 2011.

Henonin, J., Russo, B., Mark, O., Gourbesville, P. (2013) Real-time urban flood forecasting and modeling – a state of the art. Journal of Hydroinformatics, In Press.

Hernebring C. (2006): 10-årsregnets återkomst förr och nu – regndata för dimensionering/kontrollberäkning av VA-system i tätorter. VA-Forsk rapport 2006-04.

Hernebring C. (2008): När regnet kommer – effektivare utnyttjande av kommunernas nederbördsinformation. Svenskt Vatten Utveckling, rapport 2008-17.

Hernebring C., Salomonsson M. (2009): Extrema regn i Halmstad. VATTEN 65:177-192. Lund 2009.

Hernebring C., Dahlström B., Kjellström E. (2012): Regnintensitet i Europa med fokus på Sverige – ett klimatförändringsperspektiv. Svenskt Vatten Utveckling, rapport 2012-16.

Hernebring C., Lumley D., Gustafsson L-G., Strandner H. (2013): Integrating an on-line Catchment Simulator into Wastewater Treatment Plant Operation – 20 years later. ica2013, 11th IWA Conf on Instrumentation, Control and Automation, submitted.

Hinman C. (2007): Rain Garden Handbook for Western Washington Homeowners. Washington State University. Kan laddas ner från: www.seattle.gov/util/MyServices/DrainageSewer/Projects/GreenStormwaterInfrastructure/ResidentialRainWise

Houston D., Werritty A., Bassett D., Geddes A., Hoolachan A., McMillan M. (nov 2011): Pluvial (rain-related) flooding in urban areas: the invisible hazard. www.jrf.org.uk

Hsu M.H., Chen S.H., Chang T.J. (2000): Onundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system. Journal of Hydrology, Vol 234, pp 21-37.

Huber W.C., Dickinson R.E. (1988): Storm Water Management Model-SWMM, Version 4 User's Manual. US Environmental Protection Agency, Athens Georgia, USA.

IDA Spildevandskomiteen (1980): Spildevandskomiteens regnmålersystem. Skrift nr. 17.

IDA Spildevandskomiteen (2008): Forventede ændringer i ekstremregn som følge af klimaændringer. Skrift nr. 29.

Innovyze (2012): InfoWorks CS Technical Review.

JRC-ISPRA (2011): Flash Floods and Pluvial Flooding Workshop. 26-28 May, 2010. Report on proceedings & key recommendations. Feb 2011.

Jha A. K., Bloch R., Lamond J. (2012): Cities and Flooding. A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century. The World Bank. Washington DC. DOI: 10.1596/978-0-82138866-2

Kant H. (2013): På jakt efter ytliga vattenvägar I Göteborg. Föredrag vid Svenskt Vattens Rörnätskonferens i Göteborg 13-14 mars 2013. (www.svensktvatten.se/Vattentjanster/Rornat/Konferenser-och-seminarier/Rornar-o-Klimat-2013/).

Lantmäteriet (2011): Nyhetsbrev 2011:1 Ny Nationell Höjdmodell.

Larsson J. (2012): Assesment of flood mitigation measures. Further development of a proactive methodology applied in a suburban area in Gothenburg. Examensarbete / Institutionen för bygg- och miljöteknik, Chalmers tekniska högskola 2012:139.

Lundblad U., Backö J. : Undersökningsmetoder för att hitta källorna till tillskottsvatten. Svenskt Vatten Utveckling. Rapport 2012-13.

Mark O., Weesakul S., Apirumanekul S., Boonya Aroonet S., Djordjevic S. (2004): Potential and limitations of 1D modellingo f urban flooding. Journal of Hydrology, Vol 299 (3-4), pp 284-299.

Messner F., Penning-Rowsell E., Green C., Meyer V., Tunstall S., van der Veen A. (2007): Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods. Report number T09-06-01, FLOODsite.

Miljøstyrelsen (2005): Afløbssystemer under påvirkning af klimaændringer. DHI, PH-konsult, Miljøprojekt nr. 1123, 2006. Miljøstyrelsen, København

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2010): Ekonomiska konsekvenser av kraftiga skyfall

Naturolycksdatabasen (2012): http://ndb.msb.se/

Nikulin G., Kjellström E., Hansson U., Jones C., Strandberg G., Ullerstig A. (2011): Evaluation and Future Projections of Temperature, Precipitation and Wind Extremes over Europe in an Ensemble of Regional Climate Simulations. Tellus, 63A(1), 41-55. DOI: 10.1111/j.1600-0870.2010.00466.x

Nilsson P. (2012): Intensivt regn i Sverige 2009-2011. En kartläggning över händelser av intensivt regn och dess konsekvenser. C-uppsats i Geografi. Karlstad universitet.

Norskt Vann (2008): Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. Rapport 162/2008.

Olsson J., Olofsson M., Berggren K., Viklander M. (2006): Adaptation of RCA3 Climate Model Data for the Specific Needs of Urban Hydrology Simulations. 7th Int. Work-shop on Precipitation in Urban Areas. 7-10 December, 2006, St. Moritz, Switzerland.

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

Olsson J., Dahné J., German J., Westergren B., von Scherling M., Kjellson L., Ohls F., Olsson A. (2010) : En studie av framtida flödesbelastning på Stockholms huvudavloppssystem. SMHI Klimatologi Nr 3, 2010

Olsson J., Foster K (2012a): Short term precipitation extremes in Regional Climate Model simulations for Sweden: historical and future changes. Hydrology Research, submitted.

Olsson J. (2012b): High-resolution precipitation forecasts for hydrological risk assessment (Förbättrad beredskap för lokala extrema vattenflöden). Projektbeskrivning för pågående MSB-projekt (2012-2015).

Olsson J., Simonsson L., Ridal M. (2013): Rainfall nowcasting: predictability of short-term extremes in Sweden. Urban Water, submitted.

Olsson T. (2012): Försäkring i förändrat klimat. Presentation vid klimatkonferens i Örebro den 27 november, 2012.

Pedersen, L. (2009) Identification and Quantification of Uncertainties Related to Using Distributed X-band Radar Estimated Precipitation as input in Urban Drainage Models, PhD Thesis, Technical University of Denmark.

Paludan B., Höegh Nielsen N., Nybo Jensen L., Brink-Kjär A., Linde J.J., Mark O. (2011): En kogebog for analyser af klimaændringers effekter på oversvømmelser i byer. DANVA Forsknings- og udredningsprojekt nr 19.

Prodanovic D., Djordjevic S., Maksimovic C., (1998): GIS assisted model for dual drainage simulation. 3rd International Conference of Hydroinformatics, 24-26 augusti, Köpenhamn, Danmark, pp 535-542.

SCB (2003): Markanvändning i tätorter och förändringar 1995 – 2000. Statistiska meddelanden. MI 14 SM 0201.

SCB (2012): Sveriges yta mindre enligt ny beräkningsmodell. Pressmeddelande 2012-03-09. Nr 2012:714.

Smittskyddsinstitutet (2011): http://www.smittskyddsinstitutet.se/sjukdomar/leptospirainfektion/

SNV (1995): Gustafsson A-M, Svensson G. Nyckeltal för läck- och dränvatten i avloppsnät. SNV Rapport 4480.

Statens serum institut (2012): http://www.ssi.dk/English/News/EPI-NEWS/2012/No%205%20-%202012.aspx

Stephenson D. (1987): The Importance of Dual Drainage. 4th International Conference on Urban Storm Drainage, Lausanne, Schweiz, proceedings, pp 323-324.

Svenska Dagbladet (2011): http://www.svd.se/nyheter/utrikes/man-dog-av-rattsjukdom-efter-oversvamningarna-i-kopenhamn_6341448.svd

Svenskt Vatten (2007): Klimatförändringarnas inverkan på allmänna avloppssystem. Underlagsrapport till Klimat- och Sårbarhetsutredningen Publikation M 134.

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

Svenskt Vatten (2011 a): Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem. Publikation P 104.

Svenskt Vatten (2011 b): Hållbar dag- och dränvattenhantering. Råd vid planering och utformning. Publikation P 105.

Svenskt Vatten (2012): Insamling av högupplösta regndata inom kommunal va-verksamhet i Sverige. Inventering genom enkätförfrågan. Opublicerat arbetsmaterial.

Svenskt Vatten (2013): Risker från översvämningar i våra samhällen. Dokumentation utdelat vid diskussionsseminarium i Göteborg 2013-01-23.

Tegelberg L., Svensson G. (2013): Utvärdering av Svenskt Vattens rekommenderade sammanvägda avrinningskoefficienter, SVU rapport 2013-05

Thorndahl, S., Rasmussen, M.R., Nielsen, J.E., Larsen, J.B. (2010): Uncertainty in nowcasting of radar rainfall - a case study of the GLUE methodology. ERAD 2010 - The Sixth European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology.

Thorsteinsson D., Larsson R. (2012): Översvämningsförordningens betydelse för fysisk planering. VATTEN 68:241-246. Lund 2012.

Trafikverket, tidigare Vägverket (2008): VVMB 310 Hydraulisk dimensionering. Publikation nr 2008:61.

Tyréns (2010): Kommunal översvämningsplanering med nya nationella höjdmodellen. Utvecklingsprojekt Tyréns, 2010.

Vejen F. (2011): Tropiskt styrtregn over København den 2. Juli 2011. Alle danske monsterregns moder ...! Vejret, DMI, 128, aug 2011.

Vojinovic Z. och Tutolic D. (2009): On the use of 1D and coupled 1D-2D modelling approaches for assessment of flood damagesin urban areas. Urban Water Journal, Vol 6, pp 183-199.

Vojinovic Z., Seyoum S.D., Mwalwaka J.M., Price R.K. (2011): Effects of model schematisation, geometry and parameter values on urban flood modeling. Water Science & Technology, Vol 63, No 3, pp 462-467.

Vägverket (2005a): Handledning – Riskanalys vald vägsträcka. Publikation 2005:54.

Vägverket (2005b): Fördjupning – Riskanalys vald vägsträcka. Publikation 2005:55.

VTI (2003): Beräkningsmodell i VädErsKombi, version 1.00. VTI notat 38-2003.

Woetman Nielsen N. (2011): Skybruddet over København den 2. Juli 2011. Vejret, DMI, 128, aug 2011.

Bilaga 1: Köpenhamn den 2/7 2011

Citat från:
" Redegørelse vedrørende skybruddet i Storkøbenhavn lørdag den 2. juli 2011, Institut for Beredskabsevaluering 2. juli 2012"

(fri översättning från danska)

Beskrivning av händelsen
Väderutvecklingen omedelbart före skyfallet var så ovanlig att det förvånade DMI:s meteorologer. DMI hade vid 05.24 på morgonen utfärdat en riskrapport som varnade för skyfall över Själland gällande efter-middagen/kvällen, men inte med så stor styrka. Ett varningsmeddelande utfärdas när tjänstgörande meteorolog anser att det finns en risk för ett givet väderfenomen, men risken bedömdes så liten i regionen att kriterierna för att utfärda ett riktigt varnings-meddelande inte uppfylldes. Varningskriteriet för skyfall är att den förväntade nederbörden överstiger 15 mm under 30 minuter lokalt inom varselområdet.

Riskmeddelandet uppdaterades fyra gånger under eftermiddagen och tidigt på kvällen, då åskbyar uppträdde över den sydligaste delen av Sverige. Åskbyarna var fortsatt inte speciellt kraftiga, inte heller då de träffar Malmö[11]. På vägen över Öresund, sker dock meteorologisk sett en osedvanligt explosiv utveckling av åska. Kl. 18.46 uppgraderade vaktchefen riskmeddelandet till en varning. Strax efter, omkring kl. 19, drabbade skyfallet Hellerup och fortsatte i en syd-västlig kurs över Storköpenhamn innan det ebbade ut norr om Køge. I de värst drabbade områdena föll under ett par timmar vad som motsvarar två månaders regn under en normal julimånad. Dessutom förekom stora hagel och tusentals blixtar.

Avloppssystemet kunde inte hålla jämna steg med regnets mängd och intensitet och skyfallet ledde därför snabbt till massiv översvämning av vägar, viadukter, källare och andra lågt liggande områden. Därmed blev ett antal kritiska sam-hällsfunktioner också avbrutna. Att skyfallet drabbade huvudstadsregionen gjorde konsekvenserna långt mer omfattande än om regnet hade fallit någon annanstans i Danmark. Dels på grund av stadens höga bebyggelsetäthet med många hårdgjorda ytor som ger mindre möjlighet för regnvatten att infiltrera eller transporteras bort i avloppssystemet, och dels på grund av att det i stor-städer finns mera sårbar infrastruktur med många användare. Konsekvenserna inom olika samhällssektorer framgår av följande:

Transport
Många vägar blockerades på grund av översvämningar i sänkorna, inklusive delar av huvudvägarna som Amager-, Holbaek-, Lyngby- och Helsingør-motorvägarna samt ringled 3 och 4. Detta hade inverkan på trafiksäkerheten och framkomlighet med långa köer och problem för trafiken in och ut ur Kö-penhamn. De första vägarna röjdes från vatten den 3 juli, men det dröjde till morgonen den 5 juli innan alla vägar återigen var farbara.

[11] Av VA-Syds sex nederbördsstationer i Malmö, som var i drift, registrerades under kalenderdygnet den 2/7 2011: 17-27 mm, med undantag för en station (Bulltofta) som hade nollnederbörd. Den intensivaste korttidsnederbörden som registrerades i någon av stationerna motsvarade ett 0.5-årsregn, d.v.s. ett regn som statistiskt återkommer 2 ggr per år. Källa: DHI.

Delar av busstrafiken ställdes in under skyfallet, men kunde snabbt återupptas. Under de följande dagarna var Movia tvungna att lägga om flera busslinjer på grund av översvämmade vägar och trafikstockningar vilka medförde problem för nästan alla bussar.

Tågtrafiken (S-tåg, regional- och fjärrtåg) blev mycket allvarligt störd när regnmassor översvämmade spår, kablar, växlar och andra tekniska anläggningar, och fick fördämningar och slänter att brista. Dessutom medförde de många blixtnedslagen att elektrisk utrustning förstördes. Allvarlig skada skedde på en central säkerhetsanläggning på Østerport Station, ett jordskred på över 100 meter nära Nordhavn station och krasch i Banedanmarks IT-system (se nedan) stod för tre särskilda incidenter tillsammans med de helt översvämmade spåren på Østerport, Svanemøllen, Flintholm, på Hovedbanegården og i Valby. Vissa järnvägslinjer stängdes fram till den 4 juli, och även om vattnet snabbt blev bortpumpat, tog det ungefär en vecka innan tågtrafiken normaliserades. Det berodde bl.a. också på att flera tågset blivit inspärrade på grund av skador på kablarna som styr växlarna.

Köpenhamn Metro upplevde trots placering i tunnlar inte driftproblem, förutom att hissar stannade. Dock innebar den senare uppröjningen av en översvämmad konstruktionsgrop att det förberedande arbetet för Metro på Frederiksbergs station förlängdes.

IT och Tele
Många mobilmaster och telefoncentraler föll ur på grund av regn och blixtnedslag.

Nödnumret 112 fungerade, men översvämningar i källaren på Köpenhamns brandförsvars huvudstation, där teknikrummet för alarmcentralen i Storköpenhamn ligger, orsakade fel i av delar av kommunikationsutrustningen. Det fanns risk för systemkrasch.

Översvämningarna i källaren till polishuset resulterade i att Köpenhamnspolisens vanliga telefon inte var i funktion förrän den 4 juli. Det upprättades ett nödnummer för förfrågningar till polisen, som inte var 112-larmmeddelanden.

Översvämningar i Banedanmarks källare på Amerika Plads ledde till kortslutning och brand, så alla IT-system måste stängas ner. Detta resulterade i svarta skärmar och avgångsskyltar på stationer och plattformar, och det omöjliggjorde information via högtalare. Tågresenärer kunde därför inte få information om förseningar och inställda tåg. Översvämningen av en teknikkällare innebar risken för elsvikt som skulle kunna ha lett till strömavbrott på stora delar av bansträckningarna i Danmark. Banedanmark fick el igen den 3 juli på morgonen och kl. 18:00 fungerade alla IT-system igen.

Trafikken.dk, som bl.a. ger information om trafiksituationen i huvudstaden, gick ner för en kort period efter att luftfuktigheten hade överbelastat kylanläggningen i Vejdirektoratet.

DMI:s superdator slogs ut efter att strömförsörjningsreläerna i DMI:s källare blivit översvämmade. Inte heller nödgeneratorn kunde leverera ström. Superdatorn kunde inte utnyttjas för vädermodellering förrän DMI fick igång den igen på söndagen. Under strömavbrottet kunde besökare på DMI:s hemsida inte använda en rad automatiserade produkter, såsom t.ex. "byvejr".

TDC-centralen i Blågårdsgade på Nørrebro översvämmades, varvid flera tusen kunder förlorade sin Internet-anslutning. Det innebar också att Köpenhamns kommuns nödlarmsystem för stadens äldre, Døgnbasen, inte fungerade under 15 timmar. TDC betecknade den tredje juli, detta som det största problemet. Till följd av Hälso-beredskapen drabbades inte äldre medborgare, av denna

orsak. Köpenhamns kommun upplyste att hemtjänsten skulle kontakta drabbade äldre, och använde sig av 112-numret.

Översvämning av en källare i Västra Fängelset fick flera IT-system att gå ner. Det fanns en risk för strömavbrott och därmed avbrott i fängelsets säkerhetssystem.

På Kastellet, som bl.a. inrymmer hemvärnskommandot och en del av försvarets underrättelsetjänst skadades elektriska installationer av vattenmassorna. Telefonväxlar fungerade inte under några dagar, även om det var möjligt att ringa direkt till lokalnumren.

Det uppskattas att 70 procent av Köpenhamns kommuns affärskritiska IT-system var nära ödeläggelse som följd av översvämningarna.

Omkring 50 000 invånare i Köpenhamn förlorade sin fjärrvärme. Särskilt illa var det i Indre By där de flesta av 300 ångbrunnar och många källare med fjärrvärmeledningar översvämmades. Många var utan värme och varmvatten i nästan en vecka.

Hälsa
AMK-driftcentralen i huvudstadsregionen mottog extraordinärt många 112-samtal från medborgare med kroniska sjukdomar som var oroliga, och vissa patienter med syre i hemmet, som var beroende av el, och som hade behov eller önskan om evakuering/flytt på grund av översvämning eller strömavbrott.

Ambulanser och akutläkarbilar hade på vissa platser svårt att komma fram på grund av blockerade vägar. Flera patienttransporter måste omledas.

På Rigshospitalet blev Traumacentret, två intensivvårdsavdelningar och flera operationssalar drabbade av översvämningar. Traumacentrets mottagning av svårt skadade fick tillfälligt flyttas till Herlev sjukhus vilket genomfördes av personal från Rigshospitalet. Intensivpatienter flyttades internt. Hissar var av säkerhetsskäl tagna ur drift under en period. Dessutom blev sterillagret drabbat, och stora delar av e-postsystemet gick ner. En kortslutningsbestämd frånkoppling av försörjningssystemet för prioriterad el till sjukhuset varade i två timmar och därmed skapades en risk för strömavbrott, vilket kunde ha krävt evakuering av patienter. Den normala el-försörjningen kunde dock användas i delar av området, och det kom stöd i form av generatorer från Beredskabsstyrelsen.

På Hvidovre sjukhus blev vissa operationssalar och en liten del av intensivavdelningen påverkad av vattenskador, men sjukhuset kunde ta emot akuta patienter som vanligt. Skador i öppenvårdskliniker innebar dock att många öppenvårdsbesök fick annulleras den 4 juli. Vid Hvidovre sjukhus var det också risk för strömavbrott, vilket kunde ha lett till evakuering av patienter.

Även andra av Huvudstadsregionens sjukhus påverkades av vattenskador. Sjukhus fick också extra besvär på grund av situationen. På flera av sjukhusen var körförhållandena besvärliga för ambulanser, akutläkarbilar och andra fordon till följd av regnvatten.

Det sociala området
Totalt 286 av Köpenhamns kommuns institutioner fick vattenskador. Många var tvungna att stänga några dagar, inklusive flera daghem. Användarna hänvisades till andra institutioner.

Många äldre hissar i hyreshus var inte i tjänst under flera dagar, vilket gav begränsad rörelsefrihet för äldre och funktionshindrade invånare.

Risk för personskador
Det inträffade inga dödsfall och inga kända allvarliga skador medan skyfallet pågick. Flera medborgare bringades dock i potentiellt farliga situationer. På Lyngby motorväg i en artificiell sänka nära Ryparken Station fick flera bilar t.ex. motorstopp, vilket tvingade personer att klättra på bilen och klara sig genom djupt vatten, när vattnet steg upp till taket på bilarna. Dessutom inträffade enstaka olyckor på grund av vattenmängder och icke fungerande trafikljus. En person kom exempelvis till skada i en kollision i en korsning i Rødovre där trafikljusen inte fungerade. Vid Hellerup Station korsade flera passagerare spåren trots varningar från lokförare, eftersom gångtunnlarna mellan plattformarna var översvämmade.

På Tivoli beslutade ledningen att evakuera stora delar av trädgården som en försiktighetsåtgärd, både för allmänna risker som uppstår genom översvämningar och risk för att personskador kan uppstå om elen kommer i kontakt med vatten. På Axeltorv skickade Palads-biografen hem biopubliken, då vattnet strömmade in i byggnaden.

Det var potentiellt farliga situationer för fotgängare, cyklister och bilister som uppstod på flera ställen där brunnslock flög i luften på grund av högt tryck från vatten och sammanpressad luft. Det var ingen som träffades av brunnslock eller föll ner i kloakbrunnar.

En annan källa till fara var skållhet ånga som steg upp genom galler från underjordiska kammare med fjärrvärme och ångledningar på gatorna i Köpenhamn. Nio personer rapporteras ha fått brännskador på vader och vrister av den orsaken, och tre har sedan fått ersättning. Detta fenomen beror på att regnvatten rann in i värmekamrarna och avbrott i elförsörjningen hade satt de inbyggda vattenpumparna ur drift. Regnvatten kom därför i kontakt med det varma röret och började koka. Tillfällena inträffade under en kort tid, och Köpenhamn Energi hade inte personal tillgänglig för att blockera alla platser med uppstigande ånga.

Kostnader
Forsikring & Pension uppskattade under våren 2012 skadorna till 4.88 miljarder DKR fördelat på 90 644 skador. Den senaste uppskattningen från försäkringsbolagen antyder att den slutliga summan kommer att vara nära 6 miljarder DKR - enligt den schweiziska återförsäkringsbolagsjätten Swiss Re[12] - den dyraste ”väderskadan” i Europa år 2011.

[12] Swiss Re nämner också Hull (2007) och Istanbul (2009): ” The Hull flooding cost the insurance industry about USD 270 million, Istanbul losses were at USD 430 million, and Copenhagen could cost more than USD 800 million.” http://www.swissre.com/reinsurance/insurers/property_casualty/The_ripples_of_heavy_cloudbursts.html

Bilaga 2: Västra Orust 1-3/7 2002

Materialet i denna bilaga har hämtats från Naturolycksdatabasen (http://ndb.msb.se/#).

Åskoväder västra Orust 2002
Natten 01/02 och 02/03 augusti 2002 drabbades västra och södra delarna av Orust av våldsamma åskoväder. Natten till den 2 augusti föll nära 200mm nederbörd i de värst drabbade områdena och natten till den 3 augusti 40-90mm. Många vägar blev oframkomliga, en del skadades eller förstördes av vattenmassorna. Bostadshus, kommunala fastigheter samt industrifastigheter översvämmades och ett antal samhällen isolerades. Som mest var 20 000 abonnenter utan telefon och 6000 utan el.

Orsak
Mellan ett svagt lågtrycksområde över kontinenten och ett kraftigt högtryck över norska havet strömmade en varm och fuktig luftmassa in över södra Sverige torsdagen den 1 augusti. I denna luft utvecklades enstaka värmeåskväder under eftermiddagen över inre och västra Götaland. En av dessa åskceller rörde sig från nordvästra Småland mot Tjörn och Orust där den växte samman med andra åskmoln under kraftig förstärkning. Följden blev ett våldsamt åskoväder med rikligt nederbörd som föll i kraftiga skyfall.

Förebyggande arbete och förberedande åtgärder
SMHI gick inte ut med några varningar för stora regnmängder eller åska. I väderrapporterna talades det bara om regnskurar med åska. Kommunen hade strax innan ovädret reviderad sin informations- och krisledningsplan och dessutom tidigare, med jämna mellanrum, haft övningar med olika scenarier.

Händelseförlopp
I det mest utsatta området föll mellan 180-200 mm på 12 timmar enligt trovärdiga privata mätningar. Återkomsttiden för ett sådant skyfall uppskattas från SMHI till 100 år. Det högsta uppmätta dygnsvärdet historiskt sett i Sverige är för övrigt 276 mm (även det en privat mätning) på Fulufjället i Dalarna den 30 -31 augusti 1997. Det registrerades mer än 2000 blixtar över Orust den 1-2 augusti, vilket är ovanligt mycket på så kort tid som två dygn. Natten till 3 augusti föll ytterligare 40 – 90mm och nu drabbades de södra delarna av ön värst.

På kvällen den 1 augusti fick SOS-alarm många samtal i samband med ovädret. Samtalen gällde bl.a. en brand i en sjöbod och ett garage som troligen berodde på blixtnedslag. Vidare var en man instängd i sin översvämmade källare (vattennivå 1,70m med stigande tendens). Räddningstjänsten hade vissa problem att ta sig fram p.g.a. stora vattensamlingar på vägarna. Regnet var ihållande och läget på vägarna förvärrades under sen kväll. Samtal till SOS – alarm om översvämmade kvällare strömmade in och vid midnatt beslutade räddningsledaren att sätta igång kommunens krisberedskapsplan.

Kontakter till Radio Göteborg och Radio Väst etablerades. Fastboende och sommargäster uppmanades via radio att inte bege sig ut på vägnätet. Strax efter midnatt installerade sig krisledningsstaben på Henåns brandstation. Polisen och kommunalrådet anlände till staben. Kommunens växel öppnades och informationschefen startade upplysningscentralen. En kontakt till Vägverket etablerades. Det beställdes 2 bandvagnar, som senare användes av bl.a. kommunens hemtjänst för att nå fram till en del vårdtagare. Samtliga räddningstjänststationer på Orust bemannades. Första presskonferensen gavs den 2 augusti kl. 03.00 och den andra kl. 8.00, då intresset från medierna var mycket stort. Staben bestämde att inga länspumpningar skulle utföras under natten, men förfrågningar listades upp för att tas om hand när situationen tillät det. Kl.

07.00 genomfördes en överflygning av området med polishelikopter för en första skadebedömning.

Under fredagen satte Vägverket in stora resurser för att provisoriskt återställa i första hand det allmänna vägnätet. SMHI skickade personal till Orust i studiesyfte. Natten till den 3 augusti drabbades södra Orust av ett nytt åskoväder. De stora vattenmassorna hotade ett villaområde i Svanesund. Räddningstjänsten, polisen och Vägverket tog tand om avspärrning av vägar och omdirigering av trafiken. Tidigt på morgonen slogs telefonnätet ut av åskan och mobilnätet var överbelastat. Det slutade regna under lördagen den 3 augusti och på måndag den 5 augusti hölls en avslutande presskonferens. Därefter gick kommunen successivt tillbaka till sin ordinarie verksamhet.

Skador/samhällspåverkan

Människoliv:	0
Hälsa:	0
Evakuerade:	Uppgift saknas
Isolerade:	Uppgift saknas
Miljöskador:	Ja
Bebyggelse:	Ja
Näringsverksamhet:	Ja
Kostnadsuppgifter:	153 MSEK

Det våldsamma regnet skadade ca 10 mil allmän väg genom ras av vägtrummor och genom att vägkroppen spolades bort. Det rapporterades även att en bro raserades. Vissa avsnitt på Länsväg 178, 734, 738, 740 och 770 var inte framkomliga. Förhållandena såg likadana ut för enskilda och privata vägar. En del fastigheter saknade helt körbara tillfartsvägar. I Nösund förstördes ca 600m allmän väg genom samhället. Ca 5000 ton grus som hade används till provisorisk återställning av vissa vägsträckor på fredagen den 2 augusti spolades bort under den andra ovädersnatten.

Inga människor kom till skada. Det allvarligaste tillbudet var en man som håll på att drunkna i sin källare, men räddningstjänsten lyckades få ut honom. Ett stort antal källare vattenfylldes och ett hus lyftes av vattenmassorna vilket spräckte husväggarna. Flera hus i Nösund (ett av de värst drabbade samhällena) fick skador och ett 30-tal bostadshus blev obeboeliga. Ett stort antal fastigheter fick omfattande markskador. Skador på enskilda vägar rapporterades även från Tjörn och från fastlandet.

Lördagen den 3 augusti var ca 20 000 abonnenter utan telefon i ca 12 timmar. Som mest saknade 6 000 abonnenter el.

Bortspolade vägar gjorde i några fall att personer fick svårt att ta sig hem. Ett antal äldre personer evakuerades från sina avlägset belägna sommarstugor med hjälp av räddningstjänst. Hemtjänsten fick vid några tillfällen tillkalla räddningstjänst för att nå vårdtagare. Ett antal personer mådde mentalt dåligt pga. ovädrets effekter, men det finns även berättelser om olika sociala nätverks positiva effekter. Folk hjälpte varandra, såg till att allt var under kontroll hos t.ex. grannen. Ett antal brunnar förorenades pga. att ytvatten rann ned i brunnarna. Några trekammarbrunnar översvämmades, liksom en urinbrunn (lantbruk).

När det gäller näringsverksamheten så uppstod vissa störningar pga. tele- och elbortfall. För turistnäringen utgjorde de förstörda vägar det största problemet.

Enligt grova uppskattningar från Orust kommun (2007) uppstod merkostnader i storleksordningen 20 - 30 miljoner kronor för hela Orust, inkluderat skador på infrastruktur, vägnät, kulverteringar, åar och bäckar samt kostnader för privatpersoner avseende skador på vägar och byggnader.

Kommunens egna kostnader uppgick uppskattningsvis till 4-5 miljoner. För räddningstjänsten uppgick bara personalkostnaden till 150 000 kronor.

Återställningen av vägnätet pågick i stort sett under ett år, vissa enskilda vägar tog längre tid och 2007 finns det fortfarande 3 - 5 vägar som ännu inte återställts.

Enligt Länsförsäkringar orsakade hela skyfallet – alltså även på Tjörn och fastlandet -försäkrade skador för 123 miljoner kronor för de fyra största försäkringsbolagen.

Orust Sparbank hjälpte efter ovädret ett stort antal fastighetsägare med finansiering för att kunna återställa vägar och vattenskadade hus.

Myndigheters erfarenhetsåterföring/lärdomar av händelsen
Orust kommun tycker att det egna krisledningsarbetet har fungerat bra och att kontakten med de externa aktörerna har varit bra, men att vägverket borde ha skickat en ansvarig person till Orust redan första natten. Kommunens ledningsgrupp anser att medierna förstorade upp händelsen till en ”katastrof”, vilket inte var fallet. Från kommunens sida var informationshanteringen, både i att ta emot och lämna ut information, tyngdpunkten i arbetet under första natten. Räddningsledaren och informationsansvarige påpekar dessutom att krisledningsplanen ”ska sitta i huvudet”, övningar är väldigt viktiga och att alla som arbetade med händelsen borde haft samma typ av karta för att undvika missförstånd.

Från några inblandade aktörer påpekades att kommunens krisledningsstab inte byttes av och man undrar hur uthålligheten hade sett ut om naturolyckan pågått under längre tid.

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap
651 81 Karlstad Tel 0771-240 240 www.msb.se
Publ.nr MSB 567-13 ISBN 978-91-7383-347-9