



LUND UNIVERSITY

Pluviala översvämningar i stort och smått

Sörensen, Johanna

Published in:

Vatten: tidskrift för vattenvård /Journal of Water Management and research

2019

Document Version:

Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Sörensen, J. (2019). Pluviala översvämningar i stort och smått. *Vatten: tidskrift för vattenvård /Journal of Water Management and research*, 74(4), 207-220.

Total number of authors:

1

Creative Commons License:

Ospecificerad

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

PLUVIALA ÖVERSÄMNINGAR I STORT OCH SMÅTT PLUVIAL FLOODING IN LARGE AND SMALL SCALE

Johanna Sörensen, Teknisk vattenresurslära, Lunds universitet, Box 118, 221 00 Lund



Abstract

Urban, pluvial flooding severely effects infrastructure, buildings and urban life during and after extreme rainfall. In this study, spatial analyses of flood claims from insurance companies and the water utility company of Malmö, VA Syd, are used to better understand the mechanisms and characteristics of pluvial flooding. The same data sets are used to analyse how blue-green infrastructure impacts flood risk. Can blue-green infrastructure for handling of stormwater in urban green spaces be used as a strategy for resilient flood risk management? It was found that flooding during intense rainfall often is located closely to the main overland flow paths and the main sewers, while flooding during rainfall with longer duration seem to be more randomly distributed. Combined sewers are more affected by flooding than separate sewers. Blue-green infrastructure can reduce urban, pluvial flooding. The large-scale spatial distribution of flooding with respect to urban flow paths and drainage system are discussed in relation to the impact of small-scale surface water detention in e.g. detention basins and concave green spaces. The article is based on the authors doctoral thesis (Sörensen, 2018).

Keywords: Pluvial flooding, extreme rainfall, blue-green infrastructure

Sammanfattning

Urbana, pluviala översvämningar orsakar stor skada på infrastruktur, byggnader och stadslivet under och efter extremregn. I den här studien har anmälningar och rapporter från försäkringsbolag och VA-huvudmannen i Malmö, VA Syd, analyserats spatialt. Målsättningen var att få en bättre förståelse för de mekanismer som påverkar pluviala översvämningar, dvs. översvämningar från intensiva regn, ibland benämnt som skyfall. Studien undersöker också hur blågrön infrastruktur påverkar översvämningsrisken. Kan blågrön infrastruktur vara en strategi för resilient hantering av översvämningar? Resultatet visar att vid mycket intensiva regn drabbas de som bor nära huvudledningsnätet i avlopssystemet ofta värre av översvämning än de som bor längre bort från dessa ledningar. Vid översvämning från regn med längre varaktighet och lägre intensitet ses däremot en större spatial spridning i staden. Det spelar då mindre roll om man bor nära eller långt från huvudledningsnätet. Vidare visar studien att områden med kombinerat nät är mer drabbade av översvämning än områden med duplikatsystem, även när man korregerar för att staden är tätare bebyggd där. Blågrön infrastruktur visade sig vara effektiv för att minska översvämningsrisken. I denna artikel diskuteras den storskaliga bilden av översvämning i relation till den småskaliga effekten av att hantera regnvatten genom fördröjning i till exempel dammar och lågtliggande grönområden. Artikeln baseras på författarens doktorsavhandling (Sörensen, 2018).

Introduktion

Nordiska städer har de senaste åren drabbats av flera översvämningar som lett till stora, ekonomiska och samhälleliga förluster. År 2002 isolerades flera orter på Orust utanför Göteborg till följd av 270 mm nederbörd och försäkringsbolagen täckte skador för uppskattningsvis 123 miljoner kronor (MSB, 2013). Försäkringskostnaderna efter översvämningen i Köpenhamn, Danmark i juli 2011 uppskattades till mer än 800 miljoner dollar (~7 miljarder SEK) (Swiss Re, 2011). De direkta ekonomiska förlusterna efter det extrema skyfallet i Malmö uppskattades till 600 miljoner kronor (Malmö stad 2016). Få översvämningshändelser i Norden har varit så omfattande att de har rapporterats till den internationella katastrofdatabasen (EM-DAT) (Barredo 2007). Endast en större händelse rapporterades från Sverige mellan 1970 och 2005, en vårflood i Bergslagen 1977. Fluviala översvämningar och kustöversvämningar orsakar flest skador och dödsfall i Europa (Barredo, 2007). I det här arbetet ligger dock fokus på pluvial översvämning på grund av dess nära koppling till dagvattenhantering, landskapsarkitektur samt städernas utveckling.

Pluvial översvämning definieras som oavsiktlig översvämning av mark som orsakar skador på grund av kraftigt regn. När regnvolymer överskrider kapaciteten hos naturliga och konstruerade system översvämmas lågtliggande områden med vatten. Det är per definition regnet som är huvudorsaken till pluviala översvämningar, men utfallet kan påverkas av andra faktorer såsom typografi, avloppssystem, samhällets sårbarhet med mera. I stadsområden tyglas (eller inte) pluvial översvämning genom avledning av dagvatten i så kallade primär- och sekundärsystem. Primärsystemet (eng: major system) har störst kapacitet och består av ytliga vattenvägar, både de som är konstruerade och de vägar vattnet tar oplanerat vid kraftigt regn. Sekundärsystemet (eng: minor system) består av det ledningsnät som hanterar dagvatten (kombinerat eller duplikat) (Bengtsson m.fl., 1993). Både markanvändning och avledning av dagvatten är starkt modifierad i våra städer, vilket gör att städer är mer utsatta för pluviala översvämningar än landsbygden. Pluviala översvämningar förväntas öka i framtiden på grund

av omfattande urbanisering/förtätning (UN, 2015a; Ligtvoet m.fl., 2014), otillräckliga avloppssystem (Swan, 2010) samt klimatförändringar (Semadeni-Davies m.fl., 2008a, b). I Skandinavien förväntas både årsnederbörd och extrema regnhändelser under sommaren att öka (SMHI, 2015; SMHI, 2017). Översvämningar från skyfall förväntas därmed öka, medan vårflooden förväntas minska på grund av en kortare snösäsong.

När man studerar översvämningar är det lätt att endast fokusera på megastäder som Dhaka, Kolkata, Shanghai, Mumbai, Jakarta, Bangkok och Ho Chi Minh-staden (se till exempel Ligtvoet m.fl., 2014). Trots att befolkningsdensiteten är längre i Europa jämfört med ovannämnda megastäder, har det rapporterats flera dödsfall i samband med urbana översvämningar också i Europa (Barredo, 2007). Det visar vikten av att hantera urbana översvämningar även här. Medan ovannämnda megastäder hotas av översvämning från både floder och kusten, har Malmö, som studerats i detta arbete, inget större vattendrag och är i jämförelse väl skyddat mot kustöversvämning. Det är därför naturligt att fokusera på pluviala översvämningar, vilka har orsakat stora skador i Malmö, i andra städer i Norden och på annat håll (Houston m.fl., 2011; MSB, 2013). Pluvial översvämning har mycket gemensamt med fluvial översvämning (översvämning från vattendrag), både klimatologiska (Glaser m.fl., 2010) och hydrologiska (Berghuijs m.fl., 2016) faktorer samt hur mänskliga aktiviteter påverkar (Zhang m.fl., 2014). Pluvial översvämning verkar emellertid i en annan skala än fluvial översvämning. Medan fluvial översvämning orsakas av kraftigt regn eller snösmältning över en längre tid, orsakas pluvial översvämning av höginintensiv nederbörd med vanligtvis kortare varaktighet. Medan fluvial översvämning resulterar i allvarlig översvämning nära vattendrag, kan pluvial översvämning påverka alla låglänta områden. Och medan fluvial översvämning påverkas av förändringar av markanvändningen på regional nivå, till exempel omfattande dränering av våtmarker och intensifierat jordbruk, påverkas pluvial översvämning av småskaliga förändringar av markanvändningen i stadsområden, såsom ökad användning av hårdgjorda ytor. Det finns många forskningsstudier kring fluviala

översvämningar, men på grund av dessa skillnader behöver även mekanismerna och karaktéristiken bakom pluvial översvämning undersökas separat. Åtgärderna för att hantera pluviala översvämningar skiljer sig nämligen från de som kan användas för att hantera fluviala översvämningar.

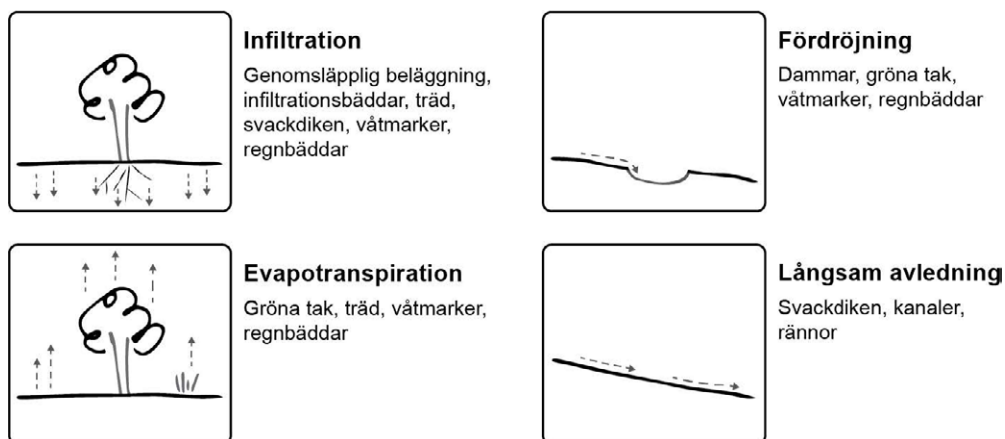
Sedan 1970-talet har det vuxit fram ett starkt intresse för blågrön infrastruktur i våra städer. Det hänger ihop med kombinationen av förorening av våra vatten, behov av fler grönområden, renovering av åldrande avloppsledningsnät, klimatanpassning och förtätning av städer. Blågrön infrastruktur lyfts fram i många sammanhang, både i Sverige och nationellt. I jämförelse med rörbaserade system nämns bland annat fördelar som översvämningsreduktion, biologisk mångfald, vattenförsörjning, svalka under heta sommarkvar, motståndskraft mot klimatpåverkan, urbant jordbruk och god hälsa för stadens invånare (Turner, 1995; Walsh m.fl., 2016).

Begreppet blågrön infrastruktur beskriver landskapsbaserade lösningar där dagvatten avleds decentraliserat genom gröna strukturer (Liao m.fl., 2017; O'Donnell m.fl., 2017). Det finns ett stort antal begrepp för att på olika sätt beskriva decentraliserad och hållbar hantering av dagvatten, på svenska kan det bland annat kallas öppen dagvattenhantering eller lokalt omhändertagande av dagvatten (LOD), medan det på engelska benämns till exempel best management practises (BMPs), low impact development (LID), sustainable (urban) drainage systems (SuDS/SUDS), green infrastructure (GI), eller water sensitive urban design (WSUD) (Fletcher m.fl., 2015). I denna artikel används begreppet blågrön infrastruktur eftersom det betonar vikten av både det blå (vatten) och det gröna (vegetation) och samspelet mellan dem. Ordet infrastruktur understryker det faktum att olika element måste kopplas samman för att fungera som ett sammanhängande system av åtgärder (Lennon, 2015). Vatten följer givetvis flödesvägar, naturliga eller konstruerade, men även utifrån ett ekologiskt perspektiv är sådana kopplingar i landskapet viktiga (Ahern, 2013) eftersom det gynnar spridning av flora och fauna mellan olika gröna element i staden. Varje element i den blågröna infrastrukturen är i sig en naturbaserad lösning (NBS) och efterliknar ett naturligt sätt att hantera

vatten (EC, 2015). De ekonomiska fördelarna med sådana lösningar har lyfts fram av den europeiska kommissionen liksom genom forskning (EC, 2015; Ossa-Moreno m.fl., 2017). Det ekonomiska perspektivet på blågrön infrastruktur har också studerats genom kostnads-nyttoanalys av översvämningsåtgärder där det visade sig att blågrön infrastruktur är ekonomiskt fördelaktigt när ekosystemtjänster såsom översvämningssskydd, vattenreningsförmåga, luftreningsförmåga, klimatreglering, bullerdämpning och höjning av rekreationsvärde inkluderas i analysen (Read m.fl., 2016).

Denna artikel baseras på författarens doktorsavhandling från 2018, *Urban, pluvial flooding: Blue-green infrastructure as a strategy for resilience* (Sörensen, 2018). Avhandlingen tar utgångspunkt i ett hydrologiskt perspektiv på urban, pluvial översvämning, men går också vidare och studerar den socio-tekniska övergången i samband med förändrad stadsmiljö och klimatförändringar, där strategier för implementering av decentraliserad dagvattenhantering genom blågrön infrastruktur undersöks. I denna artikel ligger fokus på hydrologin vid pluviala översvämningar i stort och smått. Med stort menas hur stadens topografi, avloppssystem med mera påverkar var pluviala översvämningar drabbar staden i stora drag (Sörensen & Mobini, 2017). Med smått menas hur detta kan påverkas lokalt genom t.ex. implementering av blågrön infrastruktur (Sörensen & Emilsson, 2019).

I avhandlingen, som kan laddas ner gratis från <https://lup.lub.lu.se> eller rekvideras från författaren, presenteras en kort teoretisk bakgrund. Denna kan vara intressant för den som vill uppdatera sig på underrubrikerna extremregn, pluviala översvämningar, problem relaterade till vår nuvarande dagvattenhantering samt blågrön infrastruktur. Förutom de två delstudierna som presenteras här, bygger avhandlingen på en multidisciplinär studie om översvämningshantering (Sörensen m.fl., 2016), en studie om vilka barriär och drivkrafter som påverkar ökat användande av blågrön infrastruktur (Wihlborg m.fl., 2019) och slutligen en studie som föreslår ett ramverk för att arbeta strategiskt med framför allt GIS-data i planeringen av blågrön infrastruktur (Sörensen m.fl., u.å.).



Figur 1. Hydrologiska egenskaper hos blågrön infrastruktur, inklusive bland annat infiltrering från olika ytor och dagvattenlösningar, evapotranspiration från vegetation, retention i dammar, magasin och på gröna tak och långsam transport i svackdiken och kanaler.

Blågrön infrastruktur som riskreducerare

Blågrön infrastruktur inkluderar många olika typer av lösningar som var och en påverkar hydrologin sitt sätt (figur 1). Gröna tak och andra gröna ytor minskar andelen hårdgjorda ytor och möjliggör ökad infiltration. De lagrar regnvatten och fördröjer avrinningen, vilket leder till ökad evapotranspiration från ytan. Genomsläpplig beläggning på till exempel trottoarer och parkeringar ger ökad infiltration genom jorden. Träd har flera funktioner: trädkronan minskar mängden regn som når marken, medan trädgroparna ger ökad infiltration. Fördröjningsdammar håller kvar vattnet och minskar avrinningen till nedströms områden. Även våtmarker håller kvar vatten som senare evapotranspirerar, infiltreras eller avrinner långsamt. Regnbäddar fungerar på liknande vis fast i mindre skala, men i motsats till våtmarker torkar de vanligen ut efter varje regn. Kanaler och rännor leder ytvatten vidare från en lösning till en annan. Svackdiken sörjer för långsam avledning och viss infiltration. Ytor för tillfällig översvämning, såsom konkava grönområden, håller kvar vattnet vid kraftigt regn. Eftersom ingen av lösningarna är optimala för alla olika regnintensiteter, och eftersom de har olika andra funktioner vid sidan av den hydrologiska funktionen, bör de användas i kombination i ett

så kallat treatment train. För en detaljerad beskrivning av olika lösningar, se till exempel SuDS-manualen från Storbritannien (Woods Ballard m.fl., 2015) som är fritt tillgänglig.

Flera forskningsstudier har visat att olika lösningar kan bidra till att minska översvämningsrisken i ett område, till exempel fördröjningsdammar (Villarreal m.fl., 2004), konkava grönområden (Liu m.fl., 2014), gröna tak (Qin m.fl., 2013), genomsläpplig beläggning (Qin m.fl., 2013; Liu m.fl., 2014; Zahmatkesh m.fl., 2014) och infiltrationsanläggningar (Stewart & Hytiris, 2008). En kombination av olika åtgärder rekommenderas för att uppnå maximal effekt (Qin m.fl., 2013; Liu m.fl., 2014). Zölch m.fl. (2017) har å andra sidan, med ett ganska extremt scenario där alla tak i ett område är gröna tak, visat att avrinningen bara minskas med cirka 20 % av den totala nederbörden för händelser med 2- och 5- års återkomsttid. Omfattande plantering av träd minskar avrinningen ännu mindre, med cirka 5 % för samma händelser, enligt samma studie. Torgersen (2015) har visat att nederbörd före en extremhändelse har betydelse för konsekvensen av översvämningen. För händelser upp till 10 års återkomstperiod, har Villarreal m.fl. (2004) dock visat att den blågröna infrastrukturen i Augustenborg kan hantera stora

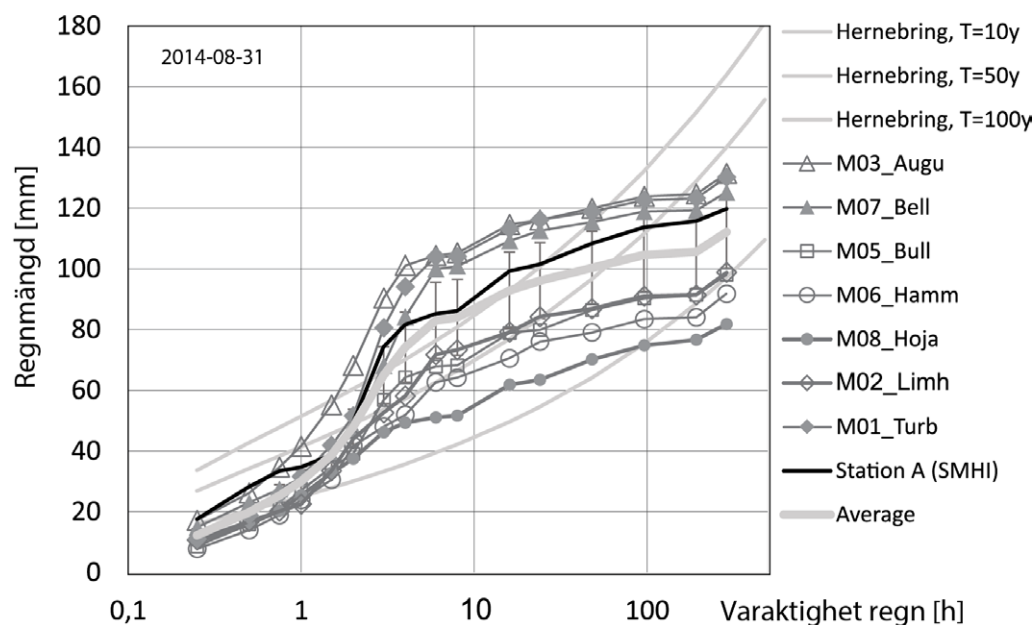
regn genom fördröjning i dammar, även vid våta initiala förhållanden. Stora dammar och våtmarker har ibland kritiserats eftersom de förlänger tiden med omfattande avledning till nedströms recipient (Roesner m.fl., 2001) och sådana strukturer kan till och med öka översvämningsrisken nedströms om toppflödet sammanfaller med toppflöden från andra områden. Det är bland annat därför dammar och våtmarker bör kombineras med andra blågröna lösningar såsom gröna tak och genomsläpplig beläggning.

Malmö och den stora översvämningen 2014

För att analysera mekanismerna och karaktistiken vid urban, pluvial översvämning i stor skala användes Malmö inom yttre ringvägen som studieområde, medan Ekostaden Augustenborg, ett bostadsområde i Malmö, användes för att analysera sambandet mellan översvämning och blågrön infrastruktur. Malmö valdes ut som studieplats eftersom Malmö i ett nordiskt sammanhang är en stor stad där det har skett flera översvämningshän-

delser de senaste åren, inklusive den stora översvämningen 2014. Liksom i många andra städer har staden en stor andel kombinerat ledningsnät där dagvatten och spillvatten avleds i samma rör, vilket leder till ökad risk för källaröversvämningar. Malmö är således representativt för nordiska städer och många andra städer som kloakerats vid samma tid. Bra data om översvämning, nederbörd, topografi, avloppssystem mm finns tillgängliga för Malmö. Malmö är också känt inom urbanhydrologi, eftersom man tidigt implementerade blågrön infrastruktur här (Niemczynowicz, 1999; Stahre, 2008).

I Augustenborg, ett 30 hektar stort bostadsområde i Malmö, avleds dagvatten genom blågrön infrastruktur. Dagvattnet infiltrerar på gröna tak, gräsmattor och parkeringsplatser, transporteras långsamt i svackdiken, diken och kanalerna och fördröjs i dammar och ytor för tillfällig översvämning. I stort sett allt dagvattnet har kopplats bort från det gamla kombinerade avloppssystemet som nu bara används för spillvatten. Dagvatten från hu-



Figur 2. Maximal uppmätt regnvolym vid olika varaktighet den 31 augusti 2014 för VA Syds sju mätare och SMHI:s enda mätare i Malmö.

vudgatan genom området avleds genom en rörledning. Den blågröna infrastrukturen byggdes i slutet av 1990-talet av VA-verket i Malmö (nu VA Syd) och MKB (Malmö kommunala bostadsbolag) som en del av projektet Ekostaden Augustenborg. För en detaljerad beskrivning av den blågröna infrastrukturen i Augustenborg, se Sörensen & Emilsson (2019).

Den 31 augusti 2014 drabbades Malmö av en stor översvämning. Nedbördshändelsen är den största sedan mätningar påbörjades i Malmö i slutet av 1800-talet och den ledde till allvarlig översvämning i större delen av staden samt i närliggande byar och i vissa delar av Köpenhamn. För varaktigheter längre än två timmar överstiger regnhändelsen ett 100-årsregn. Det kan noteras att SMHIs definition av skyfall är minst 50 mm på en timme eller minst 1 mm på en minut. Inte vid någon av stationära mätarna i Malmö uppmättes över 50 mm regn på en timme den 31 augusti 2014 (figur 2). Den allmänna uppfattningen är dock att händelsen kan kallas för ett skyfall även om den inte uppfyller kriterierna i SMHIs definition. För en detaljerad genomgång av skyfallet hänvisas till en tidigare artikel i Tidskriften VATTEN, se Hernebring m.fl. (2015). Händelsen blev ett slags stresstest för stadsmiljön och avloppssystemet och är därför av stort intresse. Medan sådana intensiva händelser är sällsynta kan liknande händelser inträffa i någon stad inom samma klimatzon, oberoende av deras genomsnittliga årliga nederbörd (Bengtsson & Rana, 2014). Det är alltså inte osannolikt att en liknande översvämning drabbar en annan stad (eller Malmö igen) i framtiden. För att händelsen 2014 inte ska stå ensam har delstudierna kompletterats med data från andra, mindre händelser i Malmö.

Analys av pluviala översvämningar

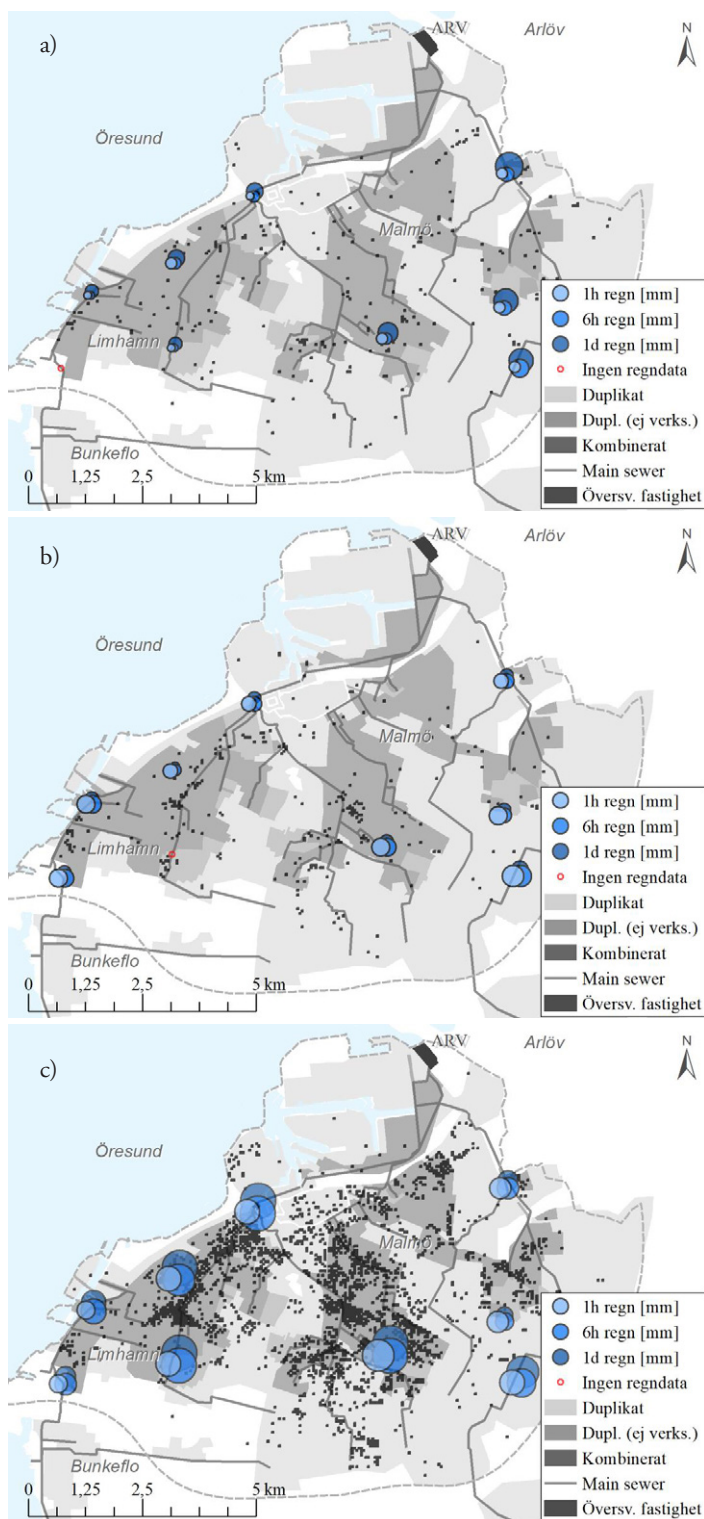
I båda delstudierna har anmälningar till dels Länsförsäkringar Skåne, som har en ansevärd andel av försäkringsmarknaden för privatpersoner i Malmö, och dels VA Syd, som är VA-huvudman, samlats in och analyserats. Anmälningarna täcker en period på cirka 20 år fram till 2015. Översvämningsskador som registrerats genom dessa anmälningar används för att utvärdera den rumsliga spridningen av över-

svämningsrisk i förhållande till de mekanismer som orsakar översvämning. Anmälningarna används för att bedöma hur kraftiga olika översvämningshändelser varit samt som en indikator för översvämningssrisker på olika ställen, vilket kan relateras till alla tre sidor av Crichtons risktriangel (Crichton, 2008), dvs risk, exponering och sårbarhet. Enskilda hushålls sårbarhet och exponering bedöms emellertid inte, eftersom studien fokuserar på mönster i stor skala.

Malmö primär- och sekundärsystem, dvs. ytavrinning och rörledningsnät, för dagvattenavledning undersöktes. Primärsystemet undersöktes genom en enkel topografisk GIS-analys med en rastermodell med åtta riktningar i varje cell där flödet ackumuleras i varje cell (Jenson & Domingue, 1988). Ingen validering av analysen gjordes, men den jämfördes med ledningsnätet, vilket VA Syd levererat som en översikt av huvudledningsnätet. Gamla kartor studerades också i förhållande till primär- och sekundärsystemet. Primär- och sekundärsystemet följs till stor del åt, även om de på vissa håll har olika sträckning.

För att studera översvämningssriskerna i Augustenborg jämfördes området med fem närliggande områden: Lindgatan, Lönngården, Norra Sofielund, Södra Sofielund och Persborg. Områdena valdes ut eftersom de liknar Augustenborg på flera sätt, bland annat när det gäller markanvändning, byggnadsdensitet, när de byggdes och ursprunglig typ av avloppssystem (kombinerat). Blågrön infrastruktur har bara implementerats i Augustenborg, medan de övriga områdena fortfarande huvudsakligen har kvar det kombinerade systemet, vilket gör dem lämpliga för jämförelse med Augustenborg i denna studie. Lindgatan är ett undantag, eftersom det kombinerade systemet har separerats där.

Översvämningsmagnitud definierades som antalet översvämmade fastigheter per hektar (eng: number of flooded properties per hectare, NFP/ha) för att kunna jämföra översvämningssriskerna i Augustenborg med de övriga områdena. En bootstrap-teknik användes för att statistiskt utvärdera långsiktiga skillnader i översvämningsmagnitud mellan Augustenborg med sitt ombyggda dagvattensystem och de fem närliggande områdena.



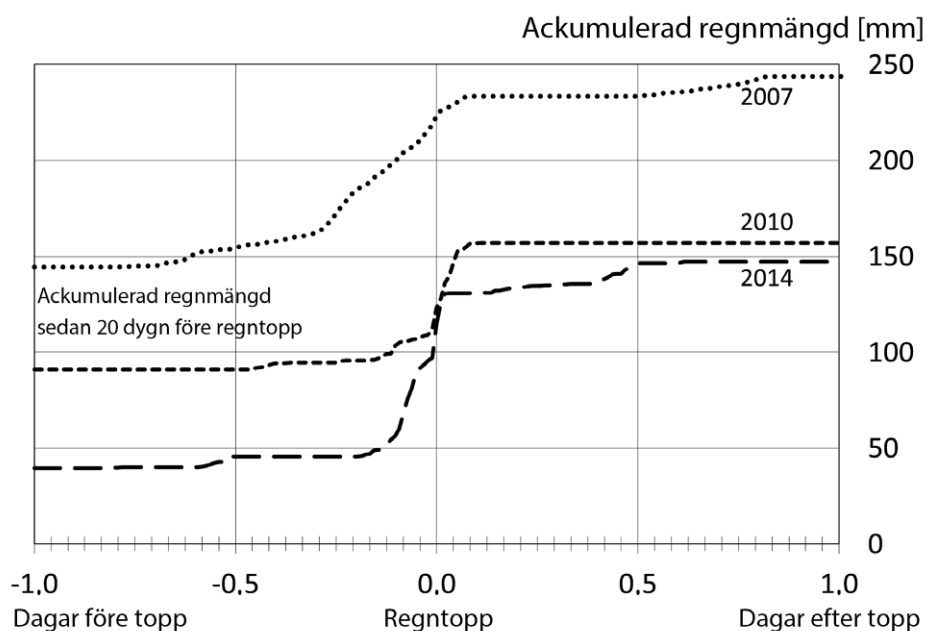
Figur 3. Översvämning 2007 (a), 2010 (b) och 2014 (c) i Malmö. Svarta fyrkanter markerar de celler (50x50m) där översvämning rapporterats från. Regnvolym för 1h (ljusblå cirklar), 6h (mellanblå cirklar) och 1d (mörkblå cirklar) ses för samtliga stationära regnmätare (VA Syd och SMHI). Storleken på cirklarna kan jämföras mellan stationerna och de tre händelserna, men inte mellan olika varaktighet (de är normerade för att vara någorlunda lika stora).

Hur pluviala översvämningar drabbar staden

Pluvial översvämning är den vanligaste typen av översvämning i Malmö. Endast ett fåtal anmälningar har registrerats vid höga havsnivåer och det finns bara ett (relativt litet) vattendrag i Malmö (Risebergabäcken/Sege å) som inte tycks vara särskilt påverkat av översvämning. De elva största översvämningshändelserna under den undersökta 20-årsperioden orsakades av regn lokalt eller över hela staden. Dessa elva händelser står för cirka 80 % av anmälningarna som rapporteras till VA Syd och Länsförsäkringar Skåne under 20 år. Tre stora översvämningar presenteras i studien: den 5 juli 2007 med 150 respektive 169 anmälningar till VA Syd respektive Länsförsäkringar Skåne inom studieområdet (figur 3a), den 14 augusti 2010 med 210 respektive 148 anmälningar (figur 3b) och den 31 augusti 2014 med 2 109 respektive 2 649 anmälningar (figur 3c). Dessa händelser orsakades av kraftig nederbörd över hela staden. Händelserna 2010 och 2014 var intensiva och med relativt kort

varaktighet, medan 2007-händelsen var mindre intensiv men med många regniga dagar innan översvämningen (figur 4).

Studien visade att det finns en koppling mellan storskalig topografi och översvämning i Malmö. Områden inom 100 m från de huvudsakliga, ytliga avrinningsvägarna, enligt GIS-analysen, påverkas mer än dubbelt så mycket av översvämningar jämfört med områden längre bort, om man studerar alla rapporterade översvämningar. Under de kraftiga regnhändelserna 2010 och 2014 blev dessa områden ännu mer påverkade av översvämningar (3,0–4,2 gånger) i jämförelse med områden längre bort. Under sådana skyfall leds vattnet snabbt mot låglänta områden, både via primär- och sekundärsystemet. I Malmö, och förmodligen på de flesta andra ställen, ligger de huvudsakliga avloppssystemen (sekundärsystemet) under de viktigaste ytliga vattenvägarna som uppstår vid kraftigt regn (primärsystemet), eftersom de följer topografin. Den rumsliga fördelningen under de två mest högin-



Figur 4. Ackumulerad nederbörd (SMHI station A) för de tre översvämningarna i Malmö den 5 juli 2007, 14 augusti 2010 och 31 augusti 2014. Den ackumulerade kurvan är centrerad kring högsta intensiteten (15 minuters maxintensitet) och volymen är ackumulerad sen 20 dygn före regntopp till 1 dygn efter.

tensiva nedgångshändelser (2010 och 2014) var annorlunda än under andra händelser, eftersom fler anmälningar kom från områden nära primärsystemet. För de andra händelserna, inklusive 2007-översvämningen, var anmälningarna jämnare fördelade över staden.

Studien visade också att det kombinerade systemet är mer utsatt för översvämning än duplikatsystemet. Även om endast runt 31 % av Malmö är kopplat till det kombinerade systemet, rapporteras 70 % av anmälningarna från dessa områden. Under 2010- och 2014-händelserna var det kombinerade systemet 3,8–4,2 gånger mer drabbat av översvämningar jämfört med duplikatsystemet. Liknande siffror återfinns om alla händelser räknas med. 2007 års händelse visar däremot ett annat mönster: områden med kombinerat nät var bara lite mer än dubbelt (2,3 gånger) så kraftigt drabbat av översvämning under denna händelse, jämfört med områden med duplikatsystem. En orsak till att händelsen 2007 skiljer sig från de andra händelserna kan vara skillnaden i hur översvämningen utvecklats. Innan 2007-händelsen hade kontinuerlig nederbörd veckorna innan gjort att marken blivit mättad med vatten. Översvämningen var därför inte lika tydligt relaterad till typen av avloppssystem. Datasetet är delvist snedvridet eftersom fler människor bor i områden med kombinerat system, men skillnaden i anmälningar återfinns emellertid även när snedvridningen justeras.

Lokalt orsakas viss översvämning av akuta tekniska problem, t.ex. när en pump går sönder. Sådana problem rapporterades vid alla de tre största händelserna. Å ena sidan kan fenomenet med lokala, tekniska problem ses som unika händelser som man inte kan förvänta ska hända igen. Å andra sidan, och i realiteten, tycks det oundvikligt att ett antal sådana, unika händelser inträffar vid varje större översvämningshändelse.

Hur pluviala översvämningar kan reduceras lokalt

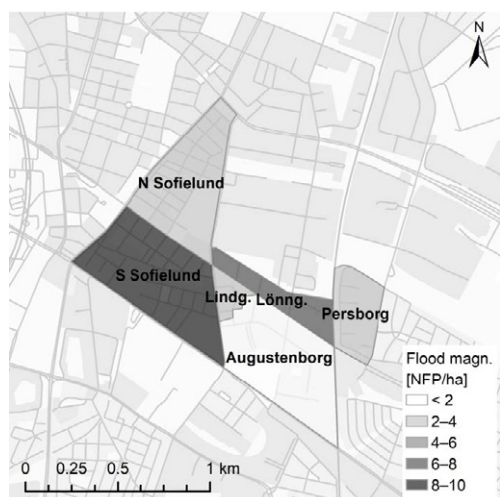
För att bedöma effekten av att implementera blågrön infrastruktur i Augustenborg, jämfördes magnituden av översvämning här med fem närliggande områden (Lindgatan, Lönngården, Norra och Södra Sofielund och Persborg). Områden har ungefär

samma ålder, markanvändning och hårdgjorda ytor som Augustenborg. Samtliga fem områden har kombinerat avloppssystem, vilket motsvarade vad Augustenborg hade före dagvattensystemet byggdes om. Lindgatan har dock duplikatsystem efter renovering. Översvämningsmagnituden (antalet översvämmade fastigheter per hektar) var mer än 10 gånger mindre i Augustenborg jämfört med de andra områdena i studien, både under den extrema 2014-händelsen och under övriga översvämningshändelser under perioden 2007–2015. Skillnaden bekräftades med en bootstrap-analys och fanns signifikant (99 % bootstrap-konfidensintervall).

Det finns inte särskilt mycket översvämningsdata (anmälningar) tillgänglig från före implementeringen av den blågröna infrastrukturen i Augustenborg, men en enkel jämförelse av före och efter gjordes. Denna jämförelse indikerar som förväntat en minskad översvämningrisk efter implementering av blågrön infrastruktur i Augustenborg jämfört med de fem närliggande områdena.

Översvämningen den 31 augusti 2014 måste anses vara extrem eftersom mer än 80 % av översvämninganmälningarna under perioden 2007–2015 rapporterades denna dag. Händelsen möjliggör därför en utvärdering av den blågröna infrastrukturen under extrema förhållanden, vilket är unikt för ett såpass stort område med blågrön infrastruktur. I Augustenborg uppmättes 116 mm regn vid översvämningen den 31 augusti 2014 och merparten (100 mm) föll under 3,5 timme. Jämfört med de fem närliggande områdena utan blågrön infrastruktur var översvämningsmagnituden ungefär 10 gånger lägre i Augustenborg (figur 5), som tidigare nämnts. Vid Lindgatan, som var det minst drabbade området, utöver Augustenborg, var översvämningsmagnituden 6,4 gånger högre än i Augustenborg, medan magnituden i det värst drabbade området, Södra Sofielund, var 18,4 gånger högre än i Augustenborg.

Det bör noteras att antalet anmälningar från Augustenborg var lågt också innan den blågröna infrastrukturen implementerades. Det verkar dock som om antalet anmälda översvämningar i allmänhet har ökat av olika skäl för de andra studerade områdena, medan så inte är fallet för Augustenborg.



Figur 5. Översvämningsmagnituden (NFP/ha) för Augustenborg och fem jämförbara områden den 31 augusti 2014. Hög översvämningsmagnitud visas i mörkgrå och låg i ljusgrå.

Åtgärder för att minska översvämningsrisken och öka motståndskraften

Studien från Augustenborg visar att förnyelse av dagvattenssystemet med blågrön infrastruktur kan minska översvämningsrisken om det nya systemet ger plats för kontrollerad översvämning, som fördrojningsdammar och konkava grönområden. Bristen på data från före ombyggnaden gör att före/efter-jämförelsen skulle vara mycket osäker om den stod ensam. I det här fallet bekräftas dock resultaten dels av jämförelsen med liknande områden i närområden och dels av en hydraulisk modellering av dagvattenssystemet i Augustenborg före och efter ombyggnad (Haghighatafshar m.fl., 2018). Resultaten är förväntade, eftersom stora ytor i stadsmiljön har tillgängliggjorts för att hantera vatten i och med ombyggnaden. Baserat på slutsatser i tidigare studier (Villarreal m.fl., 2004; Shukri, 2010), är en rimlig förklaring till den minskade översvämningsrisken i Augustenborg en minskning av maxflöden och av totala avrinningsvolymen.

Från de två studierna som presenterats i denna artikel ses hur den stora och den lokala skalan samverkar och ger förutsättningarna för översvämningsrisken i ett område. Södra Sofielund påverkas

allvarligt av översvämnningar, vilket främst kan förklaras av en av de stora huvudledningarna i Malmö leds genom området. Förr rann här ett litet bäck. Sådana vattendrag har rörlagts på många ställen och utgör nu en del av ledningsnätet. Som framgår av den storskaliga studien från Malmö, har områden längs de stora flödesvägarna en högre risk för översvämning. Avståndet till huvudledningsnätet verkar vara viktigare för översvämningsrisk än topografi, medan topografi naturligtvis styr placeringen av ledningarna. Södra Sofielund påverkas kraftigare av översvämning än Norra Sofielund, trots att den ligger på en högre höjd, vilket troligen beror på dess läge längs huvudledningsnätet med ett stort uppströms avrinningsområde. Trots Augustenborgs lägre höjd i jämförelse med exempelvis Hindby i öst och Almhög i söder är översvämningsrisken lägre här. I det här fallet är förklaringen troligen att det ges omfattande plats till kontrollerad översvämning genom den blågröna infrastrukturen i Augustenborg. Frånkopplingen av dagvatten från det kombinerade systemet skulle dock inte ha varit lika fördelaktigt om en av huvudledningarna leddes genom området. Området skulle i så fall riskera att översvämmas av vatten från uppströms områden vid intensivt nederbörd. Det är med andra ord en kombination av decentralisering av ledningsnätet och utrymmesskapande, blågröna lösningar som ger minskad översvämning.

Eftersom det hydrologiska sambandet mellan uppströms och nedströms områden naturligt påverkar översvämningsrisken bör sambandet leda till en strategisk planering av blågrön infrastruktur och andra åtgärder för att förebygga översvämnningar. Köpenhamns skyfallsplan prioriterar åtgärder i centrala delar av staden på grund av de höga ekonomiska värdena där (KK, 2012). Trots att översvämningsrisken är högre i områden med kombinerat system jämfört med duplikatsystem och dessa är ofta placerade nedströms i systemet nära centrum, där platsen är begränsad, kan det ändå vara effektivare att påbörja implementeringen av översvämningsåtgärder uppströms områden, eftersom åtgärder i uppströms områden också påverkar alla nedströms områden (Haghighatafshar m.fl., 2018). Frågan är alltså huruvida åtgärder

bör vidtas där översvämningsrisken är hög eller om uppströms områden bör prioriteras för att säkerställa minskad översvämnings och nedströms. Det finns inget enkelt svar på denna fråga, eftersom varje stad och stadsdel är unik, men storskalig implementation av blågrön infrastruktur utanför stadskärnan är i allmänhet både lättare och billigare. Det bör dock tilläggas att det ännu inte finns en fullständig förståelse av hur storskalig implementering av blågrön infrastruktur påverkar stadens hydrologi. Det finns några forskningsstudier, men de bygger ofta på modellering med vag eller symbolisk parametrisering av viktiga hydrologiska egenskaper (Stovin m.fl., 2013; Viavattene & Ellis, 2013; Sun m.fl., 2014) eller modellering utan kalibrering och validering (Siekman & Siekman, 2015; Locatelli m.fl., 2015).

På många håll har frågan om att bygga stora tunnelsystem för att minska översvämnings lyfts. Sådana konstruktioner är kostsamma att bygga, leder till hög underhållskostnad för en lång tid framöver och riskerar att i ännu högre grad frkoppla människor från stadens vatten. Till exempel föreslås byggandet av en stor tunnel för att leda bort stora mängder vatten vid extremregn i norra Köpenhamn till en kostnad på cirka en miljard danska kronor. Det anses där omöjligt att bygga en säker ytvattenavledning på grund av befintliga byggnader. Totalt föreslås fyra tunnlar i Köpenhamns skyfallsplan till samlad kostnad på cirka 2,6 miljarder danska kronor (Liu & Jensen, 2017). De föreslagna tunnarna i Köpenhamn har starkt kritiserats för deras snäva perspektiv (Liu & Jensen, 2017). Liknande kritik har framförts på andra håll när liknande tunnlar har föreslagits eller byggts, till exempel i Philadelphia (Maimone, 2008; Vanaskie m.fl., 2012), London (Stovin m.fl., 2013) och Beijing (Liu & Jensen 2017). Även i Malmö har en tunnel föreslagits för att minska bräddningar från det kombinerade nätet. En holistisk hantering av översvämnings och dagvatten kräver lösningar med flera parallella ändamål. Lösningarna måste vara värdefulla för staden varje dag, inte bara vid extremregn en gång på 50 eller 100 år (Fratini m.fl., 2012). Nuvarande översvämnings- och dagvattenhantering bör därför utvecklas från en snäv

synvinkel till ett multidisciplinärt synsätt med hela spektrumet av värden och behov i tankarna, till exempel estetik, ekologi, ekonomi, lokalt klimat, pedagogik, kultur och miljö, utöver hydrologi (Stahre, 2006). Det betyder att hela skalan, från den dagliga funktionen hos systemet och staden till de mest extrema händelserna, bör införlivas. En helhetssyn på systemet, inklusive vid extrema händelser, bör användas istället för att fokusera separat på avloppsfrågan. När städer förtätas är konflikter om markanvändning oundvikliga, speciellt i ljust av vikten av fler urbana grönområden (Ahern, 2013; Walsh m.fl., 2016) och uppfattningen att människors vardagliga förhållande till vatten är viktigt för deras beredskap vid stora översvämningsar (Liao, 2012). Dessa konflikter måste synliggöras och hanteras för att möjliggöra de bästa lösningarna (Wihlborg m.fl., 2019).

En stor utmaning med blågrön infrastruktur är just behovet av plats. Studien från Augustenborg visar emellertid att det inte alltid behöver anläggas nya grönområden för att implementera blågrön infrastruktur. Det mesta av den plats som användes för kontrollerad översvämnings i Augustenborg fanns redan före ombyggnaden. Gårdarna mellan byggnaderna har haft en konkav profil ända sedan de byggdes 1948–1950. Eftersom området hade ett kombinerat system fram till ombyggnaden, var dessa potentiella fördröjningsvolymerna inte kopplade till dagvattensystemet. På många håll är det möjligt att integrera den blågröna infrastrukturen i den befintliga stadsmiljön. I Köpenhamn har man med framgång testat att implementera blågröna lösningar i små innergårdar. Regnbäddar längs en gata kan användas istället för väghinder för att dra ner på bilarnas hastighet. Man kan göra relativt små lösningar på många ställen runt om i staden, med en samlad stor effekt. Enligt Villarreal m.fl., (2004) skulle en 10-årshändelse förmodligen kunna hanteras i Augustenborg med en konventionell separering av spill- och dagvatten i områden, men det skulle ha lett till omfattande jordarbeten och ett större tryck på ledningsnätet nedströms.

I diskussionen om plats bör man komma ihåg att många landskapsbaserade lösningar för översvämningskydd inte är gröna. I Augustenborg

finns en liten amfiteater i mitten av skolgården. Dagvatten från taken runtomkring leds till detta, fördröjs under regn och infiltrerar/evaporerar genom den permeabla beläggningen. I Roskilde i Danmark har en stor skateboardpark byggts som kan fördröja stora vattenvolymer vid extremregn. Notera också att några källare i Augustenborg översvämmades trots den omfattande blågröna infrastrukturen. Orsaken till källaröversvämningarna under den extrema 2014-händelsen är förmodligen att nedfarterna till vissa av parkeringskällarna ledde ytvattnet direkt ner från gatan. Höjsättningen runt byggnaderna gjordes alltså inte på ett korrekt sätt när de byggdes och denna har inte rättats till senare, förmodligen för att ingen tänkte på så extrema regn som 2014-händelsen. Allt handlar med andra ord inte om hur 'gröna' de landskapsbaserade lösningarna är.

Resultat från den storskaliga delstudien i kombination med nyligen genomförda studier av avrinning från permeabla ytor (Sjöman & Gill, 2014; Berggren m.fl., 2013) tyder på att den urban hydrologi i stor utsträckning är tredimensionell. Den inkluderar inte bara ytan, vilket ofta antas vid dimensionering av dagvattensystem, utan också egenskaper i jorden. Medan ytavrinning är den styrande hydrologiska processen vid översvämning, visar studien från Malmö att markens måttnad vid långvarig nederbörd också påverkar översvämningens graden, dvs när kraftig nederbörd kommer efter en långvarig period med nederbörd. Infiltrationen från olika ytor i staden och deras underliggande jordlager kan vara olika också mycket lokalt och infiltrationshastigheten genom olika ytor förändras dessutom med tiden. Mer precisa definitioner av stadens olika ytor är därför viktiga för att bättre modellera hydrologin i städer och det bör utvecklas metoder för uppskalering av småskaliga resultat från hydrologisk modellering av blågrön infrastruktur till storskalig förståelse av stadens hydrologi (Redfern m.fl., 2016).

Sammanfattningsvis har de här två delstudierna gett fördjupad kunskap om urbana, pluviala översvämningar från ett hydrologiskt perspektiv. Det kan konstateras att översvämningar som orsakas av högentensivt regn under kort tid orsakar störst

skador längs primär- och sekundärsystemet, dvs vattenvägar både över markytan längs till exempel gator och under markytan vattnet i rörledningar, dit vattnet snabbt leds vid kraftigt regn. Vid långsammare förlopp, när marken är mättad av vatten innan översvämningen, ser man däremot ett annat mönster med mer jämnt utspridd översvämning. Från det empiriska materialet (rapporterade översvämningsskador) ses också att områden med kombinerat avloppsnät drabbas mer av översvämning än områden med duplikatsystem. En sista slutsats är att blågrön infrastruktur bidrar till att minska risken för översvämning i städer.

Tack

Ett stort tack till Länsförsäkringar Skåne och VA Syd för data till de båda studierna och för stöd på vägen. Tack till Joanna Theland som initierade vårt samarbete med Länsförsäkringar Skåne under sitt examensprojekt. Tack också till mina doktorandhandledare, Rolf Larsson och Lars Bengtsson vid teknisk vattenresurslära, LTH, samt till Shift eh Mobini, teknisk vattenresurslära, och Tobias Emilsson, SLU Alnarp, som hjälpte mig med var och en av de båda studierna.

Formas och Vinnova har finansierat (Formas 942-2015-149, Hållbar hantering av urbana översvämningar; Vinnova 2016-04254, Testbädd för grönbå urbana lösningar). Lantmäteriet har bidragit med GIS-data (Lantmäteriet Dnr: I2014/00579).

Referenser

- Ahern, J. (2013) Urban landscape sustainability and resilience: The promise and challenges of integrating ecology with urban planning and design. *Landscape Ecology*, 28: 1203–1212.
- Barredo, J. I. (2007) Major flood disasters in Europe: 1950–2005. *Natural Hazards*, 42(1): 125–148.
- Bengtsson, L., Niemczynowicz, J., & Zhang, T. (1993) Urban storm drainage water pathways – conduit system and natural system. *VAV-nytt*, 93(2): 30–34.
- Bengtsson, L., & Rana, A. (2014) Long-term change of daily and multi-daily precipitation in southern Sweden. *Hydrological Processes*, 28(May 2013): 2897–2911.
- Berggren, K., Moghadas, S., Gustafsson, A.-M., Ashley, R. M., & Viklander, M. (2013) Sensitivity of urban stormwater systems to runoff from green/pervious areas in a changing climate. *Novatech*.
- Berghuijs, W. R., Woods, R. A., Hutton, C. J., & Sivapalan, M. (2016) Dominant flood generating mechanisms across the

- United States. *Geophysical Research Letters*, 43(9): 4382–4390.
- Crichton, D. (2008) Role of Insurance in Reducing Flood Risk. The Geneva Papers on Risk and Insurance Issues and Practice, 33(1): 117–132.
- EC (European Commission) (2013) Building a green infrastructure for Europe.
- Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R. M., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J.-L., Mikkelsen, P. S., Rivard, G., Uhl, M., Dagenais, D., & Viklander, M. (2015) SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7): 525–542.
- Fratini, C. F., Geldof, G. D., Kluck, J., & Mikkelsen, P. S. (2012) Three Points Approach (3PA) for urban flood risk management: A tool to support climate change adaptation through transdisciplinarity and multifunctionality. *Urban Water Journal*, 9(5): 317–331.
- Glaser, R., Riemann, D., Schönbein, J., Barriendos, M., Brázdil, R., Bertolin, C., Camuffo, D., Deutsch, M., Dobrovolný, P., van Engelen, A., Enzi, S., Halířková, M., Koenig, S. J., Koryza, O., Limanówka, D., Macková, J., Sghedoni, M., Martin, B., & Himmelsbach, I. (2010) The variability of European floods since AD 1500. *Climatic Change*, 101(1–2): 235–256.
- Haghighatafshar, S., Nordlöf, B., Roldin, M., Gustafsson, L. G., la Cour Jansen, J., & Jönsson, K. (2018) Efficiency of blue-green stormwater retrofits for flood mitigation – Conclusions drawn from a case study in Malmö, Sweden. *Journal of Environmental Management*, 207: 60–69.
- Hernebring, C., Milotti, S., Kronborg, S. S., Wolf, T., & Mårtensson, E. (2015) Skyfallet i sydvästra Skåne 2014-08-31: Fokuserat mot konsekvenser och relation till regnstatistik i Malmö. VATTEN – Journal of Water Management and Research, 71(2): 85–99.
- Houston, D., Werritty, A., Bassett, D., Geddes, A., Hoolachan, A., & McMillan, M. (2011) Pluvial (rain-related) flooding in urban areas: the invisible hazard. York.
- Jenson, S. K., & Domingue, J. O. (1988) Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(11): 1593–1600.
- KK (Københavns kommune) (2012) Københavns kommunes skybrudsplan. København, Denmark.
- Lennon, M. (2015) Green infrastructure and planning policy: a critical assessment. *Local Environment*, 20(8): 957–980.
- Liao, K.-H. (2012) A Theory on Urban Resilience to Floods—A Basis for Alternative Planning Practices. *Ecology and Society*, 17(4): 48.
- Liao, K., Deng, S., & Tan, P. Y. (2017) Blue-Green Infrastructure: New Frontier for Sustainable Urban Stormwater Management. In P. Y. Tan & C. Y. Jim (Eds.), *Greening Cities – Forms and Functions* (pp. 203–226). Singapore: Springer Nature.
- Ligtvoet, W., Hilderink, H., Bouwman, A., Van Puijenbroek, P., Lucas, P., & Witmer, M. (2014) Towards a world of cities in 2050 – an outlook on water-related challenges. Background report to the UN-Habitat Global Report. The Hague.
- Liu, L., & Jensen, M. B. (2017) Climate resilience strategies of Beijing and Copenhagen and their links to sustainability. *Water Policy*, 19(6): 997–1013.
- Liu, W., Chen, W., & Peng, C. (2014) Assessing the effectiveness of green infrastructures on urban flooding reduction: A community scale study. *Ecological Modelling*, 291: 6–14.
- Locatelli, L., Gabriel, S., Mark, O., Mikkelsen, P. S., Arnbjerg-Nielsen, K., Taylor, H., Bockhorn, B., Larsen, H., Kjølby, M. J., Blicher, A. S., & Binning, P. J. (2015) Modelling the impact of retention-detention units on sewer surcharge and peak and annual runoff reduction. *Water Science and Technology*, 71(6): 898–903.
- Maimone, M. (2008) Philadelphia's Storm Water and CSO Programs: Putting Green First. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2008(6): 899–915.
- Malmö stad (2016) Skyfallsplan för Malmö. Malmö, Sweden.
- MSB (2018) Översyn av områden med betydande översvämningsrisk. Karlstad, Sweden.
- Niemczynowicz, J. (1999) Urban hydrology and water management – present and future challenges. *Urban Water*, 1(1): 1–14.
- O'Donnell, E. C., Lamond, J. E., & Thorne, C. R. (2017) Recognising barriers to implementation of Blue-Green Infrastructure: a Newcastle case study. *Urban Water Journal*, 9006(February): 1–11.
- Ossa-Moreno, J., Smith, K. M., & Mijic, A. (2017) Economic analysis of wider benefits to facilitate SuDS uptake in London, UK. *Sustainable Cities and Society*, 28: 411–419.
- Qin, H., Li, Z., & Fu, G. (2013) The effects of low impact development on urban flooding under different rainfall characteristics. *Journal of environmental management*, 129: 577–585.
- Read, K. E., Karras, M., Sörensen, J., & Cedergren, A. (2016) Kostnads-nyttoanalys av införandet av hållbar dagvattenhantering som riskreducerande åtgärd mot översvämning – med fokus på monetär värdering av ekosystemtjänster. VATTEN – Journal of Water Management and Research, 72(3): 159–168.
- Redfern, T. W., Macdonald, N., Kjeldsen, T. R., Miller, J. D., & Reynard, N. (2016) Current understanding of hydrological processes on common urban surfaces. *Progress in Physical Geography*, 1–15.
- Roesner, L. A., Bledsoe, B. P., & Brashear, R. W. (2001) Are Best-Management-Practice Criteria Really Environmentally Friendly? *Journal of Water Resources Planning and Management*, 127(3): 150–154.
- Semadeni-Davies, A., Hernebring, C., Svensson, G., & Gustafsson, L.-G. (2008) The impacts of climate change and urbanisation on drainage in Helsingborg, Sweden: Suburban stormwater. *Journal of Hydrology*, 350(1–2): 114–125.
- Semadeni-Davies, A., Hernebring, C., Svensson, G., & Gustafsson, L.-G. (2008) The impacts of climate change and urbanisation on drainage in Helsingborg, Sweden: Combined sewer system. *Journal of Hydrology*, 350(1–2): 100–113.
- Shukri, A. (2010) Hydraulic Modeling of Open Stormwater System in Augustenborg, Sweden. Lunds universitet.
- Siekmann, T., & Siekmann, M. (2005) Resilient urban drainage – Options of an optimized area-management. *Urban Water Journal*, 12(1): 44–51.
- Sjöman, J. D., & Gill, S. E. (2014) Residential runoff – The role of spatial density and surface cover, with a case study in the Höljeå river catchment, southern Sweden. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(2): 304–314.
- SMHI (2015) Climate indicators - precipitation. Hämtad

- 9 juli 2018 från <https://www.smhi.se/en/climate/climate-indicators/climate-indicators-precipitation-1.91462>
- SMHI (2017) Största dygnsnederbörd. Hämtad 9 juli 2018 från <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimat-index/storsta-dygnsnederbord-1.76922>
- Sorensen, J., Persson, A., Sternudd, C., Aspegren, H., Nilsson, J., Nordstrom, J., Jonsson, K., Mottaghi, M., Becker, P., Pilesjo, P., Larsson, R., Berndtsson, R., & Mobini, S. (2016) Re-thinking urban flood management - Time for a regime shift. *Water*, 8(332): 1–15.
- Stahre, P. (2008) Blue-green fingerprints in the city of Malmö, Sweden: Malmö's way towards a sustainable urban drainage. Malmö, Sweden: VA Syd.
- Stahre, P. (2006) Sustainability in Urban Storm Drainage – Planning and Examples. Malmö, Sweden: VA-forsk.
- Stewart, R., & Hytiris, N. (2008) The role of Sustainable Urban Drainage Systems in reducing the flood risk associated with infrastructure. 11th International Conference on Urban Drainage.
- Stovin, V. R., Moore, S. L., Wall, M., & Ashley, R. M. (2013) The potential to retrofit sustainable drainage systems to address combined sewer overflow discharges in the Thames Tideway catchment. *Water & Environment Journal*, 27(2): 216–228.
- Sun, Y., Li, Q., Liu, L., Xu, C., & Liu, Z. (2014) Hydrological simulation approaches for BMPs and LID practices in highly urbanized area and development of hydrological performance indicator system. *Water Science and Engineering*.
- Swan, A. (2010) How increased urbanisation has induced flooding problems in the UK: A lesson for African cities? *Physics and Chemistry of the Earth*, 35(13–14): 643–647.
- Swiss Re (2011) The ripples of heavy cloudbursts. Hämtad 27 november 2013 från <http://www.swissre.com>
- Sörensen, J., & Emilsson, T. (2019) Evaluating Flood Risk Reduction by Urban Blue-Green Infrastructure Using Insurance Data. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 145(2).
- Sörensen, J. (2018) Urban, pluvial flooding: Blue-green infrastructure as a strategy for resilience. Lunds universitet.
- Sörensen, J., & Mobini, S. (2017) Pluvial, urban flood mechanisms and characteristics – Assessment based on insurance claims. *Journal of Hydrology*, 555: 51–67.
- Sörensen, J., Persson, A., & Olsson, J. A. (u.å.) A Framework for Strategic Urban Planning using Blue-Green Infrastructure and Nature-Based Solutions. *Urban Water Journal*.
- Torgersen, G., Bjerkholt, J. T., Kvaal, K., & Lindholm, O. G. (2015) Correlation between extreme rainfall and insurance claims due to urban flooding – Case study Fredrikstad, Norway. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 9(2): 127–138.
- Turner, T. (1995) Greenways, blueways, skyways and other ways to a better London. *Landscape and Urban Planning*, 33(1–3): 269–282.
- UN (2015) World Urbanization Prospects: The 2014 Revision.
- Walsh, C. J., Booth, D. B., Burns, M. J., Fletcher, T. D., Hale, R. L., Hoang, L. N., Livingston, G., Rippey, M. A., Roy, A. H., Scoggins, M., & Wallace, A. (2016) Principles for urban stormwater management to protect stream ecosystems. *Freshwater Science*.
- Vanaskie, M. J., Smullen, J., Rajan, R., Maimone, M., & Cammarata, M. (2012) Reducing Pollutant Loads from Philadelphia's Combined Sewer System with Green Stormwater Infrastructure. *Proceedings of the Water Environment Federation*, (5): 952–965.
- Viavattene, C., & Ellis, J. B. (2013) The management of urban surface water flood risks: SUDS performance in flood reduction from extreme events. *Water Science and Technology*, 67(1): 99–108.
- Wihlborg, M., Sörensen, J., & Olsson, J. A. (2019) Assessment of barriers and drivers for implementation of blue-green solutions in Swedish municipalities. *Journal of Environmental Management*, 233(November 2018): 706–718.
- Villarreal, E. L., Semadeni-Davies, A., & Bengtsson, L. (2004) Inner city stormwater control using a combination of best management practices. *Ecological Engineering*, 22(4–5): 279–298.
- Woods Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., & Kellagher, R. (2015) *The SuDS Manual*. C753. London, UK.
- Zahmatkesh, Z., Burian, S., Karamouz, M., Tavakol-Davani, H., & Goharian, E. (2014) Low-Impact Development Practices to Mitigate Climate Change Effects on Urban Stormwater Runoff: Case Study of New York City. *Journal of Irrigation Drainage Engineering*, 1–13.
- Zhang, Q., Gu, X., Singh, V. P., & Xiao, M. (2014) Flood frequency analysis with consideration of hydrological alterations: changing properties, causes and implications. *Journal of Hydrology*, 519: 803–813.
- Zölch, T., Henze, L., Keilholz, P., & Pauleit, S. (2017) Regulating urban surface runoff through nature-based solutions – An assessment at the micro-scale. *Environmental Research*, 157(April): 135–144.