

SKYFALLET I SYDVÄSTRA SKÅNE 2014-08-31 FOKUSERAT MOT KONSEKVENSER OCH RELATION TILL REGNSTATISTIK I MALMÖ

The cloudburst in Southwestern Scania 2014-08-31

With focus on consequences and in relation to rainfall statistics in Malmö

av CLAES HERNEBRING¹, STEFAN MILOTTI², SUSANNE STEEN KRONBORG²,
TOMAS WOLF² och ERIK MÅRTENSSON¹

1 DHI Sverige AB, Drakegatan 6, SE-412 50 Göteborg
e-post: Claes.Hernebring@dhi.se, Erik.Martensson@dhi.se

2 VA SYD, Ledningsnätsavdelningen, Box 191, SE-201 21 Malmö
e-post: Stefan.Milotti@vasyd.se, Susanne.Steen@vasyd.se, Tomas.Wolf@vasyd.se



Abstract

During the late summer of 2014 there was a series of intense rainfall events, which caused severe flooding in several municipalities in Sweden. The by far worst event was the cloudburst in Scania, 31/8, not only in terms of rain intensities and volumes, but also the fact that the more intense parts of the rainfall fell across central Malmö with adverse consequences as a result. The full rain event is well captured by VA SYD's rain gauge system in Malmö and Burlöv, and in neighboring municipalities. The cloudburst is one of the most intense rainfalls ever experienced in Sweden. The stormwater and sewer systems are not designed to divert this type of extreme rainfall. This resulted in basement flooding's and flooding of low-lying areas as the majority of the rain volume flowed on the surface. In total, the insurance companies, in April 2015, submitted recourse to VA SYD of approximately SEK 100 million for 1400 flood damages. The total reported claims cost amounts according to Swedish Insurance to over 300 million. Harm reduction in such a situation is no longer about the dimensioning of the stormwater system, but rather about city planning where elevations and the creation of free waterways play an important part. City of Malmö is therefore working on a cloudburst plan: a long-term action plan lining out how the city can be better prepared for future extreme rainfall.

Key words – Intense Rain Storm, Pluvial Flooding, Rain data, Rain statistics, Urban runoff

Sammanfattning

Under sensommaren 2014 inträffade en rad intensiva regnhändelser, som orsakade svåra översvämningar i ett flertal kommuner i Sverige. I särklass stod skyfallet i sydvästra Skåne den 31/8, inte bara sett till regnintensiteter och -volym, utan också det faktum att de intensivare delarna av nederbörden föll över centrala Malmö med stora skadeverkningar som följd. Regnförloppet är sällsynt väldokumenterat genom VA SYD's regnmätarsystem i Malmö och Burlöv, men även inom angränsande kommuner. Skyfallet är något av det intensivaste som upplevts i Sverige. Dagvatten- och kombinerade ledningar är inte dimensionerade för att avleda den här typen av extrema regn. Detta resulterade i ett överbelastat ledningssystem med översvämmade källare som följd. Majoriteten av nederbörden rann dock av på ytan och skapade stora marköversvämningar. Totalt har försäkringsbolagen, april 2015, inkommit med regresskrav till VA SYD på cirka 100 miljoner kronor för cirka 1 400 översvämningsskador. Den totala inrapporterade skadekostnaden uppgår enligt Svensk Försäkring till över 300 miljoner kronor. Att minska skadeverkningar under en sådan situation handlar inte längre om dimensionering av ledningssystem, utan måste lyftas till en samhällsplaneringsfråga, där höjdsättning och skapande av fria vattendrag spelar en huvudroll. Malmö Stad arbetar därför med att ta fram en skyfallsplan: en långsiktig och konkret handlingsplan för hur staden ska rustas mot skyfall.

Bakgrund

Skyfallet som inträffade i Köpenhamn den 2/7 2011 är omtalat och välkänt. Viktiga samhällsfunktioner slogs ut.

Så här skrev Hernebring och Mårtensson (2013):

»Det är orimligt att använda detta tillfälle som dimensionerande regn för urbana avrinningsystem, men det lär oss dels att det kan hända, och dels kanske får oss att tänka: vad händer om det inträffar här i Sverige?»

Nu har det hänt i Sverige. Skyfallet i sydvästra Skåne den 31/8 2014 kan väl mäta sig med Köpenhamnsregnet och det fick allvarliga och kostsamma konsekvenser främst inom Malmö tätort.

Detta tillfälle, men även andra extremregn som förekommit i Sverige de senaste åren, har aktualiserat diskussionen om hur samhället ska skydda sig för att minimera konsekvenser, senast av Salomonsson m.fl. (2015).

Fortsättningen av artikeln är en fallbeskrivning av detta tillfälle: dokumentation av regndata och relation till regnstatistik, konsekvenser av översvämningsskador och vilka lärdomar som kan dras.

VA SYDs regnmätarsystem

VA SYD har totalt 22 st. regnmätare, lokaliserade i Burlöv, Eslöv, Lund och Malmö, av fabrikat Casella och Lambrecht. Insamlingen av rådata sker dels manuellt, dels per automatik via driftövervakningssystemet. VA SYD har som mål att standardisera och automatisera insamlingen av alla nederbördsstationer. Drift- och tillsynsplan finns för alla mätstationer och mätarna kalibreras regelbundet efter fastställt schema.

Samtliga mätare har upplösningen 0,2 mm. För varje 0,2 mm regn genereras en elektrisk puls som därefter



Figur 1. Markinstallation av regnmätare Casella.

lagras som datum och klockslag. Markinstallation är utförd med en stadig hållare, gjuten och väl fixerad i jorden så att mätarens uppsamlingsyta hamnar 1,5 m över marknivå. Vid takinstallation ser man till att regnmätaren samlar in regnvatten i en höjd 0,7 m från takytan. Denna standard är uppfylld på samtliga mätpunkter inom VA SYD. Figur 1 och Figur 2 visar mark- respektive takinstallation av regnmätare av fabrikat Casella och Lambrecht

I Malmö och Burlöv är totalt sett tio fasta mätare i drift. Mätarna har företrädesvis placerats i områden med kombinerat avloppssystem, varav åtta är kopplade direkt till övervakningssystemet medan två är kopplade till varsin logger vars data töms manuellt med PC.

Varannan timme exporterar systemet regndata för lagring i form av textfiler med datum och klockslag för varje regnpuls. Varje morgon skickas dessa textfiler till DHI för bearbetning och analys. Data från övriga regnmätare i Lund och Eslöv samlas in och bearbetas på annat sätt. Alla regndata kvalitetssäkras och bearbetas före långtidslagring. Under regntillfället den 31 augusti 2014 fungerade samtliga regnmätare i Malmö och Burlöv felfritt och levererade tillförlitliga data utom Höja, Malmö där ett mätavbrott inträffade före regnslut.

Uppdaterad regnstatistik för Malmö (2013)

Bakgrund

DHI gjorde på uppdrag av VA SYD en statistisk utvärdering av samtliga (år 2013) tillgängliga högupplösta regndata inom Malmö kommun t.o.m. kalenderåret 2012. Regndata hade samlats in vid åtta olika stationsplaceringar under varierande tidsperioder, som längst vid pumpstationen Turbinen – sedan april 1980.

Utvärdering av regnstatistik för enstaka stationsplace-



Figur 2. Takinstallation av regnmätare Lambrecht.

Tabell 1. Summering av dataunderlag som använts för att utvärdera regnstatistik för Malmö – tidsseriernas längd.

Station	Från datum	Till datum	Bedömd avbrottslängd, år	Formell längd, år	Antal sommarsäsonger (maj–sep)
Turbinen	1980-04-01	2008-01-01	0,0	27,7	28
Limhamn	1996-04-26	2008-01-01	0,0	11,7	12
Augustenborg	1996-04-28	2013-01-01	3,5	13,2	14
Bulltofta	1996-04-26	2008-01-01	0,0	11,7	12
Hammar Park	2006-03-26	2013-01-01	2,3	4,5	5
Vikingagatan	2007-06-28	2013-01-01	0,0	5,5	6
Högatorpsvägen	2008-08-02	2013-01-01	0,9	3,5	3,5
Djupadal	1996-04-25	2012-04-02	7,1	8,8	10
Summor				86,7	90,5

ringar (läs: Turbinen) i Malmö har gjorts tidigare – se t.ex. Bengtsson och Milotti (2008), men resultaten som redovisas här avser bara regnvaraktigheter upp till en timme. Det unika med de resultat som presenteras här är att samtliga kvalitetsgranskade data inom kommunen har inkluderats, och att statistikbearbetningarna skett för avsevärt längre regnvaraktigheter än vad som är brukligt. Med tanke på ökade krav på magasinering av dagvatten har anläggandet av hårt strypta magasin blivit allt vanligare. Då kan mycket långvariga regn bli dimensionerande. Vanligen gäller framtagna regnstatistik upp till några timmars regnvaraktighet, eller på sin höjd upp till ett dygn. Den regnstatistik som presenteras i fortsättningen gäller i varje fall upp till 4 dygn, och kanske kan extrapoleras till en vecka.

Data

Kvalitetsgranskningen har inneburit att långa perioder med insamlade data har exkluderats, främst beroende på att datainsamlingssystemet av VA SYD då bedömts inte vara trovärdigt för höga korttidsintensiteter. Av någon anledning har det då varit en begränsning hur många vippningar per minut som registrerats.

I Tabell 1 och Tabell 2 redovisas från vilka perioder data hämtats från respektive station och om det funnits perioder med dataavbrott. Den sammanlagda datamängden som blivit föremål för bearbetningar utgörs av drygt 46 000 mm uppdelat på totalt omkring 5 600 regntillfällen. Vid den statistiska bearbetningen har data ansetts representera 90 stationsår. Formellt, om dataseriernas individuella längd summeras, blir det 86,7 år, men de innefattar drygt 90 fullständiga sommarperioder (maj–september) då ju de intressanta intensivregnen inträffar.

Grunddata består av tidsstämplade händelser för vippningar, vanligen 0,2 mm. Modifiering av dessa data har gjorts genom att nollvärden stoppats in i mätserien

efter vissa kriterier. Om avståndet mellan två vippningshändelser överstigit en viss tid (t.ex. 2 timmar) kan man som en regel välja att lägga in en 0:a i dataserien 30 minuter före den aktuella vippningstidpunkten. Man kan alternativt göra en lite mera intelligent gissning om regnstarten genom att sätta in nollvärdet på samma tidsavstånd framför »första vippen» som det är mellan den första och andra vippningshändelsen i regnet (dock som mest 30 minuter). Den senare principen har tillämpats för här redovisade regndata.

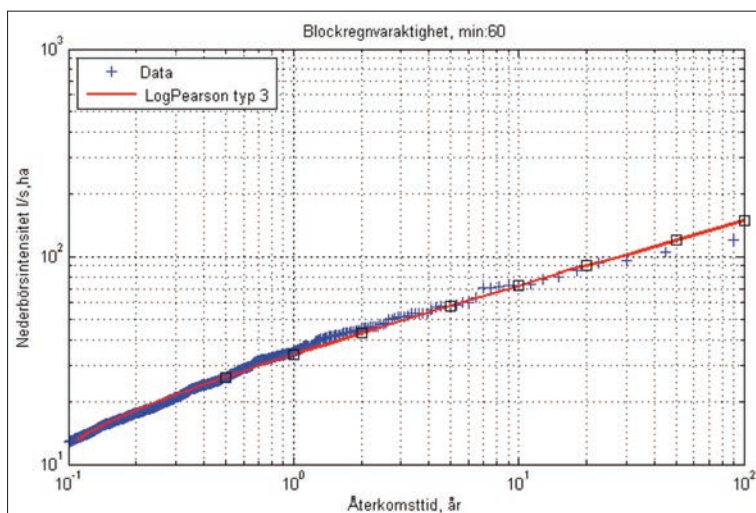
Databearbetning

Metodik för statistisk bearbetning av högupplösta regndata finns beskrivet i detalj på annat håll, se t.ex. Svenskt Vatten P104 eller Hernebring och Salomonsson (2009). Här berörs metodiken endast översiktligt.

Vid databearbetningen indelas regndata i regntillfällen efter en regndefinition. Indelningen i oberoende

Tabell 2. Summering av dataunderlag som använts för att utvärdera regnstatistik för Malmö – nederbördsvolymen och antal regn.

Station	Innehåller total- volymen, mm	Totalvolym inom regn- definition, mm	Antal regn
Turbinen	14 161	11 724	1 728
Limhamn	6 834	5 674	772
Augustenborg	8 068	6 758	964
Bulltofta	5 993	5 001	716
Hammar Park	2 269	1 841	301
Vikingagatan	2 660	2 118	337
Högatorpsvägen	2 098	1 723	278
Djupadal	4 274	3 436	553
Summor	46 357	38 275	5 649



Figur 3. Anpassning av en statistisk fördelning (log Pearson typ III) till rangordnade blockregnsintensiteter (60 min) från Malmö – 90 stationsår. Datapunkter är markerade med kryss, och de värden som tagits fram från fördelningen för fasta återkomsttider med kvadrater.

regntillfällen är nödvändig för att man ska kunna göra en statistisk bearbetning av materialet. En parameter är »största uppehållstid», dvs. hur lång en tidsperiod med nollnederbörd ska vara för att tillkommande vippningshändelser ska tolkas tillhöra ett nytt regn. 2 timmar har här använts generellt för utvärdering av blockregn med upp till 2 timmars varaktighet.

Så långt kanske det sunda förnuftet hänger med beträffande vad ett »regntillfälle» är. Ska man bearbeta regnhändelse med längre varaktighet, exempelvis ett dygn, så måste man ändra regndefinitionen med avseende på uppehållstiden. Det kan ju tänkas förekomma flera skurar under ett dygn med ett uppehåll på 2 timmar mellan. Kriteriet »uppehållstid» har därför ändrats till densamma som utvärderad regnvaraktighet, d.v.s. 6, 12 och 24 timmar, men också till de extremt långa varaktigheter som utvärderats här: 36, 48 timmar resp. 4 dygn. I de senare fallen kan resultatet bli mycket långa

»regntillfällen» – flera veckor kanske, men det är nödvändigt att göra så för att statistiken ska bli korrekt.

För varje regntillfälle har maximal intensitet för en viss varaktighet (t.ex. 10-min) bestämts – regnets maximala medelintensitet. Maximal medelintensitet (blockregnsintensiteten) för en given varaktighet definieras alltså som det största medelvärde nederbörsintensiteten har under någon del av regnet.

Upprepad bearbetning har här utförts för regnvaraktigheterna 5, 10, 15, 20 upp till 120 minuter. Kompletterande bearbetningar har också som nämnts skett för längre blockregn: 6, 12, 24, 36, 48 h och 4 dygn. Om regnets verkliga varaktighet varit kortare än blockregnsvaraktheten har vid uträkning av regnintensiteten regnets volym fördelats på den aktuella varaktigheten.

Inom varje blockregnvaraktighet har sedan regnen sorterats efter blockregnsintensiteten. Det största regnet under perioden får då ordningstalet (rangen) 1, nästa 2

Tabell 3. Regnintensiteter (l/s,ha) för olika blockregnsvaraktigheter (5–120 min) och återkomsttider (0,5 till 100 år) baserade på anpassning av statistiska fördelningar till regndata från Malmö – den samlade datamängden från 8 nederbördsstationer, 90 stationsår.

Återkomst- tid, år	Blockregnvaraktigheter, min									
	5	10	15	20	30	40	50	60	90	120
0,5	110,7	78,4	62,5	52,6	40,9	33,9	29,5	26,4	20,4	17,0
1	144,1	102,2	81,6	68,7	53,2	43,9	38,0	33,8	25,8	21,3
2	183,4	130,7	104,5	88,1	68,1	56,0	48,2	42,9	32,4	26,3
5	247,3	177,3	142,3	120,4	93,2	76,2	65,4	58,0	43,0	34,5
10	306,8	221,0	178,0	151,1	117,2	95,7	81,8	72,4	53,1	42,0
20	378,0	273,8	221,3	188,6	146,7	119,5	102,0	90,1	65,3	51,1
50	494,2	360,7	293,1	251,3	196,3	159,7	135,8	119,8	85,4	65,7
100	602,3	442,3	360,9	311,0	243,9	198,3	168,1	148,2	104,3	79,3

Tabell 4. Blockregnsvolym (mm) för regnvaraktigheterna 6, 12, 24, 36, 48 h och 4 dygn vid återkomsttider 0,5 till 100 år baserade på anpassning av statistiska fördelningar till regndata från Malmö – den samlade datamängden från 8 nederbördsstationer, 90 stationsår.

Återkomst- tid, år	Blockregnvaraktigheter: timmar, dagar					
	6 h	12 h	24 h	36 h	48 h	4 d
0,5	17,6	20,7	24,1	25,8	27,8	32,6
1	21,6	25,5	29,8	32,1	34,6	41,3
2	26,1	31,0	36,2	39,4	42,4	50,9
5	33,1	39,6	46,2	50,9	54,7	65,3
10	39,4	47,5	55,2	61,4	65,8	77,9
20	46,8	56,6	65,6	73,6	78,9	92,0
50	58,4	71,1	81,9	93,2	99,5	113,6
100	68,9	84,2	96,6	111,0	118,2	132,4

osv, med »plottningspositionen/återkomsttiden» ca 90 resp. 45 år. De sorterade blockregnsintensiteterna anpassas sedan till en statistisk fördelning och intensiteter för olika återkomsttid kan sedan bestämmas. Antalet regn att bearbeta statistiskt valdes till 10 ggr antalet stationsår, d.v.s. 900 st. för resp. regnvaraktighet.

I Figur 3 visas exempel för 60 min blockregnsvaraktighet. I tabeller (Tabell 3 och Tabell 4) redovisas utvärderade blockregnsvaraktigheter för varaktigheter från 5 minuter upp till 4 dygn för återkomsttiderna 0,5 upp till 100 år. Tabellvärdena motsvarar fyrkanterna i Figur 3 för varje regnvaraktighet.

Intensitets-varaktighetssamband

En sammanfattning av denna typ av data i diagram- eller matematisk form kallas intensitets-varaktighetssamband (IDF). Här har den kurvanpassning/ekvation valts som presenterats av Hernebring (2006).

$$i = e^{(k_{11}+k_{31}/T_R)} * \hat{A}^{(k_{12}+k_{32}/T_R)} * T_R^{(k_{21}+k_{22}*\ln(\hat{A}))} \quad (1)$$

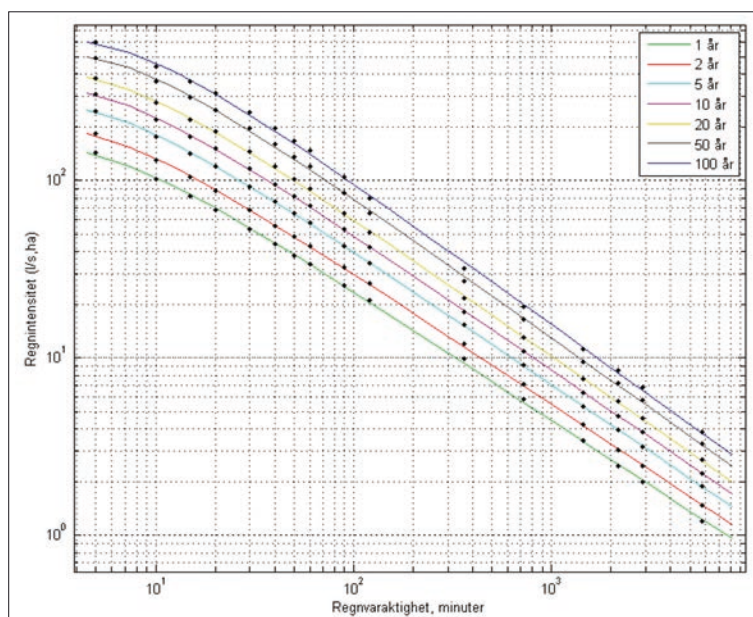
där i är regnintensitet, liter/sekund och ha, $\hat{A}$ återkomsttid (år) och T_R blockregnsvaraktighet, minuter. Erhållna värden på de parametrar som ingår i ekvationen ges i Tabell 5. Figur 4 visar resultatet av funktionsanpassningen (linjer) i relation till statistikdata i tabellerna (punkter).

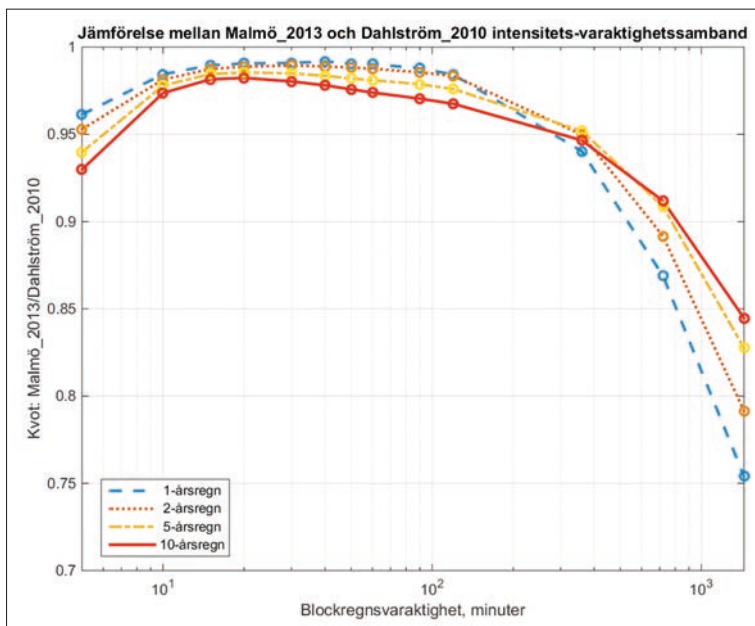
Den alternativa ekvation som anges i Svenskt Vatten P104: Dahlström (2010) är inte lämpligt i den form den anges där eftersom den inte »tål» extrapolering för regnvaraktigheter längre än 24 timmar.

Tabell 5. Värden för koefficienterna i ekvation (1).

	k_{11}	k_{12}	k_{21}	k_{22}	k_{31}	k_{32}
»Malmö 2013»	6,555	0,38	-0,7319	-0,0157	-2,1386	-0,1958

Figur 4. Intensitets-varaktighetssamband för utvärderade regndata från Malmö enligt Tabell 3 och Tabell 4 (punkter) resp. anpassade funktionssamband enl. ekv.1 (linjer). Regnvaraktigheter 5 minuter till 4 dygn. Återkomsttider 1–100 år.





Figur 5. Relation (kvot) mellan framtagna regnstatistik för Malmö («Malmö_2013») och intensitet-varaktighetssamband enligt Dahlström (2010), regnvaraktighet 5 min – 1 dygn, återkomsttid 1–10 år.

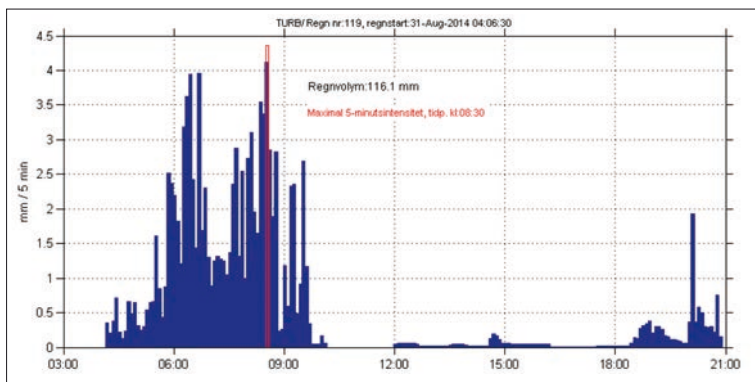
I Figur 5 visas för regnvaraktigheter upp till ett dygn, hur den nya regnstatistiken för Malmö stämmer med »Dahlström 2010». Det är påfallande hur väl de stämmer överens upp till regnvaraktigheter på 6 timmar (360 minuter). En avvikelse på omkring 5 % är försumbar i sammanhanget. 12- och 24-timmarvärdena visar sedan ökande avvikelser, för sällan förekommande händelser (ex. 10-årsregnet) dock i allt mindre grad. Detta stämmer med slutsatser ex. redovisade i Hernebring och Salomonsson (2009): statistik för extrema, sällsynta händelser (av typ 10-årsregn) har liten koppling till nederbördsvolymer på längre sikt (ex. årsvärden), men nederbördsvolymerna måste ju återfinnas i statistiken någonstans, då som mer frekventa tillfällen (ex. månads-, ½-årsregn). Exempelvis så har Stockholm och Halmstad högst olika medelårsnederbörd (ca 540 respektive 800

mm), medan statistiken för extremnederbörd i stort sett är jämförbar (Hernebring, 2006; Hernebring och Salomonsson, 2009).

Skyfallet 2014-08-31

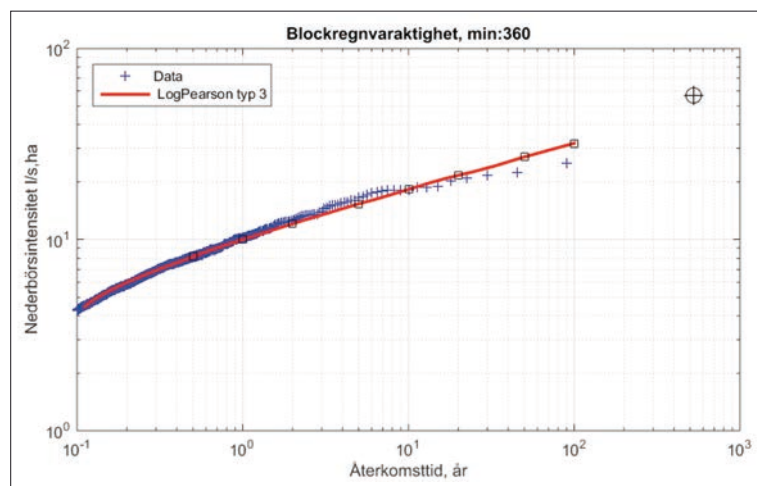
VA SYDs registreringar

DHI (2014) redovisade en analys av VA SYDs nederbördsregistreringar under skyfallet. Analysen avsåg enbart tidsintervallet för det egentliga skyfallet ca kl. 04–kl. 10 den 31/8 (tidsangivelser i svensk sommartid). Några timmar senare under kalenderdygnet föll ytterligare nederbörd, ca 12–16 mm, men med lägre intensitet. En uteslutning av dessa senare regnvolymer bedömdes inte påverka det redovisade resultatet, där utvärdering skett



Figur 6. Registrerat regnförlopp i VA SYDs nederbördstation M01 Turbinen under hela kalenderdygnet den 31/8 2014. Ursprungsdata i form av 0,2 mm vippningshändelser har ackumulerats som 5-minutersvärden.

Figur 7. Registrerad 6-timmarsintensitet vid Söderkullaskolan i Malmö den 31/8 2014 (kryssmarkerad cirkel) i relation till tidigare framtagna sorterade värden, som då representerade 90 stationsår.



för regnvaraktigheter upp till 6 timmar. Situationen under dygnet illustreras på data från VA SYD i Figur 6.

De framtagna blockregnsintensiteterna kan sedan om de ställs i relation till regnstatistik i s.k. intensitets-varaktighetssamband omräknas till återkomsttider. Svenskt Vatten P104 anger att det för svenska förhållanden finns tre olika varianter, som rekommenderas »om inte annat är känt» och som ger likvärdiga resultat. Här har sambandet som benämns »Dahlström 2010» tillämpats. Det största punktvärdet i Malmö: omkring 370 år, påträffades vid Söderkullaskolan, vilket dock är en »akademisk» siffra – värden över 100 år får betecknas som mycket osäkra. I Figur 7 har detta värde ställts i relation till den tidigare, året innan, sammanställda datamängden avseende 90 stationsår uppmätta i Malmö t.o.m. år 2012.

En intressant fråga som väcks i sammanhanget är, om vi nu ska revidera regnstatistiken för Malmö med anledning av det inträffade skyfallet. Det är en mycket besvärlig fråga metodologiskt, som diskuterats av t.ex. Hernebring, 2006. Osäkerheten gäller den »plottningsposition/återkomsttid» man ska använda för det största tillfället i de sorterade data. Det är vanligt att man använder en position/återkomsttid som ligger nära längden på den tidserie man analyserar. Vid utvärderingen gäller det att använda en metod, här anpassning till en statistisk funktion, som är tillräckligt robust för att inte s.k. »outliers» ska få stort inflytande på resultatet.

Registrerad maximal 6-timmarsvolym i Vellinge (se nedan) och Malmö (145 respektive 122 mm) är omkring dubbelt så stor som den som tidigare bedömts vara en 100-årshändelse, 69 mm i Tabell 4.

Det är möjligt, men har inte testats, att den utvärdering av regndata som redovisats i föregående avsnitt avseende regndata från Malmö t.o.m. år 2012, skulle ge

annorlunda resultat om åren 2013–2014 togs med i bearbetningen. Å andra sidan skulle det vara svårt att acceptera att Malmö, till skillnad vad som nu är fallet (se Figur 5), skulle ha starkt avvikande regnstatistik jämfört med övriga Sverige.

Registreringar i angränsande kommuner inom sydvästra Skåne

Efter kontakt med VA-organisationerna i angränsande kommuner (Staffanstorp, Svedala, Trelleborg och Vellinge) kunde kompletterande högupplöst – åtminstone 5-minutersvärden, insamlas och analyseras. Undantaget är Staffanstorp, där endast dygnsvärden var bevarade när förfrågan kom.

Det framgick av regndata, men också av nyhetsinslag om översvämningsskador, att Vellinge kommun drabbats hårt av skyfallet. Regndata från Höllviken, Vellinge kommun, under detta dygn får betecknas som det värsta dokumenterade skyfall i Sverige, som författarna sett. Det framgår av Figur 8, där detta och Malmöskyfallet finns representerade, att regnintensiteterna väl kan mäta sig med det beryktade Köpenhamnsregnet 2011-07-02. En uppskattning av återkomsttiden i detta fall blir ännu mer akademisk, men det handlar om storleksordningen 700–1000 år i relation till övrig sverigestatistik (och ännu större tal om man relaterar till dansk regnstatistik, eftersom denna generellt ligger lägre än den svenska).

I Tabell 6 har registrerad regnvolym i de kommunala registreringarna under de sex aktuella timmarna (undantag som nämnts, Staffanstorp) sammanställts. Senare under dygnet förekom också stora nederbördsvolymer, t.ex. i Trelleborg, men dessa har uteslutits i denna sammanställning.

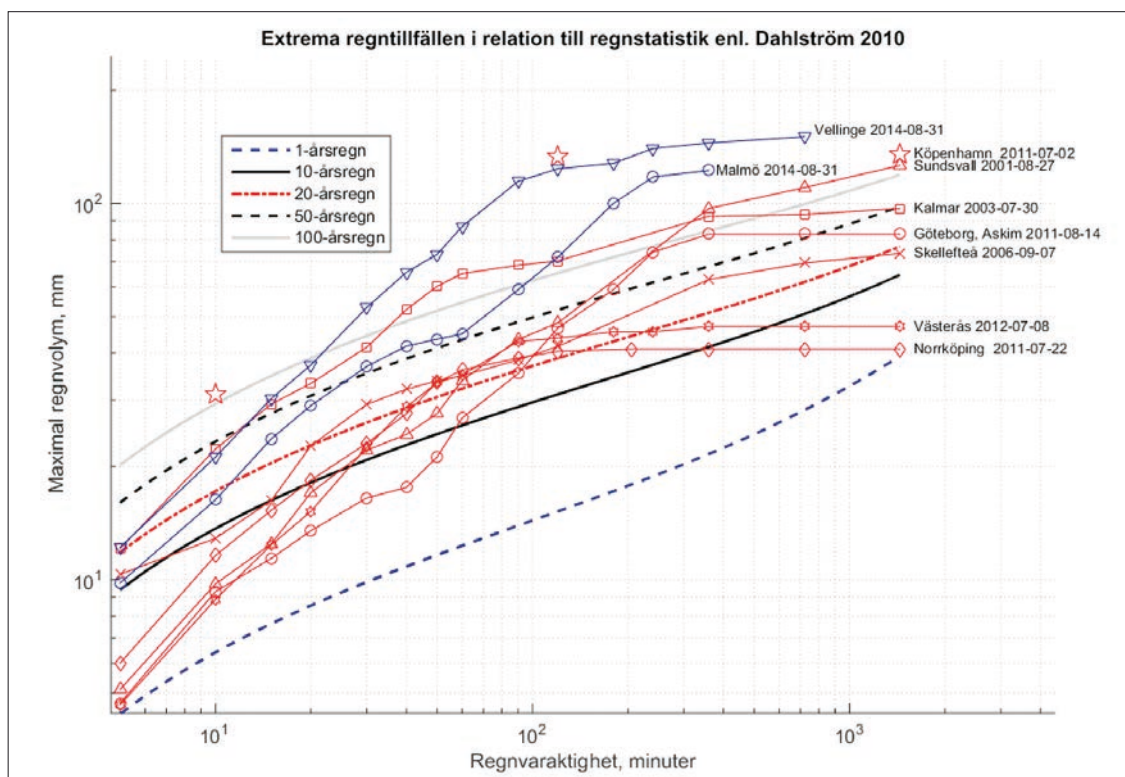
Tabell 6. Registrerad regnvolym i 36 kommunala regnmätare och 2 SMHI-stationer i sydvästra Skåne mellan klockslagen 04 och 10 svensk sommartid (UTC 02-08) den 31/8 2014. För Staffanstorps kommun gäller värdena hela kalenderdygnet. Registrerad mängd i Höja, Malmö har inte tagits med i sammanställningsfigurer eftersom denna sannolikt är en underskattning på grund av mätavbrott före regnslut.

Kommun	Placering	RT90 E	RT90 N	Registrerad regnvolym, mm
Burlöv	Arlöv Hamngatan PS	1327082	6170872	107,6
	Åkarp Dalslundsskolan	1330382	6172936	33,8
Malmö	Turbinen PS	1322003	6167546	104,0
	Limhamn Strandgatan	1318364	6165471	72,6
	Augustenborg Ystadvägen	1324798	6164321	104,4
	Djupadalsskolan	1320160	6164256	101,0
	Bulltofta VV	1327557	6167860	67,6
	Hammars Park PS	1317700	6163878	63,4
	Bellevue Vikingagatan	1320225	6166128	100,4
	Höja Högatorpsvägen	1327398	6164922	51,0
	portabel Söderkullaskolan	1323746	6163707	122,4
Vellinge	Höllviken	1319856	6147637	144,8
	V Ingelstad	1329396	6154630	29,6
	Skanörs hamn	1311646	6146941	–
	Vellinge_VV	1323232	6152550	119,0
	Östra Grevie	1331086	6151781	10,8
Svedala	Svedala RV	1336842	6155916	5,2
	Bara	1334663	6165160	0,0
	Klågerup	1339501	6166384	0,4
	Holmeja	1339125	6161415	1,5
	Sturup	1345809	6159096	13,0
Staffanstorp	Staffanstorp ARV	1336735	6172565	13,0
	APU2	1335574	6170975	0,0
	APU7	1337027	6170965	12,8
	Hjörup_APU4	1332224	6174637	32,0
	Grevie_APU3	1335975	6168177	12,4
	APU9	1336917	6171928	0,0
	APU18	1334530	6174936	13,2
Trelleborg	Alstad	1335543	6150104	0,6
	Anderslöv	1342719	6148440	1,6
	Klagstorp	1346354	6143602	1,2
	Skegrie	1327428	6145190	26,8
	Smygehamn	1345596	6137805	1,4
	Engelbrektsgatan	1334717	6141288	3,0
	Trelleborg RV	1329770	6142262	4,8
	Trelleborg VV	1332312	6141980	5,4
SMHI	Malmö A	1327471	6163454	85,2
	Falsterbo A	1310753	6143387	37,3

SMHI

SMHI har två stationer inom det aktuella området (Malmö A, Falsterbo A) där det för tillfället är möjligt att ladda ner data med 15-minutersupplösning via den öppna-data-portalen. Värden från dessa finns också representerade i Tabell 6.

Av praktiska skäl klassar SMHI ett nederbördsdygn som den mängd som fallit mellan klockan 07 (08 sommartid) och klockan 07 (08 sommartid) påföljande dygn. Detta innebär att den regnvolym som registrerades i SMHI Malmö A under skyfallet (85,2 mm) föll under två separata nederbördsdygn, och kom att delas upp i SMHIs dygnsrapportering.



Figur 8. Skyfallet i Malmö och Vellinge i relation till några andra kända skyfallsförlopp, som orsakat omfattande översvämningsskador. Kurvor utan symboler är intensitet-varaktighets-samband enligt Dahlström 2010 med varaktighet upp till ett dygn. Längs y-axeln är avsett de maximala blockregnsvolymerna som förekommit någon gång under regnet. För Malmös del har det maximala värdet för samtliga stationer plottats i diagrammet. Punktdata för »Malmökurvan» kan alltså komma från olika stationsplaceringar. Vellingedata kommer från Höllviken.

Sammanställningar

SMHI (Lars Norin och Jonas Olsson) har sammanställt radarinformation från det aktuella tillfället i form av ackumulerad nederbörd mellan klockslagen 02–08 UTC den 31/8 2014 och vänligen ställt bilden till förfogande för denna artikel, se Figur 9. Upplösningen, pixelstorleken, är ca 2 km.

Från data i Tabell 6 kan motsvarande areella sammanställning göras, då i stället baserat på punktdata. För att få en areell bild kan man interpolera mellan de kända punkterna (stationslägena). Resultatet är i hög grad beroende av vilken interpolationsmetod man använder. Här har s.k. avståndsviktad interpolation (inverse distance weighted interpolation) använts som en gissning av det vi inte känner till: vad har hänt mellan de punkter vi känner data. Resultatet redovisas i Figur 10.

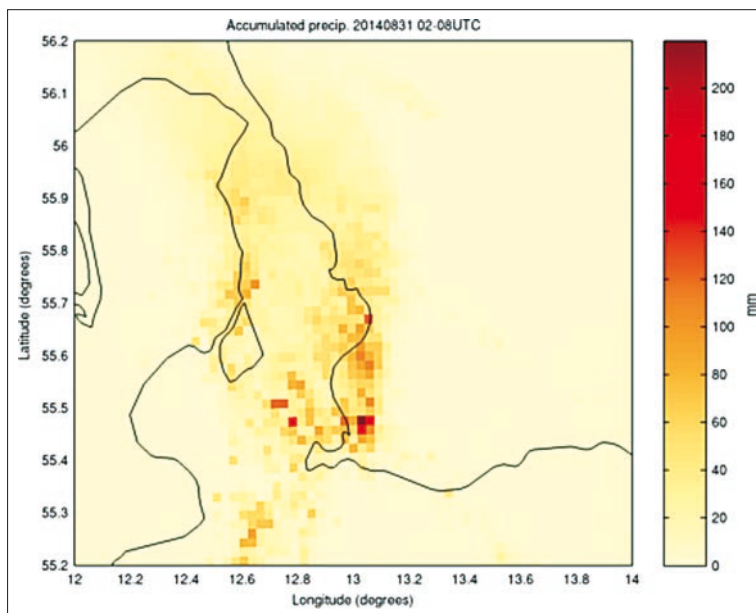
I Figur 10 finns tre mer eller mindre uttalade områden med maxvärden: Vellinge/Höllviken, Malmö/Söderkullaskolan och Burlöv/Hamngatan (givet av data i Tabell 6). Data i Figur 9 är inte lika lätta att genom-

skåda, men om man som DHI har tillgång till grunddata bakom figuren, så kan man hitta maxpixeln vid positionen som motsvarar Vellinge tätort med värdet 220 mm. Vidare finns runt samhället två pixelvärden runt 150 mm och två på drygt 100 mm.

I Malmö vid positionen för Söderkullaskolan är pixelvärdet 110 mm. Det finns ytterligare en rakt över innerstaden med samma värde. Strax utanför kusten vid Arlövs ger radarinformationen 124 mm som ackumulerat värde under de 6 timmarna.

Kunde skyfallet förutses?

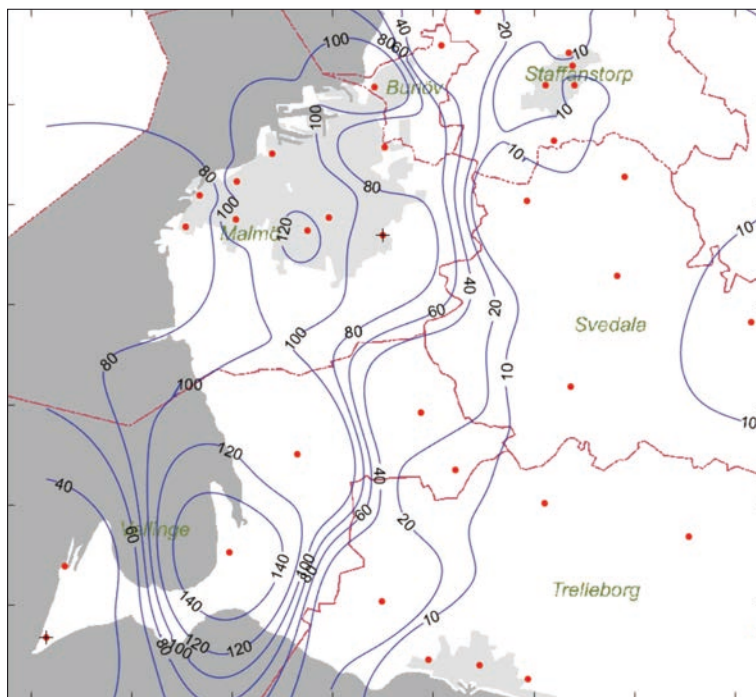
En föranning om det aktuella skyfallet fanns i de meteorologiska prognoserna kvällen innan (Kjellström m.fl., 2014). Prognosdata visade nederbörds mängder av samma storleksordning som sedan verkligen föll i sydvästra Skåne på morgonen/förmiddagen den 31/8 2014, om än inte med helt korrekt lokalisering. Eftersom SMHI:s varningssystem inte är anpassat för mindre, avgränsade



Figur 9. Ackumulerad nederbörd från radarinformation mellan klockslagen 04 och 10 svensk sommartid (UTC 02-08) den 31/8 2014. Pixelstorlek: ca 2 km. Källa: Lars Norin, SMHI.

områden kunde ingen varning ges. Situationen liknar den inför skyfallet som inträffade i Köpenhamn den 2/7 2011, enligt uppgift 150 mm under 1½ timme. Det var först 15 minuter innan skyfallet drabbade staden, som

DMI uppgraderade riskmeddelandet till en varning (Beredskapsstyrelsen, 2012). Sedan är frågan vilka åtgärder en »varnad» befolkning kan förväntas vidta och vilken förvarningstid som krävs för att genomföra dem.



Figur 10. Total regnvolym (mm) registrerat i punktmätningar inom sydvästra Skåne kl. 04 – kl. 10 den 31/8 2014. Belägenhet för 36 kommunala nederbördsstationer är markerat med prickar, SMHI:s (Malmö A, Falsterbo A) med ett kryss. Volymvärden för stationslägena har hämtats från Tabell 6. Mellan dessa har värden skapats genom avståndsviktad interpolation.

Konsekvenser

Inledning

Skyfallet 2014-08-31 var ett ovanligt elakt regn. När avloppsnätet var fullt, med många källare och naturliga lågpunkter i gatunätet redan översvämmade, växlade det upp i ännu fler och kraftigare skurar. Konsekvenserna blev därför sällsynt allvarliga, med bland annat husägare och hyresgäster som tvingades ifrån sina hem.

Hantering av sådana skyfall kan inte lösas med hjälp av ledningsnätet. Det finns ingen ekonomisk eller teknisk rimlighet i att dimensionera rör- och avlednings-system för alla tänkbara regn. Dagvatten på den här nivån blir följaktligen en fråga för stadsplaneringen.

Skyfallet över Malmö den 31 augusti är troligen det regn i Sverige som resulterat i högst antal anmälda källaröversvämningar. För värdering av källaröversvämningar används vanligen nyckeltalet *Källaröversvämningar i fastigheter anslutna till det spillvattenförande ledningsnätet* som 5-årsmedelvärde (totalt antal registrerade källaröversvämningar/antalet spillvattenförande serviser · 1 000). I Figur 11 jämförs VA SYDs medlemskommuner med Stockholm och Göteborg.

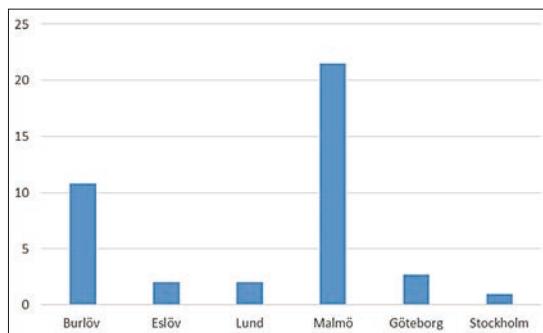
Vattenbalans

Malmö avloppssystem kan delas in i sex större avloppsområden. Staden avvattnas huvudsakligen norrut mot tre större pumpstationer (Turbinen och Rosendal är de två största och äldsta) som pumpar vattnet vidare till Sjölunda avloppsreningsverk. Andelen kombinerat avloppssystem är relativt hög i äldre centrala Malmö, över 50 %.

Som underlag för analys av det traditionella dagvattenförande systemet säger 31/8-regnet inte mycket utan pekar snarare på var svagheter kan finnas i stadsplaneringen. Av denna anledning görs här nedan ett försök till att åskådliggöra vilka regnvattenvolymer som staden egentligen ska ta hand om när det regnar som det gjorde den 31 augusti.

Det dagvattenförande ledningsnätet inom både kombinerade och separerade områden har generellt sett bra kapacitet. För ett regn med 6 timmars varaktighet ska ledningsnätet enligt funktionskravet kunna avleda cirka 40 mm regn. En förenklad vattenbalans för skyfallet inom Turbinens och Rosendals avloppsområde visas i Figur 12. Vattenbalansen gäller för den tid då regnet pågick, d.v.s. 6 timmar. Efter regnets slut och när utrymme åter ges i mark och ledningsnät ser vattenbalansen anorlunda ut.

Det har antagits att ledningsnätet kan hantera ca 50 mm regn som faller på hårdgjorda ytor och att gröna ytor har möjlighet att magasinera ca 60 mm regn innan ytavrinning sker. Sannolikt är detta en överskattning av infiltrationen då den inte sker överallt utan huvudsakli-



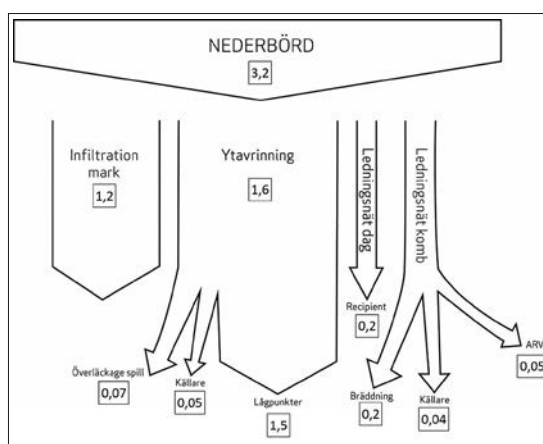
Figur 11. Totalt antal källaröversvämningar 2010–2014, 5-årsmedelvärde, st/1000 avloppsserviser.

gen i lågpunkter där vattnet blir stående. Den bräddade volymen och den volym som transporteras till avloppsreningsverket har beräknats utifrån modellering och driftdata. Översvämmade källare har uppskattats i snitt ha fått in ca 0,3 m i sin källare (i en del fall handlar det om så mycket som 1,5 m).

Ur vattenbalansen kan konstateras att regnet generade en mycket stor andel ytavrinnande vatten, 1,6 Mm³. Omsatt i rör motsvarar detta volymen i en 200 mil lång ledning med dimensionen en meter. Det tog uppemot fyra dygn innan vattnet hade lämnat de sista översvämmade källarna och lågpunkterna.

Skador och kostnader för olika parter

Konsekvenserna av regnet den 31 augusti blev mycket omfattande. I de värst drabbade områdena i Malmö, lågt liggande bostadsområden utan källare, har sanerings-



Figur 12. Förenklad vattenbalans för Turbinens och Rosendals avloppsområden för 31/8-regnet. Siffrorna avser den volym i Mm³ som regnet gav upphov till under skyfallets 6 timmar.



Figur 13. Norra Gulsparsgatan, Malmö, 2014-08-31 (foto: Erik Mårtensson).

företag nyligen (april 2015) avslutat avfuktningen. Golven är utrivna och husen fortfarande obeboeliga. Översvämningar medför förutom skador på byggnader och lösöre psykisk påfrestning för drabbade som svårigen kan mätas i pengar.

I nuläget har cirka 2 200 källaröversvämningar anmälts till VA SYD till följd av detta regn. Förutom skador på hus blev uppemot 3 000 bilar förstörda eller skadade. För vissa husägare rörde det sig om sommarens tredje källaröversvämning på grund av kraftigt regn. Totalt för året – även bortsett från skyfallet i augusti var 2014 ett mycket blött år med fem olika skadetillfällen vid regnoväder – har VA SYD erhållit information om cirka 2 600 översvämningsskador.

Enligt uppgift från Svensk försäkring är den hittills inrapporterade skadekostnaden till försäkringsbolag på grund av översvämningar 1 046 miljoner kronor för 2014, vilket kraftigt avviker från statistiken. En dryg tredjedel står det sex timmar långa regnet över Arlöv och Malmö för.

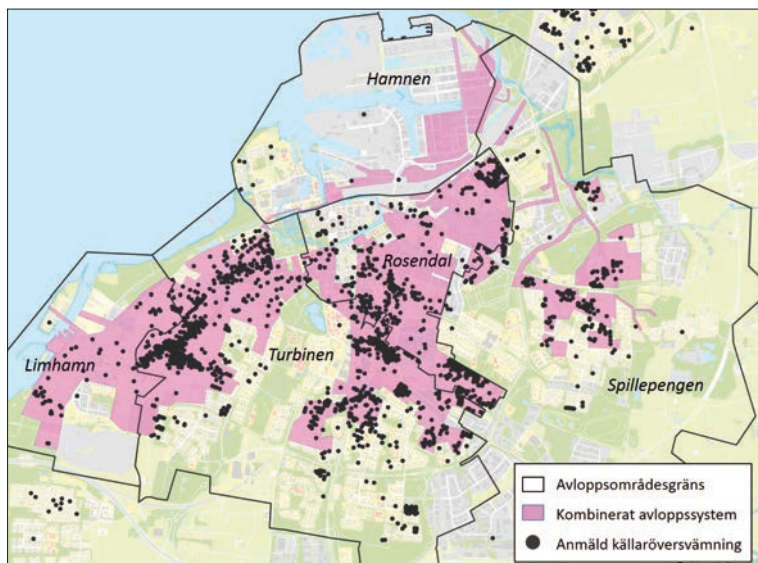
Marköversvämningar

Under regnet sökte sig ytvatten till lågpunkter i terrängen där det inom vissa områden orsakade mycket stora skador på fastigheter, infrastruktur och parkerade bilar. Det ytaavrinnande vattnet tog sig även in i och överbelastade spillvattennätet genom översvämmade gator samt via andra otätheter och felkopplingar på ledningsnätet.

Regnet orsakade översvämningar i hus i markplan med vattennivåer på flera decimeter över toaletsits (Figur 13). Dessa marköversvämningar inträffade i bostäder, byggda under 1960- och 1970-talen, anslutna till duplikatsystem.

Kombinerat system

Antalet källaröversvämningar varierar mycket mellan olika år, beroende på att regnintensiteten varierar både mellan olika år och mellan olika delar av staden. Den platta staden i kombination med stor andel kombinerat avloppsnät och pumpstationer enligt ovan gör avloppssystemet känsligt mot intensiva sommarregn. Cirka 70 % av källaröversvämningarna inträffade i hus med kombinerat avloppssystem (Figur 14).



Figur 14. Källaröversvämningar som VA SYD fått information om efter 31/8-regnet. Störst andel översvämningar har inträffat inom kombinerade områden.

Vissa äldre områden, där det kombinerade avloppsnätet sanerats, bildar emellertid vita fläckar på den i övrigt svarta kartan. I t.ex. Augustenborg har det äldre kombinerade avloppssystemet blivit avlastat med hållbart dagvattensystem. Om förutsättningarna finns är hållbar dagvattenhantering för sanering av äldre avloppssystem att föredra framför traditionella rörnätsåtgärder (Figur 15).

Spillvattennätet

Extrem tillförsel av tillskottsvatten till spillvattennätet var också starkt bidragande till regnets konsekvenser. Förutom dräneringsvatten från tomtmark, som det dimensionerats för, kan spillvattensystemet belastas med tillskottsvatten från felaktigt anslutna ytor, tak och gator, och överläckage från dagvattenledningar. Vid 31/8-regnet tillfördes dock spillvattennätet mycket mer än så till följd av det ytledes avrinnande vattnet och andra oförutsedda källor till tillskottsvatten. Det separerade spillvattennätet kan aldrig vara tätt under sådana här omständigheter.

Givetvis fanns det ingen chans för spillvattennätet, som inte alls dimensionerats för regn, att hantera dagvattenmängderna. Följden blev att även spillvattennätet och pumpstationer inom centrala och norra Malmö chockbelastades under kort tid. Ett stort antal flerfamiljshus och samhällsviktiga byggnader fick sina källare översvämmade via spillvattenservisen.

Vad gäller ansvar efter översvämning i spillvattensystem är utgångsläget tufft för VA-huvudmannen. Rättsläget säger att separerade spillvattenledningar ska vara helt säkra vad gäller risk för översvämning på grund av regn. Utgångspunkten i rättspraxis är att separerade spillvattenledningar inte får belastas med inträngande regnvatten. I lagens mening ska alltså ett spillvattennät i princip vara tätt, förutom ett visst oundvikligt inläckage.

VA SYDs anläggning

Den allmänna VA-anläggningen med ledningsnät, pumpstationer, avloppsreningsverk m.m. fick testat sina gränser.

Varaktigheten på regnet var 6 timmar, men det tog fyra dygn för de sista resterna av regnet att passera ledningsnätet och nå sin slutdestination på Sjölanda avloppsreningsverk. Regnet förde med sig stora mängder rens, sand, grus och jord som medförde att rensgallren satte igen och gick sönder och sandfången överbelastades. Stora mängder avloppsvatten bräddade både före galler, efter försedimentering och via regnvattenbassängerna (där viss rening sker). Den normala beredskapspersonalen förstärktes med extra personal, vilka alla arbetade intensivt med att hålla verket i funktion. De uppskattade extra kostnaderna för avloppsreningsverket som



Figur 15. Svackdike i Vanäsgatan som avlastar det kombinerade avloppssystemet (foto: Peter Stahre).

regnet medförde uppgick till cirka 300 000 kronor. Sammanfattningsvis så klarade sig avloppsreningsverket förhållandevis bra, då avloppsvattenmängden som transporterats till verket begränsas av tryckavloppssystemets kapacitet.

För att upprätthålla så goda driftsförhållanden som möjligt på avloppspumpstationerna sattes extra personal in som arbetade med underhåll och drift av pumpar, luckor, ventiler mm. Belastningen på vissa pumpstationer var extremt hög. Framförallt Turbinens pumpstation, som har ett upptagningsområde på ca 2 000 ha, drabbades hårt. Vid 7-tiden, d.v.s. ca tre timmar efter regnets start, dränktes pumpstationen – VA SYDs personal lyckades dock hålla den vid liv – till följd av de stora flödena i spillvattennätet. Det tog två dygn innan nivåerna i pumpstationen började sjunka och ytterligare två dygn innan trycket uppströms pumpstationen började lätta. Det var också ungefär så lång tid det tog för vattnet att rinna undan från lågpunkter och vissa översvämmade källare. Skador på elskåp, elutrustning, ventiler och bräddluckor beräknas kosta VA SYD ca 2 miljoner kronor.

Skyfallet har spolat rent vissa ledningssträckor på sediment, men det har troligtvis även tillförts nytt sediment från omgivande mark och ledningsgravar. Stora delar av ledningsnätet har stått under högt tryck under lång tid, vad de långsiktiga konsekvenserna blir av det är för tidigt att säga. Det finns en risk att ledningar som sedan tidigare haft en skada, t.ex. rörbrott eller sprickor har fått större skador.

Kartläggning av konsekvenserna

Som indikeras av vattenbalansen i ett föregående avsnitt kunde bara ledningssystemet ta hand om en bråkdel av nederbörden, majoriteten rann av på ytan och orsakade



Figur 16. Översvämningskarta för centrala Malmö vid ett regn motsvarande Köpenhamnsregnet.

framförallt marköversvämningar. Mårtensson och Gustafsson (2014), har utvecklat en metodik som syftar till att beskriva markavrinningen i samband med skyfall med hänsyn till ledningssystemets kapacitet och markens infiltrationsförmåga. DHI har på uppdrag av Malmö Stad använt metodiken för att kartlägga konsekvenserna av två extrema regn, bl.a. Köpenhamnsregnet från 2011 (Figur 16). Resultaten från beräkningarna har kunnat verifieras mot de verkliga vattendjupen under regnet med god överensstämmelse.

Kartläggning av vattendjup samt flödesriktning och -hastigheter, för olika regn, möjliggör förebyggande arbete genom att de mest sårbara områdena samt alternativa avledningsvägar och översvämningsytor kan identifieras. Genom analys av resultaten kan en prioriteringsordning tas fram utifrån var åtgärder är nödvändiga. Kartläggningen utgör en central del i den skyfallsplan som håller på att tas fram av Malmö Stad (se avsnitt nedan).

Skyfallsplan

Att skydda stadens infrastruktur och dess medborgare mot allvarliga skador på grund av häftiga skyfall är en mycket viktig uppgift. För att kunna hantera de ytliga vattenmassorna krävs att vattenvägar och översvämningsytor säkras i den befintliga miljön.

I Malmö stad har arbetet med skyfallsplanering nyligen inletts. Arbetet leds av Gatukontoret och bedrivs i samarbete med bland annat VA SYD, Stadsbyggnadskontoret och Miljöförvaltningen. Skyfallsplanen ska leverera ett strategisk övergripande dokument, en åtgärdsplan samt en beredskapsplan.

Målet är att Malmö ska ha en långsiktig och konkret handlingsplan för hur staden ska rustas mot skyfall. Alla medborgare bör vara medvetna om klimatförändringar-

nas påverkan och ska känna sig trygga i att Malmö stad hanterar det ansvar som ligger på staden. I ett tidigt skede ingår bland annat att analysera, inventera samt ge förslag på vattenvägar och översvämningsbara ytor. Förebyggande åtgärder i byggprojekt och åtgärdsplaner, finansieringsmodeller och ansvar är också några problemställningar som ingår i ett tidigt skede av arbetet.

Tack

Ett tack riktas till Carl Nelin, Vellinge Kommun, Yvonne Nilsson, Trelleborgs kommun, och Brittmarie Ohlsson, Staffanstorps kommun, som bidragit med högupplösta regndata från respektive kommun för det aktuella regntillfället.

Lars Norin och Jonas Olsson, SMHI, har hjälpt till att ta fram aktuell väderadarinformation för skyfallet.

Referenser

- Bengtsson, L. och Milotti, S. (2008) Intensiva regn i Malmö (Intensive storms in Malmö) VATTEN 64, 291–304.
- Beredskabsstyrelsen (2012) Institut for Beredskabsvaluering 2. Juli 2012: Redogørelse vedrørende skybruddet i Storkøbenhavn lørdag den 2. Juli 2011.
- Dahlström B. (2010) Regnintensitet – en molnfysikalisk betraktelse. Svenskt Vatten Utveckling, rapport 2010-05.
- DHI (2014) Skyfallet i Malmö 2014-08-31. Analys av regndata från VA SYD och SMHI. DHI-rapport daterad 2014-09-24.
- 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, SVU Utveckling. Rapport 2008-17.

- Hernebring C., Salomonsson M. (2009) Extrema regn i Halmstad. VATTEN 65:177–192. Lund 2009.
- Hernebring C., Mårtensson E. (2013) Pluviala översvämningar: konsekvenser vid skyfall över tätorter, en kunskapsöversikt. MSB publ. nr MSB567-13.
- Kjellström E., Fowler H. J., Kendon E. J., Leung R., Truhetz H. (2014) Taking the Next Step Towards Very-High-Resolution Regional Climate Modeling. GEWEX Newsletter, 24(3), 4–5.
- Mårtensson E., Gustafsson L-G. (2014) Kartläggning av skyfalls påverkan på samhällsviktig verksamhet – Framtagande av metodik för utredning på kommunal nivå. MSB publ. nr MSB694 – maj 2014.
- Salomonsson M., Hall K., Bäckman H., Vall E. (2015) Skyfallsutmaningen kräver funktionella regler. Svenskt Vattens tidskrift, nr 2 2015.
- Svenskt Vatten (2011) Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem. Publikation P104.

