

INTENSIVA REGN I MALMÖ

Intensive storms in Malmö

av LARS BENGTSSON¹ och STEFAN MILOTTI²

¹ Teknisk Vattenresurslära, LTH/Lunds Universitet, Box 118, 221 00 Lund

e-post: lars.bengtsson@tvrl.lth.se

² VA SYD, Box 191, 201 21 Malmö

e-post: Stefan.Milotti@vasyd.se



Abstract

Short-term intensive storms of duration up to an hour the years 1980–2007 from rain gauges in Malmö have been analyzed to find intensities of long return periods. Non-dependent observations from different stations have been combined into a series to which probability functions have been adjusted. The extreme events have been investigated individually. The reliability of rain measurements is discussed. In order to investigate whether rain intensities are different today compared to back in time, new and old rain data have been compared. Trends over the last 20–25 years have been computed for two stations. It is found that 10–25 year long rain series from single stations are too short to give good estimates of rains of long recurrence time, since a single event influences very much. However, there is a good fit to theoretical distributions if data from many stations are combined; the number of station year increases. The largest observed rains in Malmö in the investigated period have a return period of about 100 year. Rains of shorter return period than 10 year can be given as a simple relation of duration and return period. Rain intensity curves 50 years old do not differ much from those derived from new data. It is not possible to draw any conclusions about trends.

Key words – short-term rainfall, design rain, extreme events, extreme value distribution, trends, measurement reliability, independent observations

Sammanfattning

Kortvariga intensiva regn med varaktighet upp till en timme åren 1980–2007 från nederbördsräknare i Malmö har analyserats för att finna intensiteter med lång återkomsttid. Oberoende observationer för olika stationer har sammanförts till en serie till vilken sannolikhetsfördelningar anpassats. Korttidsregnmätningars tillförlitlighet diskuteras. De extrema händelserna har behandlats individuellt. För att undersöka om regnintensiteter är annorlunda idag än tillbaka i tiden har jämförelse mellan nya och gamla regndata gjorts. Trender över 20–25 år har beräknats för två stationer. Det framkommer att 10–25 åriga regnserier från enstaka stationer är för korta för att ge en bra uppskattning av regn med lång återkomsttid, eftersom en enstaka händelse får mycket stor betydelse. Man får dock god anpassning till teoretiska extremvärdessamband om man sammanför flera stationsdata och därvid får ett ökat antal stationsår. De största observerade regnen i Malmö under den aktuella perioden befinner sig på en återkomsttid på cirka 100 år. Regn med återkomsttid mindre än 10 år kan ges på ett enkelt samband som funktion av varaktighet och återkomsttid. Regnintensitetskurvor mer än 50 år gamla avviker knappt alls från de man får fram med nytt datamaterial. Man kan inte dra några slutsatser om eventuella trender.

Inledning

Uppgifter om nederbörd med kort varaktighet behövs för dimensionering av dagvattensystem. För de flesta system utan stora utjämningsmagasin är koncentrationstider 10–30 min. Utjämnings effekter i magasin beräknas för regn med varaktighet på kanske 2 timmar, men

det finns en rad faktorer att ta hänsyn till vid dimensionering av dammar. Vid dimensionering kan historiska regn utnyttjas eller så använder man sig av dimensionerande syntetiska regn. Historiska regn finns sällan för den ort för vilket ett dagvattensystem skall dimensioneras. Dimensionerande regn brukar sammanfattas i intensitets- varaktighets- återkomsttidsdiagram (idf-kurva

efter engelskans intensity–duration–frequency). Regnintensitet ges som funktion av regnets varaktighet. Det finns olika kurvor för olika återkomsttider. Intensitetsvaraktighetskurvor kan ersättas med volym-varaktighetskurvor. Eftersom dessa tydligare visar skillnader mellan olika återkomsttider använts överlag sådana i den kommande texten.

Långa tidsserier av nederbörd med hög tidsupplösning finns endast för få platser i Sverige. Sedan tio år görs mätningar med hög tidsupplösning på många orter. Få av dessa nederbördsdata finns sammanställda och kvaliteten på insamlade data analysera inte. Hernebring (2006) har i ett omfattande arbete sammanställt data över korttidsnederbörd för 15 svenska städer ungefär från mitten av 90-talet till mitten av 2000-talet och i några fall för 20-års period. Allt materialet är tillgängligt på Svenskt Vattens hemsida. Svenskt Vattens förslag till dimensioneringsnormer ges dock i en äldre skrift, Svenskt Vatten (2004). Här ges ganska gamla idf-kurvor för Stockholm och för Göteborg. Det är endast för Malmö som man redovisar kurvor baserade på mätdata från senare år, 1980–1999. Dessa Malmö-kurvor innefattar inte regn med lång återkomsttid och tas mest upp som en jämförelse med andra kurvor. Det finns äldre idf-kurvor för Malmö, som redovisas mer i detalj. Det råder tveksamhet om dessa Malmö-värden, eftersom de är väsentligt lägre än motsvarande kurvor för närliggande Köpenhamn och Helsingborg.

SMHI mäter sedan 10 år regn med hög tidsupplösning på 32 platser i Sverige. Dessa mätserier är alltså än så länge korta. Mätningarna görs med vägande instrument. Dahlström (2006) har analyserat data från dessa stationer tillsammans med de data från 15 tätorter som Hernebring sammanställt. Tyngdpunkten i Dahlström arbete ligger i termodynamisk teoriutveckling för hur intensiva regn blir. Han har med en teoretisk formel beräknat återkomsttid för regn med olika varaktighet för olika orter i Sverige. I hans arbete betonas vikten av kvalitetskontroll av mätdata.

Regn med kort tidsupplösning mäts i regel med vippmätare (tipping bucket); SMHI har dock annan, vägande, typ av mätare för korttidsnederbörd. I vippmätaren tippas och töms en liten skål med volym motsvarande 0.1 – 0.5 mm nederbörd, varefter nytt regnvatten rinner ner i en andra skål. Varje tippning registreras i tiden med exakt klockslag. Vippmätare introducerades i slutet av 60-talet. Dessförinnan mätte man ackumulerad nederbörd som ökande nivå i ett kärl. Dessa mätare benämndes ofta Hellman mätare. De var de vanligast förekommande in på 80-talet. Nivån i ett uppsamlande kärl registrerades på papper. Möjlig tidsupplösning med denna typ av ackumulerande mätare är 10–15 min. Med vippmätare kan man nå tidsupplösning bättre än 1 min vid höga regnintensiteter. Det finns flera skäl att utnyttja nya regndata för att skapa nya idf-kurvor eller bekräfta

de gamla. Ett skäl är helt enkelt att regndataserierna nu sträcker sig över en längre period än vad de gamla kurvorna i Svenskt Vattens förslag till dimensionering inbegriper. Ett annat skäl är att den möjliga tidsupplösningen nu är kortare än tidigare: 1 min jämfört med 10 min. Ett tredje skäl är att undersöka om de höga regnintensiteterna blivit fler och intensivare under senare år – eller kanske tvärtom.

Även om tidsupplösningen är hög med vippmätare, så finns stora osäkerheter i mätningarna, särskilt vid höga regnintensiteter. Skräp i mätaren kan fördröja vattnets tilllopp till vippskålarna. Volymen som tippas ut vid varje tömning är inte den exakt angivna. Egentligen behöver varje regnmätare kalibreras för sig för olika regnintensiteter.

I Malmö mäts sedan 1996 korttidsnederbörd vid 6 stationer, för vilka det finns nästan kompletta mätserier från 4 stationer. Vid Turbinens pumpstation vid Malmöhus slott har mätning med vippmätare gjorts sedan 1980. Byte av mätare skedde våren 1981 och sedan senhösten 1993. Vid samtliga stationer används nu samma typ av mätare. Jonasson (2001) har tagit fram idf-kurvor (intensitet-varaktighet-frekvens) baserat på observationer vid Turbinen för perioden 1980–1999, dock utan att beakta eventuella skillnader i de olika regnmätarnas funktion före och efter 1994.

I det här föreliggande arbetet analyseras extremregn med varaktighet 10 minuter–60 minuter för enskilda stationer i Malmö samt för samtliga stationer tillsammans, sedan hänsyn tagits till samtida händelser. Anpassning görs till olika extremvärdesfördelningar; idf-kurvor tas fram och jämförs med teoretiska syntetiska regn. Jämförelse görs med korttidsregn från andra orter. Samband söks mellan längre och mycket kortvariga regn. Slutligen undersöks förändringar i tiden med hjälp av trendanalys och genom att gamla och nya idf-kurvor jämförs.

Intensiva regn i Sverige

Det mest intensiva korttidsregn som uppmäts i Sverige är från Slussen i Stockholm 27 juli 1916. I Höganäs-handboken (1975) anges 25 mm på 5 minuter. SMHI (1984) uppger 28 mm under 10 minuter under eftermiddagen. Det anges inte hur regnet uppmäts. Från Stockholm (Torsgatan) framgår av det material som Hernebring lagt ut på Svenskt Vattens hemsida att den 14 juli 1984 föll 18 mm under 5 minuter, 26 mm under 10 minuter och 50 mm under 1 timme. Dygnsnederbörden var 62 mm. Högsta minutvärdet var 8 mm. Hernebring har försökt anpassa extrema regn till logPearson typ III-fördelning, men detta Stockholmsvärde ligger långt utanför denna teoretiska fördelning. Samma dag föll enligt SMHI (1984) i Åkersberga 75 mm under en timme. Det näst största regn som fallit under 10 minu-

ter vid Torsgatan i Stockholm under perioden 1984–2004 är endast 11 mm. Två-årsregnet för motsvarande period är lägre än vid stationerna i Malmö.

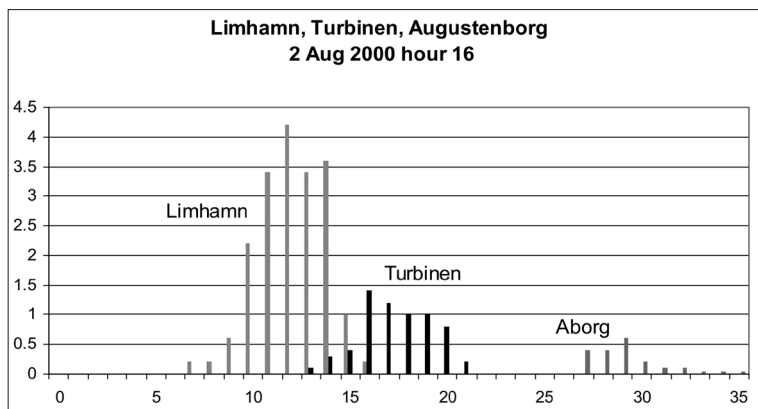
Ett annat stort regn är från Uppsala 17 augusti 1997 (Hernebring, 2006) då det föll 30 mm på 10 minuter, 75 mm på 30 minuter och 104 mm på en timme. I Kalmar föll 29 juli 2003 under 10 minuter 25 mm, under 30 minuter 40 mm och under en timme 65 mm. Regnet i Kalmar motsvarar det störst observerade i Limhamn för varaktighet 30 minuter men är väsentligt större fördelat över en timme.

Man kan se i Hernebrings (2006) arbete att två-årsregnet är ganska lika för olika orter i södra Sverige liksom faktiskt också observerade maxvärden. Så är till exempel 10-minutersregnet med 2 års återkomsttid 10 mm i såväl Halmstad, Uddevalla som Växjö. Maxvärdena är 15 mm i Halmstad och Uddevalla (observationsperiod 1993–2004) och 16 mm i Växjö (observationsperiod 1984–2004). Om man undantar Stockholm och städer norr därom samt tar hänsyn till att mätningarna vid Turbinen i Malmö (se längre fram i texten) visar för låga värden för perioden 1980–1993, så är för 7 av 11 städer 10-årsregnet med varaktighet 10 minuter mellan 14.0 och 14.7 mm. Om man beaktar att mätarna för intensiva regn kanske visar 20 % olika sinsemellan, se längre fram i texten, måste man sluta sig till att extrema regn är ganska lika på olika orter. Dahlström (2006) påpekar att en enskilda händelse påverkar den statistiska analysen för en enskild ort i mycket hög grad, om mätserierna inte är långa. De mest extrema regnobservationerna i det material som Hernebring tagit fram är från Uppsala, Stockholm, Kalmar och Karlstad, men det återspeglar inte intensiteten för 1-årsregnen, vilka i Hernebrings material är störst i Halmstad och Borås. Detta tyder inte på att de mest extrema regnen har en regional karaktär. De borde därför inte kunna relateras särskilt väl till mera långvariga regn. Föreliggande arbete är koncentrerat mot extremregn i Malmö. Observationer från andra orter ges som jämförelse.

Felkällor och tillförlitlighet med vippmätare

Liksom vid mätning med uppsamlande kärl är vinden en felkälla. Mätarna fångar för lite regn. Dahlström (2006) uppskattar att mätare för korttidsnederbörd uppvisar i varje fall 10 % för lite nederbörd. Mätarens placering spelar stor roll. Felanalys är mer komplicerad för vippmätare än för ackumulerande kärl i vilka dygnsnederbörd mäts. Regnets intensitet spelar roll.

Regnintensitet mätt med vippmätare beräknas rättframt som tippskålens volym dividerat med tiden mellan tippningar. Med vippskålvolymin 0.2 mm motsvarar således fem tippningar på en minut intensiteten 1.0 mm/min. Okritiskt acceptering av uppmätta värden kan emellertid ge felaktiga resultat. Klockan som är kopplad till mätaren kan visa fel; det är inte ovanligt att samma regnserie registreras om igen. Skräp av något slag kan fastna i tunnelröret till vippskålarna, så att vatten inte tillförs vippskålarna i samma takt som regnet faller. Det blir viss dämning och regnet registreras utdraget i tiden. Ett större problem är dock att om/när detta skräp försvinner så når mycket vatten snabbt vippskålarna och mycket hög regnintensitet kan registreras. Om regnvolymin under 5 minuter är densamma eller mycket nära den som registreras under 60 minuter behöver man vidta undersökningar för att se om uppmätt intensitet är möjlig. Man kan jämföra med andra närliggande mätare med kort tidsupplösning, om sådana finns, eller i varje fall med dygnsnederbörd mätt i uppsamlande kärl. Dahlström (2006) anger att i SMHI-mätarna för korttidsnederbörd flera gånger registrerats timmesnederbörd större än 100 mm, som inte alls varit riktig. Sådana exceptionella regn under mycket kort tid har i detta arbete medtagits endast då rimligheten kunnat verifieras. Ett exempel på uppenbart fel är från Stockholm 16 oktober 1987 (Svenskt Vattens hemsida) då man registrerade 9 mm under 1 minut, vilket också var 1-timmesregnet. Ett liknande exempel, men som visade sig var en korrekt observation, visas i Figur 1. Vid stationen i Lim-



Figur 1. Regnintensitet mm/min vid tre stationer i Malmö, 2 augusti 2000 mellan klockan 16.00 och 16.35.

hamn registrerades regn endast under drygt 5 minuter och inget mer regn under hela dagen 2 augusti 2000. Regnvolymen 17 mm under 5 minuter är mycket högre än vad som registrerats vid något annat tillfälle. En första tanke är att inte beakta denna observation. Emellertid visar mätningarna vid Turbinen och i Augustenborg att ett mycket kortvarigt regn föll någon gång under timme 16 denna dag. Också 5 minuters regnvolymen, 5,4 mm, vid Turbinen är extrem om än endast 34 % av den i Limhamn. Kvalitetskontroll behöver göras manuellt för alla mätningar även om detta är tidskrävande.

Vid ständig översyn av mätarna kunde kanske fel beroende på datainsamlingssystemet och beroende på yttre omständigheter kunna undvikas. Dock kommer man inte från felkällan att volymen vatten som tippas ut ur vippskålar inte är exakt den som den uppges vara, för Malmö-mätarna 0.2 mm. Det kan finnas lite vatten kvar efter en vippning. En del vatten spiller ut innan det når skålen. Dessutom når allt vatten inte skålarna just när vippningen sker. Felet ökar med ökad intensitet. Vasvari (2005) fann för 0.2 mm mätare att behovet av korrigering var ringa för regnintensitet 0.2 mm/min, men att uppmätt regn behövde uppräknas med 14 % (för en mätare 30 %) för intensitet 1.0 mm/min. I en äldre men mycket mer omfattande studie fann Niemczynowicz (1986) för tre olika typer av vippmätare med 12 i princip identiska mätare i varje grupp, att för intensitet 0.2 mm/min var skillnaden i samma typ av mätare mellan verklig och uppmätt intensitet $\pm 10\%$ och för intensitet 1 mm/min mellan -6% och $+20\%$.

Vad man kan sluta sig till är dels att vippmätare inte mäter nederbörd helt korrekt och kanske framför allt att mätarna vid höga intensiteter mäter olika med så mycket som 20–30 %. Man kan alltså inte dra säkra slutsatser av observationer med okalibrerade mätare eller från stationer som inte mer eller mindre dagligen övervakas.

Sannolikhetsfördelningar

För att bestämma återkomsttider motsvarande observationsperioden eller väsentligt längre behöver man anpassa mätdata till någon frekvensfunktion. Hernebring (2006) har valt att anpassa till log-Pearson typ III. I en omfattande engelsk studie av extrema dygnsregn, Dales och Read (1989) föredrar man den generella extremvärdesfördelningen (GEV) eftersom den i sig innefattar andra fördelningar. I detta arbete används överlag GEV men också den enkla Gumbelfördelningen används. Extremvärdesanalysen måste göras för varje varaktighet för sig. Endast händelser större än ett visst tröskelvärde har tagits med. Parametrarna i sannolikhetsfördelningarna har bestämts med viktade moment. För Gumbelfördelningen har i denna text också används vanliga moment, som ger parametervärden direkt från medelvärde och standardavvikelse. Vanliga moment kan ge oproportionerligt stor vikt av enskilda observationer, men har fördelen att val av plottingposition vid få värden inte påverkar parameterbestämningen. Plottingposition sätts som $1-(i-a)/N$, där i är ranking, här 1 för högsta värde, N antalet värden i serien och a ett värde mindre än 1, som tar hänsyn till händelser större än de som finns i dataserien. Vanligen har $a=0.5$ använts, men i vissa fall andra värden för att beräkningarna skall bli konsistenta och parametervärden inte matematiskt felaktiga. Det är vanligt att använda sig av $a=0.65$ (eller 0.35 om $i=1$ är lägsta värdet, Cunneen, 1989). Återkomsttiden bestäms som frekvens utifrån statistisk fördelning eller plottingposition multiplicerad med förhållandet observationsseriens längd / antal medtagna observationer över tröskelvärdet.

En jämförelse av olika extremvärdesfördelningar görs i Figur 2 för regn med varaktighet 60 minuter. Här har samtliga oberoende regnhändelser större än 15 mm/tim

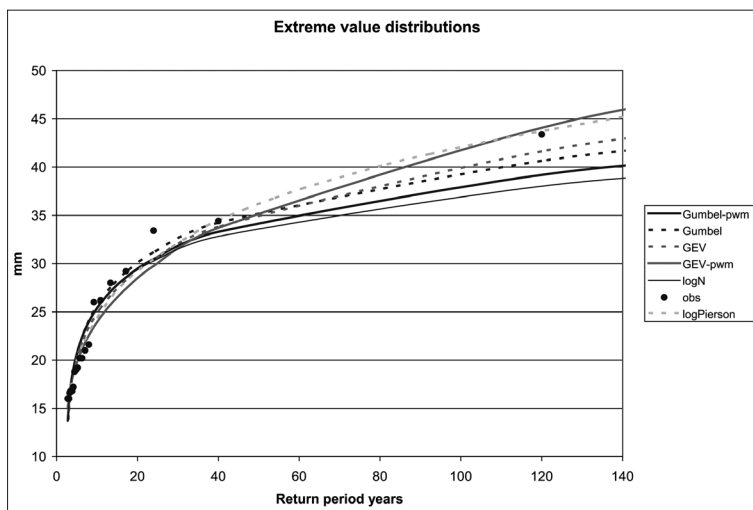
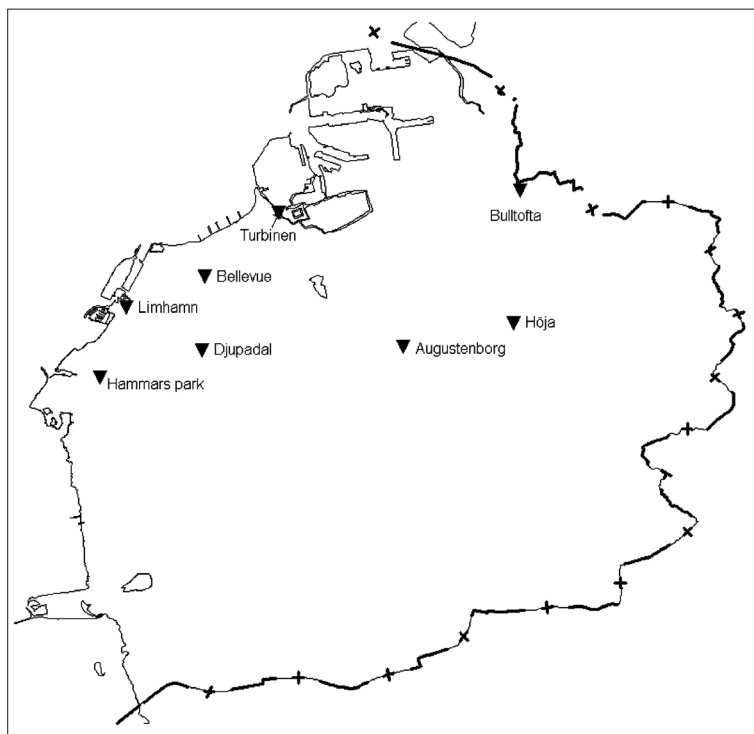


Fig 2. Extremvärdesfördelningar anpassade till 60 stationsårs data från fyra stationer i Malmö under perioden 1980–2007. Regnvaraktighet 60 minuter.

Figur 3. Mätstationer i Malmö. Mätdata använda i artikeln är från Turbinen, Limhamn, Bulltofta, Augustenborg, Hammars Park och Hyllie (motsvarande Djupadal på kartan). Numera mäts regnet också vid stationerna Höja och Bellevue.



1980–2007, som inträffat vid fyra stationer i Malmö tagits med. Detaljerad analys görs längre fram i texten. Gumbel-fördelningen och logNormal-fördelningen har två parametrar, GEV och logPierson tre parametrar. För GEV och Gumbel har såväl vanliga moment som viktade moment används för parameterbestämning. Samtliga sannolikhetsfördelningar är mycket lika upp till återkomsttid 40 år. För längre återkomstider är skillnaderna mellan olika fördelningar stor. I detta fall passar GEV och logPierson-fördelningarna bäst mot de högst observerade regnen; för de något mindre regnen är anpassningen till Gumbelfördelning bäst.

Regnserier i Malmö

De olika mätstationerna i Malmö, se Figur 3, är: Turbinen (nära slottet och nära havet), Limhamn (2 km söder om Turbinen), Hammars Park (ytterligare 2 km söderut nära brofästet vid havet) för vilken station det endast finns få mätdata, Hyllie (3 km österut från brofästet), Augustenborg (2 km söder om Turbinen) och Bulltofta (3 km öster om Turbinen). SMHI har mätstationer i Bulltofta och vid Malmöhus slott med mätserier av dygnsnederbörd från 1919 respektive 1929. Sedan ett år finns ytterligare några mätstationer, se Figur 3.

Turbinens pumpstation i Malmö är belägen mellan Malmöhus (slottet) och havet. Vippmätaren har sedan november 1993 haft en volym på 0.2 mm. Dessförinnan var volymupplösningen 1981–1993 0.5 mm och under 1980 0.1 mm. I Svenskt Vatten (2004) finns idf-kurvor för Malmö för perioden 1928–1952 från en mätare vid Rosendal. Dahlström (1979) använde nederbördsdata från Rosendal (centralt i Malmö men 2 km öster om Turbinen) för perioden 1940–1962. Vippmätaren vid Turbinen var avstängd februari–april 2000 och under våren 1999; en del regn under perioden juli–augusti 1991 har ej registrerats. Mätningarna från övriga stationer samt från SMHI-stationerna visar dock att inga extremt intensiva regn kan ha fallit under dessa månader.

De övriga vippmätarna i Malmö har varit igång sedan 1996, Hammars park dock endast under 2006. De har alla vippskålar med volym 0.2 mm. Från mätaren i Limhamn saknas mätdata för sista halvåret 1999 och från Bulltofta-mätaren motsvarande period och dessutom sista halvåret 2000. Det saknas mätdata från Augustenborg för september 1999 och från hösten 2003. Från Hyllie finns inga data för 2001 och ej heller för 2007. Mätningarna från Hyllie visar på väsentligt mindre volymer än från övriga stationer och är inte av sådan tillförlitlighet att de kan användas för analys.

De mest extrema uppmätta regnen i Malmö

De mest intensiva regnen i Malmö sedan vippmätningar införts har registrerats i Limhamn. De största 5-minutersregnet har visats i Figur 1. Det största regnet med längre varaktighet föll under timme 15 den 26 augusti 2006, Figur 4. Under timmen föll 43 mm, men det mesta var koncentrerat till en halvtimme, 41 mm; hela dygnsnederbörden var 45 mm. Också maxvärdena för regn i Malmö med varaktighet 10–20 minuter härrör från detta regn; 5-minutersregnet var 14 mm. Som framgår av Figur 4 var regnet intensivt under delar av samma period i Hammars park och vid Turbinen (9 respektive 11 mm under 10 minuter samt 11 respektive 19 mm under 20 minuter). I Hyllie som endast ligger 3 km från Limhamnsstationen uppmättes under hela dagen endast 5 mm regn. I Augustenborg och Bulltofta föll inte regn förrän efter klockan 17, men då med stor intensitet; i Augustenborg 13 mm under 10 minuter och

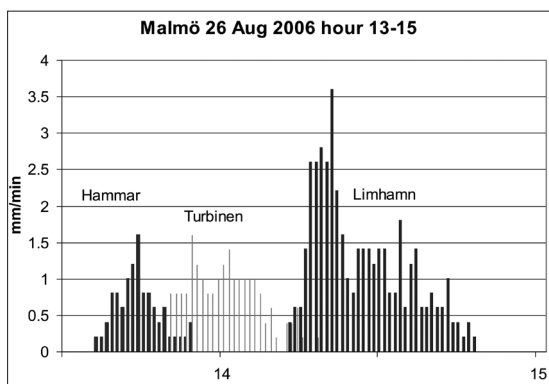
19 mm under 20 minuter; i Bulltofta väsentligt mindre 8 mm under 20 minuter, men med en högsta intensitet på 1 mm/min.

Observerade största regnmängder vid de olika stationerna visas i Tabell 1. Här anges också återkomsttider beräknade utifrån observerad frekvens; således är 2-årsregnet det regn som inträffar 6 gånger under en 12-års period. Hänsyn har tagits till bortfall av data. Uppmätta värden vid Turbinen under åren 1981 till 1993 har uppvärderas med en faktor 1,2, eftersom den 0,5 mm mätare som då användes visar ungefär 20 % lägre värden än 0,2 mm mätarna. Beräkningar som visar detta görs längre fram i texten.

Regn med 1 års återkomsttid är lika vid samtliga stationer utom i Hyllie. Det samma gäller för 2-årsregnet. Också maxvärden är mycket lägre i Hyllie än vid övriga stationer. Samtliga statistiska regn är mer än 50 % lägre i Hyllie. Stationen beaktas därför inte i den samlade analys som görs längre fram i texten. För övriga stationer är regn med kort återkomsttid mycket lika.

Tabell 1. Observerade regnmängder (mm) med olika varaktighet och återkomsttid (T år) vid regnstationer i Malmö.

	1 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	60 min
Limhamn							
max	4.2	16.8	21.2	28	33.4	41.4	43.4
$T=5$	3.6	14.2	19	20.2	24.8	30.6	33.4
$T=2$	2.4	8.2	11.6	12	13	13	18.8
$T=1$	1.8	5.8	7.4	8.6	9.6	12.6	15.4
Aborg							
max	2.8	8	13	16.4	19	25	28.6
$T=5$	2.7	7.8	11.7	12.6	14.8	19.6	26
$T=2$	1.9	6.3	9.1	10.5	11.4	12.8	17.6
$T=1$	1.6	4.8	7.2	8.8	9.8	10.8	13.8
Bulltofta							
max	2.8	8.6	11.8	16.4	20.2	23	29.2
$T=5$	2.4	7.6	11.6	13.6	14.8	18.2	25.6
$T=2$	1.8	6.2	11	12.6	13.4	14.4	16.8
$T=1$	1.6	5.2	8.2	9.8	10.2	11.2	14.4
Hammar							
max $T=1$	1.6	5.4	8.6	10.2	11.2	11.2	11.2
Hyllie							
max	2	6.2	9	11.8	14	15.4	18
$T=5$	1.4	5.2	6.2	9.4	11.6	12.6	15.4
$T=2$	1.2	3.2	5	6	6.6	8.6	12.6
$T=1$	0.8	2	3.4	4.2	4.2	5.2	7.2
Turbinen							
max	3.6	10.2	15	15.6	19	25	37.9
$T=5$	2	6.8	10.8	13.2	15.2	18.8	21.6
$T=2$	2	6.0	8.4	10.2	11.2	13.8	18.0
$T=1$	1.5	5.2	7.4	8.6	9.6	11.0	14.4



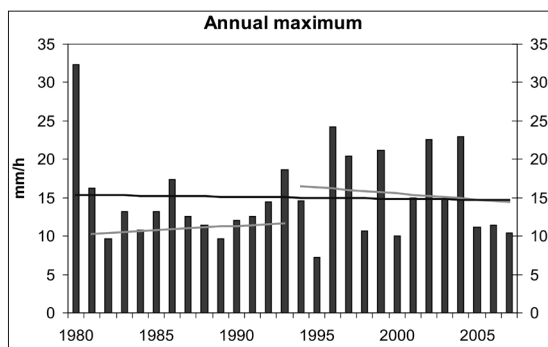
Figur 4. Regnintensitet vid tre stationer i Malmö mellan kl 13 och 15, 26 augusti 2006.

Observerade regnintensiteter i Malmö kan jämföras med observationer från andra orter. Niemczynowicz (1984) mätte nederbörd under tre år i 12 mätare i Lund. Mätarna var individuellt kalibrerade för olika regnintensiteter och stod under ständig övervakning via telenätet. Den största regnnederbörd som noterades under 10 minuter var 13.6 mm, vilket motsvarar 2–5 årsregnet vid enskilda Malmö-stationer. Max 10-minutersregnet i de 12 olika mätarna varierade mellan 8.6 och 13.6 mm. Ett-årsregnet under 10 minuter motsvarade 5.9 till 9.2 mm i de olika mätarna.

Analys av de olika mätarna använda vid Turbinen

Under 1980 mättes nederbörden vid Turbinen med 0.1 mm vippmätare, sedan, åren 1981–1993 med 0.5 mm mätare, och från november 1993 med 0.2 mm mätare. Vid genomgång av insamlade data märker man att regnmängder och intensiteter är lägre för den period då 0.5 mm mätare använts. Det finns en dygnsmätande SMHI station mycket nära. Limhamn-mätaren är endast 2 km bort och den är liksom mätaren vid Turbinen belägen helt nära havet. Det finns alltså möjlighet att uppskatta om korttidsobservationerna vid Turbinen under någon period avviker från mätningar vid andra stationer.

En jämförelse av sommarnederbörd (maj–september) visar att Turbinen-mätaren gett 18% lägre nederbörds-mängd än SMHI redovisar för åren 1981–1993, men 5% mer under åren 1994–2007. Detta indikerar att mätningarna utförda med 0.5 mm mätaren är 20–25% låga relativt mätningar utförda med 0.2 mm mätaren. En motsvarande jämförelse med mätaren i Limhamn för

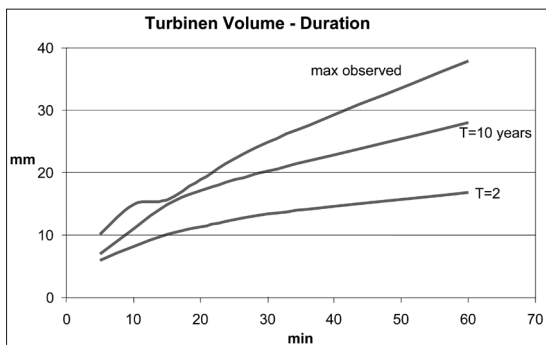


Figur 5. Okorrigerat årsmaximum av en timmes nederbörd uppmätt vid Turbinen, trendlinjer för uppmätt nederbörd 1981–1993, respektive 1994–2007. Dessutom finns trendlinje för hela perioden 1980–2007 sedan mätningarna för perioden 1981–1993 korrigerats uppåt med en faktor 1.2.

perioden 1996–2007 (mätningarna i Limhamn påbörjades först 1996) vid tillfällen då båda mätarna varit i funktion ger ringa volymskillnad jämfört med mätaren vid Turbinen (2% mer vid Turbinen).

Som framgått av felanalysen uppstår fel inte endast på grund av att skålvolymer inte är helt korrekta, utan det finns ett fel, som tillkommer vid varje vippning och alltså är intensitetsberoende. Man behöver därför jämföra de mest intensiva regnen. I Figur 5 har uppmätt årsmaximum av timmes-regn vid Turbinen för perioden 1980 till 2007 inritats som staplar. Dessutom har trendlinjer (linjär regression) för 1981–1993 (mätt med 0.5 mm vippmätare) och för 1994–2007 (mätt med 0.2 mm mätare) ritats in. Ingen av trenderna (ökande för den första perioden och minskande för den andra perioden) är signifikanta. Däremot är medelvärdena för de båda perioderna signifikant olika, 11.0 mm för perioden 1981–1993 och 15.5 mm för perioden 1994–2007, på nivå högre än 99%. Medelvärdet för den senare perioden är 40% högre än för den första. Högsta värdet 32 mm är från 1980 och mätt med en tredje typ av mätare med skålvolum motsvarande 0.1 mm. Årsmaximum av dygnsvärden mätt med SMHI-mätaren är lika för de båda perioderna.

Eftersom 0.2 mm mätarna i Limhamn och Turbinen ger i stort sett samma volym, väljs här att använda mätresultat med 0.2 mm mätare som varande korrekta. Uppmätt nederbörd vid Turbinen under perioden 1981 till 1993 behöver då korrigeras uppåt med en faktor 1.2 (ungefär 20% för låg nederbörd har mätts). Trendlinjen för hela perioden 1980–2007 med korrigerad nederbörd för åren 1981–1993 har inritats i Figur 5. Regressionslinjen är i det närmaste horisontell.

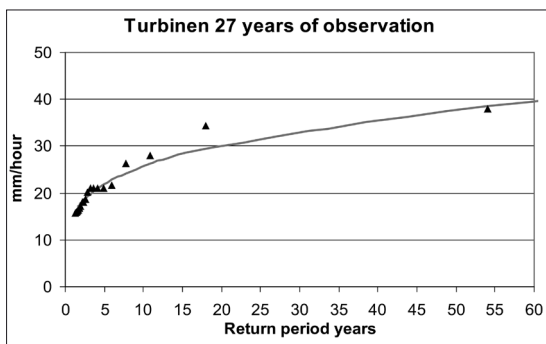


Figur 6. Regnvolym som funktion av regnets varaktighet för olika återkomsttider. Turbinen 1980–2007 med korrigering av mätningarna för perioden 1981–1993.

Analys av regnserier i Malmö: Turbinen

En sammanställning av regndata från Turbinen finns i Tabell 1. Med hjälp av dessa kan idf-kurvor ritas upp eller som i Figur 6 regnmängd för olika varaktighet och återkomsttid. Regn med återkomst 10 år är ej med i Tabell 1 på grund av att regnserierna för andra stationer än Turbinen inte är längre än ungefär 10 år. Turbinens regnserie sträcker sig över 28 år (27 år efter hänsynstagande till bortfall). 10-årsregnet har uppskattats som medelvärdet av det näst största och tredje största regnet. Frekvensen har beräknats från observationsdata och antal observationsår utan plottingpositionskorrigering (se längre fram i texten). Två-årsregnet blir medelvärdet av den 13 och 14 största händelsen under 27 år.

Extremvärdesanalysen för 60 minuters nederbörd vid Turbinen visas i Figur 7. Observerade värden och GEV-funktionen är inlagda i figuren. Antal medtagna värden



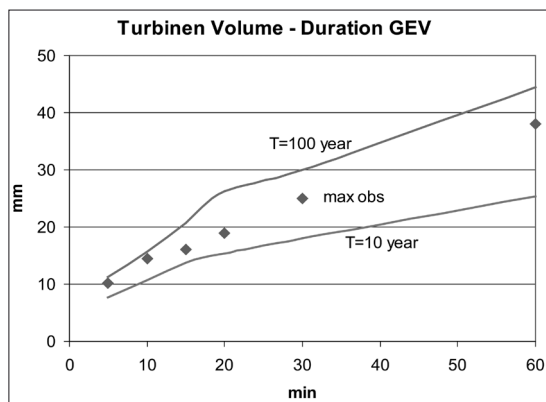
Figur 7. GEV-funktionen för 60-minuters regn vid Turbinen med tröskelvärde 14 mm. Plottingposition för observerade värden är bestämda med positionsfaktorn $a=0.5$.

är 27, vilket motsvarar antal år under vilka mätningar gjorts. Tröskelgränsen för att data skall tas med är 14 mm. Med plottingpositionsfaktorn a satt till 0.5 får högsta värdet återkomsttiden 54 år. GEV-fördelningen ger ett 100-årsregn på 45 mm. Gumbelfördelningen ligger något under GEV för höga värden, men visas inte i figuren.

Motsvarande extremvärdesanalys har gjorts för regn med varaktighet ner till 5 minuter. GEV-analysen har sedan använts för att ta fram intensitets-varaktighetskurvor eller volym-varaktighetskurvor för olika långa återkomsttider för regn vid Turbinen. Volym-varaktighetsdiagram visas som Figur 8. Observerade maximala regnvolymen visas också. Dessa motsvarar ungefär 50-årsregnet enligt GEV. När man jämför observationer med GEV-funktion-uppskattat 10-årsregn finner man att regnet beräknad med GEV för alla varaktigheter ger något lägre värden än vad som motsvarar strax under 3 händelser under 27 år.

Analys av regnserier i Malmö: Limhamn

Extremvärdeanalys för regnvaraktigheterna 5, 10, 15, 20, 30 och 60 minuter har gjorts på samma sätt som för Turbinen också för mätstationerna i Augustenborg, Bulltofta och Limhamn. Här redovisas endast resultat från Limhamn. Det finns 11 effektiva observationsår. Samma tröskelnivåer som för Turbinen har använts. Antalet mätvärden för de olika varaktigheterna har då fått begränsas till 9–10. Anpassningen av sannolikhetsfördelningar till observationsdata är dålig för varaktighet 60 minuter, men är bättre för kortare varaktigheter. 100-årsregnet med 60 minuters varaktighet bestäms



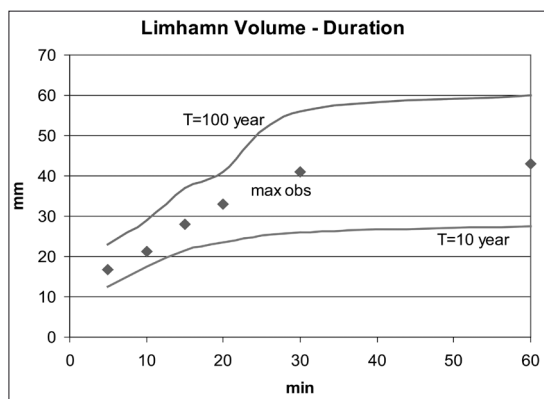
Figur 8. Regnvolym vid Turbinen som funktion av varaktighet för olika återkomsttider bestämd med GEV-analys. Maximal observerad nederbörd är inritat.

med GEV-analys till 60 mm och med Gumbel-analys till 48 mm. För regn med 10 minuters varaktighet är motsvarande regnmängder 29 mm (GEV) respektive 27 mm (Gumbel). Liksom för Turbinen har volym-varaktighetskurvor tagits fram för Limhamn utifrån GEV-analysen. Kurvorna visas i Figur 9. Extremvärdena för respektive varaktighet har tagits fram oberoende av värdena för andra varaktigheter. Detta kan som syns i Figur 9 medföra att kurvorna får en knyk; 20-minutersvärdet med 100 års återkomsttid ligger lågt i förhållande till 15 minuters och 30 minuters värdena.

Analys av kombinerade regnserier för hela Malmö

De 20 allra mest extrema 60 minuters regnhändelserna uppmätta med vippmätare i Malmö visas i Tabell 2. Det största regnet har fallit i Limhamn. Det är en jämn fördelning mellan stationerna av händelser med stora regnmängder, om man beaktar längden på mätperioderna vid de olika stationerna (endast mätningar från de fyra stationer med någorlunda långa och tillförlitliga mätningar har tagits med). Om man tar med de 100 största händelserna är fördelningen mellan de olika stationerna exakt jämn, drygt 1.6 händelser per station och år. Det är extrema lokala händelser med ringa utbredning. Emellertid kan vissa av dessa händelser inträffa inom samma dygn och under närliggande timmar; till exempel 2006 26 augusti klockan 15 i Limhamn, klockan 16 i Bulltofta och klockan 19 i Augustenborg. Händelserna i Limhamn och i Bulltofta härrör från samma regn och är därför inte oberoende; kanske också händelsen i Augustenborg är från samma regn. För att säkerställa att endast oberoende händelser tas med väljs här endast en händelse per dygn avseende 60 minuters regn. För regn med kortare varaktighet inkluderas händelser som separata om de inträffat med en tidsdifferens på mer än 4 timmar. Av de 9 största mätvärdena (Tabell 2) är 8 oberoende, vilket visar att de mest extrema regnhändelserna på olika platser är oberoende även om man ser på så lång varaktighet som 60 min. Om man endast tar med oberoende händelser och dessutom finner att det knappast finns någon samtida extrem händelse vid de olika stationerna, är det rimligt att låta summan av antalet observationsår från de olika stationerna motsvara antalet observationsår vid en enskild station. Man kan då göra extremvärdesanalys på det totala antalet stationsår. För fyra stationer i Malmö får man då en observationsserie på 60 år. För regn med längre varaktighet ökar sambandet mellan händelser vid olika stationer och den förlängda serien blir kortare än 60 år.

Antalet stationsår för de 4 stationerna i Malmö är 60 år. Om för oberoende en-timmes regn sätts en tröskel-



Figur 9. Extremvärdesbestämda volym-varaktighetskurvor för Limhamn samt observerade max-värden.

nivå på 14 mm, så kan 38 värden tas med. Detta är samma tröskelvärde som använts för de individuella dataserierna. Resultatet av extremvärdesanalysen på den kombinerade serien från samtliga stationer har redan visats som Figur 2. 100-årsregnet är 42 mm, vilket nästan exakt motsvarar största observerade regn för dessa 60 stationsår. Det med frekvensanalys uppskattade 100-årsregnet är alltså inte som vid frekvensanalysen för enskilda stationer väsentligt större än de högst uppmätta regnen.

Extremvärdesanalys har också gjorts för regnvaraktig-

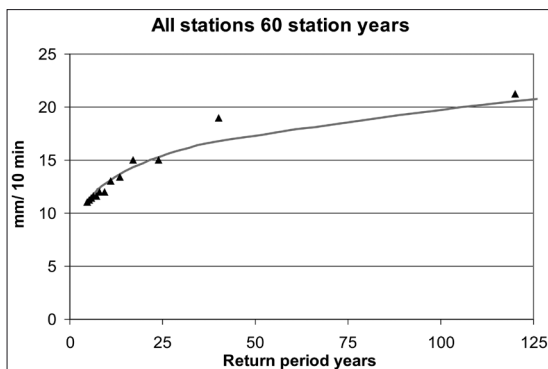
Tabell 2. De 20 största 60 minuters regnmängderna uppmätta i vippmätare i Malmö 1980–2007.

ranking	mm	år	månad	dag	timme	station
1	43.4	event2006	8	26	15	Lim
2	37.9	event1980	7	15	20	Turb
3	34.4	event1996	8	26	12	Turb
4	33.4	event1997	7	22	19	Lim
5	29.2	event2003	7	18	9	Bull
6	28.6	event1996	8	26	13	Aborg
7	28	event2004	8	13	14	Turb
8	26.2	event2002	8	3	14	Turb
9	26	event2004	7	9	14	Aborg
10	25.6	event1996	8	26	12	Bull
11	25.6	event2003	7	18	9	Aborg
12	21.8	event2006	8	26	19	Aborg
13	21.6	event1999	7	21	1	Turb
14	21	event1993	7	17	17	Turb
15	21	event1997	7	22	19	Turb
16	21	event1999	8	9	13	Turb
17	21	event2006	8	26	16	Turb
18	20.2	event1997	7	27	16	Bull
19	20.2	event1997	9	3	6	Turb
20	19.4	event2004	8	13	15	Lim

heterna 10, 15, 20 och 30 minuter för samlade regnserier för de 4 Malmöstationerna; vid samtida regn vid olika stationer har endast det högsta värdet tagits med. Här visas endast resultat från analys av 10-minuters regn. Av de 20 mest intensiva observerade regnen, oaktat om regnen vid olika stationer sker samtidigt eller ej, har tre inträffat 26/8 2006 och tre 26/8 1996; ett av dessa regn inträffade 3–4 timmar senare än de övriga två (26/8 2006). Således är 16 av dessa 20 regn oberoende av varandra. Ytterligare 4 regnhändelser, som dock ej visas i tabellen, läggs till för att extremvärdesanalys skall kunna göras på 20 värden. Tröskelvärdet för 10-minutersregn blir då 8.6 mm. Anpassningen GEV-fördelning – observationer visas i Figur 10. 100-årsregnet är 20 mm/10 min. Det näst största regnet ligger långt över GEV-kurvan. I övrigt är anpassningen god.

Regionalt volym-varaktighetssamband för Malmö baserat på 60 stationsår

Med förutsättningen att de intensiva regnen har samma karaktär vid de fyra stationerna i Malmö (Turbinen, Limhamn, Augustenborg och Bulltofta) så kan oberoende händelser från dessa stationer utgöra gemensam bas för intensitets-varaktighetskurvor eller volym-varaktighetskurvor med olika återkomsttider. Antalet stationsår från de fyra stationerna i Malmö är totalt 60 år. För oberoende händelser motsvarar då regn med återkomsttid 10 år det 6te störst observerade regnet. Volym-varaktighetsförhållandet bestäms från mätdata för återkomsttid upp till 10 år. För längre varaktigheter utnyttjas resultat av GEV-analysen, Figur 10. Volym-varaktighetskurvor visas i Figur 11. De högsta observerade regnen har drygt 100 års återkomsttid. 100-årsregnet är ungefär 60 % större än 10-årsregnet för alla varaktigheter.



Figur 10. Anpassning GEV-fördelning – observationer för 10 minuters regn vid 4 stationer i Malmö. Tröskelnivå 8.6 mm/10 min.

Teoretisk intensitet-varaktighetskurva

Det har tagits fram en mängd samband för att beskriva intensitet – varaktighet, till exempel Keifer och Chu (1957), Dansk ingenjörsförening (1974). I denna artikel prövas endast det enkla sambandet, se till exempel Dahlström (1979),

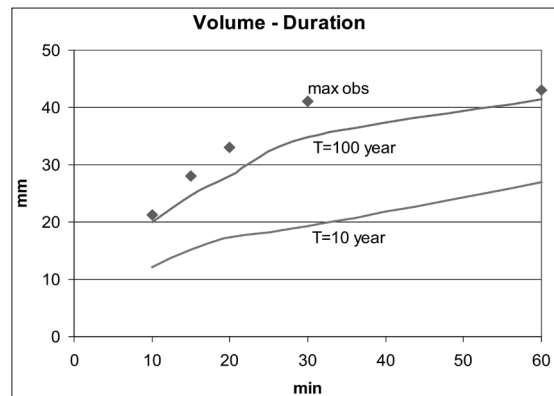
$$i = a \tau_d^b$$

där i är intensitet (här med enhet mm/min) och τ_d regnets varaktighet (här i minuter); b hålles konstant, Bengtsson och Niemczynowicz (1986), medan a beror på återkomsttiden. Volym-varaktighetssambandet fås genom multiplicering med τ_d . Försök görs att få ett enkelt samband mellan parametervärde a och återkomsttid i är:

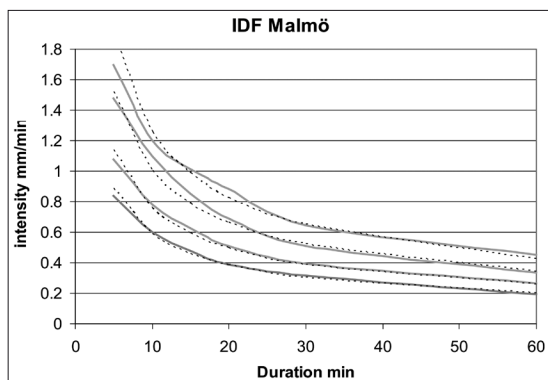
$$a = a_1 T^c$$

med a_1 som parametervärde vid återkomsttid 1 år ($T=1$) och c ett parametervärde. Det är dock inte teoretiskt möjligt att låta parametern c vara konstant också för långa återkomsttider, Koutsoyiannis (1994), om fördelningsfunktionen skall vara någon av de omnämnda i denna text.

I den tidigare texten har volym-varaktighetskurvor visats. Nu visas istället intensitet-varaktighetskurvor. Det teoretiska sambandet med parametrar a och b jämförs med observationer. Jämförelser görs i Figur 12 för regn med återkomsttider 1, 2, 5 och 10 år. Vid dimensionering är regn med varaktigheter 10–30 minuter vanligen de dimensionerande. God anpassning erhålles med parametervärdena $b = 0.6$, $a_1 = 2.3$ och $c = 0.33$. För att få god anpassning till 100-årsregnet beräknat med GEV-analys måste parametern a ges ett 20 % lägre värde än vad som erhålles om a är proportionell mot T^c .



Figur 11. Samlad volym-varaktighetskurva för Malmö baserad på 60 stationsår. 10-årskurvan är det 6te störst observerade regnet; 100-årskurvan är det värde som erhålles ur GEV-fördelning.



Figur 12. Jämförelse observerade idf-kurvor (heldragna ljusa) i Malmö för varaktigheter 1, 2, 5 och 10 år med teoretiska kurvor (streckade mörka) med parametervärdena $b = 0.6$, $a_1 = 2.3$ och $c = 0.33$.

Samband mellan intensiva skurar och stora dygnsregn

Det finns från orter i Sverige inga långa serier med korttidsmätningar av intensiva regn (mätningar med vippmätare) eller i varje fall endast få sådana. Dygnsnederbörd har emellertid mätts på väldigt många orter under upp mot 100 år. Kan man finna samband mellan nederbörd över mycket kort tid och dygnsnederbörd skulle man kunna klargöra om det finns skillnad i korttidsnederbörd på olika orter och då undersöka trender av ändrad regnintensitet utifrån ett stort datamaterial. Detta motsvarar i princip den teori om Z-värde, Dahlström(1979), som flitigt använts i Sverige. I en tidigare artikel, Bengtsson (2008), har det inte kunnat konstateras något samband mellan de allra största dygnsregnen och stor årsnederbörd på orter i Skåne; mellan de mer modesta dygnsregnen och stor årsnederbörd finns ett samband. I föreliggande artikel jämförs korttidsregn med den samlade regnmängden under den timme eller det dygn som regnet föll. Det framkommer då att det inte finns något samband alls mellan 10-minuters regnskurar och dygnsregn. Det finns ett klart samband mellan en timmes regn och dygnsregn, men spridningen är så stor, att man inte kan få fram ett samband att använda för statistisk analys. Mellan 10-minutersregn och 60-minutersregn i Malmö är sambandet ringa och inte signifikant. Inom de 10 största 1 timmes regnen återfinns endast 3 av de 10 största 10 minuters regnen.

Långsiktiga förändringar av regnet

Dygnsnederbörd har mätts i Malmö sedan 1919. Det finns alltså möjlighet att undersöka om regnintensiteten

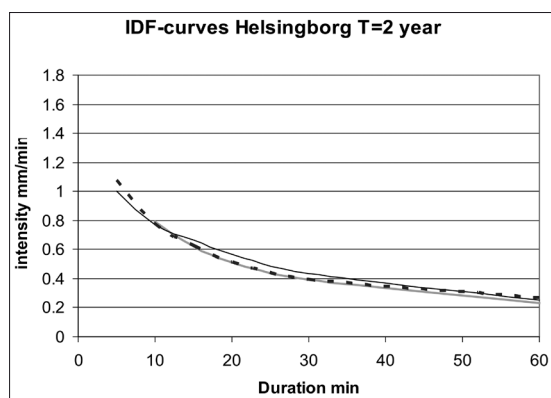
över dygn har ändrats under de senaste nästan 100 åren. Detta har gjorts i en tidigare artikel, Bengtsson (2008). Det finns ingen trend mot ökande eller minskande mycket hög dygnsnederbörd. Trendanalys gjordes också för lika långa dygnsnederbördsserier från Göteborg och Halmstad. Inte heller för dessa orter finns någon signifikant trend mot ändrad årshögsta dygnsnederbörd. Faktiskt finns för alla orter en svag, ej signifikant trend, mot minskande årshögsta dygnsnederbörd. Det är svårt att undersöka om antalet intensiva regn ökat eller minskat, eftersom det inträffar så få intensiva regn under ett år. Man kan välja att se på antalet händelser under 10-årsperioder. I den refererade artikeln framgår då att antalet intensiva regn större än 40 mm per dygn fördelat över 10-årsperioder inte har förändrats under de senaste 100 åren. Några nyligen genomförda undersökningar från andra delar av Europa och Nordamerika har redovisats tidigare, Bengtsson (2008). De visar inte någon helt konsistent bild av förändringar av dygnsnederbörden. Man kan dock sammanfatta så att dygnsnederbörd vintertid har ökat, men att den mest intensiva dygnsnederbörden på sommaren snarare har minskat än ökat. De är dock svårt att analysera extrema händelser, eftersom de verkligt extrema händelserna är just extrema och inträffar sällan.

För kortvariga regn med varaktighet mindre än en timme är regnserierna oftast så korta att resultat från trendanalys måste tas med skepsis. Sådan analys görs ändå i denna text. Frekvensanalys för Turbinen har redan presenterats i Figur 5. Mätningarna från Turbinen omfattar 27 år. Redan det är egentligen en väl kort serie för att dra slutsatser om eventuell trend. Bengtsson (2008) visade att det i dygnsnederbörden från Halmstad, Göteborg och Malmö (främst för Halmstad-serien) fanns 30-åriga trender, men att över den 90-åriga perioden inga långsiktiga trender kunde spåras. Man kan istället jämföra gamla och nya mätningar. Det kan dock vara svårt att bedöma signifikansen av eventuella skillnader, något som redan tagits upp tidigare i texten. Hernebring (2006) har gjort sådana jämförelser för kortare regn och försiktigt dragit slutsatsen att de kortvariga regnet inte har ökat i intensitet. Arnbjerg-Nielsen (2005) har dock funnit att såväl maximala 10-minuters regnintensitet som antalet intensiva 10-minutersregn har ökat i östra Danmark.

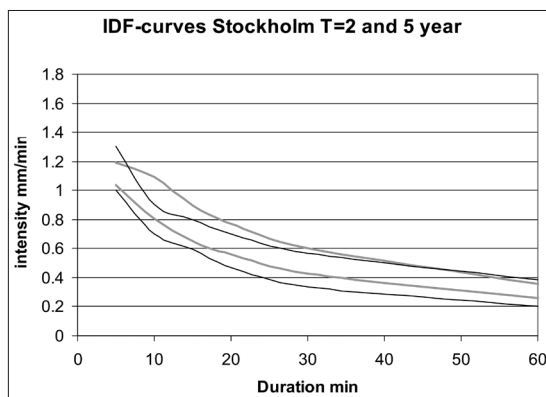
Hernebring (2006) har jämfört nya och gamla intensitet-varaktighetskurvor för Borås, Göteborg, Stockholm och Malmö. Han finner inga avvikelser mellan nya och gamla värden för Borås, svagt minskat intensitet för Göteborg och Stockholm, oförändrad intensitet för mycket korta varaktigheter i Malmö men ökad för varaktighet 20 minuter och längre. Det har, som inledningsvis nämnts, hysts tveksamheter rörande gamla Malmö-värden.

Inledningsvis i denna artikel så klargjordes att gamla mätningar i Malmö visat lägre korttidsregnintensiteter än på närbelägna orter. För att dels undersöka förändringar i regnintensitet över längre tider och dels jämföra nuvarande mätstationer i Malmö med närbelägna orter undersöks också regnintensitetsmätningar från Helsingborg. Kurvor för 2-årsregn för perioden 1917–1940 (Höganäs 1975) och perioden 1991–2004 (Svenskt Vattens hemsida enligt Hernebrings sammanställning) jämförs i Figur 13. De nya regnintensiteterna är något högre än de gamla. Den nya Malmö-kurvan är också inlagd. Regnintensitetskurvan för Malmö är lite lägre än Helsingborgskurvan baserad på mätningar för perioden 1991–2004 och nästan identiska med gamla Helsingborgskurvan. En statistik analys av årsmaxima visar inte på någon skillnad mellan nya Malmö och nya Helsingborgsregn för någon varaktighet.

Hernebring (2006) har jämfört regnintensiteter i Stockholm uppmätta med ackumulerande kärl med de som uppmäts med vippmätare efter 1984. Han finner att de gamla mätningarna visar högre värden. Här görs en motsvarande jämförelse baserat på kurvor för perioden 1907–1946 (Höganäs 1972) och perioden 1984–2004 (Svenskt Vattens hemsida). Intensitet-varaktighetssamband med återkomsttid 2 år och 5 år visas i Figur 14. De gamla kurvorna ligger väsentligt över de nya, speciellt för den lägre kurvan, återkomsttid 2 år. Eftersom de gamla nederbördsvärdena endast finns som kurvor kan en statistisk analys för bedömning av huruvida skillnaderna är signifikanta inte göras. Stockholmskurvan (återkomsttid 5 år) baserad enbart på de nya mätningarna ligger under Malmö-kurvan för varaktigheter mindre än 20 minuter men är för varaktigheter 30–60 minuter nästan 0.5 mm/min högre; för återkomsttid 2 år är Stockholmsregnen mindre än Malmöregnen.



Figur 13. Intensitet-varaktighetssamband med återkomsttid 2 år för en mätare i Helsingborg 1907–46 (ljus kurva) respektive 1991–2004 (mörk kurva) och fyra mätare i Malmö 1980–2007 (streckad kurva).

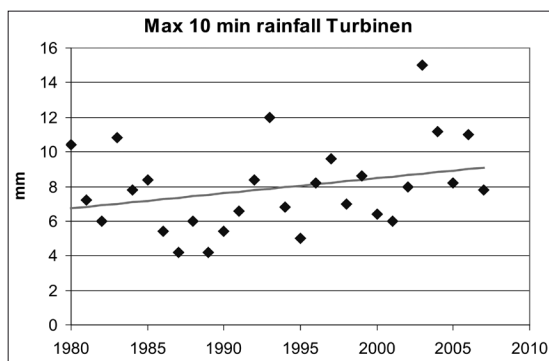


Figur 14. Intensitet-varaktighetssamband med återkomsttid 2 år respektive 5 år i Stockholm baserat på mätningar för perioden 1907–46 (ljusa kurvor) respektive 1984–2004 (mörka kurvor).

Hernebring har också studerat trender av de senaste årens regnintensiteter i Stockholm, Göteborg och Malmö (Turbinen). Han finner svag ökning av intensiteterna i Malmö under de senaste åren; som visas i denna text behöver dock de värden från Turbinen, som Hernebring utnyttjat, korrigeras. Hernebring vill inte dra någon slutsats om eventuell ändring av regnintensiteter, men antyder att regnen har fortsatt samma intensitet som för 50 år sedan eller längre tillbaka i tiden.

Den korrigerade mätserien vid Turbinen från 1980 till och med 2007 används för att undersöka eventuella trender av korttidsregnets intensitet i Malmö. Under åren 1981–1993 användes en vippmätare med volym 0.5 mm, vilken sedan byttes ut mot 0.2 mm vippmätare. Mätningarna för perioden 1981–1993 ger signifikant lägre värden än för den efterföljande perioden och också lägre dygnsvärden än vad en uppsamlade mycket närbelägen SMHI-mätare har givit. Jämförelse med denna SMHI-mätare och jämförelse mätningar med 0.2 mm mätare har givit vid handen att Turbinen-värden för perioden 1981–1993 bör uppräknas med 20%; se analys tidigare i texten. Det finns ett års bortfall av värden från Turbinen; se tidigare i texten. Maximum för detta år har satts som medelvärdet av årsmaximum. Årsmaximum för 24 timmars regn uppvisar ingen trend. Motsvarande trend för 6 timmars regn är något avtagande, men trenden är inte signifikant. Högsta årliga timvärde, se Figur 5, visar inte någon trend; observera dock att i denna figur är de enskilda årsvärdena okorrigerade.

Ett annat sätt att avgöra om regnintensiteter ökat eller minskat är att undersöka antalet händelser som inträffat under ett år och se om detta antal tenderar att ändras. För 60-minutersregn väljs tröskelnivå 10 mm. Antalet sådana händelser vid Turbinen har varierat mellan 0 (ett år) till 7 per år. Nästan hälften av alla värden är mindre



Figur 15. Årliga högsta observerade regnvolym under 10 minuter vid Turbinen samt beräknad trendlinje. Signifikansnivå 90 %.

eller lika med ett. Det finns inte någon trend av antalet sådana extrema händelser. Man kan fastslå att extrema regn med varaktighet timme eller längre har varit oförändrade de senaste nästan 30 åren.

När trendanalys görs av regn med så kort varaktighet som 10 minuter finner man dock för observationerna vid Turbinen en signifikant ökande trend av årliga högsta regnintensitet, liksom Arnbjerg-Nielsen (2005) funnit för östra Danmark. Observationer och trendberäkningen för Turbinen visas i Figur 15. Ökningen är signifikant på 90 % nivå. Också årsmaximum av regn med varaktighet 20 minuter visar signifikant ökning, men däremot inte 30-minutersregn.

Vid undersökning, om antalet händelser som inträffat under ett år tenderar att ändras, väljs för 10-minutersregn tröskelnivå 4 mm. Antalet sådana händelser vid Turbinen har varierat mellan 1 till 9 per år. Det finns en tendens till ökning av antalet sådana händelser från knappt 3 1980 till 3½ vid periodens slut. Trenden är dock inte signifikant. Trendanalysen för 20-minutersregn ger samma resultat som för 10-minutersregn.

Motsvarande trendanalys som för Turbinen har utförts också på de Stockholmsdata som genom Hernebrings försorg finns tillgängliga via Svenskt Vatten. Stockholmsmätningarna omfattar åren 1984–2004, dvs 21 år; dock saknas värden från 1994. Medelvärden från de övriga åren har använts för detta år. Regnen i Stockholm visar tydlig signifikant trend mot avtagande intensiteter för regn med varaktighet 10–60 minuter. Här visas trenden för 10-minutersregn, Figur 16. Denna trend mot avtagande regnintensitet i Stockholm uppkommer på grund av det mycket intensiva regn från 1984, som tidigare har beskrivits i denna text. Om man ersätter detta regn med det näst största regnet för detta år, så försvinner trenden helt.

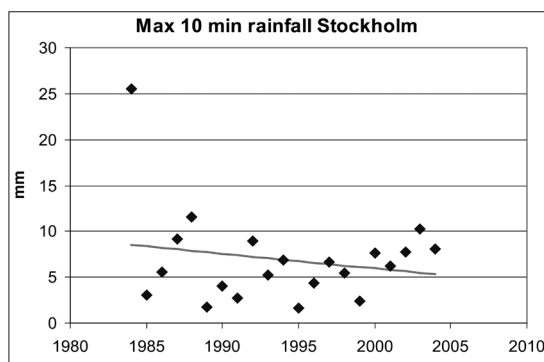
När regnserier är såpass korta som 25 år kan enstaka värden ge utslag i form av trender. Det är därför tve-

samt om man kan dra slutsatsen att regnintensiteterna i Stockholm tenderar att minska. Vid jämförelsen mellan intensitetskurvor för perioden 1984–2004 och den tidigare perioden 1907–1946 framstår dock de gamla regnintensiteterna som klart högre än de för de senaste 20 åren, speciellt för regn med ganska kort återkomsttid. Det står i varje fall klart att regnintensiteterna i Stockholm inte har ökat.

Trendanalys för Turbinen i Malmö visar på en ökning av regnintensitet över 10–20 minuter men oförändrad intensitet över tiden för regn med längre varaktighet. Ett stort 10-minutersregn år 2003 påverkade trendanalysen. Det är svårt att tänka sig att regn med varaktighet 10 minuter skall öka i intensitet utan att regn med något längre varaktighet också ökar i medelintensitet. Det är också svårt att tänka sig att 10-minutersregn i Malmö skulle öka i intensitet medan motsvarande regn i Stockholm skulle minska i intensitet. Avvikelser kan nog förklaras med att tidsserierna är korta och också med att mätarna inte stått under ständig tillsyn och inte är kalibrerade individuellt. Liksom för dygnsregn är den rimliga slutsatsen, att det inte föreligger några trender mot ändrad regnintensitet.

Slutsatser

Det står ganska klart att det behövs mätningar över lång tid och helst på flera närbelägna platser för att man skall kunna dra slutsatser om sannolikheter för de mest extrema regnen. Det finns många felkällor vid regnmätningar, varför varje extrem regnsituation måste analyseras individuellt. Såvida inte regnmätarna är kalibrerade för olika regnintensiteter måste man vid jämförelse dem emellan ta hänsyn till att mätvärdena kan skilja $\pm 10\%$ för samma regn. Det finns inget samband mellan dygnsregn och extrema regn med varaktighet 10 minuter. Regn från olika platser kan slås samman för att öka antalet värden vid extremanalys. Med 60 samlade stationsår



Figur 16. Största observerade årliga nederbörd vid Torsgatan, Stockholm.

för Malmö fås en ganska god anpassningen till teoretisk sannolikhetsfördelning, främst GEV (generell extremvärdesfördelning). Anpassning för enskilda stationer med mätningar över 10–25 år är mindre bra. Olika sannolikhetsfördelningar ger mycket olika värden för återkomsttider större än 40 år. De observerade största regnen i Malmö under åren 1980 till 2007 har en återkomsttid på cirka 100 år vid en jämförelse med teoretiska fördelningar. 100-årsregnet är cirka 60 % större än 10-årsregnet.

För olika stationer och orter, som endast representeras av en station och inte har mycket långa tidsserier, ger extremvärdesanalys olika resultat. Om man beaktar seriernas begränsade längd och hur en enskild händelse kan påverka extremvärdesberäkningarna, så är det svårt att se att de extrema kortvariga regnen är annat än mycket lika på olika orter i Sverige, speciellt om man beaktar osäkerheten i mätningar av höga regnintensiteter. För regn med återkomsttid upp till 10 år kan regnintensiteten i Malmö uttryckas med ett enkelt samband med regnets varaktighet och dess återkomsttid som parametrar.

Vid jämförelse mellan nya och mer än 50-år gamla mätningar i Helsingborg och Stockholm kan man inte dra några slutsatser om förändrad regnintensitet. Trendanalys över de senaste 20–25 åren för en station i Malmö och en station i Stockholm visar i princip ingen trend, även om ett mycket stort regn i Stockholm tidigt under perioden ger upphov till avtagande trend, och årsmaximum i Malmö av 10–20 minutersregnen, men inte 30–60-minutersregnen, har ökat. För dygnsregn föreligger ingen trend.

Referenser

- Arnbjerg-Nielsen, K. (2005) Significant climate change of extreme rainfall in Denmark. Proc.(abstract) 10th Int. Conf. *Urban Drainage*, Copenhagen 21–26 August.
- Arnell, V. (1982) Rainfall data for the design of sewer pipe systems. *Dept. of Hydraulics, Chalmers*, Rep. Ser. A:8, ISSN 0348 – 1050, 214 pp.
- Bengtsson, L. (2008) Extrema dygnsregn och trender i Skåne och Västskusten (Extreme daily rainfall and trends in Skåne and the west coast). *VATTEN* 64, 31–39.
- Bengtsson, L. och Niemczynowicz, J. (1986) Areal reduction factors from rain movement. *Nordic Hydrology* 17(2), 65–82.
- Cunnane, C. (1989) Statistical distributions for flood frequency analysis. *WMO Operational Hydrology Rep.* 33, 73 pp.
- Dahlström, B. (1979) Regional fördelning av nederbördsintensitet – en klimatologisk analys. *Bygghöförsökningen* R18:1979, 83 s.
- Dahlström, B. (2006) Regnintensitet i Sverige – en klimatologisk analys. *VA-Forsk rapport* Nr 2006-26, 69 s.
- Dales, M.Y. and Reed, D.W. (1989) regional flood and storm hazard assessment. *Inst. Hydrology, Wallingford, UK*, Rep. 102, 159 pp.
- Dansk ingenjörsförening (1974) Bestemmelser af regnrækker. Spildevandskomiteen. Skrift nr 16, Köpenhamn.
- Hernebring, C (2006) 100-årsregnets återkomst, förr och nu – regndatat för dimensionering / kontrollberäkning av VA-system i tätorter. *VA-Forsk rapport* Nr 2006-4, 85 s.
- Höganäs AB (1975) Avloppshandbok, 247 s.
- Jonasson, O. (2001) Statistik bearbetning av regnserier från Malmö 1980–1999. *VATTEN* 57, 39–44.
- Keifer, C.U. och Chu, H.H. (1957) Synthetic storm pattern for drainage design. *J. Hydraulic Div., ASCE*, 83, 1132, 1–25.
- Koutsoyiannis, D. (1994) A stochastic disaggregation method for design storm and flood synthesis. *J. Hydrology* 156, 193–225.
- Niemczynowicz, J. (1984) An investigation of the areal and dynamic properties of rainfall and its influence on runoff generating processes. *Dept. Water Resources Engineering, Lund Univ.*, Rep. 1005, 215 pp.
- Niemczynowicz, J. (1986) The dynamic calibration of tipping-bucket rain gauges. *Nordic Hydrology* 17(3), 203–214.
- SMHI (1984) *Väder och Vatten*.
- Svenskt Vatten (2004) Dimensionering av allmänna avloppsledningar, Publ. 90, 84 s.
- Vasvari, V. (2005) Calibration of tipping bucket rain gauges in the Graz urban research area. *Atmos. Res.*, 77, 18–28.