

Identifiering av extrema händelser och dess översvämningskonsekvenser i tätort

Lars Bengtsson



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Rörsnät & Klimat
Avlopp & Miljö
Management

SVU styrs av en kommitté, som utses av styrelsen för Svenskt Vatten AB. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

Agneta Granberg (m), ordförande	Göteborg
Daniel Hellström, utvecklingsledare	Svenskt Vatten
Henrik Aspegren	VA SYD
Per Ericsson	Norrsvatten
Tove Göthner	Sveriges Kommuner och Landsting
Per Johansson (s)	Gävle kommun
Stefan Johansson	Skellefteå kommun
Annika Malm	Kretslopp och vatten, Göteborgs Stad
Lisa Osterman	Örebro kommun
Kenneth M. Persson	Sydvatten AB
Carl-Olof Zetterman	SYVAB

Författaren är ensam ansvarig för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 14057
167 14 BROMMA
Tfn 08 506 002 00
Fax 08 506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se
Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Identifiering av extrema händelser och dess översvämningskonsekvenser i tätort
Title of the report:	Identification of extreme events and related flooding consequences in urban environments
Författare:	Lars Bengtsson, Teknisk vattenresurslära, LTH
Rapportnummer:	2014-19
Antal sidor:	80
Sammandrag:	Dygnsnederbörd behandlas utifrån 100-åriga serier. Antalet modest stora regn har ökat men inte de extrema regnen. Korttidsserier analyseras i detalj. Tillförlitligheten är dålig, om mätarna inte ses över dagligen. Disaggregeringsteknik prövas för generering av korttidsstatistik från dygnsregn. Kombinationer av havsnivåer och regn undersöks.
Abstract:	Daily rains are analyzed using 100-year series. The number of modest rains has increased, but not the extreme rains. Short-term series are investigated. The reliability is poor, unless the gauges are checked on a daily basis. Disaggregation is used to derive short-term statistics from daily rains. Combinations of sea level and rains are investigated.
Sökord:	Översvämningstyper, extrema dygnsregn, 100-åriga trender, dygnsregns-disaggregering, havsnivåer, samband havsnivå-regn
Keywords:	Different types of flooding, extreme daily rain events, 100-year trends, disaggregation of daily rains, sea level, relations sea level-rain
Målgrupper:	Planerare och tekniker vid konsultföretag och kommuner, forskare
Omslagsbild:	Översvämning i stad. Foto: Rolf Larsson, Vattenresurslära
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Utgivningsår:	2014
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB
Om projektet Projektnummer:	10-102
Projektets namn:	Identifiering av extrema händelser och dess översvämningskonsekvenser i tätort
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling 10-102, Formas 2010-121, EU-Erasmus doktorandstipendium

Förord

Denna rapport utgör redovisning av ett Svenskt Vatten Utveckling (SVU 10-102) – Formas projekt (2010-121) med rubricerad titel. Direkt finansiering har tillkommit via EU-Erasmus-Mundus doktorandbidrag. Rapporten är en sammanfattning av ett antal tidskrifts och konferenspublikationer. Referenser ges ganska sparsamt i rapporten. Projektet är ett samarbetsprojekt mellan Teknisk vattenresurslära, LTH och Va-teknik vid Luleå tekniska universitet. Tyngdpunkten av aktiviteterna har varit vid Teknisk vattenresurslära i Lund. Samarbete har skett med SMHI (Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut), Sydvatten AB, Trelleborgs kommun, DHI (Dansk hydrauliskt institut) och Indian Institute of Technology i Mumbai. Avsikten med projektet är i första hand att identifiera och finna sannolikheter för översvämningar i tätort. Detta kan vara kortvariga intensiva regnskurar, långvariga regn utsträckta över flera dagar, höga recipientnivåer eller kombinationer av dessa. Konsekvenser av översvämningar beskrivs grovt med modellsimuleringar. Också en studie av dagvattenkvalitet ingår. Projektet behandlar främst regn och avrinning i södra Sverige, men regn i Mumbai har också behandlats i studien. Rapporten behandlar i stor utsträckning historiska händelser. Trender av olika händelser beskrivs. Tillförlitlighet av klimatmodeller tas dock upp och en del framtida scenarier skisseras. Inom projektet har en doktorand disputerat och en annan påbörjat doktorandstudier.

Rapporten är indelad i kapitel. Först kommer ett inledande kort sådant om olika översvämnings typer. Det mest omfattande kapitlet handlar om dygnsregn och flerdygnsregn med tyngdpunkt på extrema regn bak i tiden till sent 1800-tal. Det finns ett kortare kapitel om korttidsnederbörd och dess spatiala fördelning Malmö. Tillförlitligheten av korttidsmätningar diskuteras. Detta kapitel följs av ett kapitel om möjlighet att generera serier av korttidsnederbörd från dygnsnederbörd. Statistik för dygnsregn från regionala klimatmodeller jämförs med statistik för historiskt observerade regn. Därefter följer avsnitt om extrema havsnivåer och samband höga havsnivåer och stor nederbörd. Översvämningsytor uppskattas med olika modeller. Slutligen finns ett avsnitt om vattenkvalitet omfattande också mikrobiologiska parametrar.

Lars Bengtsson

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	6
Summary	7
Publikationer framtagna inom projektet	8
1 Olika översvämningsförhållanden i tätort	10
2 Dygnsregn – extremhändelser	14
2.1 Inledning	14
2.2 Databas.....	16
2.3 Statistik	16
2.4 Årsnederbörd.....	18
2.5 Stor dygnsnederbörd.....	20
2.6 Daglig extremnederbörd	23
2.7 Flerdygnsregn.....	26
2.8 Samband extremhändelser och årlig nederbörd.....	29
2.9 Slutsatser	30
3 Korttidsnederbörd	31
3.1 Inledning	31
3.2 Regnmätningar i Malmö.....	32
3.3 Spatial fördelning av regn	34
3.4 Trendberäkningar.....	36
3.5 Dygnsregn och korttidsregn	37
3.6 Fel och osäkerheter vid regnmätning med tippmätare	38
4 Disaggregering	42
4.1 Inledning	42
4.2 Metodik.....	42
4.3 Problem vid utökning till korta tidsintervall	44
4.4 Observerade regndata Malmö	45
4.5 Genererade regnserier för Malmö.....	46
4.6 Regn i Helsingborg	47
4.7 Regn i Mumbai	48
5 Klimatmodeller för bestämning av dygnsregn	50
5.1 Test av regionala modeller.....	50
5.2 Uppskattning av framtida dygnsnederbörd från klimatmodeller	51
6 Höga havsnivåer	54
6.1 Inledning	54
6.2 Dataunderlag.....	54
6.3 Höga havsnivåer – sannolikheter	55
6.4 Kombinationer av höga havsnivåer och regn.....	59

6.5	Händelser med kort tidsupplösning.....	65
6.6	Jämförelse av översvämning vid extrema regn och/eller havsnivåer.....	66
7	Urbant avrinningsbidrag från icke-hårdgjorda ytor vid extrema regn	69
8	Vattenkvalitet	71
	Referenser.....	73

Sammanfattning

Dygnsnederbörd från 9 orter i södra Sverige från sent 1800-tal fram tills idag analyseras. Andra databaser som använts är 50-årsserier från ett antal orter i Skåne och dygnsregn mellan 1961–1990 från ungefär 200 stationer i Skåne. Antalet modesta regn med återkomsttid ett år eller mindre har ökat, men inte extremnederbörd med återkomsttid 2 år eller längre. Dygnsårsmaximum för en ort kan relateras till årsnederbörd, men de verkligt extrema händelserna är slumpartade.

Korttidsmätningar med olika tippmätare i Malmö analyseras. Bortfallet av mätvärden är stort, såväl för att mätarna under perioder inte fungerat som för att fel mätvärden registrerats. En slutsats är att mätningar från olika händelser behöver studeras i detalj. Regn vid de olika stationerna har samma karaktär och tillhör samma fördelning.

Disaggregeringsteknik har använts för generering av korttidsregnstatistik från dygnsnederbörd. Genom att för en period med uppgifter om korttidsnederbörd först aggregera 10 min regnvolymer via 20 min och 40 min upp till dygn och sedan disaggregera nedåt i tidssteg bestäms sannolikhet för hur regnet fördelar sig i kortare tidsintervall. I föreliggande studie har 6 regnintensitetsintervall använts. Parametrar har bestämts med data från Malmö och tekniken har tillämpats med dygnsregn från Helsingborg. Överensstämmelsen mellan observerad regnstatistik för Helsingborg och genererad regnstatistik är god för regn med kort återkomsttid, men för 10-årsregn endast för regn med varaktighet minst en timme. Flera år av korttidsdata behövs för parameterbestämning.

Fem olika regionala klimatmodeller utan bias-korrigerings har testats på regn för perioden 1961–1990 i Göteborg. Medelårsmaximum av dygnsregnet bestämdes väl. Genererad statistik av antalet modesta regn per år och extrema regn med lång återkomsttid stämde sämre överens med statistik baserad på observationer. I en annan studie för Mumbai utnyttjades nio olika General Circulation Models med bias-korrektion. Fyra av modellerna visade på signifikant eller nära signifikant ökning av daglig regnintensitet fram till år 2099.

Sannolikhet för kombinationer stora regn och höga havsnivåer har undersökts för orter längs svenska kusten mellan Göteborg och Oskarshamn och dessutom för Luleå/Kalix. Återkomsttid för olika kombinationer av händelser har beräknats direkt från observerad frekvens av händelserna, men för Göteborg också genom kombinationer av olika fördelningar. Kombinationen 1-årsregn och 1-års havsnivå har återkomsttid cirka 50 år.

En studie av dagvattenkvalitet har gjorts i Trelleborg. För det första avrinande regnvattnet finns oavsett regnförhållanden ett starkt samband mellan halten suspenderat material och koncentrationen av tungmetaller och av fosfor. De mikrobiologiska förhållandena i dagvattnet har också undersökts. Föroreningar med humant ursprung kommer från olika aktiviteter och olika delar av avrinningsområdena och kan inte relateras till trafikintensitet.

Summary

Daily rains from 9 cities in southern Sweden from late 18-hundred until today are analyzed. Another data base consists of 50-year series from towns in the Skåne region and a third data base of 30-year series from 200 stations in Skåne. The number of modest rains with return period less than a year has increased, but not the extreme rain events with return period 2 years or longer. The annual daily maximum can be related to the annual precipitation, but the extreme precipitation events seem to be random.

Short-term rainfall data from tipping bucket stations in Malmö are analyzed. The loss of data is large and not all observations can be trusted. A conclusion is that each intense short-term rain event should be analyzed in detail.

Disaggregation has been used to generate short-term rain statistics from daily rains. From short-term rainfall data, volumes of shorter time steps are aggregated into volumes of consecutively larger time steps all the way up to a full day. Parameters are determined by disaggregating back towards shorter times. These parameters are used to generate short term time series from daily rains from other periods or places. Different parameters have been used for 6 rain intensity intervals. Parameters determined from Malmö data were used on daily rains from Helsingborg. The agreement between observed rain statistics from Helsingborg and the generated statistics is good for rains of not very long return periods, but for the 10-year rain only for rains of duration longer than an hour. Several years of short-term rain data are required for determining the parameters.

Five regional climate models have been tested on rains for the period 1961–1990 in Göteborg. The mean daily annual maximum rainfall was well determined. The generated statistics of the number of modestly large rains and also the intensity of the more extreme rains agreed less well with the observed statistics. In another study nine different General Circulation Models were used to describe daily rains in Mumbai. Bias-correction was used. Four of the models show significant or close to significant future increased daily rainfall intensity until year 2099.

The probability of large daily rains in combination with high sea levels has been investigated for some Swedish southern cities and also for Luleå/Kalix in the very north. The return periods of different combinations of events have been computed directly from observations, but for Göteborg also from combinations of probabilities. The combination one-year rain and one-year sea level has a return period of about 50 years.

A study of storm water quality was carried out in Trelleborg. Regardless of the character of the rain event there is a very strong correlation between suspended matter and the concentration of heavy metals and of phosphorous. The micro-biology of the storm water was also investigated. The bacterial pollution is related to human activities from different parts of the urban basin and not to traffic intensity.

Publikationer framtagna inom projektet

- 1 Bengtsson, L. (2011) Daily and hourly rainfall distribution in space and time – conditions in southern Sweden. *Hydrology Research* 42, 86–94.
- 2 Bengtsson, L. & Milloti, S. (2010) Extreme storms in Malmö, Sweden. *Hydrological Processes* 24, 3462–3475.
- 3 Bengtsson, L. & Rana, A. (2012) Long-term change of daily and multi-daily precipitation in southern Sweden. *Hydrological Processes*. DOI: 10.1002/hyp. 9774.
- 4 Bengtsson, L. & Sörensen, J. (2014) Probabilities of flooding in coastal cities in southern Sweden due to high sea level and large rainfalls. (to be submitted).
- 5 Berggren, K., Moghadas, S., Gustafsson, A-M., Ashley, R. & Viklander, M. (2013) Sensitivity of urban stormwater systems to runoff from green/pervious areas in a changing climate. Novatech International Conference on Planning and Technologies for Sustainable Urban Water Management, Lyon, juni 23–26, 8 sidor.
- 6 Berggren, K., Packman, J., Ashley, R. & Viklander, M. (2013) Climate change rainfalls for urban drainage capacity assessment. *Urban Water Journal* (in press tillgänglig elektroniskt).
- 7 Berndtsson Czemieli (2013) Storm water quality of urban runoff in relation to different traffic characteristics. *Urban Water Journal* (in press tillgänglig elektroniskt).
- 8 Berndtsson Czemieli & Paul, C.J. (2013) Microbiological pollution from small traffic related urban catchments and relation to rain intensity. *J Water and Health* (in press).
- 9 Moghadas, S., Marsalek, J., Muthanna, T.M. & Viklander, M. (2013) Review of models and procedures for modelling urban snowmelt (submitted *Urban Water Journal*).
- 10 Rana, A. (2011) Avoiding natural disaster in megacities – Case study for Urban Drainage of Mumbai. *Vatten* 67:55–59.
- 11 Rana, A. (2013) Climate change effect on rainfall and management of urban flooding. *Doktorsavhandling* Rep. 1060, *Water Resources Engineering, Lund University*.
- 12 Rana, A., Madan, S. & Bengtsson, L. (2012) On Climate Prediction: Performance Evaluation of Regional Climate Models (RCMs). Proc. XXVII *Nordic Hydrological Conference*, Aug 2012, Oulu, Finland.
- 13 Rana, A., Madan, S. & Bengtsson, L. (2013) Performance Evaluation of Regional Climate Models (RCMs) in determining precipitation characteristics for Göteborg, Sweden. *Hydrology Research* (in press tillgänglig elektroniskt).
- 14 Rana, A., Bengtsson, L., Jyothi Prakash & Singh, W. (2010) Rainfall and climatic scenarios for design of drainage system. Proc. XXVI *Nordic Hydrological Conference*, Aug 2010, Riga, Latvia.

- 15 Rana, A., Bengtsson, L., Olsson, J. & Jothiprakash, V. (2013) Development of IDF-Curves for Tropical India by Random Cascade Modeling. *HESS, Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 10, 4709–4738, doi:10.5194/hessd-10-4709-2013.
- 16 Rana, A., Foster, K., Bengtsson, L. & Olsson, J. (2013) Impact of Climate change on precipitation over Mumbai using Distribution Based Scaling (DBS) of Global Climate Model (GCM) Projections. (submitted *J Hydrology*).
- 17 Rana, A., Henonin, J., Bengtsson, L., & Mark, O. (2013) Urban flooding inundation in Mumbai. *Int Conf Flood Resilience*, Exeter UK, 5–7 Sep.
- 18 Rana, A., Uvo, C. Bengtsson, L. & Sarthi P.P. (2012) Trend analysis of rainfall for Delhi and Mumbai, India. *Climate Dynamics*. 38, 45–56.
- 19 Sörensen, J. (2014) Combined effects of high water level and precipitation on flooding of Gothenburg, Sweden, Porto, Portugal.
- 20 Sörensen, J. & Rana, A. (2013) Comparative analysis of flooding in Gothenburg, Sweden and Mumbai, India: *Int Conf Flood Resilience*, Exeter UK, 5–7 Sep.
- 21 Sörensen, J. & Bengtsson, L. (2014) Expected flooding consequences of combined high sea level and large rainfall in Göteborg, 13th *Int. Conf. Urban Drainage* Kuching, Malaysia, 7–11 Sep.

1 Olika översvämningssförhållanden i tätort

Översvämningar i tätort kan vara mer eller mindre spatialt utbredda och ha varaktighet från minuter till veckor. Översvämningar sker till följd av många olika händelser. De översvämningar som är mest utsträckta över tid och oftast också har störst utbredning i rummet är de som orsakas av höga flöden och höga vattenstånd i floder. Höga flöden i floder är en följd av långvariga regn eller av snösmältning. Exempel på flodsystem i Europa i vilket stora översvämningar ägt rum under senare år är Moldau-Elbe. I Sverige är Uppsala en av de städer i vilken risken för allvarliga konsekvenser av översvämningar är störst, just för att Fyrisån kan svämma över vid kraftig snösmältning eller stora långvariga regn.

Den typ av översvämning som beskrivs ovan är alltså en följd av höga flöden som orsakas av snösmältning eller långvariga regn. En annan rättfram typ av översvämning är översvämning orsakad av höga havsnivåer. Denna typ av översvämning är kortvarig, kanske timmar. Samtliga kuststäder men kanske framför allt Göteborg är på något sätt utsatt för detta. De mycket stora översvämningarna i samband med stormen Sandra 2012 och Per 2013 är exempel på detta. Kraftiga vindar orsakade då också stora skador. Framtida ökad havsnivå och ökade tillfälligt höga vattennivåer i samband med stormar kan komma att öka antalet översvämningar och förvärra konsekvenser av översvämningar i kuststäder.

De städer i Sverige som är mest känsliga för översvämning är enligt en undersökning av MSB Kristianstad, Uppsala och Karlstad. Undersökningen är inriktad mot fluviala översvämningar och omfattar inte direkt kustöversvämningar. Dock är det så att höga nivåer i Helge å vid Kristianstad till stor del beror på höga havsnivåer i södra Östersjön. Andra städer för vilka översvämningsskade risken från närliggande floder bedöms vara stor är till exempel Göteborg och Kungälv där i varje fall Göta älvs nivå till mycket stor del bestäms av havsnivån. I ett antal kuststäder måste dagvattnet pumpas för att nå recipient eller vid kombinerade system nå reningsverket. Närmast havet i Trelleborg och i Malmö måste det finnas backventiler, för att förhindra källaröversvämningar vid höga havsnivåer.

Översvämningar i städer kan klassificeras som konsekvens av intensiva regn (skyfall), som konsekvens av regn utsträckta över lång tid så att avrinningsbidraget också från icke hårdgjorda ytor och stora vattenmängder dräneras i ledningssystemen, som konsekvens av snösmältning på likartat sätt som från de långvariga regnen, som en följd av höga flod- och sjönivåer eller som en följd av höga havsnivåer. De båda senare fallen är höga recipientnivåer. Översvämning inträffar då recipientnivån stiger över marknivå, men eftersom den hydrauliska gradienten i ledningssystemet minskar, så kan vid regn översvämning ske också högre upp i ledningssystemet. Det är då en kombination av höga recipientnivåer och regn. Effekten av höga havsnivåer och höga flod-sjönivåer är olika, eftersom havsnivåer varierar över kortare tid och är höga kanske endast någon timme.

När man diskuterar urbana översvämningar brukar man oftast mena sådana där ledningssystemet inte räcker till för att avbörda nederbörden i staden. De regn som då ger upphov till översvämningar är oftast av kortvarig natur 20–30 minuter. De översvämmade ytorna är inte stora, men konsekvenserna kan ändå bli betydande då källare översvämmas och då speciellt i kombinerade system där också avloppsvatten rinner över. Genom att identifiera lågnivåer kan man väl uppskatta vilka områden som kommer att översvämmas. Hernebring och Mårtensson (2013) har gått igenom konsekvenser av översvämningar orsakade av skyfall för svenska förhållanden och visat på metodik för uppskattning av översvämningsytor. Vid skapande av ökad mängd hårdgjorda ytor ökar översvämningsrisken. I ett framtida klimat med kanske ökad regnintensitet ökar också risken. Ledningars hydrauliska kapacitet kan vara nedsatt på grund av ledningsbrott eller på grund av sedimentavlagringar. Också avrinningsvägarna mot brunnar och diken kan vara blockerade av snö, jord eller olika sorters bråte så att regn och smältvatten rinner mot områden som inte planerats att ta emot detta vatten.

Långvariga regn kan ge hög belastning på stadens dräneringssystem inte minst i nya ekologiska system. Vid timslånga regn kan dammars och översvämningsytors kapacitet överskridas. Vid regn som sträcker sig över flera dygn kan marken bli så vattenmättad att ytavrinning eller snabb grundvattenavrinning mot ledningar äger rum också från ytor som normalt endast bidrar till mycket långsam avrinning. Detta gäller också vid snösmältning. Så är till exempel i större delen av Norrland tillrinningen mot reningsverk och bräddningen vid dessa mycket stor under och efter snösmältningen. I lågt liggande tätorter kan grundvatten från omgivande jordbruksmark dräneras mot dessa samhällen.

Några olika exempel (skall endast ses som exempel och är inte föremål för någon analys) på översvämningar i Göteborg (nederbördsobservationer från Barlastplatsen) är till exempel:

- 27 augusti 2006 översvämning på grund av skyfall 23 mm/30 min då havsnivån som högst var 33 cm. Ett liknande regn föll dagen innan då havsnivån var 16 cm.
- 12 december 2006 översvämning av Mölndalsån på grund av långvarigt regn då 80 mm föll under 5 dygn, havsnivå 0 cm.
- 14 augusti 2011 översvämning på grund av skyfall lokalt 40 mm/2 tim, havsnivå 17 cm.
- 9 december 2011 översvämning på grund av hög havsnivå 136 cm, nästan inget regn 10 mm.

Några exempel från Malmö på samverkan av havsnivå och stora regn visas i tabell 1-1. Tabellen är tänkt enbart för att visa exempel och är inte föremål för någon analys. Översvämningsuppgifter har fåtts från Stefan Milloti och behandlas här mycket grovt och översiktligt. Regnmängder under ett helt dygn, en timme och 10 minuter anges för att klassificera regnets karaktär. Dygnsregn 40 mm synes ge översvämningar, men exempel på undantag finns. Regnintensiteten har då varit låg under hela dygnet eller så är havsnivån låg. En-timmes regn 15–20 mm ger upphov till översvämning då havsnivån ligger på +15–20 cm.

Tabell 1-1 Förhållanden vid några översvämningstillfällen i Malmö. Havsnivån anges i cm. Regnvolymer för olika varaktigheter är i mm.

Datum	24 tim	1 tim	10 min	Hav	Konsekvens
26/8 -96	39	34	12	-20	Översvämning
22/7 -97	35	33	13	-10	Ingen
15/8 -99	48	16	6	0*	Översvämning nära hav
3/8 -02	40	20	10	+15	Översvämning
24/5 -03	15	15	15	+10	Lokalt nära hav
18/7-03	40	30	8	+10	Centralt-Sege å
13/8 -04	40	28	11	0	Översvämning
26/8-06	40	40	20	+10	Översvämning nära hav
2/9 -06	20	20	15	+20	Översvämning nära hav
5/7 -07	70	<10	<1	+15	Översvämning
22/7 -07	40	<10	<1	+20	Ingen

*) 15/8-99 föll 23 mm under 2 timmar då havsnivån var + 15 cm.

Man ser ofta översvämningar i samband med regn under snösmältningen. Snösmältningen i sig har låg intensitet jämfört med regnets intensitet, men under snösmältningen är alla ytor vattenmättade så avrinning i någon form sker från alla ytor. Dessutom är vattenvägarna ofta blockerade av is, sand eller något annat. Bäckar tenderar att svämma över.

Man förväntar sig ökat antal översvämningar i tätort i ett framtida klimat. I första hand oroar man sig för ökad intensitet av de kortvariga regnen och för ökade havsnivåer och i någon mån också den kombinerade effekten av ökad regnintensitet i samband med hög havsnivå. Det finns emellertid en rad kombinationer att beakta. Även om regnintensiteter endast kommer att ändras marginellt, även om havsnivåändringarna endast märks lite och även om snösmältningen knappast ändras så kan olika kombinationerna av dessa öka risken för översvämningar. Långvariga regn gör att permeabla ytor blir nästan vattenmättade. Följer sen ett intensivt regn sker avrinning från såväl dessa som från hårdgjorda ytor. Om dessutom recipienten är en sjö i vilken vattennivån efter det långvariga regnet står högt, så sker dämning i ledningssystemet.

Nedan ges i tabell 1-2 en sammanställning av olika kombinationer av översvämningsorsaker med möjliga konsekvenser till följd av klimatändring.

Tabell 1-2 Kombinationer av olika översvämningsorsaker.
Långvariga regn – höga flodflöden – höga sjönivåer – långvarig översvämning (veckor)

Regntyp	Tidsskala	Randvärde	Översvämningstyp
Flerdygnsregn	Vecka	Hög flodnivå	Stora ytor
Snösmältning	Vecka	Hög flodnivå	Stora ytor
Regn på snö	Dygn	Hög bäcknivå	Begränsad ytöversvämning
Intensivt regn efter dygnsregn	Timmar	Diken, ekologiska system	Ytöversvämning
Regnskurar	Timme		Små ytor, källare
Intensivt regn	Timme	Hög havsnivå	Dämning
–	Timmar	Hög havsnivå	Ytöversvämning
–	Vecka	Hög flodnivå	Ytöversvämning

Beroende på vilken typ av översvämning det handlar om behövs helt olika åtgärder för att hindra översvämningar eller mildra konsekvenserna av dem. För att hindra översvämning vid intensiva regnskuror kan man leda vattnet mot dammar eller grönytor. Även gröna tak reducerar avrinningstopparna. Vid upprepade stora dygnsregn blir dessa metoder mindre effektiva. Det behövs stora grönytor. När normalt icke-permeabla ytor börjar bidra till avrinningen behövs effektiv dränering så att vatten förs bort innan nästa regn kommer. För att skydda sig mot höga flodnivåer behövs uppströms dammar med planerad reglering. Vallar behövs som skydd mot höga havsnivåer. Höga havsnivåer är dock kortvariga.

2 Dygnsregn – extremhändelser

Mer detaljer angående detta kapitel erhålles från publikationerna 1, 3, 11 och 18.

2.1 Inledning

Konventionella urbana system dimensioneras för kortvariga regn. Dagens system är dimensionerade utifrån regnintensitetsdiagram framtagna utifrån data från perioder ungefär 1950–1980 eller från senare uppmätta nederbördshändelser. Pålitliga korttidsmätningar finns för stort antal platser endast för de senaste 10–20 åren, för enstaka platser för de senaste 30 åren. Detta är kort tid för att undersöka variationer och trender i tid. Dygnsvärden av nederbörd finns för de senaste 150 åren från många platser i Sverige. Man kan från dygnsvärden utläsa trender av medelvärden och olika extremvärden över lång tid. Dygnsnederbördsdata sedan 1961 är tillgängligt från SMHI i digital form. Regndata från sent 1800-tal till 1960 finns tillgängligt i böcker eller andra arkiv.

Dygns- och flerdygnsregn har undersökts. Skillnad görs mellan stora regn och extrema regn. I Sverige definierar SMHI extrema regn som dygnsregn större än 40 mm. Samband söks mellan regn av olika varaktighet. Data för dygnsnederbördsstudien är uppdelade i tre grupper. Grupp 1 är nio städer i södra Sverige med data från ungefär 1870 fram tills idag. Grupp 2 är nio skånska stationer med data från 1961. Grupp 3 är cirka 200 skånska stationer med uppmätt dygnsnederbörd 1961–1990, vilka använts för att relatera stora regnhändelser till årsnederbörd.

Årsnederbörden i södra Sverige har ökat de senaste 100 åren på grund av ökad vinternederbörd, till exempel Dahlström (2006). Detta framgår längre fram vid analys av de långa regnserierna. Så är fallet för större delen av Väst-europa, vilket visas av till exempel Moberg m.fl. (2006), som analyserat regnserier från 75 olika platser. Trömel och Schönwiese (2007) har gått igenom 100-åriga regnserier för olika delar av Tyskland och visat på ökad nederbörd i södra Tyskland men minskad nederbörd i östra Tyskland och oförändrad i norra. Gemensamt är dock att variationen av årsnederbörden har ökat.

När den atmosfäriska temperaturen ökar, så ökar också atmosfärens vattenhållande förmåga, vilket bör resultera i fler intensiva kortvariga regn, se till exempel Trenberth (2011). Det finns många studier baserade på koplade atmosfär – ocean cirkulationsmodeller som indikerar större ändringar av extrema regntillfällen än av årsmedelnederbörd, till exempel Kharin och Zwiers (2000) och Semenov och Bengtsson (2002). Återkomsttiden för regn av olika intensiteter förväntas minska. Så till exempel menar Hennessy m.fl. (1997) att en dubbling av koldioxiden i atmosfären bör innebära en ökning av 1-årsregnet med 10–25 %. Modellstudier av Semmler och Jacob (2004) pekar på en förväntad dubbling av extrema regnintensiteter. Skaugen m.fl. (2003) uppskattar att den extrema dygnsnederbörden kommer att

öka 10–50 % i ett framtida klimat i Norge. I en mer omfattande studie med 8 olika GCMs (generell cirkulationsmodell) och flera olika växthusgasscenarier fick Haugen och Iversen (2008) olika resultat och kunde endast konkludera att medelvärdet av årsmaximum av dygnsregnet kommer att öka.

Det finns många undersökningar av långa dygnsregnsrader från Europa och Nordamerika. Det är svårt att analysera de mest extrema händelserna eftersom det finns så få av dessa. Därför väljer man ofta att endast beakta moderat stora regn, som inträffar flera gånger per år. Det finns ett antal brittiska undersökningar baserade på data från 1960 och framåt, Osborn och Hulme (2002), Fowler och Kilsby (2003), samt Maraun, Osborn och Gillett (2008), som alla visar ökad intensitet för regn under vintern och oförändrad eller minskad intensitet för sommarregnen. Dygnsnederbörden inom den tyska delen av Rhens avrinningsområde har enligt Hundecha och Bárdassy (2005) för perioden 1958 till 2001 ökat i intensitet under höst, vinter och vår, men minskad under sommaren. Som index har 90-percentilen används, vilket är ett modest regn med återkomsttid i varje fall 10 gånger per år. Motsvarande studie för Schweiz, Schmidli and Frei (2005), visar också på ökad vinterregnintensitet, men på oförändrade sommarregn. I Belgien, Gellens (2000), verkar inte regnintensiteterna ha ändrats mellan 1910 och 2000. Den tidigare omnämnda Västeuropastudien av Moberg m.fl. (2006) med 100 år långa serier stämmer väl med den ovan relaterade tyska studien. Det finns dock en studie från Polen, Lupikasza (2009), baserad på dygnsnederbörd för 48 stationer för perioden 1951–2006, som visar nedåtgående trend av 90- och 95-percentilerna av dygnsnederbörd också för vintersäsongen.

Kveton och Zak (2008) har analyserat årsdygnsmaximum utifrån observationer sedan 1895 i Tjeckiska republiken. Medelårsmaximum är 40 mm/dygn, vilket för de flesta stationer i Sverige skulle innebära en återkomsttid på kanske 4 år (varierande 2–5 år). Man fann i den tjeckiska studien inga trender av årsmaximum. Häggström (2001) har undersökt frekvensen i Sverige av just regn med intensitet 40 mm/dygn. Andelen stationer vid vilken dygnsregn med denna intensitet observerats har varit stabil sedan 1920, cirka 25 %. Flertal av dessa händelser kan relateras till cykloniska väderhändelser, Hellström (2005).

I Kanada med någorlunda liknande klimat som i Sverige har Zhang m.fl. (2001) undersökt hur riktigt extrema dygnsregn ändrats över tid. De har undersökt dygnsregn med återkomsttid 20 år. De fann inga trender under hela 1900-talet. Årsnederbörden har ökat men detta kan tillskrivas ökning av antalet händelser av modesta regn.

Det krävs stor försiktighet innan man drar slutsatser från trendanalys. Först skall naturligtvis trender vara statistiskt signifikanta. Det har också betydelse vilka förhållanden som råder vid dataseriernas början och hur kompletta dataserierna är. Exempel kan tas från Kunkels alla studier, till exempel Kunkel m.fl. (2003) och (2007), omfattande dygnsregn för hela USA med dess många klimatzoner. I en första studie med data från 1920 till 2000 fann man generell trend mot ökat antal extrema regnhändelser. När man senare utsträckte mängden data att omfatta också sent 1800-tal och tidigt 1900-tal fann man inte längre någon allmän trend.

Dock när man sedan tog hänsyn till effekt av databortfall fann man ånyo trend mot ökat antal händelser.

Om rörelsemönstret för frontala regn ändras så ändras också den rumsliga fördelningen av stora regn. Mishra och Singh (2010) har jämfört extremdygnsnederbörd i Texas under perioden 1925–1965 med den under perioden 1965–2005 och funnit trender av ökad extrem dygnsnederbörd och av minskad nederbörd beroende på att frontalregnens rörelsemönster ändrats. Detta är en klimateffekt lokalt men inte för en större region.

2.2 Databas

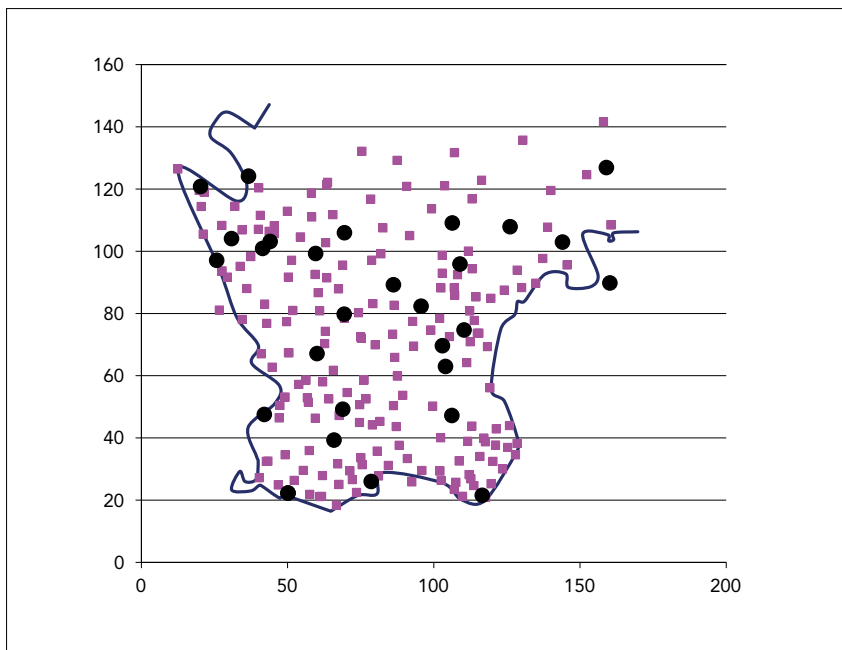
Nio officiella SMHI stationer har använts för analys av hur dygnsnederbörd ändrats över lång tid. Stationerna är Halmstad och Göteborg vid västkusten, Malmö, Lund, Kristianstad och Karlshamn längst i söder, Borås, med stor årsnederbörd, Växjö på sydsvenska höglandet, och Kalmar öster om höglandet. Årsnederbörden är överlägset störst i Borås, omkring 1 000 mm, följt av i Göteborg och i Halmstad med cirka 750 mm årsnederbörd. Nederbörden är lägst i Kalmar, cirka 500 mm. Det högsta enskilda dygnsvärdet är från Växjö, 150 mm från 1945. För 7 av stationerna finns data från 1870–1880, från Växjö och Malmö från 1920. Data efter 1960 är från SMHIs digitala data bas. Regndata från 1960 och innan dess har digitaliserats från arkiv dag för dag; dock, för vissa stationer har för perioden 1931–1960 endast dygnsregn större än 15 mm, max dygnsregn för varje månad samt månadsumma införts i den nya databasen.

I den rent skånska databasen finns 9 stationer med dygnsregn för 1961–2011. Dessa stationer är förutom Malmö, Lund, Kristianstad och Karlshamn, dessutom Helsingborg, Skurup, Tomelilla, Trelleborg och Brösarp. Årsnederbörden för samtliga dessa stationer är 550–650 mm. Ingen station är placerad högre än 50 meter över havet.

Slutligen den tredje gruppen av dygnsnederbörd är 229 stationer runt om i Skåne söder om Hallandsåsen. Dessa stationer etablerades av hedersdoktorn Jan Ellesson. Nederbördsdata finns för perioden 1961–1990 och har digitaliserats utifrån Ellessons anteckningar. För dessa stationer varierar medelårsnederbörden mellan 450 mm och 1 000 mm. Stationsnätet visas i figur 2-1. Figuren visar också var under dessa 30 år, som årshögsta dygnsvärde observerats. Det har inträffat på 28 olika platser. För 90 av stationerna är serierna i det närmaste kompletta. Dessa data används för att söka samband mellan årsnederbörd och hög dygnsnederbörd. Analys av regndata från Ellesson nätet ges i mer detalj av Bengtsson (2011).

2.3 Statistik

Trender över tid undersöks såväl med det icke-parametriska Mann-Kendall testet som med det starkare t-testet (linjär regression). Trender bedöms som signifikanta på 2,5 % (5 % dubbelsidig) nivå och svagt signifikanta på 5 % (10 % dubbelsidig) nivå. Trendtester görs på regnmängder och på antal händelser under ett år. För extremhändelser med återkomsttid längre än ett år



Figur 2-1 Elleson-regnstationsnätet med observationer från perioden 1961–1990 (små fyrkanter) och de stationer (fyllda cirklar) vid vilka årsmax av dygnsnederbörd för hela nätet observerats. Koordinaterna ger skalan i km.

görs trendtest på antalet händelser per decennium. Sannolikhet för händelser med återkomsttid mindre än 40 år för de längsta serierna och 20 år för de 50 år långa serierna bestäms rättframt från ranking positionen på samma sätt som till exempel Kunkel m.fl. (2003) gjort. Det betyder till exempel att med 100 års data så är 2-årsregnet det med ranking 50 eller medelvärdet av regnen kring ranking 50. För de mest extrema regnen används årsmaximum varje år i endera GEV (general extreme value) eller Gumbel fördelning. Dessutom används "peak over threshold" (POT) teknik med Pareto fördelning, se till exempel Rosbjerg m.fl. (1992) med antalet medtagna händelser motsvarande 40 % av antalet år. L-moment används för parameteruppskattning. Rankingposition bestäms som $(i-a)/(N+b)$, där i är position and N antalet inkluderade observationer med parametervärdena $a=0,35$ och $b=0,4$ (Rosbjerg, 1988).

Regnintensitet med olika återkomsttid beräknas utifrån hela dataserier baserat enbart på ranking position eller för de mest extrema regnen också med sannolikhetsfördelningar, men dessutom som rörligt 25-årsvärde över tid. Så till exempel bestäms för 1990 intensiteten för dygnsregn med 5 års återkomsttid som det 5:e högsta värdet i 25-årsserien 1966–1990, och för 1991 som det 5:e högsta i 25-årsserien 1967–1991; så skulle ju 5-årsregnet bestämts om det endast fanns 25 års data att tillgå varje år.

Sambandet mellan dygnsnederbörd och årsnederbörd bestäms för Elleson serierna genom enkel linjär regression följt av t-test. Ensemblen av data är så stor att testet kan göras också för icke normalfördelade datamängder.

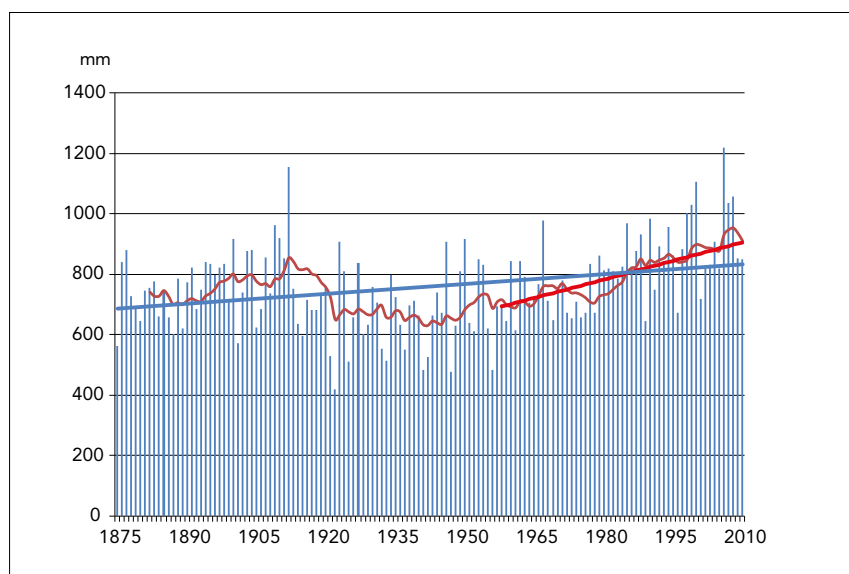
2.4 Årsnederbörd

Vid analys av eventuella förändringar av nederbörd över tid är det rimligt att i varje fall något beröra årsnederbörden. Vi samtliga de nio stationerna med mycket långa regnserier har nederbörden ökat över de senaste 100–135 åren. Värden ges i tabell 2-1. Trenderna är signifikanta på bättre än 1 % nivå. Nederbörden har ökat med mer än 20 %. Ökningen är störst i Borås, 1,8 mm/år. All ökning beror på ökad vinternederbörd, vilket visas längre fram i texten. Man kan tänka sig att vinternederbörden registreras mera felaktigt tillbaka i tiden än idag då mätarna kanske hade annorlunda skydd mot vind. Det finns emellertid inget hopp i dataserierna för vinterregnen, som tyder på annorlunda mätningförhållanden. Nederbördsökningen har blivit snabbare under de senaste 50 åren än dessförinnan; dock inte i Lund. I Halmstad och Göteborg har ökningen sedan 1960 varit 5 mm/år. I figur 2-2 visas hur årsnederbörden i Göteborg har ökat. Trendlinje är inlagd såväl för hela perioden som för efter 1960. Den kraftiga ökningen efter 1960 är en följd av låga årsnederbörder under mitten av 1900-talet. Det rörliga 10-årsmedelvärdet visar visserligen att årsnederbörden är som högst i dagsläget, men att den var hög också kring förra sekelskiftet. En gammal studie av Ångström (1941) visar att nederbörden var mycket hög under 1860-talet.

Tabell 2-1 Årsnederbörd (mm) och trend (mm/år) för stationer med långa dataserier för såväl full observationsperiod som uppdelade perioder.

	Lund	Malmö	Kristianstad	Karlshamn	Halmstad	Kalmar	Växjö	Göteborg	Borås
Startår	1873	1921	1878	1873	1873	1875	1920	1873	1884
Alla år	630*	550*	560*	564*	752*	465*	650*	760*	940*
Start -1930	610°		530*	535*	716	435*		745	894°
1931–1960	597	535	575	558	756	465	650	670	897°
1961–2011	670	580*	583*	597	796*	500*	675*	828*	1014*
Årstrend	0,66	1,2	0,8	0,8	1,0	0,9	0,8	1,0	1,8
Start -1930	0,78		2,0	2,1	-0,8	2,0		-0,7	2,6
1931–1960	1,25	-0,4	-0,75	-0,8	0,2	-1,4	2,9	1,2	6,0
1961–2011	0,25	2,2	1,78	1,0	4,5	1,8	2,3	4,9	3,8

* indikerar signifikansnivå 2,5 % (5 % dubbelsidig) och ° svag signifikansnivå 10 % (dubbelsidig).



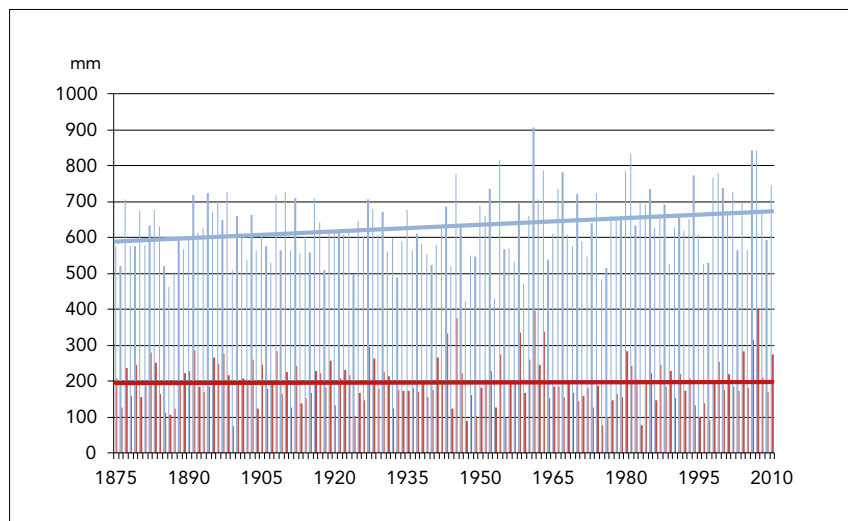
Figur 2-2

Årsnederbörd i Göteborg med 10-års rörligt medelvärde, trendlinje för hela perioden och trendlinje för perioden efter 1960.

Tabell 2-2 Årsnederbörd (mm) och trend (mm/år) Skåne stationer, 1961–2011.

	Lund	Malmö	Kristianstad	Karlshamn	Helsingborg	Trelleborg	Skurup	Tomelilla	Brösarp
Nederbörd	670	580*	580*	600	650*	540*	680*	680*	630*
Trend	0,25	2,2	1,8	1,0	4,7	2,5	2,1	2,1	4,2

*indikerar signifikansnivå 2,5% (5% dubbelsidig).



Figur 2-3 Års- (ljusfärgade staplat och trendlinje) och sommar nederbörd (mörk färg) i Lund med trendlinjer (ingen trend för sommar nederbörd).

När man undersöker regndata för endast de nio sydligaste stationerna och endast de senaste 50 åren, 1961–2011 (dataset 2), finner man en mycket tydlig ökning av regnet för 7 av dessa 9 stationer med signifikans bättre än 1 % och 20 % ökning över dessa 50 år. I Lund har dock regnet nästan inte ökat alls. Värden visas i tabell 2-2. Den stora ökningen i Helsingborg kan noteras och kan jämföras med Halmstad och Göteborg. Helsingborg ligger som Halmstad och Göteborg mer utsatt för västliga vindar än de övriga orterna. Förhållandena i Brösarp är speciella, vilka beskrivs längre fram i texten.

Ökning av årsnederbörden är i linje med vad som kommit fram från litteraturgenomgången. När man analyserar månadsnederbörden finner man ingen ökning av sommarnederbörden för någon station. All ökning av årsnederbörden beror alltså på ökad vinternederbörd. Alla stationer och alla höst- och vintermånader visar signifikant ökad nederbörd över tid. Det finns negativa trender för augustinederbörd i Halmstad och Göteborg, men det kompenseras av ökad juninederbörd, så den totala sommarnederbörden ändras inte. För de nio Skånestationerna visar sommarnederbörden sedan 1960 en svag positiv trend. Man kan ändå slå fast att ökning av årsnederbörd beror på ökad vinternederbörd. Detta exemplifieras tydlig i figur 2-3 från Lund.

2.5 Stor dygnsnederbörd

I ett varmare klimat förväntas konvektiva regn öka i intensitet. Det kan också förväntas att större årlig nederbörd leder till kraftigare dygnsregn och större flerdygnsregn. Stor dygnsnederbörd kan vara en följd av frontala regn eller av konvektiva regn med regn endast under kortare delar av dagen. Bengtsson och Milotti (2010) gick igenom regndata från Malmö 1980–2010 för att se vilken sorts regn som givit upphov till de största regnen. Alla regn med intensitet större än 20 mm/tim är av kort varaktighet. Maximalt dygnsregn i samband med hög regnintensitet under en enskild timme är 44 mm. Endast 14 händelser med extremt regn större än 40 mm under ett dygn har inträffat. Samtliga dessa regn har fallit i månaderna juni till september. De största dygnsregnen är frontala sommarregn. De tre riktigt stora dygnsregnen med nederbörd större än 60 mm har alla haft en varaktighet större än 9 timmar. För dessa regn var regnvolymen under en timme aldrig större än 15 mm.

Vid en genomgång av Ellesson data för Skåne finner man att frekvensen av stora regn kan relateras till årsnederbörd men att däremot de mest extrema regnen är mer slumpvis fördelade. Därför behandlas här först stora regn med återkomst kring ett år och sedan de mer extrema regnen med intensitet större än så. Regndata behandlas över så lång tid som observationer finns men uppdelas också i kortare perioder.

Statistik för dygnsregn med intensiteter kring 20–40 mm/dygn visas för de 9 stationerna med mycket långa tidsserier i tabell 2-3. Det årliga dygnsmaximum skiljer sig inte mycket mellan de olika orterna, även om det är störst för Borås med störst årsnederbörd och minst för Kalmar med lägst årsnederbörd. Det finns en signifikant ökning över tid av dygnsmaximum för Borås men inte för de övriga städerna. Om man endast beaktar perioden efter 1960, så finns en signifikant ökning också av årsdygnsmaximum i Växjö, men dygnsmaximum är ändå 4 mm lägre för perioden 1961–2011 än för perioden 1931–1960.

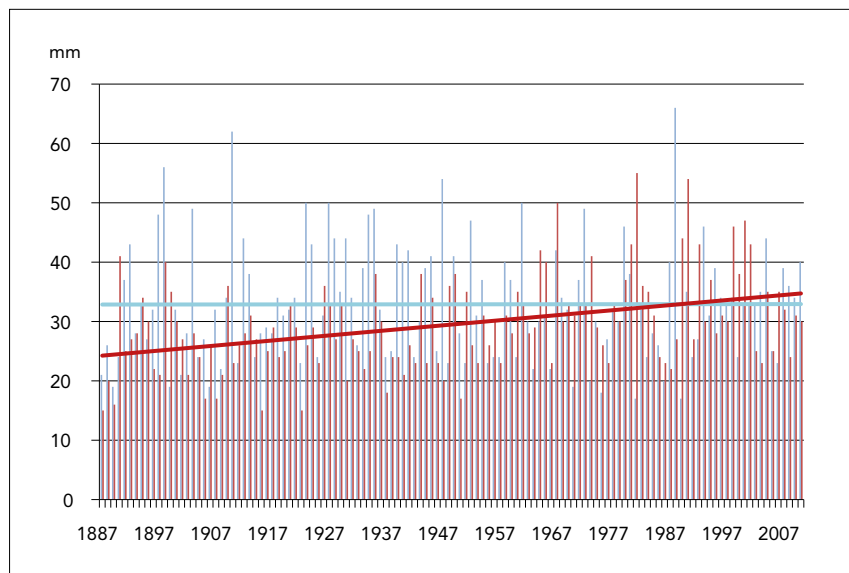
Flertalet stora regn kommer på sommaren. Årsmaximum för samtliga orter utom Borås inträffar nästan varje år på sommaren. Sommarregnen är likartade i Borås som på andra orter, men det kommer många fler stora frontala vinterregn här än på de andra orterna. Det största årliga dygnsregnet inträffar i Borås nästan lika ofta på vintern som på sommaren. Medelvärdet av sommarmaximum är 29 mm/dygn medan vintermaximum är 26 mm/dygn. Variationen av dessa säsongsvärden av maximalt dygnsregn visas i figur 2-4. Från de inritade trendlinjerna ses att sommarmaximum inte har ändrats men vinterintensiteten har ökat. Detta är orsaken till att också det årliga maximala dygnsregnet har ökat signifikant i Borås. På övriga orter inträffar det största årliga dygnsregnet nästan alltid på sommaren och eftersom sommarintensiteterna inte ökat förklarar det varför inte heller maximalt årsregn ökat på andra orter än Borås.

Om man beaktar regn med intensitet 20–30 mm/dygn, vilket är mindre än regn med återkomsttid ett år, ser man från tabell 2-3, att antalet sådana regntillfällen ökat vid flertalet stationer. Jämför man decennierna kring förra sekelskiftet med decennierna kring det senaste sekelskiftet, så är ökningen av antalet 20 mm/dygn händelser ungefär en, från 2 till 3, för orter med årsnederbörd kring 600 mm.

Tabell 2-3 Årlig maximal dygnsnederbörd och frekvens (händelser per år) av dygnsregn överstigande 20 mm, 30 mm och 40 mm för städerna med långa regnserier.

	Lund	Malmö	Kristianstad	Karlshamn	Halmstad	Kalmar	Växjö	Göteborg	Borås
Årligt dygnsmaximum									
Startår	1873	1921	1878	1873	1873	1875	1920	1873	1884
Full period	32,4	32,4	33,4	30,8	35,0	29,2	33,3	34,6	36,2*
Start -1930	32*		31	30	34	29		35	34
1931–1960	35	30°	36	31	37	29	36	33	36
1961–2011	32	33	33	31	36	29°	32*	35°	37
P>20 mm									
Full period	2,6*	2,2°	2,5°	2,5	3,7*	2,0*	2,4	4,3*	6,4*
Start -1930	2,3		2,3°	2,3	3,31	1,7*		4,2	5,4°
1931–1960	2,3	2,2	2,9°	2,8	3,45	1,9	2,4	3,6	5,5
1961–2011	3,0*°	2,2*	2,5°	2,5	4,4°	2,1°	2,4*	5,0*	7,8*
1990–2011	3,4*	3,0	3,2	3,0	5,4	2,5	2,9	6,0°	9,2
P>30 mm									
Full period	0,72*	0,60	0,67	0,55*	1,0°	0,52	0,50°	0,96*	1,43*
start -1930	0,61		0,67	0,38	0,93	0,60		1,00	0,87
1931–1960	0,80	0,48	0,57	0,67	0,76	0,46	0,50	0,88	1,50
1961–2011	0,82	0,61	0,78	0,69	1,2	0,49	0,64	1,10	1,90
1990–2011	1,05	0,68	0,76	0,77	1,9	0,75	0,65	1,27	2,27
P>40 mm									
Full period	0,21	0,20	0,22	0,19	0,35	0,16	0,18	0,26	0,40
Start -1930	0,20		0,21	0,14	0,26	0,13°		0,28	0,30
1931–1960	0,27	0,12*	0,27	0,21	0,45	0,29	0,21	0,28	0,46
1961–2011	0,22	0,24	0,22	0,24	0,41	0,14	0,18	0,25	0,46
1990–2011	0,29	0,23	0,28	0,32	0,55	0,26	0,26	0,28	0,45

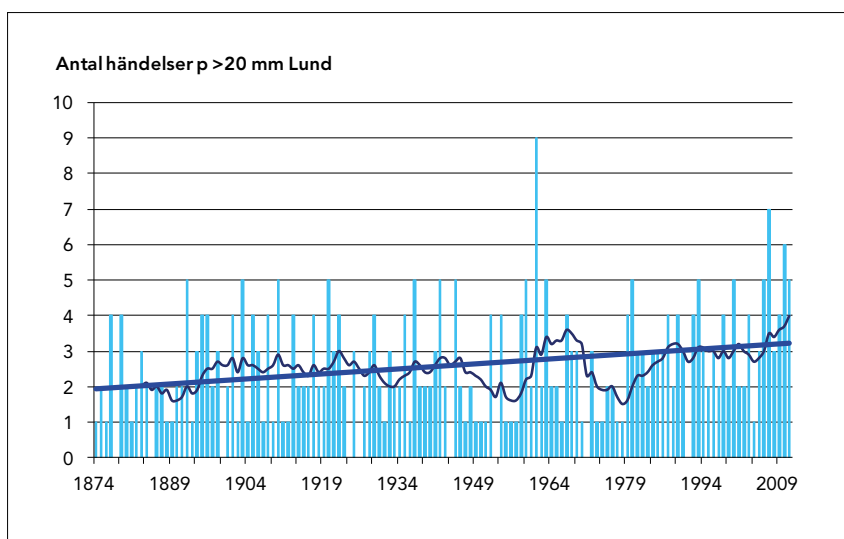
*indikerar signifikantnivå 2,5% (5% dubbelsidig) och ° 10% (dubbelsidig). 40 mm händelser har inte analyserats för trend. 30 mm händelser har analyserats för antal händelser per decennium. Negativt tecken markerar negativ trend.



Figur 2-4 Årliga sommar- (ljusfärg) och vinterdygnsmaximum (mörkfärg) i Borås med trendlinjer.

För Göteborg och Halmstad är ökningen 2 händelser, från 3–4 till 5–6, och för Borås från 6 till 9 sådana händelser. Antalet 20 mm/dygn-händelser ökar med ökad årsnederbörd. Sambandet behandlas mer noggrant längre fram i rapporten.

Ökningen av antalet 20 mm/dygn händelser framgår för Lund av figur 2-5. För 100 år sedan var antalet sådana händelser i medeltal 2,3 per år men är idag 3,4. Trenden är liksom för övriga orter starkare för de senaste 50 åren än för hela 130 årsperioden. För Växjö föreligger en trend endast för dessa de senaste 50 åren. Observationerna för Karlshamn visar ingen trend heller för dessa 50 år. Däremot finns för Karlshamnsregnen en signifikant trend för hela perioden av ökat antal 30 mm/dygn händelser.



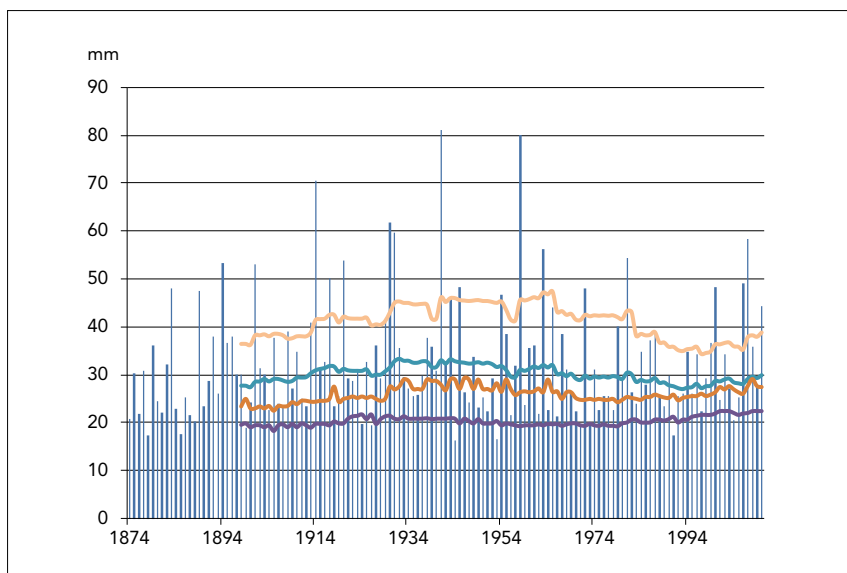
Figur 2-5 Antal årliga regntillfällen större än 20 mm/dygn i Lund.

Motsvarande trend som för långtidsstationerna finner man också för Skånestationerna för de senaste 50 åren, tabell 2-4. Årsmaxmedel är också för dessa stationer drygt 30 mm/dygn. Brösarp nära östkusten sticker ut med årsmaxmedel 38 mm/dygn. Regnklimatet är här ganska speciellt. Årsnederbörden är inte hög, men enstaka sydostliga vindar kan föra med sig regn som sedan faller ned vid Brösarps backar strax före Linderåsens sluttning. Ett av de största säkerställda regntillfällena någonsin i Sverige har inträffat inte lång härifrån, 237 mm 1959 (Ellesson & Persson, 1961).

Tabell 2-4 Årlig maximal dygnsnederbörd och frekvens av dygnsregn överstigande 20 mm, 30 mm och 40 mm för Skåneorterna.

	Lund	Malmö	Kristianstad	Karlshamn	Helsingborg	Trelleborg	Skurup	Tomelilla	Brösarp
Dygnsmax	31,6	32,9	33,8	31,4	32,7	31,2*°	32,8	33,4	38,2
P > 20 mm	3,0*°	2,2*	2,5°	2,5	3,0*	2,4*	3,5°	3,2*°	3,7*
P > 30 mm	0,82	0,61	0,78	0,69	0,84*	0,51*	0,83*	0,86	1,11*
P > 40 mm	0,22	0,24	0,22	0,24	0,32	0,16*	0,28°	0,29	0,32°

* ° se tabell 2-3 angående signifikans. Om det finns dubbla markeringar gäller första markeringen t-test och andra markeringen Mann-Kendall.



Figur 2-6 Maximum av dygnsregn i Lund (staplar) samt regn med återkomsttid $\frac{1}{2}$, 1, 2 och 5 år (heldragna linjer); återkomsttid bestämd löpande utifrån nederbörd 25 år tillbaka i tiden.

Också antalet 30 mm/dygn-händelser har ökat för alla orter utom Kalmar. Trendanalys har gjorts på antal händelser per dekad. Ökningen är omkring 1–2 händelser per dekad, men mer i Halmstad och Borås. Man finner signifikant ökande trend för Borås, Lund and Karlshamn och svag signifikans för Halmstad and Växjö.

Dygnsregn 20–40 mm har en återkomsttid på $\frac{1}{2}$ –4 år. För så kort återkomsttid bör 25 års data räcka för att väl bestämma dimensionerande regn (om man väljer så ringa regn för dimensionering) direkt från observationer utan antagande om någon sannolikhetsfördelning. Med statistik hela tiden baserat på föregående 25 år kan man enkelt se hur dimensionerande regn ändras kontinuerligt över tid. Två-årsregnet blir då det ett regn med ranking 13. Här väljs medelvärde av regn med ranking 12, 13 och 14. På så vis bestämda dimensionerande regn med återkomsttid $\frac{1}{2}$, 1, 2 och 5 år för Lund visas i figur 2-6. Regnen med återkomst 2 år eller kortare visar stabila värden under 100 år. Femårsregnet (medelvärde av det 4:e, 5:e och 6:e största regnen) varierar och är i dag ganska lågt jämfört med långa perioder under 1900-talet.

2.6 Daglig extremnederbörd

SMHI definierar extremt regn som 40 mm/dygn. Som framgår av tabell 2-3 och tabell 2-4 inträffar en dylik händelse kanske vart 4:e år. Eftersom för flertalet år någon sådan händelse inte inträffar, så kan man inte göra trendanalys på årliga värden. Istället används antalet händelser per decennium för trendanalys. När detta görs finner man ingen trend för någon ort. För de allra senaste åren kan man emellertid notera att man i Trelleborg upplevt 6 händelser under 7 år (2005–2011) med regn större än 40 mm/dygn att jämföra med perioden 1961–2004 (44 år) då detta endast inträffade 2 gånger.

Riktigt extrema dygnsregn är större än 40 mm. Nedan beaktas dygnsregn 50 mm och 60 mm samt 10-års- och 100-årsregn. För att bestämma det senare behöver man använda sig av sannolikhetsfördelningar, men 10-årsregnet kan fås direkt från rankingpositionen. Som framgår av tabell 2-5 och tabell 2-6 är 10-årsregnet 45– 55 mm/dygn utom för Brösarp, där det är cirka 60 mm. Hundraårsregnet bestäms från sannolikhetsfördelningar (se längre fram). Dess värde blir ganska beroende av några få höga observationsvärden. De lägsta 100-årsvärdena, omkring 60 mm/dygn, fås för Borås, Kalmar och Karlshamn. Det är förväntat för Kalmar, som har lägst årsnederbörd, men kanske inte för Borås, där nederbörden är överlägset störst. Det faller många modest stora regn i Borås, lika många på vintern som på sommaren, men de är inte högintensiva. Om man baserar sin statistik endast på de senaste 50 åren, så är 100-årsregnet lågt också i Lund. Det största 100-årsregnet är för Halmstad, med hög årsnederbörd, samt för Brösarp, med tillfälliga sydoststormar som kan orsaka stora dygnsregn, samt för Växjö. Statistiken för Växjö bestäms mycket av två stora dygnsregn, 141 mm år 1945 och 96 mm 1959. Den ort med lägst observerad högsta dygnsnederbörd är Borås trots att dygnsregn 20 mm, 30 mm och 40 mm är vanligast här.

När man jämför moderat stora och mer extrema regn på de olika orterna framträder olika karakteristika. Så till exempel är ett 20 mm/dygn regn 3 gånger vanligare i Borås än i Malmö och 40 mm/dygn-regnet 2 gånger vanligare, men 50 mm/dygn regn är vanligare i Malmö än i Borås.

Tabell 2-5 Extrem dygnsnederbörd i mm (max observerad, medelårsmax), 100-årsregn bestämd med POT-analys (P100-pot), 10-årsregn från observationer (P10-obs), och förväntat antal händelser (Pb-probabilitet) under 100 år.

	Lund	Malmö	Kristianstad	Karlshamn	Halmstad	Kalmar	Växjö	Göteborg	Borås
Max	81	97	95	75	81	72	145	100	67
Maxmedel	32	32	33	31	35	29	33	35	35
P100-pot	71	89	87	62	99	64	98	78	60
P10-obs	49	54	48	46	49	45	50	49	49
Pb > 60mm	4,4	5,8	3,2	1,5	6,0	1,5	6,7	4,5	1,5
Pb > 50mm	9,4	10,8	8,5	6,0	9,0	6,0	8,9	10,0	8,5
Pb > 40mm	21	20	24	19	35	16	21	26	40
Pb > 30mm	72	60	71	55	105	52	53	100	150
Pb > 20mm	260	220	240	230	370	200	240	430	640

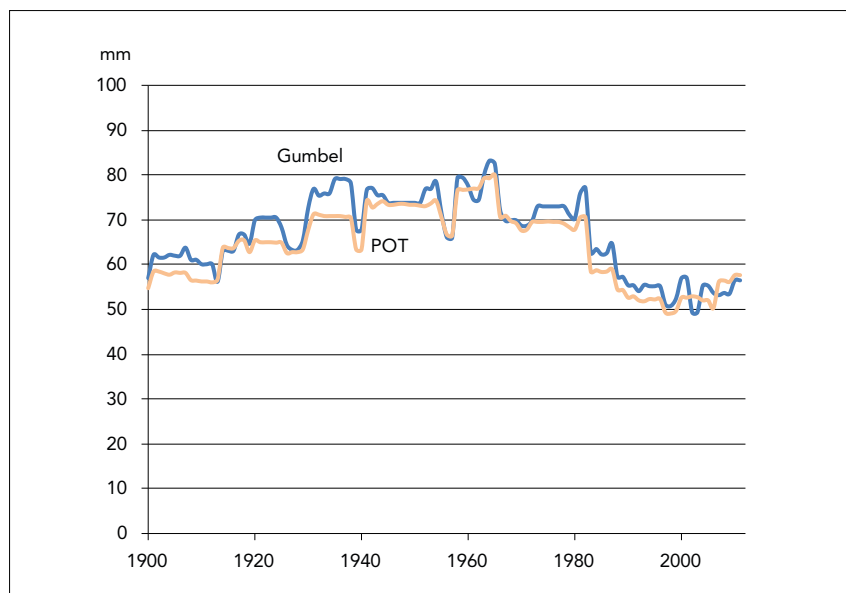
Tabell 2-6 Extrem dygnsnederbörd i mm (max observerad, medelårsmax), 100-årsregn bestämd med POT-analys (P100-pot), 10-årsregn från observationer (P10-obs), och förväntat antal händelser (Pb-probabilitet) under 100 år. Period 1961–2011.

	Lund	Malmö	Kristianstad	Karlshamn	Helsingborg	Trelleborg	Skurup	Tomelilla	Brösarp
Max	58	97	68	52	69	73	53	58	109
Maxmedel	31,6	32,9	33,8	31,4	32,7	31,2	32,8	33,4	38,2
P-100 pot	59	85	71	58	72	71	64	61	100
P-10 obs	47	55	54	46	56	49	49	49	61
Pb > 60	4,4	5,8	3,0	1,5	4,0	6,0	----	----	10
Pb > 50	9	11	8	6	14	8	8	8	14
Pb > 40	22	25	22	24	32	18	28	29	32
Pb > 30	82	61	78	69	84	51	83	86	111
Pb > 20 mm	300	220	250	250	300	240	350	320	370

Frekvensen av mycket stora regnhändelser kan inte relateras till frekvensen av modesta regnhändelser. Det tydligaste exemplet på detta är kanske Trelleborg. Sannolikheten för en 20 mm/dygn händelse och också för 30 mm/dygn och 40 mm/dygn händelser är tillsammans med Kalmar lägst för att de studerade stationerna. Sannolikheten för 60 mm/dygn händelser är emellertid tillsammans med Halmstad och Göteborg störst här. De mest extrema händelserna verkar alltså inte kunna relateras till statistik baserad på varken årsnederbörd eller frekvens av stora regn.

I ett samhällsplaneringsperspektiv behövs prognoser av hur regnen kan förväntas ändras i framtiden. Hjälp har man då av analys av hur regnen ändrats över tid. Inget av de största regnen i de databaser som används i denna rapport har inträffat de senaste 30 åren. Många av de största observerade regnen är från 1940-talet. Beräknade 50-års- och 100-årsregnet har minskat under senare år. Utgående från 25 år bakåt i tiden kan regn med olika återkomsttid beräknas såsom tidigare gjorts för de mer frekventa regnen. För de extrema regnen har beräkning gjorts dels med Gumbelfördelning, och dels med POT (peak over threshold) teknik, där tröskeln satts så att de 10 högsta värdena medtagits. Resultaten är likartade med Gumbelfördelning och med POT-metoden. Exempel visas för Lund i figur 2-7. Man ser att 50-årsregnet varierar över tid med högst värde kring 1960. Tar man med alla års observationer i Gumbelfördelningen så blir 50-årsregnet omkring 65 mm/dygn.

Några få stora regnhändelser slår igenom vid extremanalys. Det kan skapa förvirring när resultat från sådan analys skall tillämpas. Exempel ges för Växjö. Med användande av 25 års regndata bakåt i tiden blir 50-årsregnet över 100 mm/dygn så länge de två stora regnen 145 mm från 1945 och 97 mm från 1959 finns med i beräkningarna. Från 1984, då inte 1959 regnet finns med i 25 års perioden, reduceras 50-årsregnet till drygt 50 mm/dygn. Bestämning av regn med lång återkomsttid sker med stor osäkerhet.



Figur 2-7 50-års dygnsregn i Lund bestämt löpande över 25 år. Gumbel distribution (mörk färg) och POT-metodik (ljus färg) med de 10 högsta värdena löpande under 25 år.

2.7 Flerdygnsregn

Även om inte de stora sommardygnsregnen har ändrats i intensitet finns en del indikationer om att regnhändelser oftare än förr uppträder i kluster, till exempel Vaes m.fl. (2002). I varje fall i södra Sverige har under senare år översvämningar i små tätorter skett till följd av långvariga regn, se <smhi.se/kunskapsbanken>. Årsmedelmaximum för 1-dagsregn är drygt 30 mm, för 2-dagarsregn omkring 40 mm, och för 3-dagarsregn 45 mm. Trendanalys har gjorts för flerdygnsregn på samma sätt som tidigare gjorts för 1-dagsregn. För de dataserier som för perioden 1931–1960 inte omfattar dygn med ringa nederbörd utan endast regnhändelser större än 15 mm/dygn har jämförelse gjorts mellan olika perioder före 1931 och efter 1960. Resultat visas i tabellerna 2-7 och 2-8.

Tabell 2-7 Årsmedelmaximum flerdygnsregnvolymer i mm.

	Lund	Malmö	Kristianstad	Karlshamn	Halmstad	Kalmar	Växjö	Göteborg	Borås
2-dag	40*	43					43	44	
Start -1930	39°		38	37	44	35°		43	47
1931–1960	41	36°					44	45	
1961–2011	42*	42	42	39	45*	37°	42*	45*	51
1961–1990	40	40	41	38	41	34	37	42	50
1991–2011	44	44	44	40	51	41	49	47	53
3-dag	46*	48					49	51°	
Start -1930	44°		43	42	55	39°		50	55*
1931–1960	48	42°					49	51	
1961–2011	48*	47°	47°	45	53*	42*	48*	53*	61
1961–1990	44	42	46	44	49	38	42	50	59
1991–2011	52	57	49	46	59	48	57	56	64
7-dag	63*	62°					67	73	
Start -1930	60		57*	54	72	51°		74	81*
1931–1960	63	55°					69	69	
1961–2011	67	62°	62	61	78*	55*	67*	77*	96
1961–1990	64	58	60	60	74	51	58	73	93
1991–2011	72	77	65	63	84	62	77	83	101

* = signifikans 2,5% (5% dubbelsidig) ° = 5% (10% dubbelsidig); negativt tecken visar avtagande trend. Vid dubbel markering gäller första markeringen t-test och andra Kendall.

Tabell 2-8 Årsmedelmaximum flerdygnsregnvolymer i mm. Period 1961–2011.

	Lund	Malmö	Kristianstad	Karlshamn	Helsingborg	Trelleborg	Skurup	Tomelilla	Brösarp
2-dag	42°	42	42	39	42*	40*	42*	44	48
3-dag	48*	47°	47°	45	48*	45*	48*	49	54*
7-dag	67	62°	62	61	67*	60*	69°	69	72

* = signifikans 2,5% (5% dubbelsidig) ° = 5% (10% dubbelsidig)

För de senaste 50 åren, alltså sedan 1961, finns för flertalet orter en svagt ökande trend av 3-dagars- och 7-dagarsregn. Också för 2-dygnsregn är årsmedelmaximum större för perioden 1961–2011 än för tidigare perioder. Hypotestest om lika nederbörd kring förra och senaste sekelskiftet kan dock endast förkastas (5 % nivå) för alla flerdygnsregn i Borås och 7-dygnsregn i Karlshamn. Återigen kan detta tillskrivas vinternederbörden i Borås.

Beräknade t-värden för hypotestesterna visas i tabell 2-9. Svag signifikans, 10 %, motsvarar $t = 1,7$ och stark signifikans $t = 2,1$. Det finns en större tendens mot ökade regnvolymer för de längsta regnen än för de kortare, vilket ju är rimligt eftersom årsnederbörden ökar.

Tabell 2-9 Hypotestest jämförande observationer under perioderna cirka 1880–1930 och 1961–2011. Från t-test funna t-värden visas. Värden mindre än 1,15 (30 % dubbelsidig) visas som 0.

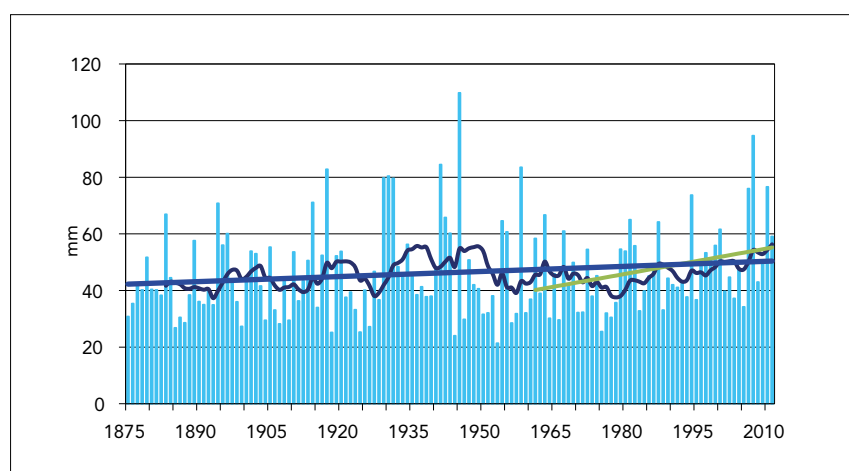
	Lund	Kristianstad	Karlshamn	Halmstad	Kalmar	Göteborg	Borås
1-dag	0	1,3	0	0	0	0	2,2*
2-dag	1,3	1,8°	0	0	0	0	2,9*
3-dag	1,4	1,8°	1,2	0	0	0	3,9*
7-dag	1,9°	1,8°	2,4*	1,4	1,2	0	4,9*

*= signifikans 2.5 % (5 % dubbelsidig) °= 5 % (10 % dubbelsidig).

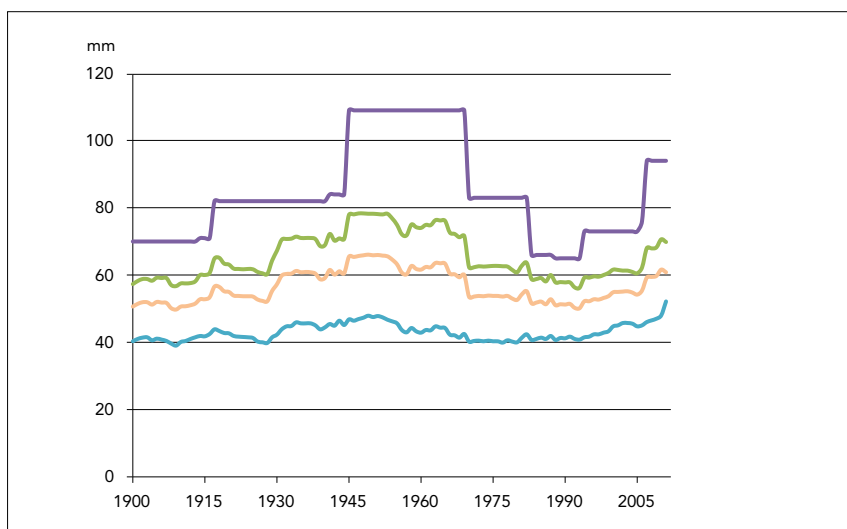
Det är vanligt att man jämför regn efter 1990, i detta fall 1991–2011, med regn under 1961–1990. Den senare perioden används allmänt som referensperiod. Samtliga medelårsmaxima är låga för referensperioden jämfört med de senaste 20 åren. Dessutom finns ökande trender över de senaste 50 åren. Om man med hypotestest jämför de två perioderna finns signifikanta skillnader för alla flerdygnsregn i Halmstad och Växjö samt 7-dygnsregn Malmö och Kalmar.

För de städer med kompletta regnserier inkluderande också dagar med ringa nederbörd 1931–1960 kan trendanalys göras över mer än 100 år. Resultat av trendanalysen framgår av tabell 2-7 och visas för 3-dygnsregn i Lund i figur 2-8. Trenden är signifikant för hela 140-årsperioden och dessutom mycket starkare över de senaste 50 åren. Eftersom flertalet av de stora 3-dygnsregnen har inträffat på 1930- och 1940-talen, så skall man vara försiktig att följa 1961–2011 trendlinjen framåt i tiden.

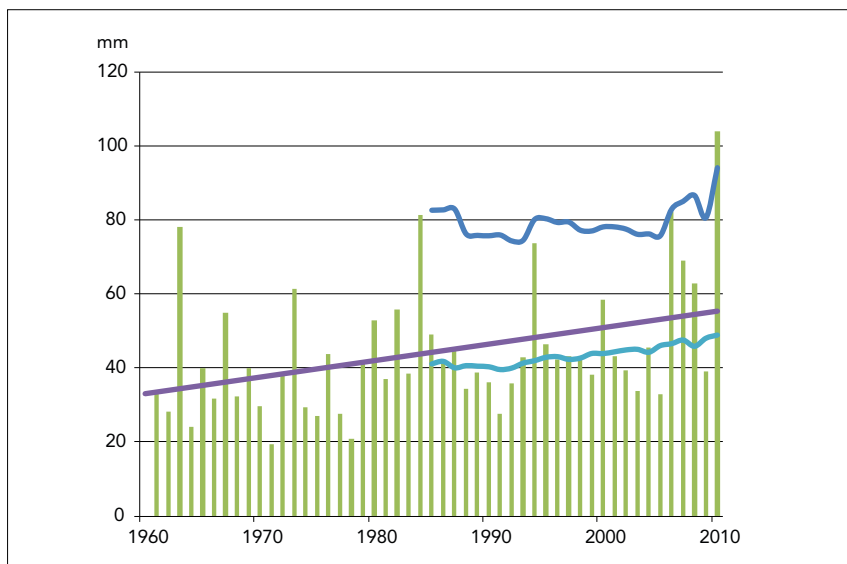
Variation av regn med olika återkomsttid undersöks för flerdygnsregn på samma sätt som för endagsregn genom att variationen beräknas utifrån regn 25 år bakåt tiden, för de mer frekventa regnen direkt utifrån rankingposition och för de mest extrema regnen från sannolikhetssteori. Resultat för Lund visas i figur 2-9. Det finns inga trender men istället stor variation över tid.



Figur 2-8 Årligt 3-dygnsregn i Lund; trend från 1874 (tjock linje) och från 1961 (tunn linje).



Figur 2-9 Årligt 3-dygnsregn (Lund) med trendlinje och beräknade 2-års-, 5-års- och 50-årsregnets variation över tid utifrån 25 års data.



Figur 2-10 Årsmaximum av 3-dygnsregn i Trelleborg med trendlinje, 25-års löpande medelvärde (undre kurvan) och regn med 50-års återkomsttid bestämt löpande över 25 år (övre kurvan). Gumbelfördelning har använts.

Så till exempel är 50-årsregnet med 3 dygns varaktighet högt 1940–1970, lågt årtiondena 1980 och 1990, men närmar sig nu åter 1940–1970 värdet. Tvåårsregnet är stabilt medan 5-årsregnet varierar inom 20 % intervall.

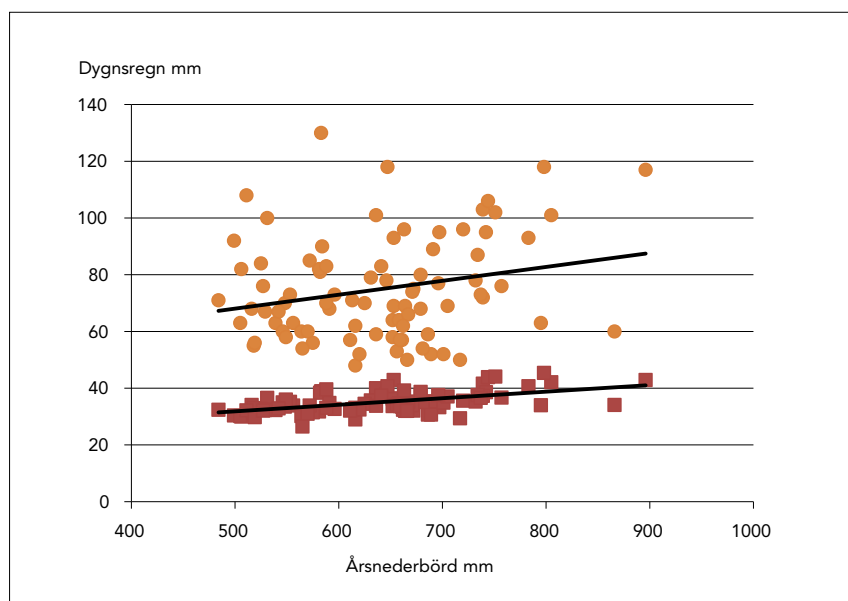
De årliga flerdygnsregnen liksom de mer extrema regnen visar trendökning för nästan alla stationer sedan 1961. Exempel visas från Trelleborg i figur 2-10. Det beräknade 50-årsregnet med 3 dygns varaktighet har under senare år ökat från 80 mm till över 90 mm.

2.8 Samband extremhändelser och årlig nederbörd

Det står klart att årsnederbörden har ökat under de senaste 100 åren och att också de modesta dygnsregnen ökat i frekvens. Ökningen har accelererat under senare år. Frekvensen av moderat stora regn syns vara större där årsnederbörden är stor än där den är låg. Det verkar dock inte finnas något samband mellan mycket stor dygnsnederbörd och stor årsnederbörd eller mellan extrema regn och frekvensen stora regn. För de stationer som hittills behandlats finns inget som helst samband mellan 50- och 100-årsregnet och årsnederbörden. Det tidigare omtalade Ellesson nätverket omfattar så många stationer att samband kan tas fram. Det finns 90 stationer med minst 28 års dagliga värden. Det har redan visats, figur 2-1, att under 30 år uppmättes dygnsårsmax för hela nätverket på 28 olika platser, vilket indikerar att de verkligt stora regnen är slumpvis fördelade och att det kan vara svårt att finna samband mellan extrema regn och årsnederbörden eller geografiskt läge. Hundraårsregnet beräknat med GEV-fördelning har i figur 2-11 (övre kurvan) ritats mot årsnederbörd. Det råder ett linjärt förhållande men spridningen är mycket stor och förklarad varians nära noll. Trots det är förhållandet inte långt ifrån att vara signifikant ($t = 1,7$). Det kan dock noteras att det största 100-årsvärdet är för en station med låg årsnederbörd, 570 mm, och att den station som har den näst största årsnederbörden nästan har det minsta 100-årsregnet.

I figur 2-11 visas också årsmedelmaximum av dygnsnederbörd som funktion av årsnederbörd. Denna relation är linjär och kraftigt signifikant utan särskilt mycket spridning. Förklarad varians är ändå inte bättre än 20 %. Det linjära sambandet är med enheter mm/dygn och mm/år:

$$P_{\text{day}} = 23,3 + 0,0186 P_{\text{annual}}$$



Figur 2-11 Förhållandet mellan årsnederbörd och medelvärdet av dygns-årsmaximum (nederst) respektive 100-årsregnet (överst) bestämt med GEV-fördelning för 90 stationer i Skåne. Period 1961–1990.

För korta återkomsttider finns samband mellan dygnsnederbörd och årsnederbörd. Sådana samband har utnyttjats av Madsen m.fl. (1998) och Dahlström (1979) för att ta fram intensitets–varaktighets–frekvenssamband även för regn med kort varaktighet.

2.9 Slutsatser

Sedan 1870 har nederbörden i södra Sverige ökat med cirka 20 %. Ökningen kan tillskrivas ökad vinternederbörd. Sommarnederbörden är oförändrad. Antalet regnhändelser med återkomsttid mindre än ett år har också ökat. Det finns ett tydligt samband mellan ökad årsnederbörd och antalet högfrekventa regnhändelser. Lågfrekventa dygnsregn med återkomsttid längre än två år har inte ökat varken i antal eller intensitet. Inte heller har dygnsårsmax ökat. Det finns inget klart samband mellan de allra största regnen och årsnederbörd. Beräkningar av dimensionerande regn baserat på 25 års löpande statistik visar att sannolikheten för riktigt stora dygnsregn har varit störst under åren 1930–1980. Det är dock svårt att dra långtgående slutsatser av dylik analys eftersom några få stora regn ger utslag i statistiken. Årsmaximum av flerdygnsregn har ökat något under de senaste 50 åren. De största 2- och 3-dygnsregnen är dock inte signifikant annorlunda än regnen vid förra sekelskiftet, däremot är 7-dygnsregnen större idag än skillnaden endast är svagt signifikant.

3 Korttidsnederbörd

Mer detaljer angående detta kapitel erhålles från publikationerna 1 och 2.

3.1 Inledning

Hernebring (2006 och 2008) har sammanställt regnserier med hög tidsupplösning för ett stort antal platser i Sverige och, Hernebring m.fl. (2012), Europa. Sammanfattningsvis kan sägas att man inte funnit några trender mot ändrad intensitet över tid av regn med kort varaktighet. Man har emellertid i en teoretisk analys (se också Dahlström, 2006) visat hur intensiteten i konvektiv nederbörd bör öka med ökad temperatur och därmed ökad fukthållande förmåga i atmosfären. En liknade analys baserad på Clausis-Clapeyron sambandet har gjorts av Kao och Gauguly (2011).

I föreliggande rapport beskrivs och analyseras endast regn i Malmö. Varje stort regntillfälle har detaljanalyserats för att bedöma tillförlitligheten av registreringarna. Regnmätningar på olika närliggande platser jämförs. Osäkerhet av korttidsobservationer diskuteras. Samband dygnsnederbörd och korttidsnederbörd går igenom. Avsikten med detta kapitel om korttidsnederbörd är att analysera spatial fördelning, se på homogeniteten av nederbördsfördelning från närliggande stationer och möjligheten att bestämma regionala regnintensitetsdiagram och även möjligheter att förlänga tidsserier. Vidare undersöks samband mellan långvariga regn och konvektiva regn. Avsnittets viktigaste del är dock diskussionen om pålitligheten av regnobservationer med tippmätare och hur noggrann analys av mätdata som krävs för att man skall vara säker på att uppmätt regnintensitet är korrekt.

Idag mäts nederbörd med hög tidsupplösning med tippmätare eller under de allra senaste åren också med ackumulerande vägande mätare. Serier av regn med hög upplösning i tiden uppmätta med moderna mätare är sällan längre än 10–20 år. Flertalet av dessa observationer är behäftade med stora fel främst beroende på avsaknad av kontinuerlig övervakning. Fel i dessa mätningar diskuteras längre fram i texten. Det finns dock mätningar av korttidsnederbörd också upp mot 100 år tillbaka. Vid dessa mätningar har ackumulerande nederbörd mätts som ökande vattennivå i en behållare med registrering på papper. Upplösningen blir bättre ju mer intensivt regnet är men tidsupplösningen blir ändå knappast bättre än 10–15 minuter. För de större svenska städerna finns intensitets–varaktighets–frekvenssamband framtagna från dessa gamla observationer, oftast från 1940, 50- och 60-talen. Det går att jämföra dessa gamla samband med samband som tas fram från tippmätarobservationer.

I detta kapitel behandlas endast regn i Malmö. Det finns 8 regnmätare med hög tidsupplösning i Malmö. Sannolikheten för olika stora regn i enskilda mätare och för någon plats i Malmö har beräknats. Trendanalys av regn med olika varaktighet har gjorts. Den spatiala utbredningen av regnen har studerats. Samband mellan dygnsregn och korta regn har studerats.

Disaggregeringsteknik har använts för att bestämma korttidsregns intensitet utifrån dygnsregn, men beskrivs i ett senare kapitel. Genomgång har gjorts för bedömning av pålitligheten av tipping bucket mätningar. Kvalitetskontrollen av de data som använts vid analysen är noggrann.

3.2 Regnmätningar i Malmö

Sedan 1996 har det funnits 6 mätstationer (tippmätare) för korttidsnederbörd i Malmö. Stationerna sköts av VaSyd. Antalet stationer har utökats på senare år. Regnserierna är nästan kompletta för 4 av stationerna. En station, Turbinen, har drivits sedan 1980. Dygnsnederbörd finns från 1919 från en station, som flyttats runt sen 1972, och från Malmöhus sedan 1929. Tippmätarna är inte individuellt kalibrerade. Det finns bortfall av data för långa perioder också från de 4 fungerande mätarna; för vardera Limhamn, Bulltofta och Augustenborg är bortfallet delat av två somrar under en 11-årsperiod. Stationen Turbinen har övervakats mycket bättre och har endast bortfall av observationer för en sommar på 30 år. Observationsperioder för de olika mätarna visas i tabell 3-1. De stationer, som inte tagits med är Hammars park, för vilken station endast finns kort mätperiod, och Hyllie, för vilken stations sommarvärden saknas helt eller delvis för 4 somrar under en 11-årsperiod och för flera höstperioder. Nederbördsvärdena från Hyllie är dessutom så mycket lägre än för övriga stationer, att det troligen finns något systematiskt fel i dessa. Observerade data och direkt från ranking bestämda återkomsttider visas i tabell 3-2a för stationerna Turbinen, Limhamn, Augustenborg och Bulltofta.

Under den första halvan av observationsperioden vid Turbinen användes annan mätare än den 0,2 mm mätare, som kom att användas från 1994 och som sedan 1996 används vid de övriga stationerna. Jämfört med den ackumulerande SMHI-mätare, som finns intill tippmätaren visade tippmätaren lägre dygnsvärden. Den nya 0,2-mätaren visar mycket lika dygnsnederbörd som SMHI-mätaren. Någon form av korrektion av Turbinen-mätningarna före 1994 behövs. Månadsnederbörden mätt vid Turbinen och Limhamn är mycket lika, vilket också tyder på att 0,2-mätaren ger rättvisande värden för nederbörden vid Turbinen. Genom att jämföra dygnsnederbörd från tippmätaren Turbinen med sommardygnsregn uppmätta i intilliggande SMHI-dygnsnederbördsmätare (såväl före som efter byte av mätare) finner man att 0,5 mm mätaren tycks ha visat 18–22 % för lite; korrigering har skett med 20 %.

Hernebring (2008) jämför regnstatistik från Turbinen för perioden 1996–2006 med statistik för den längre mätperiod 1980–2006 och finner då att regn med varaktighet 5–120 minuter och med återkomsttid 1–5 år är 1,19–1,28 gånger större för den kortare senare perioden. Skillnaden har ansetts ringa och mätningarna för perioden 1980–1994 har accepterats som korrekta.

Tabell 3-1 Observationsperioder för tippmätarna i Malmö. Annorlunda tippmätare användes vid Turbinen under de första åren.

	Turbinen	Limhamn	Bulltofta	Augustenborg
Obs-period	1980–2007	1996–2007	1996–2007	1996–2007
0,2 mm skål	1994–2007	1996–2007	1996–2007	1996–2007
Missade data	Jul–Aug 1991			
	Jan–Maj 1999	Jul–Dec 1999	Jul–Dec 1999	Jul 1999
	Mar–Apr 2000	Jan–May 2001	Jul–Dec 2000	Aug–Nov 2003
		Jun 2002		

Tabell 3-2a. Observerade regnvolymer (mm) för regn med olika varaktighet och återkomsttid. Period 1996–2007 och för Turbinen 1980–2007.

Limhamn	1 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	60 min
Max	4,2	16,8	21,2	28	33,4	41,4	43,4
T = 1	1,8	5,8	7,4	8,6	9,6	12,6	15,4
T = ½	1,0	4,2	6,0	7,4	8,0	8,9	10,6
Aborg	1 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	60 min
Max	2,8	8	13	16,4	19	25	28,6
T = 1	1,6	4,8	7,2	8,8	9,8	10,8	13,8
T = ½	1,2	4,2	5,4	6,6	7,6	8,4	10,8
Bulltofta	1 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	60 min
Max	2,8	8,6	11,8	16,4	20,2	23	29,2
T = 1	1,6	5,2	8,2	9,8	10,2	11,2	14,4
T = ½	1,2	4,0	5,8	7,0	7,8	8,8	11,0
Turbinen	1 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	60 min
Max	4,3	10,8	14,4	16,6	22,2	25	38
T = 1	1,4	5,0	7,4	8,6	10,3	12,2	16,4
T = ½	1,2	3,7	5,4	6,8	7,6	9,0	11,0
Tur 96-07	1 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	60 min
Max	2,6	10,2	15,0	15,6	19,0	21,0	34,4
T = 1	1,5	5,3	8,0	10,0	10,4	12,2	16,5
T = ½	1,2	4,1	6,0	7,2	8,0	9,5	12,0

Det är svårt att uppskatta sannolikhet för extrema regn för stationer med nederbördsdata endast för 11 år, särskilt som det finns bortfall av data för två somrar. Vad man ser av tabellen är att regn med återkomsttid ett år eller mindre har nästan samma intensitet vid alla fyra stationerna. De största regnen observerade vid de olika stationerna är emellertid olika, särskilt för regn med varaktighet mindre än 30 minuter. Skillnaderna mellan stationernas största 60-minutersvärden är mindre än för kortare regnvaraktigheter.

Hernebring (2008) har gjort statistisk analys med fördelningsanpassning av motsvarande regndata men utan att ändra registrerade Turbinenvärden för åren 1980–1994. Regnvolymer som funktion av återkomsttid och varaktighet ges i tabell 3-2b. Volymer för 1-årsregnet är i stort sett de samma som de volymer som bestämts direkt från rankingpositionen för Limhamn, Augustenborg och för Turbinen, utom då för hela perioden 1980–2007. Tabell 3-2a visar dock högre värden än tabell 3-2b för Bulltofta. Skillnaden kan bero på hur man beaktar bortfallsperioder.

Tabell 3-2b Observerade regnvolymer (mm) för regn med olika varaktighet och återkomsttid anpassade till statistisk fördelning av Hernebring (2008).

	Återkomst	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	60 min
Turbinen	1	4,3	6,0	7,2	8,1	9,5	12,4
1980–	2	5,4	7,6	9,0	10,2	12,1	15,8
–2007	5	7,0	10,1	12,1	13,8	16,4	21,6
A-borg	1	4,8	6,8	8,1	9,0	10,4	13,0
	2	6,0	8,6	10,2	11,4	13,3	16,9
	5	7,8	11,3	13,5	15,2	18,0	23,0
Bulltofta	1	4,5	6,5	8,0	8,9	10,1	12,6
	2	5,6	8,5	10,4	11,5	13,0	16,2
	5	7,5	11,5	14,3	16,1	17,8	22,3
Limhamn	1	5,7	7,8	9,1	10,1	11,9	14,8
	2	7,5	10,3	12,0	13,4	15,7	18,7
	5	8,3	12,3	14,9	16,9	20,2	27,0
Turbinen	1	5,4	7,7	9,1	10,2	12,0	15,7
96–06	2	6,5	9,5	11,3	12,8	15,1	19,8
	5	8,3	12,3	14,9	16,9	20,2	27,0

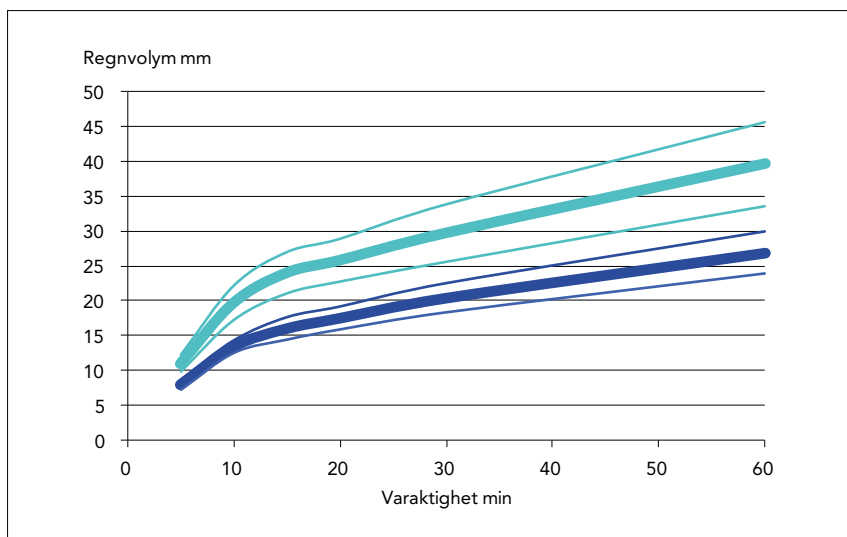
3.3 Spatial fördelning av regn

Jämför man korttidsregnen för de olika Malmöstationerna så är regn med återkomsttid $\frac{1}{2}$ och 1 år lika för samtliga stationer, men observerade maxvärden är ganska olika. Homogeniteten av regndata för de fyra stationerna har undersökts. Det visar sig att regnen från de fyra stationerna har samma karaktär och tillhör samma fördelning. Årshögstavärdena jämfördes för stationer två och två med hjälp av hypotestest. Vidare undersöktes hur många gånger under perioden som det vid en station uppmätts större regn än vid en annan. Fördelningen var precis jämn.

Träarsregnet med 10 minuters varaktighet är 10,5 mm. Sådant regn har också uppmätts vid någon station sammanlagt 17 gånger under 1996–2007 representerande 15 olika händelser, om man definierar en händelse inom ett 2-timmarsspänn. Motsvarande analys för 1-timmesregn (20 mm) visar 17 observationer vid 14 händelser. Sannolikheten för samtida stora regn vid mer än en station är alltså inte stor, trots att stationerna endast är 3–4 km från varandra. Om man endast beaktar regn med återkomsttid minst 1 år vid någon station finner man korrelationskoefficienter som är mycket nära noll.

Beaktar man mer frekventa regn med återkomsttid $\frac{1}{2}$ år är sannolikheten för samtida regn vid mer än en station större. Sannolikheten för att $\frac{1}{2}$ -årsregnet skall inträffa inom 2 timmar också vid en annan station är ungefär en gång per år. Korrelationen mellan regn vid olika stationer är ganska hög mellan Turbinen och Limhamn, cirka 0,6. Båda är placerade mycket nära havet. Mellan övriga stationer är korrelationen lägre. Det går inte att finna ett klart signifikant samband mellan samtida modest korttidsnederbörd mellan några stationer, men väl svagt signifikanta sådana. Sannolikheten för samtida regn ökar med regnets varaktighet.

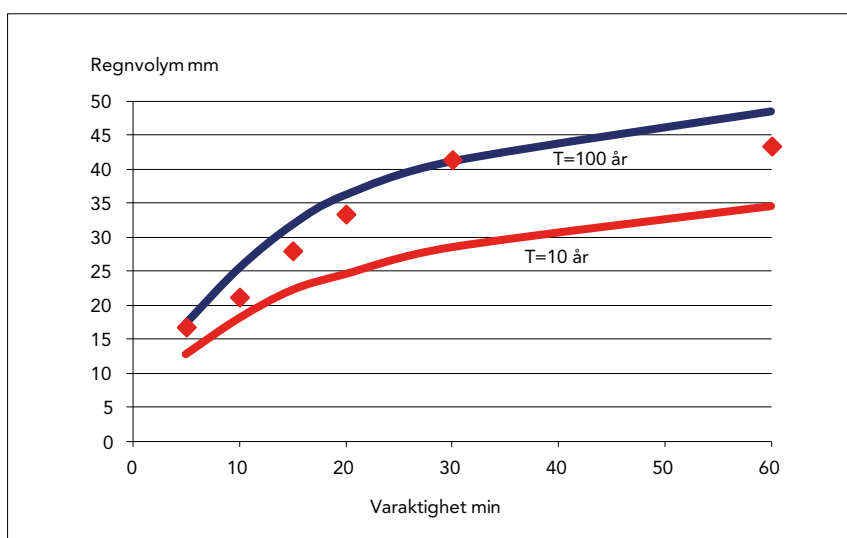
Regionala värden för regnen i Malmö, representerande hela Malmö och inte endast enskild station, kan lätt tas fram eftersom regndata för de fyra



Figur 3-1 För Malmö regionalt regnvolym-varaktighetsdiagram för 10-års- (nedre tjock kurva) och 100-årsregn (övre ljusare tjock kurva). De tunnare linjerna visar 68 % konfidensintervall.

stationerna är homogena. Man behöver endast beakta att regnserierna har olika längd. Regionala 10-års- och 100-årsregn visas som intensitets-varaktighetssamband i figur 3-1.

Kombinerar man de fyra regnserierna och endast tar med oberoende händelser, nu med minst ett dygns separationstid, kan man bestämma sannolikheten för att det skall regna med hög intensitet vid någon av stationerna, det vill säga i princip sannolikheten för att det regnar någonstans i Malmö. Samband visas i figur 3-2. Den regionala max-10-årskurvan blir nästan identisk med den regionala medel 100-årskurvan. Kurvan representerande det regionala 10-årsregnet blir lik den som kan fås fram genom rättfram plottnings av observationsdata. Eftersom regnserierna från de olika stationerna är homogena, endast oberoende händelser har beaktats och sannolikheten för samtida stora regn på mer än en station är mycket liten, så

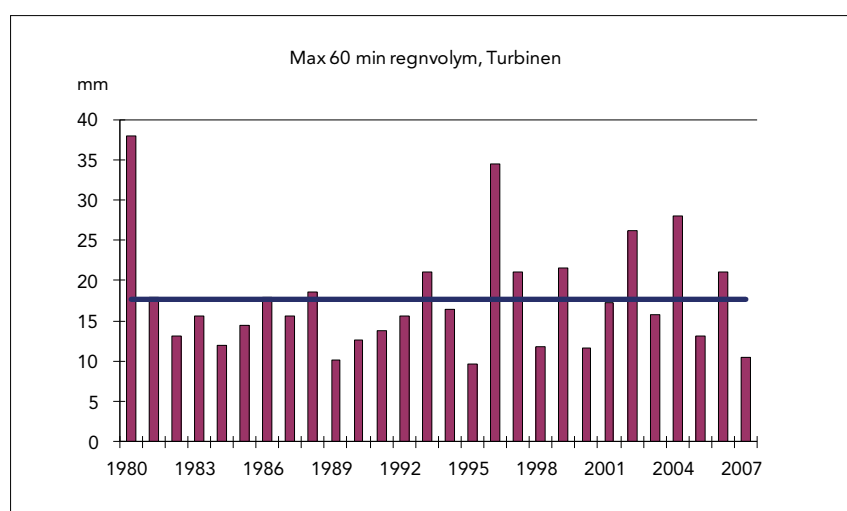


Figur 3-2 Regnvolym-varaktighetsdiagram för ett regn att falla slumpartat över Malmö: 10-års- (nedre kurva) och 100-årsregn (övre streckad kurva). Observerade max-observationer visas med sneda fyrkanter.

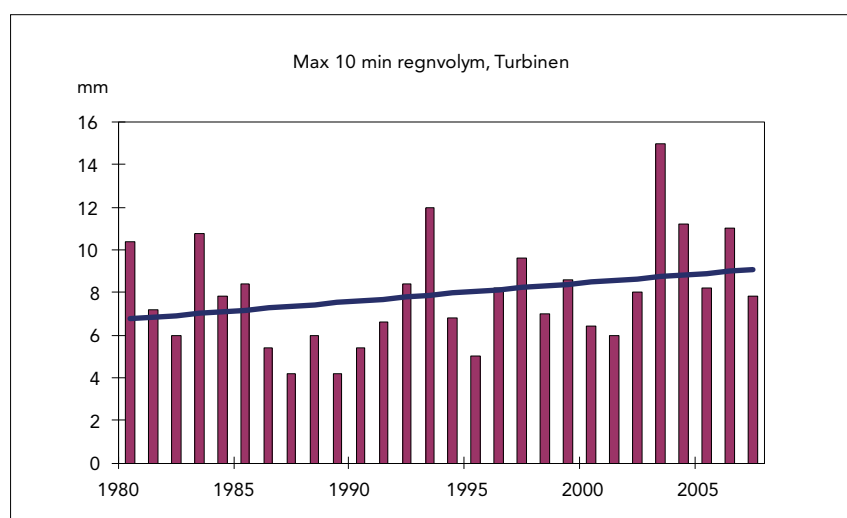
är det inte orimligt att betrakta den senare figuren som intensitets-varaktighetssamband för enskild station med återkomsttid 4 gånger (eftersom diagrammet är baserat på 4 observationsserier) längre än vad diagrammet anger. Detta innebär att observerade regnserier förlängs att representera lång period och regn med lång återkomsttid kan uppskattas direkt från rankingposition.

3.4 Trendberäkningar

För dygnsregn har i tidigare avsnitt visats att det inte förligger någon trend mot större dygnsårsmaxnederbörd om man ser över längre perioder. Vad gäller korttidsnederbörd finns få långa tillförlitliga seier. Från Barlastplatsen i Göteborg påbörjades registrerad mätningar redan 1929. Hernebring (2008) har analyserat denna regnserie och inte funnit någon trend mot varken mer eller mindre intensiva regn. Detta bekräftas mera generellt i en senare studie, Hernebring m.fl. (2012).



Figur 3-3 Årsmaximum av 60-minutersregn vid Turbinen med trendlinje. Mätdata är korrigerade för perioden 1981–1993.



Figur 3-4 Årsmaximum av 10-minutersregn vid Turbinen med trendlinje. Mätdata är korrigerade för perioden 1981–1993. Signifikansnivå 10% dubbelsidig.

Det inträffade en rad stora regn under 1940-talet och så igen under senare år. I en tidigare studie har Hernebring jämfört idf-kurvor baserade på gamla observationer från några svenska städer och jämfört med nya observationer utan att finna några direkta förändringar. Däremot har Arnbjerg-Nielsen (2006) vid analys av 20-åriga serier i Danmark funnit trender av 10-minutersregnet i östra Danmark. Också i en senare studie har man i Danmark, Madsen m.fl. (2009), funnit att regn med varaktighet minuter till timmar ökat i intensitet och då främst vad gäller de största regnen. Ökningen är så stor som 20 %, men den är inte statistiskt signifikant. Extrem dygnsnederbörd har inte ökat.

Observationerna från Turbinen sträcker sig tillbaka till 1980. Det är en kort tid att bestämma trend över ty initialvärdet får stor betydelse. I figur 3-3 och figur 3-4 visas beräknande trender för årsmaximum av 1-timmesregn och 10-minutersregn. Det finns ingen trend för 1-timmesregnet men 10-minutersregnet visar en svag (10 % dubbelsidig) trend mot ökad intensitet.

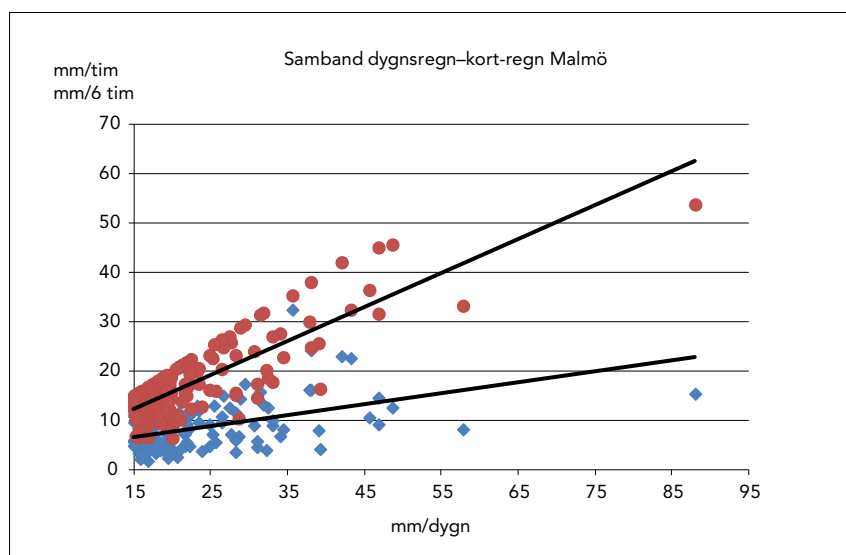
3.5 Dygnsregn och korttidsregn

Observationerna i Malmö kan jämföras med observationer från Lund utförda av Niemczynowicz, till exempel (1984). Under en knapp 3-årsperiod fanns 13 regnmätare i Lund, vilka övervakades dagligen. Korttidsregnen med varaktighet mindre än 1 timme visar sig ha en utbredning mindre än 2 km. Inte heller i Malmö verkar det finnas någon korrelation mellan intensiva regnskuror vid olika mätare på längre avstånd än 2 km från varandra. Nu är emellertid mycket stora dygnsregn oftast frontalregn och inte konvektiva regn. Samband mellan regnmängder vid olika stationer är då större. Mätningar av ackumulerad nederbörd över hela dygn sträcker sig över längre tid än intensitetsmätningar. Mätningar från 4 stationer i Malmö, Malmöhus, Bulltofta, Arlöv och Alnarp, under perioden 1961–1990 har använts för att undersöka den spatiala korrelationen för mycket stora dygnsregn. Vid 6 tillfällen under de 30 åren var den areella dygnsnederbörden över ytan 20 km² större än 40 mm. Återkomsttiden 5 år är nära återkomsttiden för de individuella stationerna. Väljer man ut alla regntillfällen med dygnsregn vid minst en station större än 1-årsregnet (32 mm) är korrelationen mellan olika par av stationer 0,4–0,8 med 0,8 för sambandet mellan Malmöhus och Bulltoftastationerna.

Om korttidsnederbörd kan relateras till dygnsnederbörd kan långa tids-serier användas för uppskattning av korttidsnederbörd bakåt i tiden. Möjligen kan enkla samband kanske sättas upp eller så kan kanske disaggregeringsteknik (detta försöks och redovisas i senare kapitel) användas.

Samband mellan stora tim-regn och dygnsregn vid Turbinen i Malmö har undersökts för perioden 1980–2007. Under de 29 åren har dygnsregnet varit större än 30 mm under 29 oberoende dagar. Under dessa dagar har tim-regnet varit större än 15 mm vid 18 tillfällen, vid 10 tillfällen har regnet varat mindre än 5 timmar. 24 av de 29 regnen har fallit under juni–september. Allt detta ger viss indikation att inte bara frontala utan också konvektiva regn ger stora bidrag till de stora dygnsregnen. Om man endast väljer ut dygnsregn större än 40 mm finns det 13 observationer, vilket betyder en

återkomsttid på drygt 2 år. Samtliga dessa regn inträffar under juni–september. Det finns ett samband mellan dygns- och timregn, figur 3-5. Spridningen kring regressionslinjen är dock så stor att man inte har någon direkt nytta av sambandet. Figuren och än mer tabell 3-3 ger dock viss indikation om att disaggregeringsmetodik skulle kunna användas för att generera statistik för korttidsregn utifrån dygnsregn, om många olika intensitetsintervall används. I tabell 3-3 visas medelvärden för olika intervall.



Figur 3-5 Samband dygnsregn och samtida 1-tim (sneda fyrkanter) respektive 6-timregn (cirklar) vid Turbinen.

Tabell 3-3 Dygnsregnsvolym i intervall och medelvärden för olika samtida dygns, 6-tim och 1-tim regnhändelser.

Dygnsregn	Medelvärde	1 tim	6 tim
> 40 mm	52	15	40
30–40 mm	34	12	25
25–30 mm	27	10	22
20–25 mm	22	9	17
15–20 mm	16,9	6,3	13,1
10–15 mm	12,0	5,1	10,6
7–10 mm	8,1	3,6	6,8

3.6 Fel och osäkerheter vid regnmätning med tippmätare

Felanalys av regnobservationer är mer komplicerade vid mätning med tippmätare än med ackumulerande mätare, särskilt när man operationellt använder sig av kommersiella mätare. Om man inte mer eller mindre dagligen övervakar regnmätarna så tenderar bortfallet av observationer att bli stort. Till exempel är bortfallet vid Turbinen mindre än bortfallet vid övriga mätare i Malmö. I Lund finns en tippmätare intill SMHI-mätaren vid LTH/LU. Det kan finnas felmätningar men inga fullständiga bortfall. Däremot vid en annan av Lunds mätstationer vid reningsverket i Dalby är bortfallet under 10-årsperiod 1998–2007 stort. Mätdata saknas helt april–juli 1999,

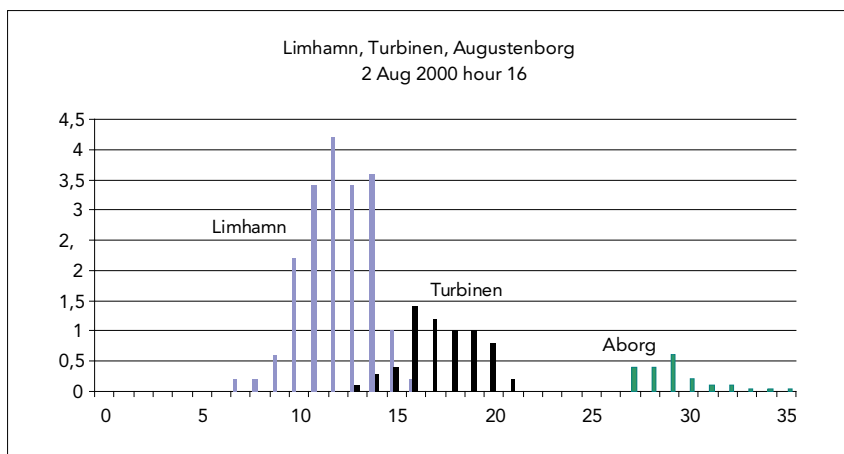
under år 2000 fram till mitten augusti, från mitten av april 2007 till mitten av augusti. Det saknas alltså data för 3 av 10 somrar. Det är då svårt att bestämma återkomsttid utifrån observationerna även om de är korrekta.

I själva verket kan bortfallet av data vara större än de perioder då man tydligt ser att inga observationer sker. Om man jämför antalet dagar med nollregistrering vid tippmätarna trots att regn fallit i SMHI-mätaren (och då endast för perioder då mätarna till synes varit i funktion) visar Dalbymätaren noll under 6 % av dagarna med minst 5 mm regn i SMHI-mätaren. Motsvarande tal för mätaren just intill SMHI-mätaren är 3 % och för en mätare vid Källby reningsverk i södra Lund 5 %. Konvektiva regn är lokala så helt relevant är jämförelsen endast för tippmätaren vid LTH, som står intill SMHI-mätaren.

De observationer som ändå finns kan vara behäftade med fel. Själva tippskålen har liten volym, så liten avvikelse från uppgiven volym ger direkt utslag på mätresultatet. Vid hög regnintensitet är det stor risk att en del vatten faller mellan skålarna. Egentligen behöver alla tippmätare kalibreras individuellt. Regnintensiteten är vid snabba tippningar större än skålvoly-men gånger antal tippningar per tidsenhet. Det är få mätare som övervakas kontinuerligt. Smuts eller växtdelar kan bilda propp som helt eller delvis blockerar röret till skålarna. När sen proppen släpper registreras felaktigt hög regnintensitet. Det är också vanligt med fel på klockan som registrerar tippningar. Samma serie kan repeteras flera gånger. Man behöver egentligen gå igenom registreringar för varje regntillfälle för sig för bedömning av regnmätningars tillförlitlighet. Om till exempel 5-minutersregnet registreras som lika stort som 60-minutersregnet under samma regntillfälle, borde denna mätning accepteras endast om regn av motsvarande karaktär registreras i andra närbelägna mätare under samma tid.

I ett forskningsprojekt i Lund, Niemczynowicz (1984), kontrollerades regnmätarna (12 st.) dagligen på plats. Trots det var mätarna ur funktion i genomsnitt 15 % av tiden. Niemczynowicz (1986) kalibrerade varje mätare. Han kunde då jämföra med tillverkarnas uppgifter. Vid intensitet 0,2 mm/min visade de olika mätarna, om man följde tillverkarnas förslag till samband regnintensitet–antal tippningar, mellan -10 % och +10 % fel. Vid intensitet 1,0 mm/min var felet mellan 6 % för mycket och 20 % för lite. En test av de mätare som används i Trelleborg visar på 10 % för liten uppmätt regnvolymer vid intensitet 1,0 mm/min.

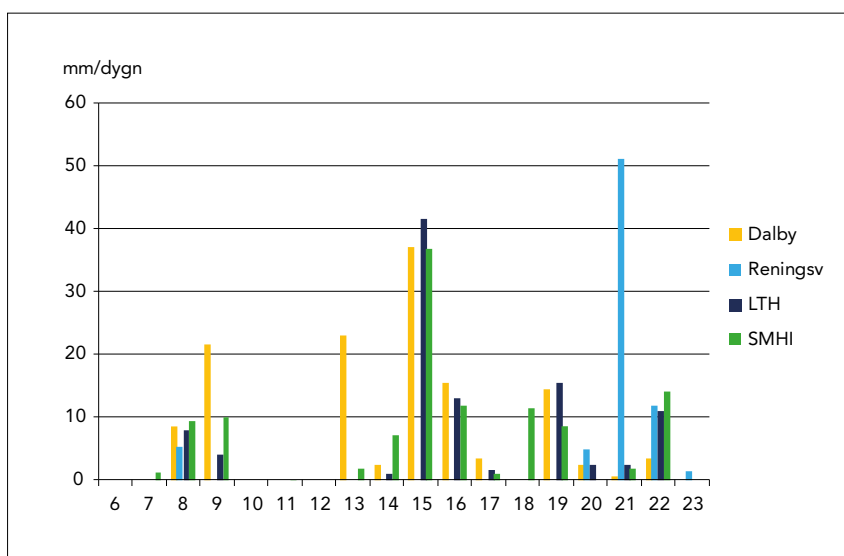
De här utnyttjade kortidsregndatana för Malmö har erhållits från Stefan Milloti, VaSyd, som också medförfattad en artikel. Registreringar för varje regntillfälle har granskats. Om så inte gjorts utan registrerade värden accepterats direkt, skulle regnvolymer för korta perioder ha överskattats. Dubbelregistrerade regnserier (identiska men med olika tid) har tagits bort. Tillfälliga höga regnvärden under några minuter har inte tagits med om inte 1-timmesregnet är tydligt större. Jämförelse har gjorts med ackumulerad mätning. Om uppmätt dygnsnederbörd i tippmätare avviker väsentligt från den ackumulerade mätningen accepteras inte tippmätningen. Detta gäller för Bulltofta och Turbinen. För korta regn kan inte motsvarande test göras för mätningarna i Augustenborg och Limhamn, eftersom det inte finns någon SMHI ackumulerande mätare just intill. Istället har hänsyn tagits till om regn fallit vid någon av de övriga stationerna.



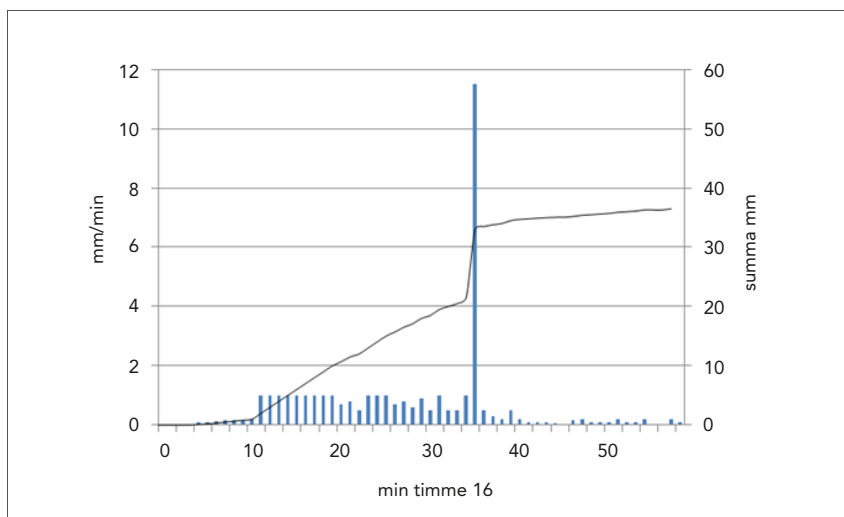
Figur 3-6 Regnintensitet (mm/min) minut för minut vid tre stationer i Malmö.

Exempel på mätning som accepterats men helst skulle ha undersökts närmare visas i figur 3-6. Det regnar endast några få minuter och intensiteten i Limhamn är mycket hög. Det kommer inget regn under någon annan del av dygnet. Regnmönstret är dock likartat, om än med lägre intensitet, vid två andra mätare ungefär 2 km bort. Om observationer från andra mätare inte funnits kunde knappast denna observation accepterats.

Nedan ges exempel på tvivelaktiga mätdata. Dygnsnederbörd observerad vid tre tippmätare och en SMHI-mätare visas i figur 3-7. SMHI-mätaren och LTH-mätaren står intill varandra. Det är 3 km till mätaren vid Källby och 10 km till Dalby. Källbymätaren registrerade 1,5–2,5 mm/tim under hela dygnet 21 augusti 1999, totalt mer än 50 mm. I övriga mätare registreras detta dygn endast någon enstaka mm. Däremot registrerades ingen nederbörd vid reningsverket i Källby 9–19 augusti, då totalt vid övriga stationer uppmättes cirka 75 mm. Det är rimligt att tro att smuts hindrat regnvatten från att nå skålarna intill dess trycket blivit stort. Regndata erhöles från Lunds kommun, men kan också fås från Hernebrings regnserier.



Figur 3-7 Registrerad dygnsnederbörd vid nederbördsmätare i Lund, augusti 1999.



Figur 3-8 Registrerad ackumulerad nederbörd och regnintensitet 17 maj 2000, Lund.

Ett annat exempel från samma nederbördstation, Lunds reningsverk i Källby, från 17 maj 2000 visas i figur 3-8. Regnet är intensivt 1 mm/min under 20 minuter till dess det under en minut synes falla 11,5 mm regn. Man skulle troligen välja att ta bort detta värde om man analyserade regntillfället i detalj. Frågan är då hur man skall behandla värdet – ta bort det helt, fördela regnvolyten över en längre period och i så fall hur lång, eller rent av att acceptera minuttvärdet. Med en ackumulerande regnmätare intill tippmätaren skulle man i varje fall kunna avgöra om de 11,5 mm är rimliga som volymtillskott över längre tid eller om tippningarna under den minuten inte alls kan hänföras till regnet. Om man fördelar regnvolyten över 10 minuter blir 10-minvolyten 18 mm. Vid LTH-stationer föll 20 mm under en timme med början 40 minuter senare än vid reningsverket varvid regnintensiteten var som mest 8 mm under 10 min och 14 mm under 20 minuter. Den uppmätta regnvolyten vid Källby är ganska säker riktig men det går inte att bestämma intensitetsvariationerna under själva regnhändelsen.

Man kan lätt finna fler tvetydiga observationer. Den 22 mars 2000 registrerades 11 mm under en minut och 13 mm under 5 min, varefter inte mer regn registrerades. Inget regn registrerades i SMHI-mätaren. Söker man endast statistik för 5- och 10-minuters blockregn kan dessa 13 mm tas med som möjliga, men osäkerheten är stor.

4 Disaggregering

Mer detaljer angående detta kapitel erhålles från publikationerna 11, 14, 15 och 18.

4.1 Inledning

Regnmätningar med hög tidsupplösning sträcker sig sällan långt tillbaka i tiden. Mätningarna är ganska osäkra med många felkällor. Mätningar finns inte för alla orter. Dygnsnederbörd har mätts över lång tid på flertalet orter och dessa mätningar är inte behäftade med stora fel, i varje fall inte för regn. Urbana dagvattensystem dimensioneras emellertid utifrån förväntad korttidsnederbörd, 10–60 minuter. Om det inte finns pålitliga korttidsdata över lång tid finns viss möjlighet att generera korttidsnederbörd utifrån observerad dygnsnederbörd. Man använder sig av disaggregeringsteknik. I en kaskadprocess med slumpmässiga urval stegar man sig från dygnsnederbörd ner till korta tidsintervall. Principen baseras på fraktalteori, till exempel Hubert m.fl. (1993).

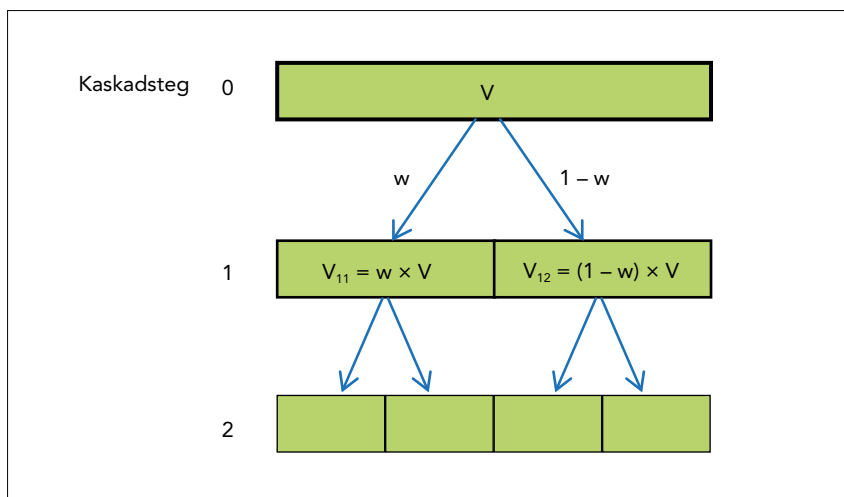
Disaggregeringstekniken har från början används för att gå från månadsregn eller längre ner till dygnsregn, till exempel Svensson m.fl. (1996), Olsson (1998). De stora regnen är då de frontala regnen med lång varaktighet. Olsson har tillsammans med medarbetare, Güntner m.fl. (2001), utsträckt tidsuppdeleningen ner till timme. Vid så korta tidsintervall bidrar de konvektiva regnen i stor utsträckning till de största regnen och dominerar vid regn med kort varaktighet.

I detta kapitel beskrivs användning av disaggregeringstekniken för södra Sverige och för Mumbai i Indien. Tidsuppdeleningen utsträcks ner till 10 min. Parametrar bestäms genom aggregering av observerade regn i 10 minuters intervall stegvis upp till ett dygn.

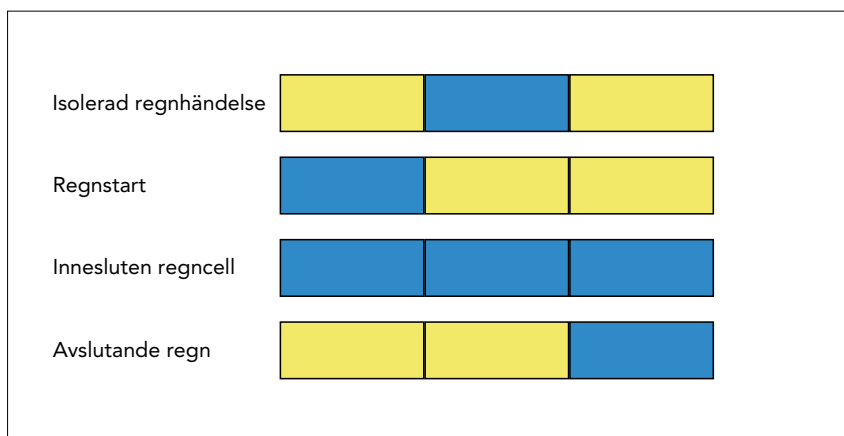
Avsikten med avsnittet är att visa på en metodik att ta fram intensitets–varaktighets–frekvens diagram för orter från vilka korttidsmätningar endast sträcker sig över kort tid eller inte existerar alls. Disaggregeringsteknik måste användas med försiktighet. Metodiken skulle kunna användas av specialister för att få fram långa serier för statistisk behandling av korttidsnederbörd för olika orter. Allmänt kan sägas att disaggregeringstekniken är meningsfull att användas för skapande av långa tidsserier för bestämmande av extrema regn med varaktighet en timme, men kanske inte för regn med kortare varaktighet.

4.2 Metodik

Principen bakom kaskadmetoden är att tidsintervallen hela tiden delas på mitten och regnet över den längre tidsperioden fördelas mellan de två kortare tidsintervallen, såsom skisseras i figur 4-1. Man går från 24 timmar, via 12 timmar, 6 tim, 3 tim, 1 ½ tim, 45 minuter, 22,5 minuter och till slut



Figur 4-1 Uppdelning av regn från en längre tidsperiod till underliggande tidsintervall. w anger fördelningen av regn till två underliggande tidssteg från övre tidssteg.



Figur 4-2 Olika typer av regnceller, mörk cell anger regn.

11,25 minuter. I Mumbai-fallet har istället valts att starta med 21 timar för att kunna gå ner till exakt 10 minuter. Regnet fördelas från en högre tidsnivå (box i figur 4-1), till exempel 24 tim, till de två härrörande tidsintervallen (boxar) på en lägre tidsnivå, 12 tim, via två slumpprocesser. Med hänsyn till sannolikheter som bestäms genom aggregering bestäms om i detta fall 24-timmarsregnet fördelas till en eller båda 12-timmarsintervallen, och om i det fall utfallet blir fördelning till båda intervallen hur uppdelningen av regnet sker mellan de två intervallen. Slumpprocessorn aktiveras i båda fallen. Kaskadprocessen från dygn ner till 10 minuter upprepas ett stort antal (flera hundra) gånger. Medelvärdena av utfallen används för att uppskatta extremvärden.

För aggregeringsprocessen behövs ett antal parametrar. I princip skulle vid tidsinvarians endast två parametrar behövas, en som ger sannolikheten för att regnet från ett övre tidssteg fördelas till en eller två underliggande tidsintervall, och, om regnet fördelas mellan de båda, en parameter som beskriver fördelningen mellan dessa båda. Det visar sig emellertid att dessa parametrar beror såväl av tidsintervallets längd som av regnvolymen. Dessutom spelar regnets position i en tidsserie roll. Sannolikheten för att

regnet fördelar sig över flera tidsintervall (boxar) är större om regnet i det övre tidssteget är omgivet av tidsintervall med regn än regnet är en isolerad händelse. Alltså om det har regnat dag 1, dag 2 och dag 3, så är sannolikheten att dag-2-regnet fördelas över båda dag 2:s 12-timmarsintervall större än om det endast regnat dag 2. Olsson (1998) introducerade begreppen isolerade regnboxar, vilka omges av perioder utan regn, start och slutboxar, vilka omges av regn på en sida, och omgivna regnboxar, som föregås och dessutom följs av regnboxar, se figur 4-2. I det arbete som beskrivs här har sannolikheten för att regnet fördelas, $\text{Prob}(x/x)$, mellan två boxar bestämts via en aggregeringsprocess som

$$\text{Prob}(x/x) = \text{funk}(\text{tidsnivå, position, regnvolymer})$$

Hur fördelningen sker mellan två boxar bestäms med en enparameter beta-funktion, vilket förslagits av Günter m.fl. (2001). Parametern bestäms som en funktion av tidsnivå, position och regnvolymer.

4.3 Problem vid utökning till korta tidsintervall

Disaggregeringsmetoden i sig är osäker, men felen tenderar att öka ju kortare tidsintervallen är. Vid 1–2 timmar och kortare, Günter m.fl. (2001), tenderar observerad och genererad regnstatistik att väsentligt avvika från varandra. Olssons data för södra Sverige visar också att det är svårt att generera regnstatistik för 1-timmesregn. I ovan relaterade studier har man dock endast valt att för varje tidsnivå indela regnvolymer i två grupper utifrån 50 % medianen. I den studie som presenteras här används 3 eller 6 volymgrupper.

Stora dygnsregn är i Sverige ganska långvariga. De intensiva kortvariga skurarna med varaktighet mindre än en timme är av konvektiv art. Det finns samband mellan timregn och dygnsregn, men som visas för Malmö i kapitel 3, är detta inte särskilt tydligt. Likaså är sambandet mellan 10-minutersregn och 1-timmesregn inte heller klart. Detta gäller enskilda regn. Sambandet mellan hög dygnsnederbörd och hög timnederbörd blir något bättre när man inte jämför händelser vid samma regntillfälle utan ser på regnstatistiken. Det är ändå problematiskt att blanda statistik för två olika typer av regn såsom frontalregn och konvektiva regn. Avsikten med införande av stort antal volymgrupper är ett försök att komma runt detta problem. Dock möter man ett nytt problem vid parameterbestämningen. Det finns endast få värden för de mest intensiva regnen, så parametervärden blir extra osäkra. Konvektiva regn faller på sommaren. Man skulle kunna tänka sig uppdelning av regnen i sommar och vinterregn för att inte behöva göra uppdelning i så många volymsintervall. Emellertid, som visats i föregående avsnitt, så inträffar många stora långvariga frontalregn också under sommaren.

Ett annat problem vid korta tidsintervall är själva uppdelningen i jämna intervall, till exempel 45 minutersintervall. Man väljer ju då ut varje 45-min-period efter midnatt. Om ett stort regn med 45 min varaktighet faller såväl under perioden före dessa 45 min som under dessa 45 min, så blir inte detta regn representerat som ett regn med så stor intensitet som det verkligen har.

4.4 Observerade regndata Malmö

Regndata från Sverige togs från mätstationen Turbinen i Malmö (data från Va-Syd) och från Helsingborg (data från Claes Hernebring). Regn har mätts med tippmätare. För Malmö har observationer för åren 1980 till och med 2007 har tagits med. Regnstatistik för olika varaktigheter har uppställts. Regnvolymer för varje jämn 11,25-minutersperiod har beräknats och sammanställts till en regnserie. På samma sätt har gjorts för varje 22,5-minutersperiod, sen 45-minutersperiod och så vidare upp till 24 timmar. Därefter med början från 24 timmars regnserien beräknas sannolikheten för att regn över det längre tidssteget fördelas över två underliggande tidsperioder. Hänsyn tas till position och regnintensitet. Parametrar kan sedan bestämmas. Därefter kan själva disaggregeringen göras med dygnsnederbörd som indata. För fallet Helsingborg, som redovisas i eget avsnitt, har disaggregeringen gjorts med Malmöparametrar för att få en tillämpning med nya data, vilka inte utnyttjats vid kalibreringen. Sex olika regnintensitetsgrupper har använts, mindre än 40 % percentilen, 40–60 %, 60–80 %, 80–90 %, 90–95 % percentilsintervall, och regn större än 95 % percentilen. De olika intensitetsvolymererna för olika varaktigheter visas i tabell 4-1.

Tabell 4-1 Använda regnvolymsintervall (mm) för olika varaktigheter ($t = \text{tim}$, $m = \text{min}$).

Percentil	24 t	12 t	6 t	3 t	90 m	45 m	22,5 m	11,3 m
40 %	1,80	1,00	0,65	0,60	0,55	0,20	0,15	0,13
60 %	3,60	2,20	1,60	1,20	0,80	0,65	0,60	0,55
80 %	6,60	4,60	3,60	2,40	1,80	1,20	0,66	0,65
90 %	10,6	7,60	5,60	4,20	2,80	1,80	1,20	0,80
95 %	15,6	11,2	8,40	6,00	4,20	2,60	1,80	1,20

Sannolikhet för att ett regn skall fördelas mellan båda de underliggande tidsintervallen är för Malmöregnen såsom visas i tabell 4-2. Så till exempel är sannolikheten för att ett 3-timmarsregn större än 6,0 mm (95 % percentil) skall vara fördelat över 2 intilliggande 1,5 timmars intervall 0,77. Här ges endast värden för regn omgivet av regn såväl före som efter tidsintervallet. För regn med annan position är sannolikheten något lägre, särskilt för små regnvolymer och långa tidsperioder.

Tabell 4-2 Sannolikhet för att regn skall fördelas till två underliggande tidsintervall.

Percentil	24 t	12 t	6 t	3 t	90 m	45 m	22,5 m
< 40 %	0,12	0,12	0,12	0,16	0,19	0,20	0,22
40 %	0,30	0,35	0,38	0,42	0,44	0,45	0,49
60 %	0,36	0,39	0,57	0,73	0,70	0,75	0,83
80 %	0,46	0,50	0,67	0,89	0,91	0,93	0,95
90 %	0,62	0,68	0,70	0,72	0,85	0,96	0,97
95 %	0,70	0,75	0,77	0,85	0,95	0,97	0,97

Parametern i betafördelningen tenderar att vara nära 1 för de långa tidsperioderna och ha ett högt värde (5 är dock satt som maximum) för de korta tidsintervallen. Värdet 1 betyder att det är lika stora sannolikhet att ett regn,

som fördelas till båda de underliggande intervallen, fördelas som 1 % och 99 % mellan intervallen som att det fördelas 50 %-50 %. Om betaparametern är 5 är fördelningen med hög sannolikhet ganska jämn.

Med nära 40 års data kan sannolikheten för regn med återkomsttid mindre än 10 år bestämmas direkt ur observationsvärdena. Det finns sedan perioder utan observationer frånräknats värden för 37 år. Tvåårsregnet blir då det 18:e högsta värdet eller kan fås något bättre som medelvärde av regn med ranking 17, 18 och 19. För att uppskatta återkomsttid för mer sällsynta regn måste anpassning göras till någon fördelningsfunktion. Här har använts GEV (General Extreme Value)-funktionen. Skillnaden mot Gumbelfördelning är inte stor. Värden visas i tabell 4-3.

Tabell 4-3 Volymer (mm) för regn med olika varaktighet (t_d) och med olika återkomsttid, T , bestämda från observationer ($T=2$ och 5 år) och med GEV-fördelning ($T=10$ och 50 år), Malmö Turbinen 1980–2007.

t_d	$T=50$ år	$T=10$ år	$T=5$ år	$T=2$ år
12 tim	60	47	44	36
6 tim	57	44	38	31
3 tim	42	36	30	25
90 min	34	29	23	19
45 min	26	21	18	15
22,5 min	22,5	16,5	13,0	11,0
11,3 min	15,3	11,6	10,3	8,3

4.5 Genererade regnserier för Malmö

Med dygnsvärden som indata utförs nu disaggregeringen för Malmö. Statistik för medelvärden av de genererade regnserierna jämförs med statistik för den observerade regnsserien. Statistiken för de simulerade serierna visas i tabell 4-4.

Tabell 4-4 Volymer (mm) för regn med olika varaktighet (t_d) och med olika återkomsttid, T , bestämda från simulerade regnserier.

t_d	$T=50$ år	$T=10$ år	$T=5$ år	$T=2$ år
12 tim	57	47	42	36
6 tim	51	41	36	31
3 tim	41	33	29	25
90 min	34	27	24	19
45 min	27	21	19	15
22,5 min	21,9	17,0	14,9	12,1
11,3 min	14,8	11,4	10,0	8,0

De simulerade värdena ligger mycket nära de observerade också för regn med kort varaktighet. Detta kan tillskrivas uppdelningen i många regnintensitetsintervall och naturligtvis att simuleringar gjorts för samma tidsserie som parameterbestämningen gjorts för. Parameterbestämning för så många intensitetsintervall är möjlig då det finns långa regnserier med hög tidsupplösning att tillgå. Dock kanske man i sådana fall inte har någon nytta av disaggregeringsförfarandet, särskilt som samma data utnyttjats för kalibrering och simulering.

4.6 Regn i Helsingborg

Disaggregeringstekniken har prövats också på Helsingborgsdata. De parameterar och intensitetsintervall som använts för Malmö använts också för Helsingborg. Dygnsvärden för 1992–2004 används. Genererad regnstatistik jämförs med statistik baserad på observerade regn med olika varaktighet. Regnstatistik för de observerade regnen, tabell 4-5, och de simulerade regnen, tabell 4-6, visas nedan.

Tabell 4-5 Volym (mm) för regn med olika varaktighet (t_d) och med olika återkomsttid, T , bestämda från observationer anpassade till Gumbel-fördelningen, Helsingborg 1992–2004.

t_d	$T=50$ år	$T=10$ år	$T=5$ år	$T=2$ år
12 tim	65	50	44	35
6 tim	56	43	37	30
3 tim	39	32	29	24
90 min	31	25	23	19
45 min	20	17	16	14
22,5 min	18,1	14,9	13,5	11,7
11,3 m	12,7	10,5	9,5	8,3

Tabell 4-6 Volym (mm) för regn med olika varaktighet (t_d) och med olika återkomsttid, T , bestämda från simulerade regnserier för Helsingborg.

t_d	$T=50$ år	$T=10$ år	$T=5$ år	$T=2$ år
12 tim	64	50	44	36
6 tim	55	43	38	31
3 tim	45	35	30	25
90 min	36	27	24	20
45 min	29	22	19	15
22,5 min	22,6	17,4	15,1	12,0
11,3 min	15,0	11,6	10,0	8,1

Vid en första anblick synes överensstämmelsen mellan de båda tabellerna god, men procentuellt är skillnaderna ganska stora för långa återkomsttider och korta varaktigheter. För till exempel varaktighet 22,5 minuter och återkomsttid 10 år är det observerade värdet 14,9 mm och det simulerade 17,4 mm. Skillnaden 2,5 mm synes liten, men är ändå 17 %. Samtliga regnvolymer, även för 50-årsregnet, har dock beräknats med bättre noggrannhet än 5 % för regn med varaktighet 3 timmar eller längre. Detta gäller även 3-timmars- och 1,5-timmarsregn för återkomsttid upp till 10 år. För återkomsttid 2 år har volymerna för alla varaktigheter beräknats med bättre än 10 % fel.

Resultat från Helsingborssimuleringarna tyder på 2-årsregn också för kortvariga regn kan bestämmas med parameterar framtagna från andra närbelägna orter. För regn med varaktighet dryg timme kan också 10-årsregnet bestämmas med parameterar från andra orter. Det bör dock påpekas att regnförhållandena är snarlika i Malmö och Helsingborg, så långtgående slutsatset skall inte dras.

4.7 Regn i Mumbai

Disaggregeringsmetodikerna tillämpades också för regn i Mumbai. Regnen är här intensivare än i Skåne. De dagliga monsunregnen varar i regel kanske 3 timmar. Det betyder att dygnsregnen motsvarar regn som utsträcker sig endast över ett par timmar och att därför korrelationen mellan dygnsregn och timregn är stor.

För Mumbairegnen fanns endast en säsong monsunregnsdata med hög upplösning att tillgå för aggregeringen. Uppdelningen gjordes på tre intensitetsnivåer med 33 % och 67 % percentilerna som gränser. Dygnsregn och regn över 21,5 timmar sattes lika för att regn med exakt 10 minuter och 20 minuters varaktighet skulle kunna bestämmas via disaggregeringen. Eftersom regnen ytterst sällan sträcker sig över mer än ett par timmar kan detta göras. Uppmätt och disaggregerad regnstatistik för den enda monsunsäsongen med fullständiga regnobservationer visas i tabell 4-7. De allra största genererade regnen med varaktighet 80 minuter och längre tenderar att vara för låga, medan de största regnen med varaktighet 20 min och kortare tenderar att vara för höga. De något mindre intensiva regnen avbildas dock väl utom 10-minutersregnen, som blir för stora. Det är alltså främst de mest intensiva regnen som modelleras fel. Införandet av fler regnintensitetsnivåer skulle troligen ge bättre resultat, men eftersom regndata med kort tidsupplösning endast fanns för en säsong skulle antalet händelser bli för få för att parameterbestämning skulle vara möjlig.

Tabell 4-7 Regnkaraktistika relaterade till observerade och genererade tidsserier för Mumbai, monsunperioden 2006.

Skala		Max (mm)	2:a högsta	3:e högsta	4:e högsta	5:e högsta
640 min	Observerad	189	124	118	77	76
	Simulerad	173	128	111	98	90
320 min	Observerad	125	100	69,3	69	67
	Simulerad	117	92	78	70	62
160 min	Observerad	102	65	61	59	58
	Simulerad	86	66	57	51	46
80 min	Observerad	82	50	46	45	44
	Simulerad	62	50	43	38	35
40 min	Observerad	41	40	29	28,4	28,2
	Simulerad	48	38	33	30	28
20 min	Observerad	24	22,6	22,6	21	20,8
	Simulerad	36	30	27	25	23
10 min	Observerad	18	16,7	16,2	14,2	13,2
	Simulerad	27	25	22	20	19

Tabell 4-8 Jämförelse mellan simulerad och observerad återkomsttid för mm entimmesregn i Mumbai 1951–2004.

Återkomsttid	Observerad	Disaggregation
2	53	42
5	69	58
10	80	66
50	104	90

Observerade dygnsregn över 50 år har sedan disaggregerats. En lång kort-tidsserie skapas. Man får då värden som är väsentligt högre än de regnintensiteter som används för dimensionering av dagvattensystem i Mumbai. De värden som fås vid disaggregeringen är dock lägre än vad Zope m.fl. (2012) funnit vid mätning av timnederbörd; detta trots att den period för vilken disaggregeringsparametrarna bestämdes var våtare än normalt. Jämförelse mellan de värden som redovisas av Zope från mätningar och de disaggregerade värdena visas i tabell 4-8. Skillnaden är mer än 10 %.

Slutsatsen som kan dras av Mumbaistudien är att det behövs mer än ett års regnobservationer för parameterbestämning och att fler än tre intensitetsgrupper behövs för att kunna avbilda de största regnen.

5 Klimatmodeller för bestämning av dygnsregn

Mer detaljer angående detta kapitel erhålles från publikationerna 11, 12, 13 och 16.

5.1 Test av regionala modeller

För att bestämma framtida klimat måste klimatmodeller användas. Eftersom nederbördens karaktär varierar regionalt och lokalt så kan nederbörds-mönster endast avbildas väl om skalan i klimatmodellerna är reducerad. RCM (Regional Climate Model) data framtagna från GCMs används därför. En förutsättning för att dygns och flerdygnsnederbörd framtagna från RCMs skall kunna användas för bedömning av förhållandena i ett framtida klimat är att de fungerar väl i ett historiskt perspektiv. Jeong m.fl. (2011) har jämfört observerad nederbördsfördelning vid konvektiva regn i Sverige med modellberäknad korttidsfördelning och funnit att simulerade regn tenderar att komma för tidigt på dagen. Antalet nederbördstillfällen tenderar att bli överskattade för Göteborgsområdet, se Hernebring m.fl. (2012). Samuelson m.fl. (2011) visar att SMHIs RCA3 modell för modesta regn ger 1–5 mm/dygn för stor regnintensitet för sommardagar. Vid prognos av framtida förändringar jämför man med modeller beräknad förändring över tid och får på så sätt en förändringssignal. Man får så fram en multiplikator, deltafaktor, som används på historiska data för kvantifiering av framtida nederbörd i olika tidsskala.

I här föreliggande studie undersöks hur väl olika RCMs bestämmer nederbörden i lokal skala, Göteborg. Fem olika RCMs med upplösning 25×25 km används. De olika regionala modellerna är framtagna från två olika GCMs, såsom redovisas i tabell 5-1. Samtliga simulerade data har erhållits från Danmarks meteorologiska institut (DMI). Använda observationer för jämförelse är från Säve för perioden 1961–2009. Ingen korrigering har gjorts av de data som erhållits från DMI. Korrigering för anpassning till observationsdata kan alltid ifrågasättas. Man kan i varje fall i hydrologiska sammanhang genom modellkorrigering få god anpassning mellan modellresultat och observationer också med modeller med mindre god fysikalisk relevans. Avsikten här är jämföra modeller utan korrektion.

Tabell 5-1 Modeller använda för simulering av dygnsnederbörd.

Global modell	Regional modell	Global modell	Regional modell
HadCM3Q0	CLM	ECHAM5-r3	REMO
HadCM3Q0	HadRM3Q0	ECHAM5-r3	RACMO2
HadCM3Q0	PROMES		

Vid extremvärdesanalys har maximalt dygnsregn varje år används för anpassning till GEV-fördelning. För mer modesta regn har Poissonfördel-

ning använts för bestämning av antalet händelser under ett år. Gränsvärdet har satts till 20 mm/år, vilket är ungefär 99 % percentilen. Sådan händelse inträffar i Göteborg 4–5 gånger per år. Trend har undersökts med Mann-Kendalls test. Detta har redovisats i annat kapitel för väsentligt längre perioder. Någon signifikant ökning eller minskning av hög dygnsnederbörd föreligger inte.

Vad gäller de modesta regnen med återkomsttid flera gånger per år är det endast modellen PROMES, som ger resultat nära det observerade antalet händelser överstigande 20 mm/dygn, 4,24 händelser jämfört med 4,65 observerade händelser. Övriga modeller, även om de accepteras av Poissonhypotesen, visar på endast 2–3 händelser per år.

Ett års dygnsregn beskrivs mycket väl av samtliga modeller liksom 2- och 3-dygnsnederbörd. Nederbörden över 7 dygn beskrivs väl endast av två av modellerna. Siffrorna redovisas i tabell 5-2.

Tabell 5-2 Medelvärde (mm) av årsmax dygns- och flerdygnsnederbörd bestämd utifrån observationer och med olika RCMs.

	Obs	REMO	RACMO2	CLM	HadRM3Q0	PROMES
1-dag	35	34	33	34	34	31
2-dag	43	43	43	44	48	42
3-dag	50	49	50	50	55	51
7-dag	74	62	65	66	77	78

För med GEV-fördelning beräknat 10-årsregn är överensstämmelsen mellan modellberäkningar och observationer sämre. Tioårsregnet är cirka 52 mm/dygn för den aktuella perioden. RACMO2, CLM och HadRM3Q0 ger 44–47 mm/dygn, PROMES så lågt som 39 mm/dygn. REMO stämmer bäst och ganska väl med 55 mm/dygn.

Samtliga RCMs bestämmer alltså väl 1-årsregnet. En modell bestämmer frekvensen av modesta regn med återkomsttid ungefär 3 månader väl och en modell bestämmer 10-årsregnet väl; det är dock olika modeller som bestämmer olika typer av händelser väl. Överlag så kan man inte med någon modell statistiskt uppskatta stora regnhändelser inom än som bäst 10 % intervall. Extrema regn med lång återkomsttid bestäms mindre väl.

5.2 Uppskattning av framtida dygnsnederbörd från klimatmodeller

Scenarier framtagna med klimatmodeller tyder på att sannolikheten för stora dygnsregn kommer att öka. GCMs data behöver emellertid korrigeras för att kunna användas på regional och lokal skala. Användandet av RCMs är ett sätt, men RCMs täcker inte alla regioner. Det kan också vara nödvändigt att korrigera utdata från RCMs för anpassning till observerade hydrologiska förhållanden. Man kan använda sig av endera dynamisk eller statistisk nedskalning. Statistisk nedskalning innebär också bias-korrektion, det vill säga statistisk anpassning av modell-utdata till observationer. Vid fördelningsbaserad skalning av nederbörd (DBS) reduceras först antalet nederbördsfria dygn i modellutdata att stämma överens med observationer

genom att ett tröskelvärde för nederbörd sätts. I ett andra steg anpassas nederbörden till en gammafördelning med olika parameterar för låg och hög nederbörd med 95 % percentilen som gräns.

Denna teknik har använts på dygnsnederbörd för Mumbai. Nio olika GCMs har använts och anpassats till observationer för perioden 1975–2004. Modellerna är den kinesiska modellen BCC_CSM.1, den kanadensiska CanESM.1, den norska NorESM_M, den tyska MPI_ESM_LR, de ryska modellen INM_CM4, de båda franska modellerna IPSL_CM5AMR och CERFRACS_CNRM_CM5, den amerikanska från Colorado NCAR_CCSM4, och den engelska modellen HadGEM2_ES.

Utan anpassning avviker modellberäkningar mycket från observationer. Så till exempel ger modell NCAR_CCSM4 årsnederbörd 1 597 mm med standardavvikelse 429 mm, och modell NorESM1_M årsnederbörd så låg som 1 043 mm med standardavvikelse 289 mm, när observationer visar 1 937 mm årsnederbörd med standardavvikelse 370 mm. Efter korrigering blir årsnederbörden i det närmaste korrekt (1 933 mm respektive 2 002 mm) men standardavvikelsen blir fortsatt annorlunda mot den observerade. För de båda modellerna blir den efter bias-korrigering 429 mm respektive 687 mm. Dessa är de två modeller som stämmer bäst respektive sämst överens med observationerna. Trots bias-korrigering placerar dock samtliga modeller monsunregnen fel i tiden. Regnperioden börjar i juni och har avtagit ganska mycket i september. Modellerna visar en förskjutning med en månad.

Dygnsnederbörd med olika återkomsttid beräknas så med de olika korrigerade GCM-värdena. Observerat medelvärde på årsdygnsmax är 154 mm och 50-årsvärdet är 263 mm om Gumbelfördelning används. Med de båda ovan nämnda modellerna erhålles medelvärdena 154 mm respektive 140 mm och för båda modellerna 50-årsvärdena cirka 270 mm. För flerdygnsregn är överensstämmelsen mellan observationer och den bästa modellen fortsatt god, men avvikelsen mellan observationer och modell NorESM1_M är 10–20 %.

Bias-korrigering görs nu på utdata från klimatmodeller framåt i tiden. Medelvärdet från samtliga nio modeller visar på en ökning av årsnederbörden från dagens 1 940 mm till 2 080 mm år 2040, 2 240 mm år 2070 och 2 350 mm år 2100. Modellerna visar fel fördelning av historiska regn. Trots det kan man jämföra modellresultat från historiska regn med framtida regnförhållanden bestämda med modellerna. De olika modellerna visar olika resultat men gemensamt visar de en förskjutning framåt över året av regnfördelningen jämfört med de historiskt modellerade regnen. Monsunregnen kan förväntas inträffa senare under året än vad de gör idag.

Statistik görs på modellerad dygnsnederbörd för att prognostisera framtida förändringar. Om man delar upp perioden fram till 2100 i tre perioder 2010–2040, 2040–2070 och 2070–2100, så finner man för samtliga modeller att det föreligger trender mot såväl ökande som minskande extrem dygnsnederbörd. Det är också så att olika sannolikhetsfördelningar ger olika resultat. Det är alltså svårt att med någon större säkerhet sluta sig till hur extrem dygnsnederbörd kommer att ändras med ökad årsnederbörd. Som visas i tabell 5-3, så ger modell NCAR_CCSM4 en väsentligt bättre än 5 % signifikant ökning av årsmax dygnsnederbörd. Ytterligare tre modeller visar

bättre eller nära 5 % signifikant ökning. Två modeller visar ingen ändring av framtida stor dygnsnederbörd, medan tre modeller visar icke-signifikant (mellan 10 och 20 %) minskad dygnsnederbörd.

Också extremvärdesanalys av framtida dygnsnederbörd blir olika för olika perioder. Medelvärdet av samtliga modeller visar inte på någon tydlig ökning av 50-årsregnet.

Tabell 5-3 Trendanalys av årsmax dygnsnederbörd uppskattad med olika bias-korrigerade klimatmodeller för hela perioden 2010–2099.

Modell	Medel (mm)	Stand dev (mm)	Lutning mm/år	Student t (t)	M-Kend (Z)
BCC_CSM1.1	154	53	0,42	1,91	1,98
CanESM1.1	163	51	-0,33	-1,59	-1,28
INM_CM4	150	56	0,46	2,07	1,89
IPSL_CM5A_MR	158	61	0,16	0,01	0,34
NCAR_CCSM4	179	57	0,52	2,31	2,92
NorESM1_M	148	39	0,30	1,94	2,43
CERFACS	164	51	-0,20	-0,97	-1,19
MPI_ESM_LR	169	51	-0,31	-1,52	-1,46
HadGEM2_ES	162	51	0,13	0,01	0,60
Medel	161	52	0,13	0,46	0,69

Signifikans 5% dubbelsidig uppnås för $t = 1,99$ och $Z = 1,96$.

Trots stora osäkerheter i den här använda metoden för uppskattning av framtida stora dygnsnederbörden är det svårt att finna någon annat förfarande, om inte regionala modeller finns att tillgå. Även då kan bias-korrektion vara nödvändig. Det är också så att uppskattning av verkligt extrem nederbörd såsom 50-årsregnet blir osäkert redan för historiska förhållanden, så uppskattning av dylika framtida regn blir alltid ytterst osäkert.

6 Höga havsnivåer

Mer detaljer angående detta kapitel erhålles från publikationerna 4, 5, 6, 17, 18 och 19.

6.1 Inledning

Översvämningar nära kuster inträffar om havsnivån stiger väsentligt. Kraftiga havsnivåökningar är oftast ganska kortvariga, över några timmar. Vid stora regn och samtida höga recipientnivåer sker kanske dämning i dräneringssystemet och översvämning kan då ske uppströms i systemet. Sannolikheten för att detta skall inträffa är störst om recipientnivån är hög under en längre tid och alltså större i områden där recipienten är en sjö än där recipienten är havet. Dock är det så att man med stor säkerhet förväntar sig att havsnivån skall stiga. I ett framtida klimat med förväntad ökad havsnivå borde därför översvämningar komma att inträffa i kustnära städer med dagvattensystem, som är dimensionerade för dagens eller gårdagens förhållanden. Även om ännu ingen ökning av korttidsregnens intensitet har ökat så visar klimatmodeller på en förväntad ökad regnintensitet. I föreliggande studie har kombinationen höga havsnivåer och stora regn undersökts för några kuststäder i Sverige. Några enstaka översvämningstillfällen har analyserats. De orter för vilka regn–havsnivå samband undersökts är Simrishamn, Trelleborg, Malmö, Helsingborg i södra Sverige och dessutom Halmstad och Göteborg i väst, Kalmar i öst och Luleå längst i norr. En omfattande statistisk analys har gjorts för Göteborg för att söka händelser med längre återkomsttid än 100 år.

6.2 Dataunderlag

Dygnsregn för samtliga städer finns från 1961 till och med 2011. För Halmstad, Göteborg och Kalmar finns dygnsregn sedan ungefär 1880 (något olika för de olika städerna) och för Malmö från 1929. Högupplösta regndata (minutvärden) finns sedan 1980 för Malmö, sedan omkring 1990 för Kalmar, Göteborg, Helsingborg och Halmstad. Havsvattennivåer finns med 1 timmes upplösning för mätstationer nära de undersökta städerna. Tabell 6-1 visar vilka kombinationer av regndata och havsnivådata som använts. Dataserierna för havsnivåer varierar i längd. För Ystad finns en 100-årig serie medan den för Viken, som används vid analys av havsnivåer–regn i Helsingborg, inte börjar förrän 1976. Regndataseriernas fulla längd ges inte i tabellen.

Tabell 6-1 Nederbördsdata och havsnivåobservationer

Regnobservation	Period	Havsnivå obs.	Period
Luleå	1974–2011	Kalix	1974–2011
Kalmar	1960–2011	Oskarshamn	1960–2011
Simrishamn	1982–2011	Simrishamn	1982–2011
Simrishamn	1961–1987	Ystad	1961–1987
Trelleborg	1992–2011	Skanör	1992–2011
Trelleborg	1961–1987	Ystad	1961–1987
Malmö	1929–2011	Klagshamn	1929–2011
Helsingborg	1976–2011	Viken	1976–2011
Halmstad	1967–2011	Ringhals	1967–2011
Göteborg	1967–2011	G-Torshamnen	1967–2011

6.3 Höga havsnivåer – sannolikheter

I detta första resultatavsnitt redovisas havsnivåer för de olika stationerna och sannolikheter för höga nivåer beräknas. I följande avsnitt beräknas sedan först sannolikheter för stora regn och sedan sannolikheter för olika kombinationer av regn–höga havsnivåer.

Återkomsttid för olika höga havsnivåer har beräknats utifrån årsmaxima. Vid återkomst 10 år eller mindre har nivåerna bestämts från rankingpositionen (antalet observationer under perioden dividerat med periodens längd). Vid höga nivåer och långa återkomsttider har GEV (General Extreme Value) fördelning utnyttjats. Resultaten redovisas i tabell 6-2. För återkomsttider mindre än 2 år anses händelser vara oberoende om händelserna är åtskilda minst 20 dagar och vattennivån någon gång under denna period varit lägre än 10 cm.

Tabell 6-2 Återkomsttid (år) för höga dygnsvärdesnivåer samt högsta observerade dygnsmedelnivå.

Cm nivå	70	80	90	100	110	120	Maxnivå
Göteborg	2,1	4,2	15	46			
Ringhals	2,2	4,3	15	47	200-gev		99
Viken	2	4	10	20	70-gev		106
Klagshamn	10	47	100-gev				82
Skanör		12	30	50	100		78
Ystad	3,3	7	14	30	50	100	
Simrishamn	3,3	12	30	70			80
Oskarshamn	10	30	80-gev				82
Kalix				2,1	6	8	142

*) återkomsttid för 130 cm i Kalix är 20 år och för 140 cm 40 år.
gev anger utnyttjande av extremvärdesfunktion.

Dygnsmedelvärden är ganska låga eftersom havsnivåer brukar var höga endast under någon eller några timmar. Återkomsttider för höga timvärdes-havsnivåer ges i tabell 6-3. Dessa värden är för samma återkomsttider upp mot 40–50 cm högre än dygnsvärdena.

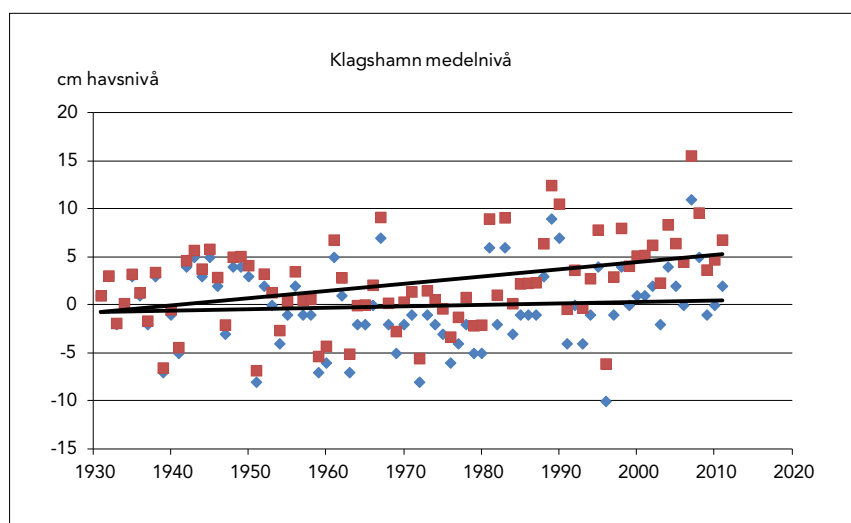
Tabell 6-3 Återkomsttid (år) för höga timvärdesnivåer samt högsta observerade havsnivå. Beräkning med GEV-fördelning anges med gev. 50-årsvärdet $T=50$ anges i cm.

Cm nivå	100	110	120	130	140	150	T=50	Maxnivå
Göteborg	1,9	3,5	6,6	11	18	30-gev	165	150
Ringhals	1,4	2	3,3	4	20	35	161	165
Viken	1,0	2	3	4	8	18	185	166
Klagshamn	3,3	4,5	12	22	40-gev		150	134
Skanör	1,6	2,3	4,2	10	15-gev	25-gev	170	133
Ystad		8	15	25	30	40	146	169
Simrishamn	2,3	5,8	15	20-gev			148	127
Oskarshamn	20	40-gev					113	101
Kalix			2,1	3,5	7	15	185	177

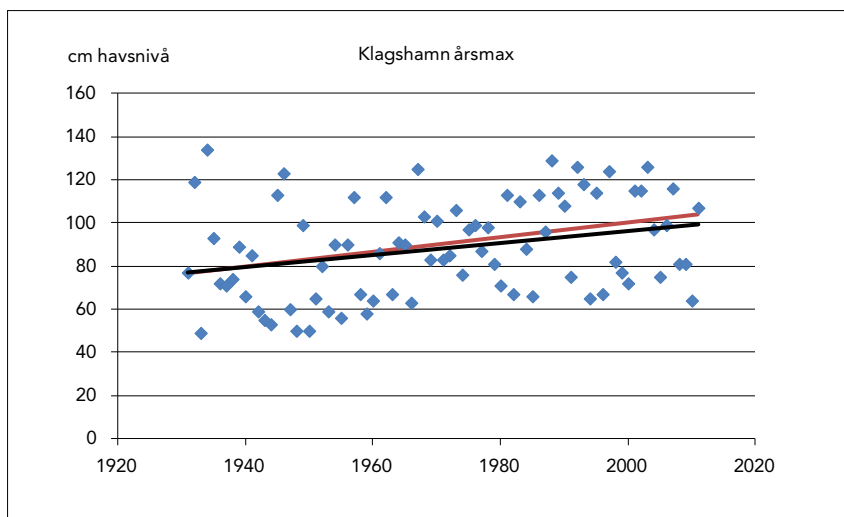
*) återkomsttiden för 160 cm är i Kalix 50 år liksom i Göteborg och Ystad.

De högsta havsnivåerna inträffar i Bottenviken. Medelvattennivån över ett dygn är ytterst sällan högre än 1 meter över normalnivå någon annanstans än i Kalix. I Skanör – Klagshamn finns inga så höga observationer även om det inträffat under kortare perioder. Historiskt finns mycket höga observerade värden; 360 cm, om än osäkert angående noggrannheten, i Abbekås väster om Ystad i november 1872.

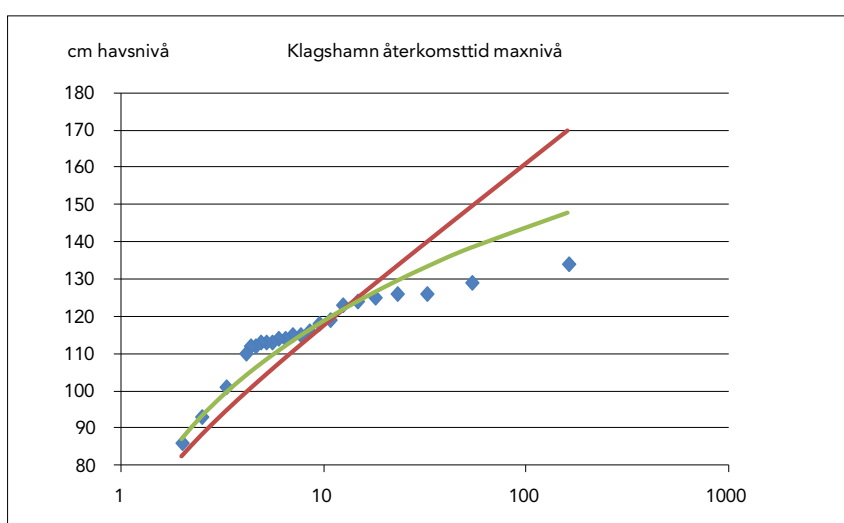
Medelhavsnivån i världen har stigit 10–20 cm under de senaste 100 åren. Här visas exempel från Klagshamn och senare för Ystad. Data för Klagshamn 1930–2011 visar trend mot högre havsnivå. Trenden är signifikant 0,7 mm/år. Landhöjningen 0,6 mm/år, se figur 6-1, tar nästan ut denna ökning. Medelnivån är i sig dock av liten betydelse för översvämning av kustnära områden. Det är de höga vattennivåerna som orsakar översvämningar. Dessa har ökat mer än medelhavsnivån. Maximala timvärden i Klagshamn visas i figur 6-2. Trenden är signifikant ökande (dubbelsidig 1 % för timvärden). Figurerna visar trender med respektive utan hänsyn till landhöjningen.



Figur 6-1 Medelhavsnivå i Klagshamn med (övre linje och fyrkanter) och utan (nedre linje och snedställda fyrkanter) hänsyn till landhöjning. Landhöjningen över 80 år är cirka 5 cm.



Figur 6-2 Årsmax havsnivå vid Klagshamn med och utan landhöjning.



Figur 6-3 Återkomsttid för höga timårsmax av havsnivån vid Klagshamn uppskattad med Gumbelfördelning (rak linje) och GEV (böjd linje). Observerade värden har rankats som $(\text{positionsnummer}-0,5)/\text{antal årsobservationer}$.

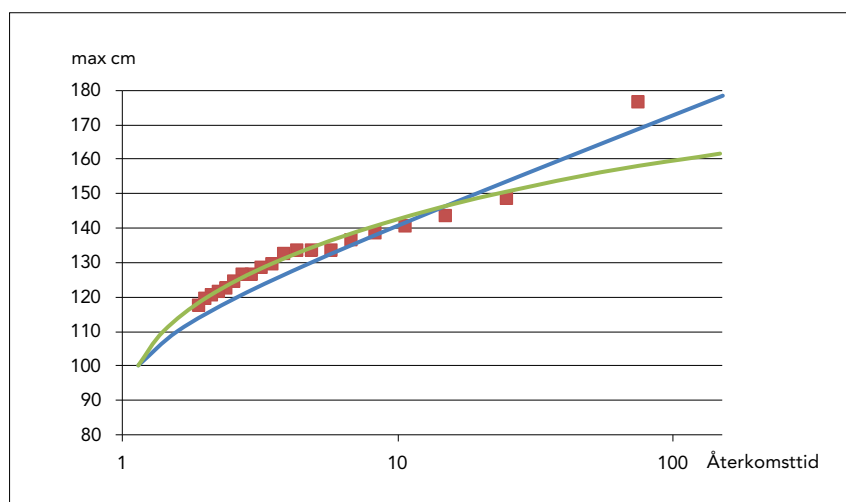
Ökningen av årsmax är mer än 20 cm över perioden (3 mm/år). Det är ändå inte så att dessa 20–25 cm ger upphov till årliga översvämningar. Problemet idag torde vara de allra högsta nivåerna, som inträffar med lång återkomsttid. För att uppskatta sannolikheten för mycket höga nivåer, måste man anpassa observationer till någon sannolikhetsfördelning. Gumbelfördelning och GEV har använts. Observationerna antas vara homogena i tiden. Den ganska ringa trenden har inte beaktats. Anpassningen till observationer från Klagshamn är, som syns i figur 6-3, dålig för Gumbelfördelning och inte heller särskilt bra för GEV. Det gör det svårt att uppskatta 100-årsnivån. Den är nära den högsta nivå som uppmätts, cirka 140 cm.

Återkomsttider för höga havsnivåer har redan visats i tabell 6-3. Förutom i Kalix, figur 6-4, som också har höga dygnsvärdesnivåer, tabell 6-2, så är de kortvariga extremvärdena höga i Viken, norr om Helsingborg, figur 6-5. Anpassningen till extremvärdeskurvorna är god såväl för Kalix som för Viken.

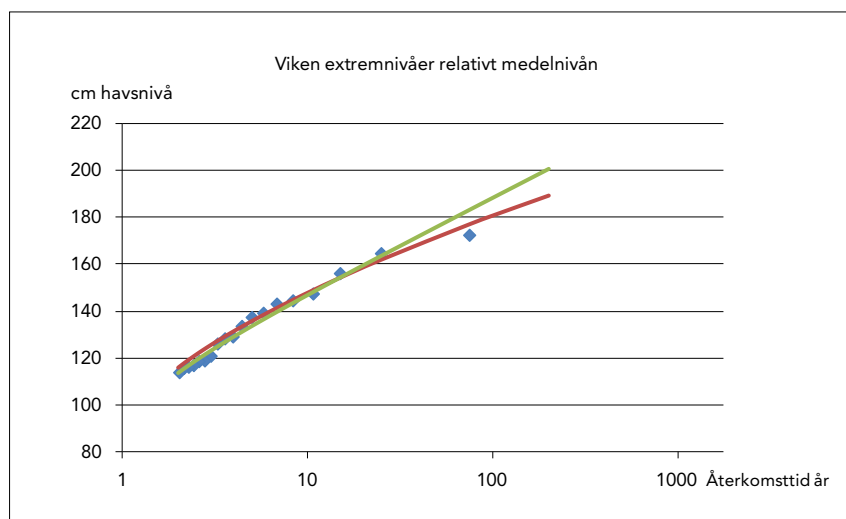
Den högsta observationen i Kalix motsvarar dock med GEV-fördelning en återkomsttid på upp mot 1 000 år. Med Gumbelfördelning blir det 150 år. Figuren för Viken visar havsnivåer relaterade till ändrad havs- och marknivå, vilket beskrivs nedan.

Det är inte helt okomplicerat att bestämma höga havsnivåer eftersom såväl havet som landet höjer sig med tiden. Om havsnivån mätts i förhållande till marknivån skulle till exempel för Ystad, för vilken en lång mätserie finns, uppmätta 100 cm år 1910 med dagens landnivå som är 6 cm högre endast vara 94 cm. Om man relaterar höga havsnivåer till stigande absolut havsnivå (alltså variationer kring medelvärde) och medelhavsnivån från 1910 till 2010 har stigit 10 cm, så skulle, om medelnivån varit lika hög som idag redan 1910, de 100 cm med dagens havsnivå och mätt i förhållande till marknivån varit $100 + 10 - 6 = 104$ cm.

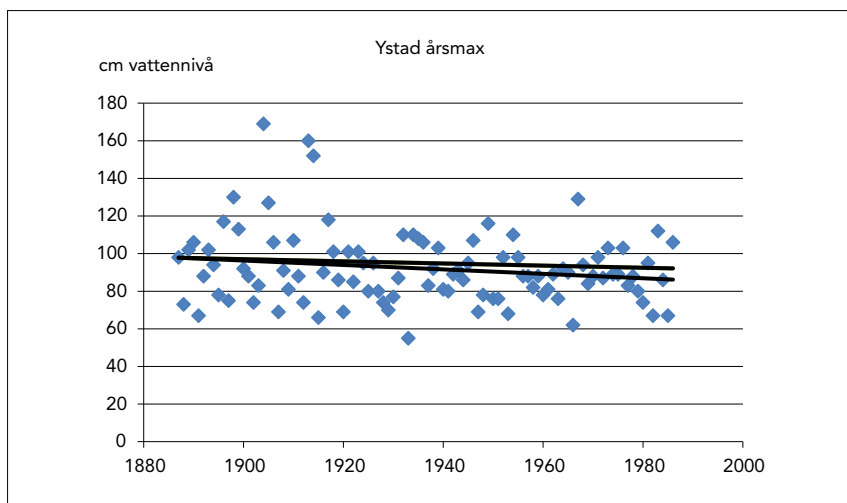
Trendanalys kräver egentligen riktigt långa tidsserier. Sådan finns från Ystad sedan 1880-talet. Årshögstaserien visas i figur 6-6. SMHI-mätningarna sträcker sig inte längre än till 1986.



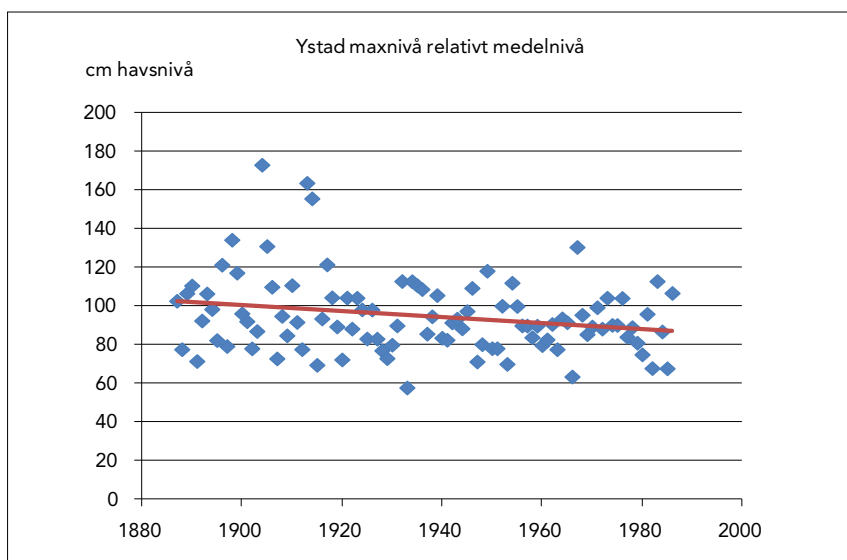
Figur 6-4 Återkomsttid för max årlig högsta vattennivå i Kalix under en timme. Gumbelfördelning rak linje, GEV krökt linje.



Figur 6-5 Återkomsttid för höga havsnivåer i Viken relativt medelhavsnivån över tiden. Gumbelfördelning rak linje, GEV krökt linje.



Figur 6-6 Årsmax vattennivå i Ystad. Trendlinje (ej signifikant) med hänsyn till landhöjning (övre linje) och utan (undre linje).



Figur 6-7 Årsmaxnivå i Ystad relativt stigande medelhavsnivå. Trenden är signifikant.

De högsta nivåerna är uppmätta i börja av 1900-talet. Trenden av höga havsnivåer från 1885 till 1986 är avtagande men ej signifikant oavsett om hänsyn tas till landhöjningen eller ej. Den svagt negativa trenden beror på höga nivåer under början av 1900-talet. Efter 1920 finns ingen trend. Maxnivån relativt stigande medelhavsnivå visas i figur 6-7, för att undersöka om maxnivån ändrar sig mer eller på annat sätt än medelhavsnivån. Högsta värdet 175 cm har en återkomsttid på cirka 200 år.

6.4 Kombinationer av höga havsnivåer och regn

När havet stiger är det rättframt vilka ytor som översvämmas. Om det regnar i samband med att havet står högt försvåras för regnvattnet att nå havet och ytor längre från havet kan översvämmas. Sannolikheter för olika kombinationer höga havsnivåer och regn undersöks i det följande.

En sammanställning av undersökningen visas i tabell 6-4 och tabell 6-5. En mer genomgripande analys av förhållandena i de olika orterna görs längre fram i texten. Skillnaden mellan tabellerna är att dygnsmedel används i tabell 6-4 medan högsta värdet under en timme används i tabell 6-5. Dygnsregn används i båda tabellerna eftersom havsnivåer brukar ha samband med frontalregn men inte med kortvariga konvektiva regn. Översvämning över större ytor brukar orsakas av de längre regnen. Det är inte heller möjligt att finna uppgifter om kortvariga regn för de tider då havsytan varit hög vid alla de orter för vilka samband mellan havsnivå och nederbörd analyserats.

Tabell 6-4 Återkomsttid (år) för olika kombinationer av regnhändelser (p) och höga dygnsmedelnivåer i havet (h).

		P=40 mm/d	P=30 mm/d	h=80 cm	h=100 cm	h=120 cm	P=20 h=30	P=30 h=30	P=30 h=50
Luleå	Kalix	10	2,0		2	8	4	10	–
Kalmar	Oskhamn	6	2,0	40		–	9	30	70
Simrishamn	Simrishamn	3,2	1,0	25	80	–	3	25	–
Trelleborg	Skanör	6	2,0	20			7	20	20
Malmö	Klagshamn	5	1,7	40			17	45	
Helsingborg	Viken	3,4	1,2	4	20		5	40	
Halmstad	Ringhals	2,7	0,8	3	40		3	12	
Göteborg	Göteborg	4	1,0	4	50		2	9	

Tabell 6-5 Återkomsttid (år) för olika samband mellan dygnsregn (P mm/d) och högsta havsnivå (h cm) under en timme för aktuellt dygn.

		P=40 mm/d	P=30 mm/d	h=80 cm	h=100 cm	h=120 cm	P=20 h=40	P=30 h=40	P=30 h=50
Luleå	Kalix	10	2,0	<1	<1	2	3	10	–
Kalmar	Oskhamn	6	2,0	8	30	–	3	12	60
Simrishamn	Simrishamn	3,2	1,0	<1	3	25	2	25	–
Trelleborg	Skanör	6	2,0	<1	2	7	2	7	10
Malmö	Klagshamn	5	1,7	1,3	3	10	7	25	100
Helsingborg	Viken	3,4	1,2	<1	<1	3	4	13	20
Halmstad	Ringhals	2,7	0,8	<1	2	5	2	12	40
Göteborg	Göteborg	4	1,0		2	7	<1	4	12

Det är inte vanligt att stora regn inträffar då havsnivån är hög. Det framgår av tabellerna att dygnsnederbörd 30 mm endast inträffat på två orter i samband med att havsnivån som medelvärde över dygnet varit större än 50 cm över havets medelnivå. Kombinationen dygnsnederbörd 30 mm och maximal havsnivå under dygnet större än 50 cm har inte inträffat i Luleå eller i Simrishamn och har för övriga orter en återkomsttid större än 10 år upp mot 100 år. Händelsen är jämförbar med dygnsnederbörd 50–100 mm/d. Sannolikheten för dygnsregn 50 mm i kombination med havsnivå 50 cm är störst i Trelleborg och i Göteborg med återkomsttid cirka 10 år. Eftersom de sannolikheter som beräknats för Simrishamn och Trelleborg är olika får man dock vara försiktigt att dra långtgående slutsatser.

Kombinationen dygnsregn 20 mm och medelhavsnivå 30 cm under dygnet inträffar med återkomsttid 2–10 år, och mer sällan än så i Malmö. Dygnsregn 20 mm och havsnivå 50 cm någon gång under dygnet har ungefär samma återkomsttid. Samband hög havsnivå och stora dygnsregn är sällsynt.

Allmänt så är havsnivån ofta hög på hösten men de största regnen faller på sommaren. Detta indikerar ett möjligt negativt samband mellan nederbörd och havsnivå. Detta har närmare undersökts för Göteborg och redovisas i tabell 6-6. Alla dagar, 6 000, med nederbörd 1 mm eller mer har tagits med. Det finns inget samband om dygnsnederbörden är mindre än 20 mm, men för större regn finns ett omvänt samband. Det måste understrykas att detta inte gäller vid tyfoner och likande stormar i varmare områden.

Tabell 6-6 Samband dygnsregn och vattennivåer i Göteborg. Medelregn anger medelvärde av regnen större än vad som anges till vänster.

Dygnsregn > mm	Medelregn mm	Medelv y cm	Antal obs.	Korrkoef.
1	6	6	6 000	0,10
5	10	9	2 800	0,03
10	15	10	1 220	-0,02
20	26	10	240	-0,12
30	38	8	51	-0,28
40	49	4	14	-0,63

Återkomsttiderna angivna i tabell 6-4 och tabell 6-5 är framtagna direkt från observationsdata så att till exempel 10 händelser under 40 år ges en återkomsttid $(40+1)/10=4$ år. Om endast få händelser inträffat behöver återkomsttider bestämmas med någon mer avancerad statistisk metod. Det gäller naturligtvis också om man söker extrema händelser som aldrig hittills inträffat. I det fall endast en parameter undersöks, som endera nederbörd eller havsnivå, kan frekvensanalys utnyttjas och anpassning göras till någon fördelningsfunktion.

För beräkning av sannolikhet för kombination av stora regn och höga havsnivåerna försöks här en beräkningsteknik baserad på samband mellan modesta regn och höga havsnivåer och fördelning av regnvolymer. Beräkningsmetodik för långa återkomsttider förklaras nedan med Göteborg som exempel.

Direkt ur observationsdata av faktiska händelser fås återkomsttider enligt tabell 6-7. Ettårsregnet är cirka 33 mm/d och ett års havsnivå är cirka 100 cm. Kombinationen har en återkomsttid på 50 år. En händelse bör ha skett ett antal gånger för att återkomsttid skall kunna beräknas direkt från antalet händelser under en tidsperiod. Återkomsttiden 11 år sätts som gräns för att observationsvärden skall användas direkt. Det behöver alltså då under en 50-årsperiod ha inträffat 4 händelser. Man får då kvar de värden som visas kursivt och med fet stil i tabell 6-7.

Tabell 6-7 Återkomsttider (år) baserade på faktiska observerade kombinationer av dygnsnederbörd i Göteborg och högsta havsnivå under en timme. Andra kolumnen visar återkomsttid för havsnivå oberoende av nederbörd. Kursivt och med fet stil skrivna värden accepteras utan vidare sannolikhetsanalys.

Nivå	Cm	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
mm/d													
0						<1	1,1	2,4	5	9	15	22	45
5					<1	1,7	2,2	6,7	9	11	22	45	–
10				<1	1,5	3,7	4,7	7	22	45	–	–	–
15			<1	1,8	3,5	8	11	45					
20	<1	1,1	2,1	7	11	45	45						
25	<1	2,8	5,1	15	22	45	45						
30	<1	5,3	11	45	45	45	45						
40	4	45											
50	11												

$$\text{Det gäller } \Pr(p > p_x \cap h > h_x) = \Pr(p > p_x | h > h_x) \times \Pr(h > h_x)$$

där $\Pr$ = probabilitet, p = nederbörd och h havsnivå. Sambandet säger att sannolikheten för att $p > p_x$ samtidigt som $h > h_x$ är lika med sannolikheten att $p > p_x$ då $h > h_x$ multiplicerat med sannolikheten för att $h > h_x$. Om nederbörden och havsnivån är oberoende så är

$$\Pr(p > p_x \cap h > h_x) = \Pr(p > p_x) \times \Pr(h > h_x)$$

Nederbörd och havsnivå är inte oberoende. Samband söks. Eftersom kombinationer mycket stora och höga havsnivåer är få bestäms först samband för alla regn större än 5 mm/dygn. Antalet dygn med havsnivå > 20 cm och samtidig dygnsnederbörd > 5 mm utgör 10 % av alla dygn, $\Pr(p > 5 \cap h > 20) = 0,10$. Sannolikheten för att havsnivån någon dag skall vara högre än 20 cm är 0,33, $\Pr(h > 20) = 0,33$. Sannolikheten för att det regnar minst 5 mm om havsnivån överstiger 20 cm blir då 0,31 beräknad enligt

$$\Pr(p > 5 \cap h > 20) = \Pr(p > 5 | h > 20) \times \Pr(h > 20),$$

men fås också direkt ur observationsdata.

Sannolikheten för nederbörd > 5 mm/dygn undersöks sedan för olika högre havsnivåer $\Pr(p > 5 \cap h > h_x)$. Man finner då att för alla h upp till 90 cm så är $\Pr(p > 5 | h > h_x)$ mellan 0,33 och 0,38 med 0,36 som medelvärde. Det betyder att sannolikheten för en händelse $p > 5$ mm/d och $h > h_x$ kan beräknas som $\Pr(h > h_x) \times 0,36$.

I nästa steg undersöks fördelningen av dygnsnederbörd om denna är minst 5 mm/dygn, $F(p|p > 5)$. Man finner att fördelningen är oberoende av havsnivån om nederbörden inte är större än 15 mm/d och havsnivån inte överstiger 100 cm, se tabell 6-8, som visar sannolikhet för regn större än p_x om det regnar minst 5 mm under dygnet. Man kan då beräkna fördelningen utifrån stor mängd data. Vald fördelningsfunktionen framgår av vänstra kolumnen i tabell 6-9. Approximationer behövs för större regn och högre vattennivåer.

Vid nivåer högre än cirka 70 cm minskar sannolikheten för dygnsregn större än 15 mm/d. Det finns för få värden för bestämning av regnfördel-

ningen för olika havsnivåer. Det verkar inte som sannolikheten för stora regn minskar med ökad havsnivå, utan att sannolikheten för stora regn är ungefär samma för alla nivåer större än 70 cm. Fördelningen av regn 20–30 mm/d bestäms därför för 70 cm nivån och behålls för högre nivåer. Använda fördelningar visas i tabell 6-8.

Tabell 6-8 Sannolikhet ($F = \Pr(p > p_x | p > 5)$) för olika dygnsnederbörd (mm) och havsnivå (h).

	h > 10 cm	h > 20 cm	h > 40 cm	h > 60 cm	h > 80 cm	h > 100 cm
F(p>px=5)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
F(10)	0,46	0,47	0,47	0,45	0,47	0,41
F(15)	0,21	0,21	0,23	0,22	0,21	0,18
F(20)	0,092	0,097	0,097	0,087		
F(25)	0,039	0,039	0,035	0,040		
F(30)	0,018	0,019	0,019	0,018		
F(35)	0,011	0,011	0,009			
			(2 obs)			
F(40)	0,0050	0,0051				

Tabell 6-9

Sannolikhet ($F = \Pr(p > p_x | p > 5)$) för olika dygnsnederbörd (mm) och havsnivå (h).

Nivåintervall	h ≤ 60 cm	h > 70 cm
F(p > px = 5)	1,00	1,00
F(10)	0,46	0,46
F(15)	0,21	0,21
F(20)	0,09	0,050
F(25)	0,037	0,025
F(30)	0,019	0,010
F(35)	0,010	
F(40)	0,005	

Nu kan sannolikheter för olika kombinationer också sådana som sällan inträffat uppskattas:

$$\Pr(p > p_x \cap h > h_x) = F(p_x | p > 5) \times \Pr(p > 5 \cap h > h_x)$$

eller

$$\begin{aligned} \Pr(p > p_x \cap h > h_x) &= F(p_x | p > 5) \times \Pr(p > 5 | h > 20) \times \Pr(h > h_x) \\ &= F(p_x | p > 5) \times 0,36 \times \Pr(h > h_x) \end{aligned}$$

vilket är fördelningen av nederbörden om $p > 5$ mm/dygn $\times$ sannolikheten $p > 5$ mm om h är mellan 20 och 90 cm $(0,36) \times$ sannolikheten $h > h_x$.

Man täcker in dygnsnederbörd upp till 40 mm/dygn och havsnivåer upp till 100 cm. Resultaten visas i tabell 6-10a och kan jämföras med resultat från direkta observationer, tabell 6-7.

Tabell 6-10a Återkomsttider (år) för olika kombinationer (nederbörd (mm/d) och havsnivå (cm) beräknade utifrån regnfördelning då dygnsnederbörden överstiger 5 mm/d.

Cm	50	60	70	80	90	100
mm/d						
0			<1	<1	<1	1,0
5			<1	<1	1,6	2,1
10		<1	<1	1,5	3,3	4,5
15		<1	1,8	3,5	8	10
20	1,1	2,2	7	14	27	38
25	3,0	5,3	14	27	53	74
30	5,7	10,5	40	75	150	200
35	10	18	70	130	250	
40	22	40	150	300		

För större h än 100 cm måste ytterligare antaganden göras. Det finns för få värden för direktbestämning av $\Pr(p > 5 \cap h > h_x)$. Det gäller ju $\Pr(p > 5 \cap h > h_x) = \Pr(p > 5 | h > h_x) \times \Pr(h > h_x)$ där $\Pr(h > h_x)$ kan bestämmas ur frekvensfördelning, så med värde på $\Pr(p > 5 | h > h_x)$ skulle sannolikheten för kombinationen höga havsnivåer och nederbörd större än 5 mm/d kunna bestämmas. Man behöver anta, att, som för $h < 100$ cm, $\Pr(p > 5 | h > h_x)$ är cirka 0,36 också för högre havsnivåer.

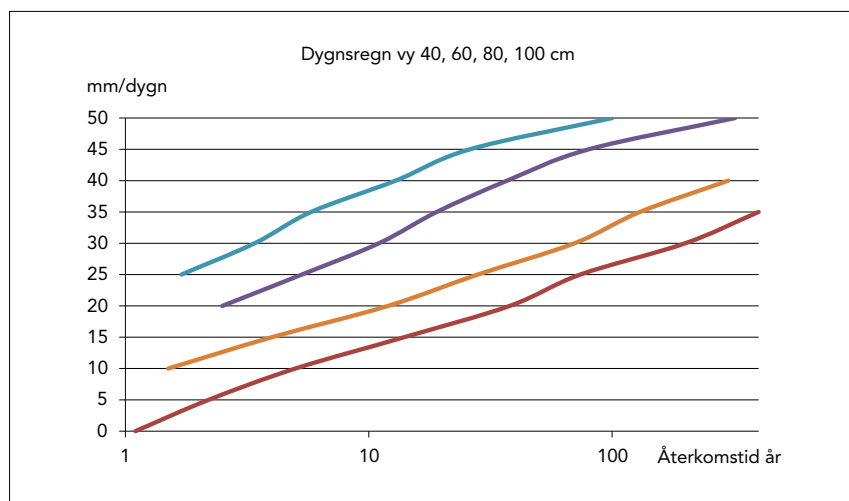
Sannolikheten $h > 100$ cm och > 110 cm kan beräknas ur observationsdata. För större h finns för få värden för att lita på direkta observationer. Därför görs anpassning till Gumbelfördelning. Parametrar bestäms från medelvärde och standardavvikelse endera från årsmax eller på alla oberoende observationer större än $h = 110$ cm. Resultatet blir nästan exakt lika. Parametrar: $a = 21$ cm och $b = 88$ cm.

Med Gumbelfördelning för sannolikhet för de högsta havsnivåerna fås slutligen sannolikheter också för de mest extrema kombinationerna av havsnivå och nederbörd. Sambandet $\Pr(p > 5 \cap h > h_x) = F(p | p > 5) \times \Pr(p > 5 | h > 20) \times \Pr(h > h_x) = F(p | p > 5) \times 0,36 \times \Pr(h > h_x)$ används. Resultat visas som återkomsttid i år i tabell 6-10b.

Figur 6-8 visar återkomsttid för dygnsregn vid olika havsnivåer.

Tabell 6-10b Återkomsttid (år) för olika kombinationer dygnsnederbörd och havsnivå. Beräknade återkomsttider större än 300 år visas inte.

h cm	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
P mm/d											
0						1,1	3	5	8	12	20
5					1,7	2,2	7	14	22	35	54
10				1,5	3,7	5	21	32	50	75	120
15			1,7	3,3	7	14	45	70	100	160	260
20	1,1	2,2	7	14	27	38	180	300			
25	3,0	5	14	27	53	74					
30	6	11	40	75	150	200					
35	10	18	70	130	250						
40	22	40	150	300							



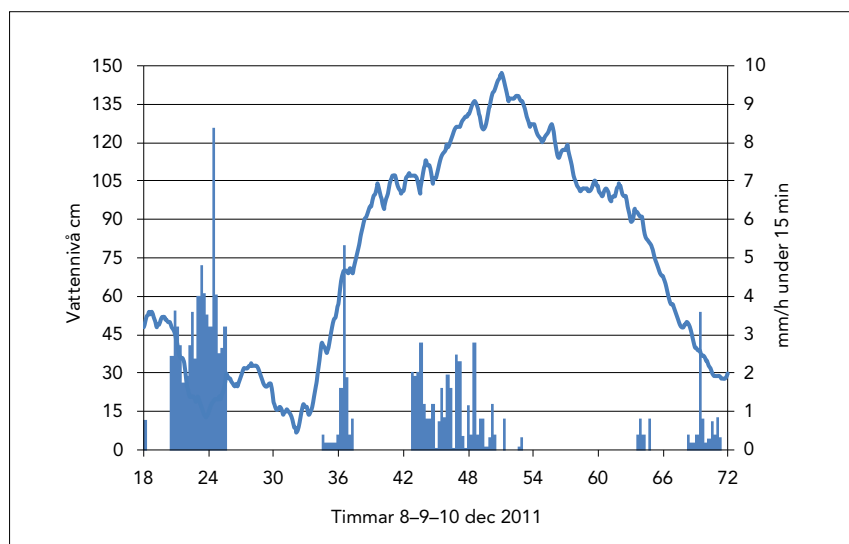
Figur 6-8 Återkomsttid för olika kombinationer av hög timvattennivå och stora dygnsregn i Göteborg. Övre kurvan är för nivå 40 cm; sedan fallande nedåt 60, 80 och 100 cm.

6.5 Händelser med kort tidsupplösning

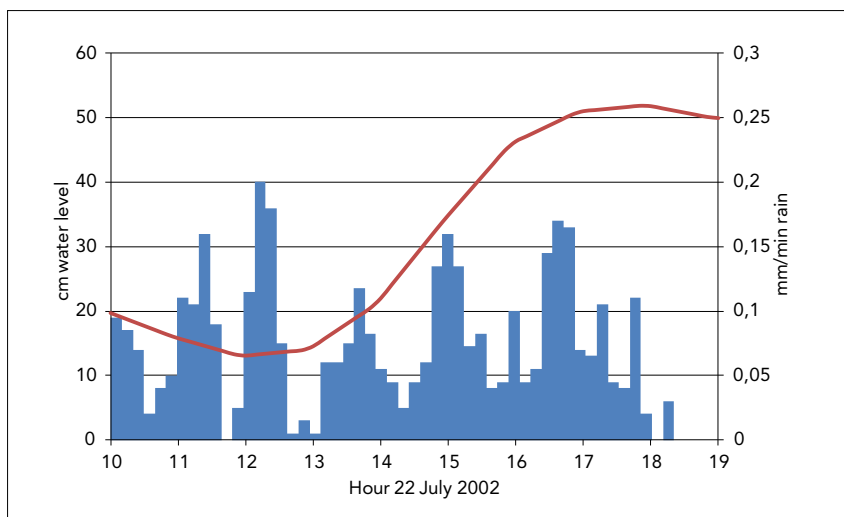
Verkligt höga havsnivåer varar endast kort tid, högst några timmar. Intensiva regn varar också endast under kort tid. De är de långvariga regnen som ger översvämning över stora ytor. Sannolikheten att intensiva korta regn inträffar när havsytan står högt är liten. Kombinationer regn med hög intensitet samtidigt som havet står högt är därför svåra att finna. Därför visas endast några exempel i text nedan utan försök till statistisk analys. Först hänvisas emellertid till en studie från Malmö av Hernebring m.fl. (2012). Man jämförde regnvolymer över timme med vattennivån i Malmö kanal, som står i direkt anslutning till kanalen. Vid nivå 8 cm över medelvattennivån, som i kanal var 12 cm över 0-nivån, observerades regnvolymer 15 mm/tim, vilket motsvarar 2-årsregnet, vid två tillfällen under 10 år. Kombinationen kanal-nivå större än 8 cm över medelnivån, havsnivå större än 20 cm, och regnintensitet större än 10 mm/tim (1-årsregnet) har inträffat 8 gånger under åren 1999–2009. Detta är nivåer mycket lägre än de som diskuterats i den föregående analysen med dygnsregn.

Det första exemplet, som visas här, är från Göteborg december 2006, figur 6-9. Det föll ungefär 15 mm regn under 5 timmar kring midnatt 8–9 december, då havsnivån var ungefär 30 cm, och sedan knappt 10 mm nästa midnatt då vattenytan var nära 150 cm. Den största regnvolymen under en enskild timme var 15 mm med max intensitet under 15 minuter motsvarande 0,6 mm/min. Regnet kan endast haft ringa del i de översvämningar som uppstod.

Ett annat exempel visas för Helsingborg, figur 6-10. Under 8 timmar föll 45 mm regn samtidigt som havsnivån steg från 20 cm till 50 cm. Om man jämför med sådana kombinationer havsnivå och nederbörd som gett upphov till översvämning i Malmö, tabell 1-1, så borde det funnits risk för översvämning. Marklutningarna är ju dock annorlunda i Helsingborg och Malmö.



Figur 6-9 Havsnivå och nederbörd i Göteborg 8–10 december 2006. Dygn 9 december är mellan timme 24 och 48.



Figur 6-10 Havsnivå (Viken) och nederbörd i Helsingborg 22 juli 2002.

6.6 Jämförelse av översvämning vid extrema regn och/eller havsnivåer

Göteborg är en av de städer i Sverige vars centrala delar kan komma att påverkas mest av höga recipientnivåer och stora regn. I detta avsnitt försöks grovt klargöras var konsekvenser av extrema vädersituationer blir störst och vilka skillnader som kan förväntas vid olika extrema situationer. En lågt liggande central del av Göteborg med utbredning 93 ha och belägen mellan kanaler studeras. Ytvattenmodellen MIKE21 används. Randvärde är varierande vattennivå i hamnen (Torshamnen). Vattennivån har dels hållits kring årsmedelmax av havsnivån, drygt 100 cm, och dels varierat som vid ett tillfälle då högsta vattennivå 150 cm uppmätts men med simulerad högsta nivå 165 cm. Som regn används Chicago design regn med återkomsttid 1 år (p_1 totalt 30,5 mm) respektive 100 år (p_{100} total regnvolym 90 mm). Man får alltså fyra olika fall. Det måste sägas att redan fallet med årshögt vattenstånd och årsmedel maximalt regn är en sällsynt händelse med, som redan påpekats, en återkomsttid på 50 år.

En digital höjdmödel hämtad från den svenska nationella elevationsmodellen används. Upplösningen är 2×2 m. Alla byggnader har lyfts 4 meter vid simuleringarna för att vid beräkningarna göra det möjligt för regnvatten att röra sig. Det antas att förhållandena är sådana att mestadelen av avrinnande vatten rör sig på ytan eftersom regnet är större än dimensionerande regn och högt vattenstånd i varje fall till del blockerar transport i ledningarna. Detta är naturligtvis en stor förenkling i varje fall för den kortare återkomsttiden 50 år. Vid årshögt havsnivå har nivån hållits konstant, medan för 165 cm exemplen de 165 cm hållits på högsta nivå endast under kort tid.

Resultat från beräkningarna sammanfattas i tabell 6-11. Översvämningens storlek har indexerats med index 1 satt för 50-årshändelsen. Vid endast årshögt vattennivå sker översvämning mest högt uppströms och vid mycket hög vattennivå sker översvämning mest intill hamnen.

Skillnaderna mellan de fyra fallen är små till stor del beroende på att stora översvämningar, nära 20 % av ytorna, uppstår redan för det minst extrema

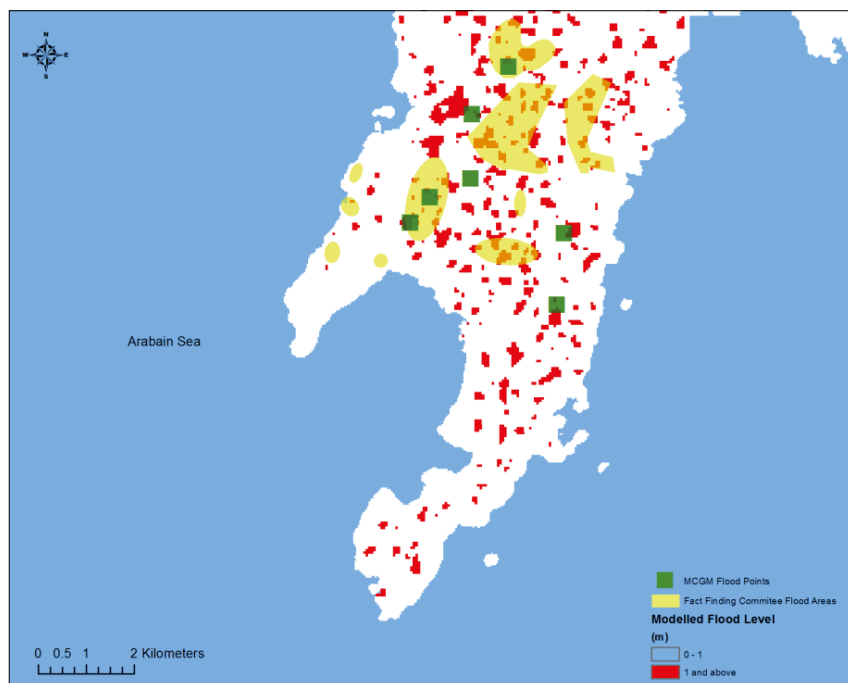
fallet. De små skillnaderna tyder på att beräkningsantagandena kan ifrågasättas. Beräknade översvämningsytor för fallet $h = 100$ cm / 1-årsregn överskattas när ledningarnas roll ej beaktas. Det vatten som skulle gå i ledningssystemet är ungefär lika stort för båda typerna av regn vid så höga havsnivåer som över 100 cm. Dessutom överskattas översvämningsytorna vid den lägre havsnivån eftersom havsnivån hålls konstant så pass hög som 100 cm och inte får variera som i de mest extrema fallen. När högsta havsnivån sätts till 165 cm, så simuleras stigning av havsnivån under 8 timmar från 100 cm till 165 cm och sedan motsvarande sänkning under 8 timmar. Maxintensiteten av regnet inträffar inte samtidigt med maxnivån i havet.

MIKE21 borde ändå kunna användas utan att hänsyn tas till ledningssystemet för simulering av ytvattenavrinning i urbana områden vid riktigt stora regntillfällen. Simuleringar har gjorts för Mumbai. Här är förhållandena annorlunda än i Göteborg. Vid det största regn som finns registrerad, 944 mm under en julidag 2005, steg tidvattnet till 4,5 meter och hindrade regnvatten från att nå havet. Skuggade områdena (gult i färgbild) i figur 6-11 visar de områden som vid en översyn efter regntillfället ansågs varit mest utsatt för översvämningsdjupet. Åtta stora regntillfällen har sedan modellerats med Mike21. Mike11 användes för bestämning av randvärden, vilka utgjordes av floden Mithi. De olika observerade regntillfällen varierade som dygnsregn mellan 170 mm och 290 mm. Ungefär samma ytor beräknades skola bli översvämmade vid de olika regnen. Ytor för vilka översvämningsdjupet förväntas vara 1 meter också för det minsta regnen visas med mörk färg i figur 6-11. Fyrkanter markerar de mest känsliga punkterna, vilka också var de områden som drabbades värst av det stora juliregnet. Mumbaistudien tyder på att man vid modellsimuleringar kan bortse från ledningssystemets funktion vid mycket extrema regn- och havsnivåförhållanden.

Tabell 6-11

Med MIKE 21 beräkningar uppskattade skillnader av översvämningsytor i centrala Göteborg vid olika extremhändelser. Index 1 har getts händelsen havsnivå 100 cm och 1-årsregn, en händelse med återkomsttid 50 år.

	1-års regn	100-års regn
H = 100cm	1,00	1,07
H = 165 cm	1,04	1,10



Figur 6-11 Karta visande översvämningsytor med större djup än 1,0 meter i Mumbai dels beräknade (mörka, röda) med Mike21 och dels observerade (skuggade, gula). Fyrkanter visar känsliga lågpunkter.

Hernebring och Mårtensson (2013) diskuterar hur man kan använda MIKE21 för beräkning av flöden på marken och beräkning av översvämningssytor. Man diskuterar schablonmässiga antaganden om exkludering av det regn som förväntas transporteras i ledningsnätet. Man diskuterar också koppling av 1-dimensionell dagvattenmodell till ytvattenmodellen. Vid ovan beskrivna beräkningar för Göteborg gick det inte att få fram några resultat, kanske beroende på de extrema förhållandena som simulerades. Som Hernebring och Mårtensson antyder är det viktigast att ha höjdsättningen klar för sig och identifiera lågpunkter i terrängen.

7 Urbant avrinningsbidrag från icke-hårdgjorda ytor vid extrema regn

Mer detaljer angående detta kapitel erhålles från publikationerna 5, 6 och 9.

En omfattande modellstudie gjordes för ett område i Kalmar för att undersöka ett dagvattenssystems funktion idag och vid framtida stora regn. Studien beskrivs av Berggren m.fl. (publ. 6) med fokus på klimateffekt. I avsnittet här nedan läggs fokus på i vilken utsträckning hänsyn skall tas till icke-hårdgjorda ytor vid simulering av extrema regnhändelser.

Blockregn, någon form av standardiserat regn eller observerade regnserie kan användas för dimensionering av ledningssystem. Man måste då använda blockregn med olika varaktighet för olika delar av ledningssystemet. Det gör att blockregn inte lämpar sig helt bra för analys av ledningssystemets funktion, till exempel Arnell (1982), vilket också framgår av denna studie. Vid analys av ledningssystemets funktion är det ganska standard att använda sig av någon urban avrinningsmodell med typregn eller observerade regn som indata. Man söker kritiska punkter i systemet. Vid mycket extrema regn kan icke-hårdgjorda ytor ge stort tillskott till avrinningen. Analys av systemen blir då mindre rättfram. Här diskuteras de icke-hårdgjorda ytornas roll. I detta korta avsnitt diskuteras också hur beräknad avrinning påverkas av val av klimatändringsfaktorer.

Klimateffekt i ett förväntat nytt klimat erhålls vanligast genom att jämföra simuleringsresultat för dagens klimat med resultat erhållna med förändrade regnindata. Man kan välja att multiplicera dagens regnvärden med en konstant faktor eller med beroende på regnintensitet och årstid varierande faktor, Olsson m.fl. (2009). Faktorerna kan uppskattas från klimatmodeller med bias-korrigerings.

Den urbana delen av Kalmarområdet är 54 ha med 37 % hårdgjord yta. Koncentrationstiden för området är 50–60 minuter men de regn som ger mest kritiska flöden har varaktighet 15–30 minuter. Ytavrinning från icke-hårdgjorda ytor spelar roll vid de största regnen. De observerade regn som används har återkomsttid 2–5 år, men ett regn har varit så stort att det motsvarar återkomsttiden 100 år. Data för de observerade regnen visas i tabell 7-1. Vid modellering av regn och avrinning i ett framtida klimat har inte försök gjorts att beskriva markförhållanden och avdunstning på annorlunda sätt än i dagens klimat.

Tabell 7-1 Stora observerade regn i Kalmar med varaktighet t_d (tim) och återkomsttid T (år).

Datum	Regnvol. mm	t_d	T	T regn 15 min	T regn 30 min	T regn 60 min
1994-09-09	28	8 tim	2	1,8	2,5	2,3
1996-06-19	13	2 tim	2	2,5	1,4	0,8
1997-07-27	15	2 tim 20 m	5,4	6,2	3,7	1,9
2002-07-24	12	50 min	2	3,2	1,8	0,9
2003-07-29	93	7 tim	90	60	80	70

Det finns 440 brunnar (noder) i det studerade dagvattenssystemet i Kalmar. Vid ett 100-årsregn visar såväl simulering med artificiellt regn som med observerat regn att vid ungefär 200 punkter når vatten från ledningssystemet upp till markytan. För 2-årsregn inträffar översvämning i 2–3 punkter. Simuleringar för artificiella regn och observerade regn med samma återkomsttid ger väl överensstämmande modellresultat. För det stora regnet med mer än 90 mm nederbörd och återkomsttid nära 100 år visar beräkningarna på att 40 % av avrinnande vatten kommer från icke-hårdgjorda ytor. För artificiellt 10-årsregn är motsvarande siffra 10 %.

När klimateffekt, förstöringsfaktor 1,2, läggs på regnen ökar antalet översvämningsspunkter för 100-årsregn till cirka 240 och för 2-årsregn till cirka 8. Ökningen är alltså för det stora regnet inte särskilt stor jämfört med dagens klimat, men de icke-hårdgjorda ytornas roll behöver undersökas närmare. Med konstant förstöringsfaktor ökar regnvolym och regnintensitet på samma sätt medan med varierande förstöringsfaktor intensiteten ökar mer än regnvolymen. Det spelar ändå inte särskilt stor roll för beräkningsresultaten om konstant eller varierande förstöringsfaktor läggs på regnet. Den enda egentliga skillnaden mellan simuleringsresultat med konstant och varierande förstöringsfaktor på observerat regn erhöles för ett 2-årsregn som inträffade i september. Detta beror på att septemberregn räknas som vinterregn och regnet därför förstoras upp mer än om det varit ett sommarregn.

Försök har gjorts att bättre uppskatta hur bidrag från icke-hårdgjorda ytor kommer att bidra till den urbana avrinningen i ett framtida klimat. MikeSHE har tillämpats på en liten yta. Regnet har uppgraderats. Potentiell avdunstning har tagits från klimatmodellresultat publicerade av Kjellström m.fl. (2005). MikeSHE-simuleringar med de observerade 5 regnen uppgraderade till 2070–2099 värden visar på en ökning av avrinningen från de icke-hårdgjorda ytorna för septemberregnet med 9 % (mest beroende på att vinterförstöringsfaktor använts), vilket betyder att det procentuella bidraget från icke-hårdgjorda ytor knappast förändras vid annorlunda regnklimat. Viktigare är det ökade bidraget från det riktigt stora 100-årsregnet år 2003. Ytavrinningens procentuella ökning är ringa, 4 %. Det betyder att den icke-hårdgjorda ytans procentuella bidrag till avrinningen förväntas minska, men det betyder också att klimateffekten reduceras i områden och för sådana regn där avrinningsbidraget från icke-hårdgjorda ytor är betydande. Sett för hela avrinningsområdet i Kalmar är dock det stora regnet det enda som ger stort avrinningsbidrag från de icke-hårdgjorda ytorna.

Vi riktigt stora regnhändelser behöver hänsyn tas till bidrag från icke-hårdgjorda ytor vid beräkning av flöden i ledningssystem. Man kan då behöva detaljberäkna avrinningen från dessa ytor. Klimateffekten vid ökad regnintensitet reduceras om det finns bidrag till avrinningen från icke-hårdgjorda ytor.

8 Vattenkvalitet

Mer detaljer angående detta kapitel erhålles från publikationerna 7 och 8.

I projektet har ingått studier av dagvattenkvalitet. Dessa studier har bedrivits med forskningsledning från Sydsvatten och med observationer i Trelleborg. Vid 12 större regnhändelser under ett år har dagvattenkvaliteten på "first flush" mätts vid fyra punkter representerande avrinningsområden med storlek mellan 0,18 ha till 0,93 ha (0,58 ha hårdgjord yta). "First flush" är det första avrinnande vattnet vid ett regntillfälle. Flödesproportionella prov togs. Trafikintensiteten vid två av punkterna är hög, 7 000 respektive 3 000 fordon per dygn, medan den endast är cirka 100 per dygn för de övriga två områdena. De två områdena med låg trafikintensitet är dock väsentligt olika. Mot en av punkterna avvattnas dagvatten från en busstation och mot den andra dagvatten från ett bostadsområde med drygt 60 % grönytor. Jämförelse görs sinsemellan de olika punkterna, och vidare med olika riktvärden för dagvattenkvalitet (Riktvärdesgruppen 2009) och med uppgivna låg- och högvärden från Stockholm (Stockholm stad 2001). Regnvattenkvalitetsdata är tagna från en tidigare studie av Czemieli-Berndtsson m.fl. (2009). Analys av dagvattnet har gjorts med avseende på total kväve, total fosfor, oljeindex, bly, kadmium, koppar, krom, nickel och zink.

Studien visar på ett mycket starkt samband mellan suspenderat material (SS) och samtliga studerade ämnen utom kväve oavsett regnets karaktär. För den punkt till vilken dagvatten från det starkast trafikerade området avvattnas var r^2 -värdet (förklarad varians) större än 0,96 för samtliga ämnen utom kväve. Avseende kadmium, koppar och nickel var r^2 0,9 eller bättre för samtliga punkter. Man kan alltså reducera uttransport av tungmetaller och även fosfor om man fångar upp det första avrinnande vattnet i dammar eller om man regelbundet sopar gatorna. Detta vet man sedan länge, dock kanske inte att sambandet mellan SS och tungmetaller är lika stort oavsett regnets karaktär. Ovan relaterade jämförelse gör i tabell 8-1.

Tabell 8-1 Jämförelse av koncentrationer i first flush dagvatten i Trelleborg med olika riktvärden (Riktvärdesgruppen 2009 och Stockholms stad 2001) och med regnvatten (Czemieli-Berndtsson 2009).

Parameter	Enhet	Riktvärde	Stockholm låg	Stockholm hög	Trelleborg hög trafik	Trelleborg låg trafik	Regn
Susp	mg/l	75	50	175	420	250	
Tot-N	mg/l	3,5	1,3	5	3,3	2,0	2,7
Tot-P	mg/l	0,25	0,1	0,2	1,2	0,2	0,02
Pb	µg/l	15	3	15	57	21	1,4
Cd	µg/l	0,5	0,3	1,5	0,43	0,26	0,05
Cu	µg/l	40	9	45	120	40	4
Cr	µg/l	25	15	75	28	10	0,3
Ni	µg/l	30	45	225	20	8	0,6
Zn	µg/l	125	60	300	590	160	17

Man ser att first flush i Trelleborg ger höga koncentrationer avseende suspenderat material och bly också för gatorna med låg trafikintensitet. Från områdena i Trelleborg med hög trafikintensitet är koncentrationer högre än höga Stockholmsvärden för fosfor, bly, och koppar. Kvävebidraget kommer helt från regn, men all övrig belastning är från ämnen som tagits upp under avrinningsprocessen.

Också de mikrobiologiska förhållandena i dagvattnet har undersökts. Prover analyserades med avseende på total koliforma bakterier, termotoleranta *E.coli*, *C.perfringes* och enterokocker. Koncentrationen enterokocker var lägre vid de båda hårt trafikerade områdena än vid de båda övriga. *E.coli* kontaminering torde i störst utsträckning härröra från bostadområden. Förhållandet totala koliforma bakterier till enterokocker visar på att den bakteriella föroreningen vid de båda senare platser har ett humant ursprung. Mikrobiologisk förorening är inte relaterad till trafikintensitet utan kan komma från olika delar av avrinningsområdet. Alla mätvärden visar på bakteriell förorening som väsentligt överskrider rekommendationer för badvatten (2006/2007 EC), som för totala koliforma bakterier är 10 000 per 100 ml eller för verkligt bra vatten 500/100 ml. Medelvärden för Trelleborgsområdena är 12 000 för det högt trafikbelastade området och mellan 25 000 och 95 000 för de övriga med högsta värden på över 200 000. Undersökningen visar att man skall vara försiktig med att släppa ut dagvatten vid badplatser.

Referenser

Ganska få referenser har tagits med i denna rapport. Utförligare referenslist kan fås i de publicerade artiklarna. Publikationer framtagna inom projektet finns inte med i referenslistan.

Arnbjerg-Nielsen, K. (2006) Significant climate change of extreme rainfall in Denmark. *Water, Science & Technology* 54 (6-7), 1–8.

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.

Czemiel Berndtsson, J., Bengtsson, L. & Jinno, K. (2009) Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs. *Ecological Engineering*, 35, 369–380.

Dahlström, B. (1979) Regional fördelning av nederbördsintensitet – en klimatologisk analys. *Byggforskningen* R18:1979, 83 s.

Dahlström, B. (2006) Regnintensitet i Sverige – en klimatologisk analys. *VA-Forsk* rapport Nr 2006-26, 69 s.

Ellesson, J. & Persson, R. (1961) Skyfallsartade regn över Skåne (Extreme storms in Skåne). *Svensk Geografisk Årsbok* 37, 51–55.

Fowler, H. J. & Kilsby, C. G. (2003) A regional frequency analysis of United Kingdom extreme rainfall from 1961 to 2000, *Int. J. Climatology* 23, 1313–1334.

Gellens, D. (2000) trend and correlation analysis of k-day extreme precipitation over Belgium. *Theoretical and Applied Climatology* 66, 117–129.

Häggström, M. (2001) Utredning om klimatförändring, flödesbestämning och havsnivåförändring (Investigation about climate change, river discharge predictions and sea level changes). *SMHI-utredning* för Vägverket Appendix 4, 16 pp.

Haugen, J. E. & Iversen, T. (2008). Response in extremes of daily precipitation and wind from a downscaled multi-model ensemble of anthropogenic global climate change scenarios. *Tellus A*, 60(3): 411–426.

Hellström, C. (2005). Atmospheric conditions during extended and non-extended rain events in Sweden. *International Journal of Climatology* 25: 631–648.

Hennessy, K. J., Gregory, J. M. & Mitchell, J. F. B., 1997. Changes in daily precipitation under enhanced greenhouse conditions. *Climate Dynamics*, 13(9): 667–680.

Hernebring, C. (2006) 10-årsregnets återkomst förr och nu (The 10-year storm return period now and in the past). *VA-Forsk* rep. 2006-04, 85 pp.

Hernebring, C. (2008) När regnet kommer. Effektivare utnyttjande av kommuners nederbördsinformation (When the rain comes. More effective

use of the precipitation information at the municipalities). *VA-Forsk* rep. 2008-13, 108 pp.

Hernebring, C., Dahlström, B. & Kjellström, E. (2012) Regnintensitet i Europa med fokus på Sverige – ett klimatperspektiv. *SVU-rapport* 2012-6.

Hernebring, C. & Mårtensson, E. (2013) Pluviala översvämningar. Konsekvenser vid skyfall över tätorter, en kunskapsöversikt. *MSB* 567-13, 67 pp.

Hundechea, Y. & Bardossy, A. (2005) Trends in daily precipitation and temperature extremes across western Germany in the second half of the 20th century. *Int. J. of Climatology*, 25, 1189–1202.

Jebari, S., Berndtsson, R., Olsson, J. & Bahri, A., (2012) Soil erosion estimation based on rainfall disaggregation. *J. Hydrol.*, 436–437(0): 102–110.

Kharin, V.V. & Zwiers, F.W. (2000) Changes in the extremes in an ensemble of transient climate simulations with a coupled atmosphere-ocean GCM. *International Journal of Climatology*, 13(21): 3760–3788.

Kharin, V.V., Zwiers, F.W., Zhang, X. & Hegerl, G.C. (2007) Changes in Temperature and Precipitation Extremes in the IPCC Ensemble of Global Coupled Model Simulations. *International Journal of Climatology*, 20(8): 1419–1444.

Kjellström, E., Bärring, L., Gollvik, S., Hansson, U., Jones, C. Samuelsson, P., Rummukainen, M., Ullerstig, A., Willén, U. & Wyser, K. (2005) A 140-year simulation of European climate with the new version of the Rossby Centre regional atmospheric climate model (RCA30). *SMHI-Rosby Centre Rep. Meteor. and Climatol.*, 108, SMHI Norrköping.

Kunkel K. E., Karl, Th. R. & Easterling, D. R. (2007) A Monte Carlo assessment of uncertainties in heavy precipitation frequency variations. *Journal of Hydrometeorology* 8: 1152–1160.

Kunkel, K. E. (2003) North American trends in extreme precipitation. *Natural Hazard* 29, 291–305.

Kveton V. & Zak, M. (2008). Extreme precipitation events in the Czech Republic in the context of climate change. *Advances Geosciences* 14: 251–255.

Lupikasza, E. (2009). Spatial and temporal variability of extreme precipitation in Poland in the period 1951–2006. *International Journal of Climatology* 30: 991–1007.

Madsen, H., Arnbjerg-Nielsen, K. & Mikkelsen, P.S. (2009) Update of regional intensity-duration-frequency curves in Denmark: Tendency towards increased storm intensities. *Atmos. Res.*, 92(3): 343–349.

Madsen, H., Mikkelsen, P.S., Rosbjerg, D. & Harremoes, P. (1998) Estimation of regional intensity-duration-frequency curves for extreme precipitation. *Water, Science & Technology* 37, 29–36.

Madsen, H., Mikkelsen, P.S., Rosbjerg, D. & Harremoes, P. (2002) Regional estimation of rainfall intensity-duration-frequency curves using

- generalized least squares regression of partial duration series statistics. *Water Resources Research* 38 (11), paper 21, 11pp.
- Maraun, D., Osborn, T.J. & Gillett, N.P. (2008) United Kingdom daily precipitation intensity: improved early data, error estimates and an update from 2000 to 2006. *International Journal of Climatology*, 28(6): 833–842.
- Mishra, A.K., & Singh, V.P. (2010) Changes in extreme precipitation in Texas. *Journal of Geophysical Research* 115, D14106, doi:10.1029/JDo13398.
- Moberg, A., Jones, P.D., Lister, D., Walther, A., Brunet, M., Jacobeit, J., Alexander, L.V., Della-Marta, P.M., Luterbacher, J., Yiou, P., Chen, D., Klein Tank, A.M.G., Saladié, O., Sigró, J., Aguilar, E., Alexandersson, H., Almarza, C., Auer, I., Barriendos, M., Begert, M., Bergström, H., Böhm, R., Butler, C.J., Caesar, J., Drebs, A., Founda, D., Gerstengarbe, F., Micela, G., Maugeri, M., Österle, H., Pandzic, K., Petrakis, M., Srnec, L., Tolasz, R., Tuomenvirta, H., Werner, P.C., Linderholm, H., Philipp, A., Wanner, H., & Xoplaki, E. (2006) Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analyzed for the period 1901–2000. *J. Geophysical Research* 111, paper D22106, 25 pp.
- 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.
- Olsson, J. (1998) Evaluation of a scaling cascade model for temporal rainfall disaggregation. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2(1): 19–30.
- Olsson, J., Berggren, K., Olofsson, M. & Viklander, M. (2009) Applying climate model precipitation scenarios for urban hydrological assessment: A case study in Kalmar City, Sweden, *Atmos. Res.* 92, 364–375.
- Osborn, T.J. & Hulme, M. (2002) Evidence for trends in heavy rainfall events over the UK. *Phil. Trans.: Math., Phys. and Engineering Sciences* 360, 1313–1325.
- Riktvärdesgruppen (2009) *Förslag till riktvärden för dagvattenutsläpp*. Stockholm stad: Regionalplane- och trafikkontoret.
- Rosbjerg, D., Madsen, H. & Rasmussen, P.F. (1992) Prediction in partial duration series with generalized Pareto-distribution exceedances. *Water Resources Research* 28: 3001–3010.
- Samuelsson, m.fl. (2011) The Rossby Centre regional Climate Model RCA3: model description and performance. *Tellus* 63A, 4–23.
- Schmidli, J. & Frei, Ch. (2005) Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century. *International Journal of Climatology* 25, 753–771.
- Semenov, V.S. & Bengtsson, L. (2002) Secular trends in daily precipitation characteristics: greenhouse gas simulation with a coupled AOGCM. *Climate Dynamics*, 19(2): 123–140.

- Semmler, T. & Jacob, D. (2004) Modeling extreme precipitation events—a climate change simulation for Europe. *Global and Planetary Change*, 44(1–4): 119–127.
- Skaugen, Th., Astrup, M., Roald, L. A. & Förlund, E. (2003) Scenarios of extreme daily precipitation for Norway under climate change. *Nordic Hydrology* 35, 1–13.
- Stockholm stad (2001) *Klassifiering av dagvatten och recipienter samt riktlinjer för reningskrav*. Del 2: dagvattenklassifiering.
- Svensson, C., Olsson, J. & Berndtsson, R. (1996) Multifractal properties of daily rainfall in two different climates. *Water Resour Res*, 32(8): 2463–2472.
- Trenberth, K. (2011) Changes in precipitation with climate change. *Clim. Res.*, 47(1-2): 123–138.
- Trömet, S. & Schönwiese, C-D. (2007) Probability change of precipitation observations from 1901 to 2000 in Germany. Theor. and Appl. Climatology 17, 29–39.
- Zhang, X. B., Hogg, W. D. & Mekis, E. (2001) Spatial and temporal characteristics of heavy precipitation events over Canada. *International Journal of Climatology*, 14(9): 1923–1936.
- Zope, P.e., Eldho, T. I. & Jothiprakash, V. (2012) Study of spatio-temporal variations of rainfall pattern in Mumbai city, India. *J. Environmental Research and Development*, 6(3), 545–553.



Box 14057, 167 14 Bromma

Tel 08 506 002 00

Fax 08 506 002 10

E-post svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se