

## **Skyfallsuppdraget**

ett regeringsuppdrag till SMHI

Redaktörer: Jonas Olsson och Weine Josefsson



•

Pärbild.  
Konvektiva moln under utveckling

ISSN: 1654-2258 © SMHI

**KLIMATOLOGI Nr 37, 2015**

## **Skyfallsuppdraget**

ett regeringsuppdrag till SMHI

Redaktörer: Jonas Olsson och Weine Josefsson

Denna sida är avsiktligt blank

# Innehållsförteckning

|              |                                                            |           |
|--------------|------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>     | <b>Uppdraget</b>                                           | <b>5</b>  |
| <b>2</b>     | <b>Sammanfattning</b>                                      | <b>6</b>  |
| <b>2.1</b>   | <b>Skyfall</b>                                             | <b>9</b>  |
| <b>3</b>     | <b>Omvärldsanalys och resultatutbyte</b>                   | <b>10</b> |
| <b>3.1</b>   | <b>Litteraturstudie</b>                                    | <b>10</b> |
| <b>3.2</b>   | <b>Expertworkshop</b>                                      | <b>10</b> |
| <b>3.3</b>   | <b>Användarworkshop</b>                                    | <b>11</b> |
| <b>4</b>     | <b>Observationer</b>                                       | <b>12</b> |
| <b>4.1</b>   | <b>Stationsdata</b>                                        | <b>12</b> |
| <b>4.2</b>   | <b>Historiska trender</b>                                  | <b>14</b> |
| <b>4.3</b>   | <b>Radardata</b>                                           | <b>15</b> |
| <b>4.4</b>   | <b>Ny teknik</b>                                           | <b>18</b> |
| <b>4.4.1</b> | <b>Mikrovågslänkar</b>                                     | <b>18</b> |
| <b>4.4.2</b> | <b>Satellitdata</b>                                        | <b>19</b> |
| <b>5</b>     | <b>Statistisk analys av skyfall</b>                        | <b>21</b> |
| <b>5.1</b>   | <b>Begrepp och metodik</b>                                 | <b>21</b> |
| <b>5.1.1</b> | <b>Återkomsttider</b>                                      | <b>21</b> |
| <b>5.1.2</b> | <b>Frekvensanalys</b>                                      | <b>21</b> |
| <b>5.1.3</b> | <b>Intensitet-varaktighetskurvor (IDF-kurvor)</b>          | <b>22</b> |
| <b>5.1.4</b> | <b>Probable Maximum Precipitation (PMP)</b>                | <b>23</b> |
| <b>5.1.5</b> | <b>Dynamiska och areella egenskaper</b>                    | <b>24</b> |
| <b>5.2</b>   | <b>Omvärldsanalys</b>                                      | <b>24</b> |
| <b>5.3</b>   | <b>Utveckling inom projektet</b>                           | <b>25</b> |
| <b>5.3.1</b> | <b>Förstudie av PMP-beräkning för svenska förhållanden</b> | <b>25</b> |
| <b>5.3.2</b> | <b>Inverkan av statistisk metodik på extremregn</b>        | <b>25</b> |

|              |                                                           |           |
|--------------|-----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>6</b>     | <b>Prognoser</b>                                          | <b>29</b> |
| <b>6.1</b>   | <b>Prediktabilitet hos skyfall</b>                        | <b>29</b> |
| <b>6.2</b>   | <b>Prognossystem för skyfall</b>                          | <b>30</b> |
| <b>6.2.1</b> | <b>Befintligt</b>                                         | <b>30</b> |
| <b>6.2.2</b> | <b>Under testning KNEP</b>                                | <b>30</b> |
| <b>6.2.3</b> | <b>Möjliga om några år</b>                                | <b>31</b> |
| <b>6.3</b>   | <b>Fallstudie</b>                                         | <b>31</b> |
| <b>7</b>     | <b>Skyfall i framtida klimat</b>                          | <b>33</b> |
| <b>7.1</b>   | <b>Kunskapsöversikt</b>                                   | <b>33</b> |
| <b>7.2</b>   | <b>Analys av högupplösta framtidsprojektioner</b>         | <b>35</b> |
| <b>7.3</b>   | <b>Inverkan av statistisk metodik</b>                     | <b>36</b> |
| <b>8</b>     | <b>Hydrologiska effekter av skyfall</b>                   | <b>38</b> |
| <b>8.1</b>   | <b>Metodik för lokala skyfallskonsekvenser i tätorter</b> | <b>38</b> |
| <b>8.2</b>   | <b>Förstudie om nationell skyfallskartering</b>           | <b>39</b> |
| <b>9</b>     | <b>Vägar till framgång – summering</b>                    | <b>42</b> |
|              | <b>Referenser</b>                                         | <b>43</b> |

## **Bilagor**

|             |                                                                             |     |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Bilaga I    | Litteraturstudie                                                            | 46  |
| Bilaga II   | Sammanfattning från expertworkshop                                          | 73  |
| Bilaga III  | Sammanfattning från användarworkshop                                        | 75  |
| Bilaga IV   | Stationsdata                                                                | 88  |
| Bilaga V    | Studier av radar på hög tids- och rumsupplösning                            | 116 |
| Bilaga VI   | Regnmätning med mobiltelefonnät                                             | 129 |
| Bilaga VII  | Inledande försök med beräkning av PMP för svenska förhållanden              | 131 |
| Bilaga VIII | Prediktabilitet                                                             | 137 |
| Bilaga IX   | Fallstudie prognos                                                          | 148 |
| Bilaga X    | Jämförelse av olika fördelningsfunktioner för extremregn i klimatmodelldata |     |
| Bilaga XI   | Kompletterande figurer till hydrologisk konsekvensanalys                    | 164 |

## Förord

Flera personer vid SMHI har bidragit till denna rapport. Några är namngivna i samband med bilagorna, men flertalet inte. Det tyngsta lasset har Jonas Olsson dragit. I samband med workshopen i oktober och seminariet i december har vi också fått intressanta och viktiga bidrag från personer utanför SMHI. Jag vill härmed rikta mitt tack till alla.

Weine Josefsson sammanhållande för uppdraget vid SMHI

# 1. Uppdraget

SMHI fick ett regeringsuppdrag i Regleringsbrevet för budgetåret 2015 avseende anslag 1:10 Klimatanpassning. Anslagspost 5 Klimatanpassning - del till Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut ...”genomförande av en studie om metod för beräkning av värsta möjliga korttidsnederbörd (skyfall).”

Strax före sommaren 2015 utökades det för att innefatta betydligt fler frågeställningar:

- Hur kan skyfall beskrivas/analyseras med dagens observationer?
- Vilka metoder finns för denna analys?
- Ser vi några mönster i analysen?
- Vad kan vi säga om de hydrologiska effekterna?
- Blir det fler skyfall i framtiden?
- Blir skyfallen kraftigare?
- Ändras den geografiska fördelningen?
- Ändras tiden på året, tiden på dygnet?
- Hur bra prognoser kan vi göra av skyfall?
- Hur ska vi effektivt sprida prognoser av skyfall?

Flera av frågorna ovan har inte kunnat besvaras eller utredas på ett fullständigt sätt på den korta tid som stått till förfogande utan måste skjutas på framtiden. Detta eftersom uppdraget skulle vara slutfört under 2015. Inom denna korta tidsrymd blev det svårt att hinna med djupare analyser och delar som skulle kräva omfattande utveckling. Rapporten bör därför i huvudsak betraktas som en sammanställning av kunskapsläget, men det finns också delar där nya analyser genomförts och ny kunskap har framkommit. Merparten av arbetet har gjorts av SMHI-medarbetare, men det finns även bidrag från nordiska kollegor.

Under senare år har SMHI haft begränsade resurser för att arbeta med korttidsnederbörd och skyfallsproblematiken. Därför har arbetet med uppdraget medfört att SMHIs kapacitet och kunskap, inom detta område, har förbättrats avsevärt.

För att försöka undvika att väsentliga delar missas bjöd SMHI in experter på korttidsnederbörd från andra håll i samhället samt från våra nordiska grannländer till en workshop den 22-23 oktober.

På motsvarande sätt anordnade SMHI tillsammans med MSB, SGI och Karlstads universitet ett seminarium i december för att delge resultat från våra myndigheters skyfallsuppdrag till potentiella användare i samhället.

## 2. Sammanfattning

Att uppskatta ett ”värsta möjliga skyfall” är av många olika skäl en synnerligen komplex uppgift. Dels finns ett begränsat historiskt dataunderlag, dels är de bakomliggande fysikaliska processerna inte fullständigt kända, dels förändras klimatet med osäker påverkan på extrema väderhändelser. En och samma extremt stora nederbördsmängd kan på olika platser eller vid olika tidpunkter få helt skilda effekter. För att kunna ge en uppskattning av värsta möjliga skyfall behöver vi precisera ett antal förutsättningar.

Olika statistiskt eller fysikaliskt baserade metoder finns för att beskriva extrem korttidsnederbörd. I början av uppdraget identifierades sex huvudsakliga aspekter som måste beaktas om vi ska öka vår kapacitet att förstå och beskriva skyfall. Var och en av dessa aspekter har tillägnats ett kapitel i rapporten och i det följande ges en motivering till de aktiviteter som genomförts och redovisas i varje kapitel.

### Omvärlden (kapitel 3):

Det finns både inom Sverige, bland våra grannländer och i den övriga världen mycket kunskap, erfarenheter och metodik rörande skyfall som vi försökt ta del av. Inom uppdraget genomfördes därför en litteraturstudie med målet att skapa en god och heltäckande översikt över det nuvarande kunskapsläget m.a.p. inträffade skyfall, analysmetodik och trender. Dessutom anordnades två workshops, en med syfte att utbyta erfarenheter och knyta kontakter med experter i våra grannländer och en med syfte att få respons på erhållna resultat från olika intressenter, exempelvis myndigheter och kommuner, inom Sverige. Båda dessa visade på behovet av och värdet av informationsutbyte, något som vi måste fortsätta med och att utveckla för att optimera samhällets förmåga att hantera effekterna av kraftiga skyfall.

### Observationer (kapitel 4):

Observationer är vår huvudsakliga källa till kunskap om skyfall men de är kortvariga och lokala väderfenomen som är svåra att mäta. Mätningarna måste ske med ett mycket kort tidssteg, hög rumslig detaljeringsgrad och hög noggrannhet vad gäller regnmängd. Alla existerande instrument är begränsade i ett eller flera av dessa avseenden. Det finns behov av att regelbundet göra uppdaterade analyser av observationer från SMHIs nät av automatstationer. SMHI håller på att modernisera det svenska radarnätet och ska om några år uppgradera det nuvarande automatstationsnätet. Detta kommer att leda till förbättrad kvalitet på radarprodukterna, vilket i sin tur direkt ger en högre kvalitet på nederbördsanalyserna och nederbördsprognoserna och en tätare insamlingsfrekvens av nederbörd. För att hämta hem vinsterna med nya och bättre observationer bör vi utveckla vår metodik för att använda väderradar för skyfallsanalyser, och även börja utreda de möjligheter som ges med ny mätteknik via mobilmaster och satelliter.

### Analys (kapitel 5):

Observationerna i sig innehåller den grundläggande informationen om skyfall men vanligtvis analyseras och beskrivs observationerna via statistiska funktioner för att jämma ut variationer och inte minst för att uppskatta storleken på ännu inte inträffade skyfall. Inom Sverige används ett par olika varianter. Vi måste göra en bredare översikt över de angrepp som finns och vilka som används i vår närhet och i liknande klimat. Vi bör så långt det går testa angrepp som hittills inte testats i Sverige samt försöka kvantifiera de osäkerheter som är förknippade med olika val av metodik.

### Prognoser (kapitel 6):

Prognosmodellerna utvecklas fortlöpande och kommer allt närmre möjligheten att fysikaliskt beskriva enskilda moln (skyfall) på en övergripande nivå, men för att kunna beskriva hur enskilda moln utvecklas och rör sig ställs även krav på att det finns observationer som ligger mycket tätt i rummet och i tiden. Detta ligger dock en bit in i framtiden. När det gäller att göra skyfallsprognoser jobbar SMHI nu med ett system som kombinerar befintliga prognosmodeller med radarinformation. När radarekon (indikation på nederbörd) väl finns kan vi med hjälp av

prognosmodellernas vindfält förflytta dessa. I dagsläget är alltså radar en nyckelkomponent men i framtiden kommer sannolikt även satellitobservationer att bidra till att förbättra prognoserna av skyfall. Vi måste analysera nuvarande prognosystem m.a.p. förmågan att beskriva lokal intensiv nederbörd.

#### Klimatförändringen (kapitel 7):

En viktig aspekt på intensiv korttidsnederbörd och skyfall är vilken effekt den globala uppvärmningen kommer att ha. Generellt bör skyfallen bli kraftigare eftersom en varmare atmosfär kan innehålla mer vattenånga och därmed skapar förutsättningar för högre nederbördsintensiteter. Å andra sidan kan det också leda till att nederbördstillfällena blir färre, och/eller att tidsavståndet mellan dem ökar. Inom uppdraget måste vi sammanställa kunskapsläget både vad gäller observerade trender och beräknade framtida förändringar av extrem korttidsnederbörd, i Sverige och utomlands. Vi bör också analysera de högupplösta klimatprojektioner som nyligen blivit tillgängliga samt studera effekten av analysmetodik på de beräknade förändringarna.

#### Effekter (kapitel 8):

Även om själva uppdraget handlar specifikt om korttidsnederbörd så är bakgrunden till uppdraget de negativa effekter på samhället som korttidsnederbörd och skyfall kan ha. En huvudsaklig konsekvens av skyfall är s.k. pluviala översvämningar. Dessa inträffar när nederbördsintensiteten överskrider markens förmåga till infiltration och avvattnings vilket leder till att vatten ansamlas på markytan och översvämning sker. Översvämningen i Malmö augusti 2014 är det främsta exemplet under senare år, men åtskilliga andra händelser har rapporterats. Den ökade uppmärksamhet som skyfallsproblematiken fått under senare år har lett till att många städer och kommuner börjat analysera sin sårbarhet i detta avseende. Vi bör ge en lägesbeskrivning av denna verksamhet samt också börja utreda hur den pågående utvecklingen av SMHIs system för flödesmodellering mot högre tidsupplösning kan användas för att beskriva skyfallseffekter.

Vi avgränsade oss geografiskt till Sverige, men tog även en titt på våra grannländer och de erfarenheter som finns där. Vi har ju trots allt liknande klimat. Via en workshop den 22-23 oktober med speciellt inbjudna experter på skyfall från Sverige och övriga Norden försökte vi fånga in aktuell kunskap och idéer till uppdraget. Tyvärr blev den finske deltagaren sjuk vilket begränsade aktuell information från vårt östra grannland. Ett syfte med workshopen var att ta fram rekommendationer och förslag över vilka frågor kring skyfall som bör prioriteras. Via en litteraturstudie har vi försökt fånga upp hur motsvarande frågor har hanterats i Sverige och i övriga världen.

Begränsningar infördes även i tiden så till vida att vi främst studerade kraftig nederbörd med varaktighet 24 timmar eller kortare (ner till 7,5 min).

Vårt historiska material, d.v.s. observationer som finns i SMHIs databas, blev en given utgångspunkt. Bearbetning av befintliga observationer ger indikationer på hur vanliga skyfall har varit, deras geografiska fördelning och när de förekommer i tiden (under dygnet och när under året). Ett delprojekt var att försöka få till ett samarbete och utbyte med kommunernas nederbördsdata, vilket skulle bli ett bra komplement då dessa observationer ofta har en hög tidsupplösning och görs i tätorter där effekten av skyfall kan vara betydande. Vi hann knappt ta del av dessa data i år, men på sikt kan detta bli ett nationellt värdefullt data-set.

Bearbetningen av nederbördsdata för att ta fram dimensionerande värden exempelvis så kallade 10-årsregn, 100-årsregn osv. bygger på olika statistiska metoder. Inom projektet testades olika metoder och en litteraturstudie gjordes för att sammanställa vad som gjorts tidigare i Sverige och i andra länder.

Eftersom SMHIs nuvarande stationsnät (knappt 700 stationer varav flertalet endast ger dygnsnederbörd) är gles och att skyfallen har en liten geografisk utbredning hamnar många kraftiga skyfall vid sidan av mätstationerna. Inom projektet undersöktes hur väl det går att uppskatta nederbörden med hjälp av radar. Försök har gjorts tidigare men kvalitén har många

gångar varit låg. En förbättring av metodiken kan ge bättre analyser men också möjligheter för korttidsprognoser av kraftig nederbörd.

En mycket viktig fråga är ”Går det att göra användbara prognoser av kraftiga skyfall?”. Korttidsprognoser av nederbörd med hjälp av radarinformation i kombination med de vanliga prognosmodellerna kan vara en framkomlig väg. Dagens operationella prognosmodeller är för grova för att beskriva den konvektiva nederbörden som ger upphov till de kraftigaste skyfallen, men det finns modeller som kan testas i högre upplösning för att undersöka om detta är en framkomlig väg. Vi har kört en så kallad högupplöst modell på ett testfall för att se vilka framkomliga vägar som existerar.

En begränsad teoretisk studie över prediktabiliteten gjordes för att bedöma vad som krävs för att våra modeller och av indata till dessa för att uppnå användbara skyfallsprognoser. Räcker det med att datorerna blir snabbare eller behöver också den fysikaliska beskrivningen i modellen ändras eller behöver vi ännu bättre observationer eller behöver alla delar förbättras för att prognoserna ska bli tillräckligt bra vad gäller skyfall för tex användbara varningar.

Utöver radardata finns det potentiellt användbar information från alla mikrovågslänkar (mobilmaster) som redan finns i landet. En del av projektet har gjort en pilotstudie av användbarheten av dessa för att uppskatta nederbördsmängder. En annan del har bedömt vad som kan göras med befintliga och med kommande satellitdata.

I och med den pågående klimatförändringen blir det också viktigt att ta den med i beräkningen. Vilka förändringar av skyfall kan förväntas? Fler eller färre skyfall, geografisk fördelning, ändras tiden på året, tiden på dygnet? Inom projektet har ingen sådan ny studie gjorts.

När projektet började leverera resultat blev det viktigt att diskutera framtida projekt som kan medföra förbättringar i övervakning av skyfall, prognosering av skyfall och givetvis varningar och att förmedla detta till potentiella användare för att få en återkoppling huruvida resultaten och idéerna är användbara. Detta skedde i december vid en seminariedag, som planerades tillsammans med MSB, SGI och Karlstads universitet som riktade sig till kommuner, länsstyrelser och myndigheter (användare av skyfallsinformation). Läs mer om detta i avsnitt 3.3 samt bilaga III.

## 2.1 Skyfall

Några av de problemställningar som tas upp i denna rapport introduceras här.

### Vad är ett skyfall?

Under många år har SMHIs definition av skyfall varit minst 50 mm på en timme eller minst 1 mm på en minut. Denna definition täcker inte in alla fall som ger effekter i samhället. Det finns därför skäl att ta fram en mer heltäckande definition.

### Vilka svårigheter finns för att bestämma kraftiga skyfall.

I praktiken är alla stationsnät för glesa för att fånga de ofta till ytan små skyfallen. Även om det finns en eller flera stationer där skyfallet drar fram är det inte säkert att skyfallets maximum fångas tillräckligt väl för att vi i efterhand kan säkert säga hur kraftigt det var.

Radarinformation kan ofta vara ett komplement för att få en bättre beskrivning av skyfallens geografiska utsträckning och en uppskattning av deras intensitet. Men det finns flera svagheter i radarinformationen som försvårar tolkningen.

### Vilka metoder finns för att kvantifiera extrema skyfall?

En av uppdragets huvudpunkter var att undersöka vilka möjligheter till beräkning av ”värsta möjliga” skyfall som finns tillgängliga. Den hittills använda metoden går ut på att anpassa en statistisk fördelningsfunktion till observerade fall av intensiv nederbörd och använda denna fördelning för att uppskatta värdet på väldigt ovanliga extremer. Olika val måste göras dels vad gäller den statistiska fördelningsfunktionen, dels hur de observerade fallen väljs ut, vilka båda påverkar storleken på uppskattade extremer. Ett annat angreppssätt är Probable Maximum Precipitation, vilket har utvärderats för svenska förhållanden.

### Går skyfall att prognosera?

Skyfall är vanligen kopplade till bymoln (Cumulonimbus). Dessa moln är relativt sett små, någon eller några km i horisontal ledd och omkring tio km i höjdd. Prognosproblemet består dels i att dagens prognosmodeller är för grova för att på ett säkert sätt beskriva bymolnen i detalj och dels i att kunna förutsäga exakt var molnen kommer att bildas. Men utvecklingen av prognosmodellerna går mot allt högre upplösning vilket ger bättre förutsättningar att beskriva bymolnen och kombinationen av förbättrade modeller och bättre användning av olika former av observationsdata väntas ge bättre möjligheter att prognosera skyfallen. Här uppkommer givetvis frågan om vi i framtiden skulle kunna göra bättre prognoser av skyfall med hjälp av traditionella prognosmodeller. Vilka förväntningar vi bör ha?

I väntan på denna utveckling finns möjligheten att utnyttja traditionella prognosmodeller, radar, satellitinformation och mer empiriska angreppssätt.

### Har skyfallen ökat och vad händer i framtiden med skyfallen?

Baserat på befintliga data vid SMHI har projektet beskrivit hur skyfall har varierat under den period som vi har observationer. Med hjälp av klimatscenarier kan vi trots att klimatmodellerna fortfarande har relativt grov upplösning säga något om hur skyfallen kan tänkas förändras i framtiden. Generellt förväntas skyfallen bli kraftigare eftersom en varmare atmosfär kan innehålla mer vattenånga och en uppdaterad kunskapsöversikt finns i rapporten.

### Vilka konsekvenser får skyfallen?

En huvudsaklig konsekvens av skyfall är s.k. pluviala översvämningar. Dessa inträffar när nederbördsintensiteten överskrider markens förmåga till infiltration och avvattning vilket leder till att vatten ansamlas på markytan. Pluviala översvämningar är ofta mest märkbara i städer med stor andel hårdgjord yta och med begränsad kapacitet i det dagvattennät som främst är avsett att hålla staden torr under mer normala förhållanden. Även i rural miljö kan skyfall skapa översvämningar och även jordskred och slamströmmar. Skyfall påverkar också vattenkvaliteten genom t.ex. erosion och föroreningstransport.

### 3. Omvärldsanalys och resultatutbyte

Kraftiga skyfall kan påverka viktiga samhällsfunktioner inte bara i Sverige och har gjort så i alla tider. En del av uppdragets resurser har därför lagts på att kartlägga och inhämta kunskap och erfarenheter från andra aktörer utanför SMHI.

Det har i huvudsak skett via följande huvudspår; en litteraturstudie, en workshop med experter på korttidsnederbörd och en workshop med användarperspektiv. Utfallet av dessa aktiviteter presenteras kortfattat i följande avsnitt och mer i detalj i bilagor i slutet av rapporten.

#### 3.1 Litteraturstudie

Studiens fokus var på svenska förhållanden, men den innehåller också utblickar mot andra länder, främst grannländer. Förekomster av skyfall och extrem dygnsnederbörd redovisas med ett antal fallbeskrivningar. Vidare behandlas skador av skyfall och något sägs om förutsägbarheten av extrema regn. Huvuddelen av studien hänför sig till beräkning av extremregn, konstaterade trender över tid samt effekten av klimatförändringar – framtiden.

Ett viktigt och ofta återkommande begrepp är s.k. återkomsttider – hur ofta en viss (stor) regnmängd förekommer. Dimensionerande regnintensitet för olika återkomsttider, med avseende på t.ex. dagvatten- och avloppssystem, beräknas enligt Svenskt Vattens rekommendation med en särskilt framtagen formel (Dahlström, 2010), såvida inte den aktuella orten har egen, etablerad regnstatistik. Det saknas dock etablerad metodik för att beräkna dimensionerande regn med extrema återkomsttider som är av vikt för att dimensionera och planera viss infrastruktur och samhällskritiska funktioner. SMHI har gjort beräkningar av mycket långa återkomsttider, men p.g.a. stora osäkerheter kan man se behov av bland annat metodutveckling. Använd metod för beräkning av dimensionerande regn varierar från land till land, något som studien går igenom.

Trendanalyser uppvisar för svensk del en något splittrad bild, men det konstateras ändå relativt samstämmigt att vi haft en ökningstrend av extrem nederbörd sett över de senaste 100 åren. De flesta andra länder, som vi studerat, ser också en trendmässig ökning av extremnederbörd. Framtidsstudier för Sverige och Europa, baserade på klimatmodeller, pekar generellt på en ökning av extrem nederbörd, se tex de nya Länsanalyserna som sammanställts av SMHI (2015) där den extrema nederbörden presenteras som maximal dygnsnederbörd.

Den fullständiga versionen finns i Bilaga I.

#### 3.2 Expertworkshop

I oktober anordnades en workshop med inbjudna experter på korttidsnederbörd och angränsande områden från Sverige och övriga nordiska länderna. Detta för att få en bred, djup och aktuell bild av vad som pågår inom området. Dessvärre kunde inte alla delta då de var upptagna med annat.

Trots detta fick vi upp ett antal frågeställning på bordet och efter diskussioner kunde ett antal förslag till framtida samarbete skrivas ner.

De områden som presenterades av de inbjudna experterna och som togs upp till diskussion var observationer, klimatförändring och prognoser; alla med fokus på skyfall.

En utförligare sammanfattning ges i Bilaga II.

### 3.3 Användarworkshop

Ett seminarium arrangerades vid SMHI den 18 december med syfte att tillgängliggöra resultat från MSBs och SMHIs regeringsuppdrag, samt från ett MSB-finansierat projekt som avslutas 2015. Under förmiddagen presenterades resultat från uppdragen. Eftermiddagen genomfördes i form av diskussioner i grupper med syfte att få feedback på användbarheten av de resultat som presenteras, samt till att ge förslag på fortsatt arbete med framtagande och tillgängliggörande av information, stöd och riktlinjer. Mötet samlade 55 deltagare från Nationella myndigheter, länsstyrelser, kommuner, samt från försäkringsbranschen och bankvärlden. Denna sammanfattning fokuserar på de delar av diskussionen som är mest relevanta för SMHI:s regeringsuppdrag kring skyfall.

Under diskussionerna lyftes bland annat följande rekommendationer:

Använd sannolikheter och osäkerheter i robust planering. För skyfallsvarningar är det bra att koppla dem till hur mycket nederbörd som fallit under en längre tid innan (mättad mark). Det vore bra att kunna få varningsprognoser för hagel. Att kunna ringa och prata med jourhavande meteorolog/hydrolog/oceanograf vid SMHI är värdefullt. Det behöver spridas kunskap om hur informationen ska tolkas genom utbildning kring hantering av sannolikheter/osäkerheter i robust planering. Dessutom måste organisationers kunskap om hur de ska agera vid varningar öka. Utbildningar kring varningar bör ske länsvis för att nå fler kommuner och få informationen lokalt anpassad. Risknivåer bör kopplas till kostnadsanalyser.

Riktlinjer för vilka skyfall man bör dimensionera för bör snarare kopplas till konsekvenser än återkomsttider. Behovet av att utöka dagens stationsnät och inkludera allmänhetens observationer togs upp. Det sågs även som viktigt att hitta fungerande kedjor för vem som är avsändare och mottagare av varningar. Skyfallsprognoser från SMHI men den aggregerade informationen sitter kommunerna på (sammanvägning för analys av risk och sårbarhet).

Informationen måste anpassas efter olika aktörers behov. Oftast krävs koppling till sårbarhet/förmåga att kunna agera relevant på varningar. Att man får en varning i god tid sågs oftast viktigare än att den är perfekt. Förvarningar är bra och extra tid, om så bara en timme, kan göra stor nytta för beredskap – men kanske inte alltid ska riktas till alla. För mycket varningar till allmänheten kan leda till "vargen kommer" (inte) reaktioner. Kartor med skyfallskänslighet sågs som mycket värdefulla för planering.

Det sågs som viktigt att olika grupper (t.ex. inom en kommun) pratar ihop sig när beslut om åtgärder ska tas. Det är viktigt att se till att många får tillgång till information samtidigt vid pre-operativa lägen.

Slutligen nämndes vikten av att vara tydlig med vokabulären – risk innebär i riskhanteringsvärlden en sammanvägning av sannolikhet och konsekvens.

En utförligare sammanfattning ges i Bilaga III.

## 4. Observationer

Den grundläggande källan till kunskap om skyfall och intensiv korttidsnederbörd i allmänhet är observationer av olika typ. Den bästa uppskattningen av ”sann” nederbörd fås genom mätstationer på marken. SMHI har nationella nät med både dygnsnederbörd och 15-min nederbörd och i avsnitt 4.1 görs en översiktlig analys av skyfall och andra extremer i data från dessa nät. Förutom dessa data mäts korttidsnederbörd regelbundet i ett stort antal kommuner i landet. I vissa fall finns långa tidsserier och en del analyser av dessa redovisas i Bilaga I (Litteraturstudien). En viktig fråga är huruvida regnen blir allt mer intensiva och i avsnitt 4.2 ges en kort kunskapsöversikt.

Även om stationer är den främsta kunskapskällan vad gäller korttidsnederbörd finns begränsningar såsom att mätningarna påverkas av mätförluster och, framför allt, att stationsnätet är glest och mycket kan hända mellan stationerna. Därför är det viktigt med kompletterande mätteknik och lovande resultat med mätningar via väderradar redovisas i avsnitt 4.3. Den stora fördelen med radar är den goda rumsliga täckningen. Regnintensiteten är dock mera osäker, men genom att kombinera radar med stationsdata kan data tas fram som är både heltäckande och har en god noggrannhet m.a.p. intensitet. En helt ny metodik att mäta nederbörd är via de störningar nederbörd orsakar på signaler mellan mobilmaster. I avsnitt 4.4.1 presenteras lovande resultat på detta från Göteborg.

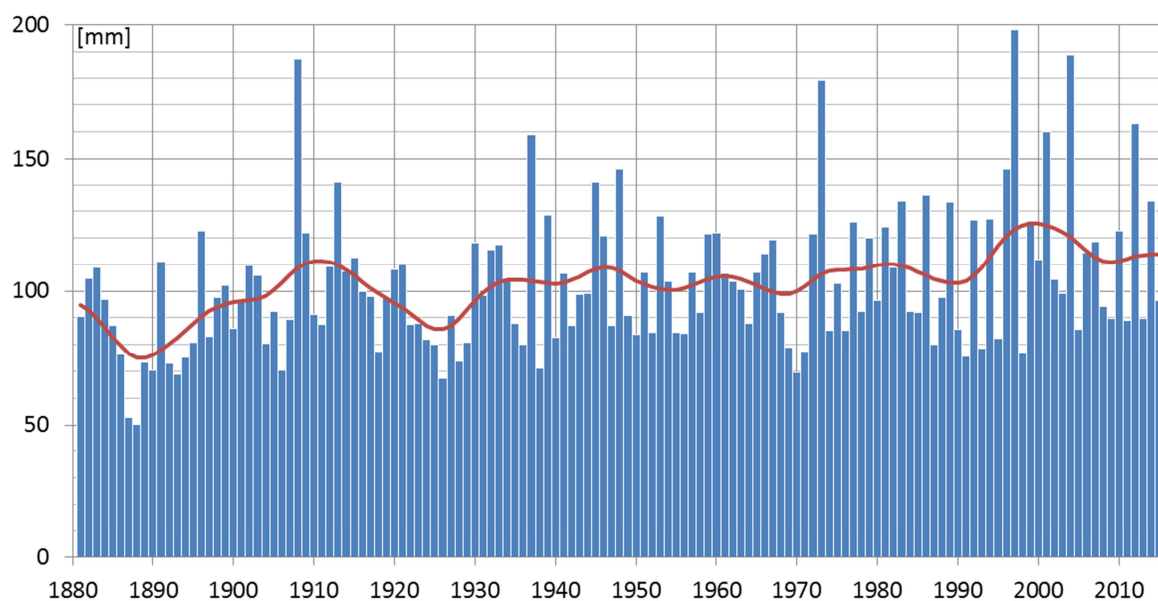
Ett mål är att kunna förbättra våra prognoser av skyfall. Dagens väderprognoser tar hänsyn till observationer som helst ska vara så färska som möjligt. En mycket viktig information för att kunna prognosera risken för skyfall är att känna till hur instabil atmosfären är. För närvarande observeras detta i ett tämligen glest nät och glest tiden, men nu är satellitbaserade instrument på gång som ska ge denna information med hög frekvens i både rum och tid (avsnitt 4.4.2).

### 4.1 Stationsdata

SMHIs definition av skyfall är minst 50 mm på en timme eller minst 1 mm på en minut. I dagligt tal säger vi dock att det varit skyfall när det regnat massor på kort tid. Ska man vara strikt så var det först när SMHI upprättade drygt 100 automatstationer, sommaren och hösten 1995, som SMHI kunde börja mäta nederbörd med tillräckligt hög tidsupplösning för att avgöra om det varit ett skyfall eller inte. Dessa stationer rapporterar nederbördsmängder varje kvart, dvs fyra gånger i timmen.

Kring 1860 fanns början till ett nät av stationer i Sverige som mätte nederbörd dagligen. Kring år 1900 hade antalet ökat till ca 400 nederbördsstationer. Antalet stationer ökade succesivt fram till i början 1960-talet då det fanns upp mot 950 stationer. Därefter har det skett en minskning och idag är antalet under 700 stycken. Tyvärr finns dock inte alla dessa data digitalt före 1970. Det återstår därför ett stort arbete med att digitalisera och kvalitetskontrollera alla äldre data så att dessa bättre kan komma till användning för att kartlägga tidigare skyfall.

Figur 4.1 visar årets absolut största dygnsnederbörd under åren 1881 till 2015 uppmätt vid någon av SMHIs stationer. Även data som bara finns i pappersjournaler är inkluderade. Den röda kurvan i figuren är en utjämning av staplarna som visar de 135 årshögstavärdena. Figur 4.2 visar var dessa har fall inträffat.



Figur 4.1. Årets största dygnsnederbörd i Sverige på någon av SMHIs väderstationer, 1881-2015.

Årets största nederbördsmängd under 1 dygn, på någon av SMHIs väderstationer, har under perioden 1881 – 2015 varierat mellan 50 mm och 198 mm med ett snitt på 103 mm, Figur 4.1. Vi ser att det varit en ökning av årets största dygnsnederbörd i Sverige från 1881 till 2015. Ökningen är en statistiskt signifikant linjär ökning vid 95 % konfidensnivå. Man får dock ha i minnet att antal stationer och mätutrustning varierat under perioden vilket kan påverka kurvans utseende.

Vid sju tillfällen har någon av SMHIs observatörer mätt minst 150 mm på ett dygn under 135 år, sedan 1881. Fyra av dessa sju fall har inträffat de senaste 19 åren.

De allra största mängderna under senare år härrör från Hinshult i Småland som fick 163 mm den 7 juli 2012, från Råda i Värmland med 188,6 mm den 4 augusti 2004, från Rössjö i Ångermanland 27 augusti 2001 med 160 mm och från Fagerheden i Norrbotten som översköljdes med 198 mm den 28 juli 1997. Det sista värdet är den största mängd som SMHI mätt under ett enda dygn. Notera den stora geografiska spridningen i dessa fyra fall.

Hela Sverige har drabbats av extrema nederbördsmängder, Figur 4.2. Inget område har undantagits. Från figuren ser vi emellertid att Norrlands inland inte drabbats lika många gånger som övriga landet av årets största dygnsnederbörd. Södra Norrlands kustland har dock flera gånger drabbats av stora nederbördsmängder.

Det är vanligast att årets största dygnsnederbörd inträffar någon gång från mitten av juni till mitten av september med en topp i slutet av juli eller början av augusti.

Årets största nederbördsmängd under 15 minuter, på någon av SMHIs automatiska väderstationer, har under perioden 1995 – 2015 varierat mellan 15 mm och 40 mm med ett snitt på ca 25 mm. Perioden är för kort för att studera någon eventuell trend.

Dessa 21 årshögsta fall har inträffat från Malmö i söder till Latnivaara i norr. Både inlandsstationer och kuststationer har drabbats. Det har dock varit vanligare att årets största mängd drabbat Götaland eller Svealand än Norrland.

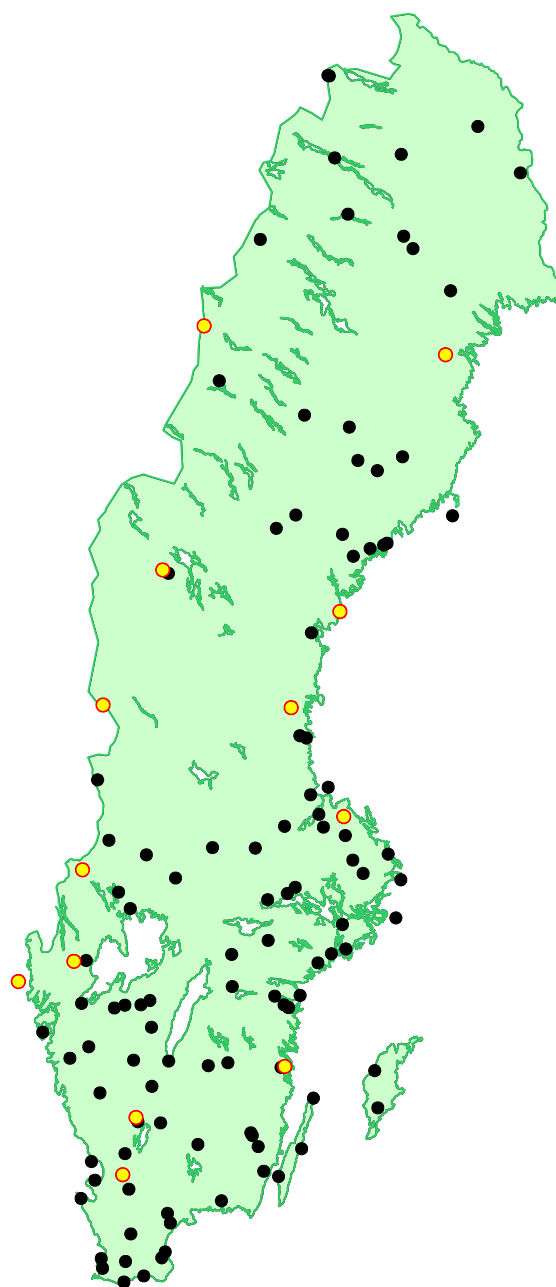
Skyfall kan inträffa under hela dygnet men det är vanligast med skyfall på eftermiddagen eller tidig kväll. Det är vanligast med skyfall i juli följt av augusti.

Före 1970 saknas en hel del nederbördsdata i SMHIs databas. Dessa data finns bara i pappersjournaler i arkiv i SMHIs källare. Att digitalisera data till databasen är mycket tidsödande och det kommer ta många, många år till i nuvarande takt innan alla data finns digitalt i databasen.

Om mer data hade funnits digitalt hade fler intressanta skyfall kunnat hittas, återkomsttider kunnat beräknas säkrare och skyfallstrender studeras med ett större dataunderlag. Dessutom är vissa journaler så gamla att den handskrivna texten, ibland med blyertspenna, börjar bli otydlig och svårläst. Det är således viktigt att öka takten av digitaliseringen av gamla data.

Diskussioner har påbörjats om att samla in och lagra nederbördsdata från kommuner i SMHIs databas. Det rör sig om totalt upp emot 800 stationer som mäter nederbörd med högre tidsupplösning än SMHIs automatiska stationer. Tanken är att börja med ett begränsat urval av stationer för att så småningom fylla på med fler stationer.

En utförligare rapport finns i Bilaga IV.



*Figur 4.2. Stationer som någon gång under perioden 1881 – 2015 registrerat årets största dygnsnederbörd (jfr. Fig. 4.1). Vid gula prickar har årets största mängd drabbat stationen två eller fler gånger.*

## 4.2 Historiska trender

Vad gäller korttidsnederbörd (<1 dygn) är det allmänt sett svårt att dra några slutsatser om historiska trender p.g.a. det begränsade dataunderlaget. För Sveriges del finns som nämnts ovan SMHIs nät av automatstationer. Analyser av extrema 15-min värden i materialet visar inte på någon tydlig trend, men den tillgängliga dataperioden (20 år) är för kort för att dra några slutsatser om klimattrender. Enstaka stationer med längre dataserier finns i t.ex. storstäderna men inga otvetydiga

trender har kunnat påvisas i dessa data heller. På dygnesskala finns ett relativt stort antal stationer med data sedan över 100 år tillbaks. Generellt ses fluktuationer i extremnederbörden under perioden men en ökning har påvisats under ungefär de senaste 50 åren.

Vad gäller våra grannländer har ökande trender i extrem korttidsnederbörd påvisats både i Danmark och i delar av Norge. Även i övriga Europa har ökande trender påvisats för enstaka stationer eller stationsnät. För extrem dygnsnederbörd finns ett allmänt mönster av ökande trend i större delen av Europa, tydligast i den norra delen.

För en mera fullständig översikt över historiska trender, se avsnitt 4.1 i Bilaga I (Litteraturstudien).

### **4.3 Radardata**

SMHI håller på att modernisera det svenska radarnätet och programvaran som bearbetar radarsignalerna till olika produkter. Det är ett omfattande ”infrastrukturarbete” som lägger grunden för efterföljande produktion. Detta ska ge förbättrad kvalitet på radarprodukterna, vilket i sin tur ger en högre kvalitet på nederbördsanalyserna och på nederbördsprognoserna.

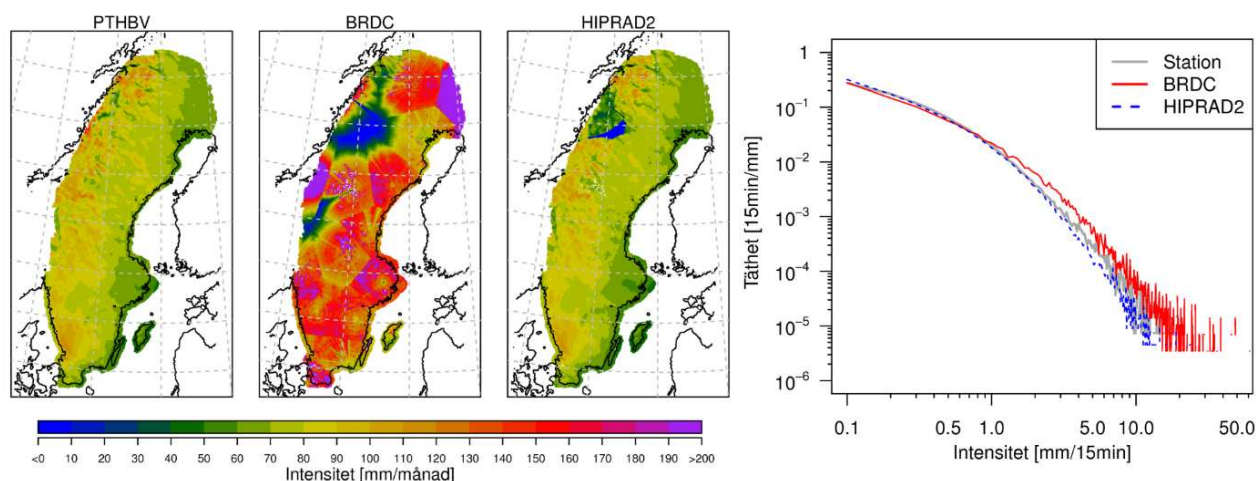
Inom projektet BALTRAD är målet att bygga ett system för datautbyte mellan de deltagande länderna. Vidare skall man inom projektet ta fram en verktygslåda med kvalitetsalgoritmer, metoder för skapande av radarkompositerna etc. Innan projektslut skall det också tecknas en överenskommelse mellan projektpartnerna där man förbinder sig att även fortsatt dela med sig av sina data.

#### **Studier av radar på hög tids- och rumsupplösning**

Sveriges yta täcks till stor del in av en samling av främst svenska, men även andra nordiska länders radarer. Sedan början av 2000-talet har SMHI data med en rumsupplösning på 2x2 km<sup>2</sup> och tidsupplösning på 15 minuter. Även om vissa större luckor med saknade data existerar, så utgör detta en unik datasamling på så hög upplösning. Dessvärre påverkas radarerna av olika systematiska fel och brister, vilket är särskilt märkbart vid längre tidsmedelvärden, samt för vissa stationer. Därför är det nödvändigt att först homogenisera de olika mätningarna så att statistiken är jämförbar mellan olika delar av Sverige och olika tidsperioder. Detta har utförts med en variant av metoden utvecklad på SMHI av Berg m.fl. (2015), vilket resulterat i produkten HIPRAD2 (se Bilaga V) med en upplösning på 2x2 km<sup>2</sup> i rummet och 15 minuter i tiden.

#### **Utvärdering av HIPRAD2**

Figur 4.3 visar en utvärdering av dels rumsliga medelvärden för perioden maj till september 2000-2014 jämfört med SMHIs griddade observationsdata PTHBV, samt intensitetsfördelningen i södra Sverige för 15-minuters upplösning jämfört med SMHIs automatstationsmätningar med 15-minuters upplösning. Radarns originalkomposit (här kallad BRDC) har uppenbara problem vid långtidsackumulationer (se Bilaga V för detaljer), speciellt i vissa områden. Särskilt bör ett område i norrlandsfjällen nämnas, där det helt saknas radartäckning. Det syns även i den korrigerade kompositen, det vill säga HIPRAD2, som överlag stämmer väl överens med PTHBV. Även intensitetsfördelningen för 15-minuters tidssteg jämför sig väl med stationsobservationer. HIPRAD2 har alltså en homogen kvalitet i rummet, samt bibehåller radardatans höga kvalitet i tidsupplösningen.



Figur 4.3. Kartorna visar medel över månadsvärden för perioden maj till september 2000-2014. Plotten till höger visar intensitetsfördelningen på 15-minuters upplösning för stationsdata i Götaland, BRDC och HIPRAD2.

### Skyfall i HIPRAD och stationsnätet

Vi undersöker nu de mest extrema skyfallen som uppmätts i automatstationsnätverket och jämför med HIPRAD2 för två olika mått:  $I_{NGP}$  är HIPRAD2s värde för den gridpunkt som ligger närmast stationen, samt  $I_{MAX}$  som är en tidsserie som för varje tidssteg antar den maximala intensiteten från HIPRAD2 inom en radie av 50 km från stationen. Radien har bestämts enligt ett ungefärligt medelavstånd mellan stationerna.  $I_{MAX}$  täcker in större delen av Sverige, och beskriver därmed ganska väl de värsta skyfallen vid varje tidpunkt.

Tabell 4.1 visar de tio mest intensiva 15-minutersperioderna uppmätta i SMHIs stationsnätverk ( $I_{station}$ ) under perioden maj till september 2000-2014, samt för HIPRAD måtten  $I_{NGP}$  och  $I_{MAX*}$ , där  $I_{max*}$  är det största  $I_{MAX}$  uppmätt med hänsyn även till en tidsförskjutning på +/- 15 minuter. Det framgår tydligt från tabellen att HIPRAD inte nödvändigtvis uppvisar ett extremt värde för den närmsta gridrutan till stationen, men att den ofta har ett liknande högt eller högre värde i närliggande punkter. Det är osannolikt att en enskild station visar det faktiska maxima vid ett skyfall, så det är rimligt att HIPRAD visar på högre värden i  $I_{MAX}$ .

Tabell 4.1. Lista över de tio mest extrema 15-minutersmätningarna från automatstationerna för perioden maj till september 2000-2014, samt HIPRAD2-data för motsvarande område (se huvudtext för förklaring). För fallet i Visingsö saknas data i radarkompositen för en längre period.

| Datum            | Station       | $I_{station}$ | $I_{NGP}$ | $I_{MAX*}$ |
|------------------|---------------|---------------|-----------|------------|
| 2000-07-05 13:15 | Daglösen A    | 40,2          | 12,9      | 36,2       |
| 2010-05-20 16:45 | Tomtabacken A | 38,2          | 23,7      | 105,6      |
| 2006-07-27 17:15 | Krångede A    | 36,3          | 5,7       | 22,8       |
| 2000-08-04 14:45 | Krångede A    | 31,7          | 0,1       | 11,4       |
| 2002-08-01 22:00 | Nordkoster A  | 29,9          | 13,6      | 75,6       |
| 2010-07-13 15:00 | Sveg A        | 29,2          | 0,9       | 60,7       |

|                  |               |      |     |      |
|------------------|---------------|------|-----|------|
| 2001-07-09 11:45 | Ljungby A     | 27,8 | 4,0 | 50,2 |
| 2011-08-04 15:15 | Hallhåxåsen A | 26,0 | 1,7 | 23,7 |
| 2005-07-01 15:45 | Örebro A      | 26,0 | 0,6 | 30,0 |
| 2003-07-22 17:00 | Visingsö A    | 24,8 | -   | -    |

### Rumslig analys av skyfall i HIPRAD2

För att undersöka eventuella regionala mönster i var de mest extrema nederbördstillfällena uppstår har olika mått undersökts för varje gridpunkt för både BRDC och HIPRAD. Varken 15-minutersmaxima eller en-timmesmaxima, eller extremvärdesanalys av de maximala nederbördstillfällena varje år visar på något uppenbart geografiskt mönster för storleken på de värsta skyfallen och inte heller någon tydlig struktur i tiden (se Bilaga V). För BRDC syns en del tydliga mönster som är direkta konsekvenser av problem i kompositen och därför inte användbara för att dra slutsatser från. Vissa artefakter av problemen i BRDC kvarstår i HIPRAD2, vilket påverkar kvalitén av datan vid extremvärdesanalyser. Studier har även gjorts av frekvensen av skyfall på 15-minuters intervall över en viss gräns. Här framträder ett tydligare mönster med fler skyfallshändelser i södra jämfört med norra Sverige, samt två regioner med större koncentration av skyfall: Skåne/Halland samt omkring östra Dalarna/Gästrikland/Hälsingland (se Bilaga V). Sammanfattningsvis är visat studien att det är högre sannolikhet för ett skyfall i vissa regioner av Sverige, men samtidigt att regnmängderna för ett given skyfall inte uppvisar någon regional fördelning.

### Detaljerad analys av enskilda skyfall

Standard för nederbördsanalys är att studera tidsserier från en punkt, till exempel en station, men det begränsar kraftigt informationen om den faktiska regnprocessen. Med full rumslig täckning från radarer kan man istället studera skyfallen som en struktur i både rummet och tiden. Om tidsupplösningen är tillräckligt hög (~10min) kan man även följa ett skyfalls utveckling från start till slut. Detta kallar vi tracking, och arbete har påbörjats med att applicera IRT-metoden (Iterative Rain-cell Tracking; Moseley et al., 2014). Metoden beskrivs i (se Bilaga V) och går i stora drag ut på att för varje tidssteg identifiera sammanhängande områden med nederbörd över ett visst tröskelvärde. Genom att leta efter överlappande områden mellan två tidssteg länkas områden samman i tiden och bildar "tracks" för ett skyfall. Det sker även att olika skyfall går samman, eller att enskilda delar upp sig. Även detta registreras för senare klassificering. För dessa tracks kan man sedan beräkna till exempel hur olika skyfall utvecklar sig i tiden eller hur den maximala regnintensiteten förhåller sig till den totala arean, livslängden etc. I det här projektet har vi implementerat metoden och påbörjat att undersöka hur olika faktorer, till exempel tröskelvärde, tids- och rumsupplösning, påverkar resultaten (se Bilaga V). Studierna är ännu i ett utvecklingsskede, men metoden har stor tillsammans med den här utvecklade högupplösta radarprodukten HIPRAD2 stor potential för att bestämma karaktistiken i skyfall i Sverige.

### Vidareutveckling av HIPRAD-metodiken

HIPRAD-metodiken har potential att ytterligare förbättras, speciellt vad gäller det första steget av korrigeringar direkt i radarkompositen (vilket är ett mer tidskrävande arbete än vad som var möjligt här), men även för t.ex. konverteringen av radarekon till nederbördsintensitet, vilket kräver en initial klassificering av regntyper. Andra korrektioner gäller hanteringen av saknade data och utfyllnad av luckor, samt en bättre hantering av statistiskt brus i mätningarna vilket skulle förbättra potentialen till att beräkna rumslig statistik, samt att följa nederbördshändelser med hjälp av så kallad trackingmetodik (se Bilaga V för detaljer).

## 4.4 Ny teknik

I tidigare avsnitt i detta kapitel har traditionella nederbördsmätningar samt information från befintliga radarer diskuterats. Givetvis finns det en utvecklingspotential även för dessa, men i detta avsnitt beskrivs två områden som kan potentiellt ge ny information när det gäller att få en mer detaljerad beskrivning av skyfall och för att förbättra prognoserna av skyfall.

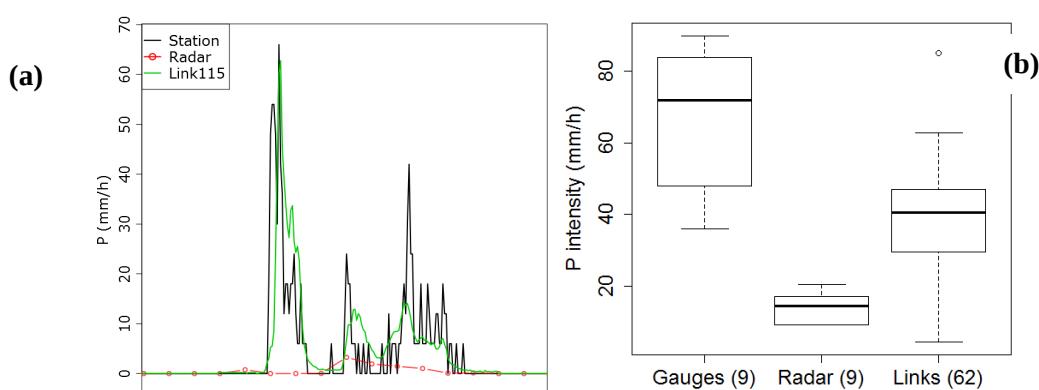
### 4.4.1 Mikrovågslänkar

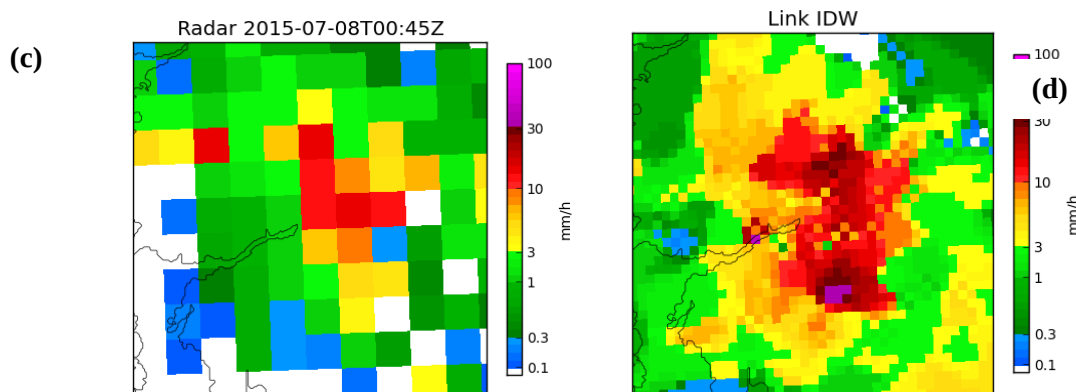
Mobiltelefonnät börjar nu kunna användas för att mäta regn. En stor del av kommunikationen mellan mobilmasterna sker via mikrovågslänkar. Länkarnas signalstyrka dämpas i förhållande till regnets intensitet. Dämpningen är så svag att den normalt inte påverkar länkarnas prestanda, men genom att mäta signalstyrkan med hög upplösning kan man beräkna hur intensivt det regnar. För att testa potentialen med denna teknik genomförde SMHI ett pilotprojekt tillsammans med telekombolaget Ericsson och mobiloperatören Tre Sverige under sommaren 2015.

Med mikrovågslänkar kan man få information mycket mer frekvent än idag. Det kan man använda för att skapa mer robusta och samtidigt mer högfrekventa tidsserier. I pilotprojektet mätte vi var 10:e sekund och beräknade 1-minuts medelvärde från detta. Som jämförelse ger SMHI:s operationella nederbördsstationer och väderradar endast information var 15:e minut. Den högre tidsupplösningen ger bättre möjligheter att fånga snabba skyfallstillfällen (Figur 4.4 a). Överlag fångar länkarna de högsta intensiteterna bättre än radarn på lokal skala (Figur 4.4 b). Även på 15-minutersupplösning så är korrelationen mellan stationerna och länkarna högre (i snitt 0,8) jämfört med mellan stationer och radarn (i snitt 0,6).

Med mikrovågslänkar kan man också få högre ytupplösning, speciellt i städerna där skyfall orsakar de mest kostsamma problemen. Det finns ungefär 50 000 mikrovågslänkar i operationell drift i Sverige med högst densitet i städerna, jämfört med endast 121 högupplösta nederbördsstationer samt 4km<sup>2</sup>-radar i SMHI:s nät. Med hjälp av pilotprojektets 364 mikrovågslänkar i Göteborgsområdet kunde vi konstruera en karta med 16 gånger högre ytupplösning än väderradarn (Figur 4.4 c,d).

Mikrovågslänkarna lämpar sig dessutom väl till att användas i operationella realtidssystem. De är redan installerade och driftsatta med mycket hög driftsäkerhet. De mäter redan rätt variabel, men data samlas inte in systematiskt för väderanalys. Om länkdata skulle tillgängliggöras operationellt för SMHI skulle vi kunna fånga de lokala variationerna i nederbörden bättre än idag i både tid och rum. Det kan bli speciellt användbart i städerna t.ex. genom att optimera dräneringssystem vid skyfallstillfällen och därmed minimiera skyfallens konsekvenser.





Figur 4.4. **(a)** Exempel från Torslanda station 27 juli 2015. De högsta intensiteterna uppmättes ca 15:05 UTC vid en av Göteborgs kommuns 1-minuts mätstationer vilket fångades väl upp av mikrovågslänken men missades helt av radarn. **(b)** Högsta uppmätta intensiteter under juli 2015 vid nio av Göteborgs kommuns mätstationer jämfört med de närmaste radarpixlarna och de närmaste mikrovågslänkarna. **(c,d)** Kartor över Göteborg vid ett nederbördstillfälle baserat på SMHI:s radar **(c)**,  $4\text{km}^2 \times 15\text{-min}$  upplösning), och mikrovågslänkarna **(d)**,  $0.25\text{km}^2 \times 1\text{-min}$  upplösning).

## 4.4.2 Satellitdata

### Nuvarande meteorologiska satelliter

Sedan mer än 30 år tillbaka utförs operationella satellitmätningar av atmosfären från två olika satellitbanor. De så kallade geo-stationära satelliterna med en bana 36 000 km över ekvatorn rör sig med samma hastighet som jorden roterar så att de står över samma position över ekvatorn och kan därmed göra regelbundna atmosfärsmätningar av samma område. Observationsgeometrin innebär för Sverige att data utan större inskränkningar kan användas till ca 60-65° nordlig latitud, sedan avtar produktkvaliteten snabbt för norra Sverige.

Bättre geometrisk upplösning av satellitprodukter erhålls av de polaromlöpande satelliterna som ligger i en mycket lägre bana, kring 800km över jorden. De återkommer över samma punkt vid samma tid på dygnet. Trots att det finns ett flertal satelliter i polaromlöpande bana, och trots att banorna överlappar varandra nära polen, är tidsupplösningen inte tillräcklig för att säkert kunna fånga den snabba utvecklingen av skyfall, eller av de atmosfärsförhållanden som leder till skyfall. Eftersom mätningar från en låg bana är lättare att utföra, med tillräcklig rumsupplösning, har avancerade sensorer först införts på polaromlöpande satelliter sedan ett antal år tillbaka.

Nederbörd kan bara uppskattas indirekt från nuvarande meteorologiska satellitmätningar. Dessa nederbördsuppskattningar från satellit spelar en stor roll globalt, och speciellt i områden utan, eller med otillräcklig radartäckning, är deras betydelse för nederbördsuppskattning i Sverige och Norden av marginell betydelse. Däremot är mätningar från satelliter oumbärliga för att beskriva atmosfärstillståndet i hela atmosfären som behövs bland annat för numeriska väderprognoser. En särskild betydelse för numeriska väderprognoser har atmosfäriska sonderingar från instrument som IASI-sensorn på de Europeiska METOP-satelliterna, vilka mäter jordens infraröda strålning i tusentals olika spektralkanaler. Från dessa mätningar kan man sedan rekonstruera fukt- och temperaturfördelningen i hela atmosfären. En begränsande faktor för regionala väderprognoser är att det bara finns omkring tolv ojämnt fördelade tidpunkter per dag där större delar av Sverige täcks av mätningar från avancerade sonderingsinstrument i polaromlöpande bana.

### **Tredje generationen geostationära METEOSAT satelliter**

De europeiska geostationära METEOSAT-satelliterna ger regelbundna bilder av väderläget över Europa och Afrika. Den nya tredje generationen av METEOSAT satelliter planeras att skickas upp från 2019 och framåt. Den nya generationen omfattar inte bara bildgivande instrument, som är stark förbättrade versioner av dagens andra generationen METEOSAT-satelliter, utan för första gången kommer ett avancerat sonderingsinstrument att placeras i geostationär bana. IRS (InfraRed Sounder) som har en motsvarande funktionalitet som IASI kommer att placeras på en egen satellit (MTG-S), tillsammans med sonderings-instrument för andra ändamål.

För det europeiska området kommer sonderingar att utföras var trettionde minut, vilket därmed öppnar möjligheten att följa snabba ändringar i tre dimensioner av temperatur och fuktighet. Eftersom instabiliteter i atmosfärens skiktning är en förutsättning för utvecklingen av skyfall förväntas IRS därför att ge ett genombrott i prognoser av kraftig konvektiv nederbörd. Nyttan med IRS omfattar förbättrade väderprognoser rent allmänt, men främst förväntas de regionala väderprognoserna att förbättras med hjälp av snabba uppdateringar.

Även analysen av den aktuella väderutvecklingen kan förbättras genom att implementera system som varnar då instabiliteter utvecklas snabbt. Man skulle även kunna implementera system, som fortlöpande följer väderutvecklingen och bedömer vilka medlemmar av en ensembleprognos som bäst speglar den aktuella utvecklingen. På grund av den otroligt stora informationsmängden behöver beslutsstödet för meteorologen sammanfattas automatiskt och presenteras på ett sätt som underlättar snabba och välgrundade beslut.

EUMETSAT har börjat med några initiativ för att användarna så tidigt som möjligt ska vara förberedda för att kunna dra nytta av den nya datakällan från början och även förbereder både tekniska system och användarna på att kunna tillgodogöra sig informationshalten från de stora data mängden. Det är viktigt att initiera förberedelserna för nyttiggörandet av IRS redan nu, med hjälp av simulationsdata från polaromlöpande satelliter (hög informationshalt) och geostationärdata (hög tidsupplösning)

### **Andra generationen europeiska polära METOP satelliter**

Den nya generationen METOP-satelliter ska för första gången bära dedicerade instrument för nederbördsuppskattning. En av sensorerna kommer ge helt nya insikter om molnens innehåll av is genom att mäta i sub-mm våglängder. Den första METOP-SG-satelliten som bär på en bildgivande mikrovågssensor och en moln-is-sensor (MWI/ICI) planeras att finnas från 2023/2024 och framåt. På sikt kommer dessa satellitmätningar att förbättra vår förståelse av ett antal nederbördsprocesser. En omedelbar förbättring av prognoser av skyfall kan dock inte väntas.

## 5 Statistisk analys av skyfall

För att matematiskt och statistiskt beskriva skyfall och extrem nederbörd används ett antal centrala begrepp och skraddarsydd metodik, vilka beskrivs i avsnitt 5.1. Metodiken baseras vanligen på frekvensanalys och en anpassning av en teoretisk statistisk fördelningsfunktion till observerade nederbördsmaxima av olika varaktighet. Via den anpassade fördelningen kan s.k. intensitets-varaktighetskurvor (IDF-kurvor) tas fram som ger intensiteten för en viss varaktighet och återkomsttid. Dessa kurvor används för att beräkna dimensionerande regnintensitet t.ex. vid utformningen av skyfallskänslig infrastruktur. Metodiken appliceras normalt på data från enstaka stationer men areella egenskaper kan beaktas genom s.k. areella reduktionsfaktorer (ARF) och regionalisering. Ett annat angrepp är Probable Maximum Precipitation (PMP) vilket definieras som den teoretiskt maximala nederbörden för en viss varaktighet utan hänsyn taget till långsiktiga klimattrender.

I avsnitt 5.2 görs en sammanfattande omvärldsanalys av vilka angrepp som används i Sverige, våra grannländer och hela Europa för att matematiskt/statistiskt beskriva skyfall. I avsnitt 5.3 redovisas några preliminära analyser som genomförts inom ramen för detta uppdrag. I den första har PMP-metoden för första gången applicerats för extrem korttidsnederbörd i Sverige. I den andra analysen studeras hur olika val, som måste göras i en frekvensanalys, påverkar uppskattningen av skyfall med lång återkomsttid.

### 5.1 Begrepp och metodik

#### 5.1.1 Återkomsttider

Med återkomsttid menas att en specifik händelse i genomsnitt inträffar eller överträffas en gång under den angivna tidsperioden. Det innebär t.ex. att ett 100-årsregn (ett visst antal mm under t.ex. ett dygn) kan förväntas inträffa i genomsnitt 1 gång per 100-årsperiod, ett 10-årsregn 10 gånger. Ett 1000-årsregn förväntas inträffa 1 gång på 1000 år och har 10 % sannolikhet att inträffa någon under en 100-årsperiod. 100-årsregnet kan vissa 100-årsperioder inträffa fler än en gång, medan andra 100-årsperioder inte har något 100-årsregn alls; det är genomsnittet för flera 100-årsperioder som är 1 gång på 100 år; ett 100-årsregn har under en 1-årsperiod sannolikheten 1 % att inträffa.

I regel ska t.ex. ett 100-årsregn uppfattas som ett mått på *sannolikhet* för denna nederbördsmängd i någon form av *nuläge*. Det är inte givet att det är någon bra prognos för de kommande 100 åren; för en sådan behöver man ta hänsyn till kunskap om väntade klimatförändringar.

Man ska observera att en återkomsttid på t.ex. 100 år med avseende på en hel region – som västra Götaland i exemplet för Orust-Tjörn (Bilaga I, avsnitt 2.1.3) – för en så lokal företeelse som extrema regnmängder är något helt annat än sannolikheten för att denna nederbördsmängd ska inträffa på en specifik plats. Sannolikheten per år för den senare händelsen kan uppskattas till 1 % (dvs. 100-årsregn med avseende på hela regionen) gånger kvoten mellan arean för området med extrem påverkan och regionens yta (inom vilken man i studium inte noterat någon värre händelse). Området på Orust-Tjörn som blev värst drabbat utgör grovt sett 1 % av regionen västra Götaland. En sådan uppskattning för en specifik plats i regionen innebär då ungefärligen  $1\% \times 1\% = 0,01\%$  sannolikhet per år, eller annorlunda uttryckt innebär bedömningen att vi har att göra med ett 10 000-årsregn för en specifik plats.

#### 5.1.2 Frekvensanalys

För att beräkna extremnederbörd anpassas mätdata till en extremvärdesfördelning. Mätdata kan beräknas t.ex. från serier av högsta nederbörd under ett år (annual maxima; AM). I till exempel i Wern och German (2009) gjordes beräkningar av regnmängder för återkomsttider från 1 år till 100 år från ”rekordregn” som tagits fram via mätserier från SMHIs automatstationer. Det första steget i analysen är att anpassa en statistisk fördelning till samlingen av årsmax. En statistisk fördelning karakteriseras av den så kallade fördelningsfunktion  $F(x)$  = sannolikheten för att årsmax av regn är

högst  $x$  mm. Genom att räkna baklänges med fördelningsfunktionen kan t.ex. ett 10 års-regn definieras som det  $x$  så att  $F(x)=0.9$  (9 år av 10 väntas ha lägre årsmax än  $x$ ) eller ett 100-års regn som  $x$  så att  $F(x)=0.99$  (99 år av 100 väntas ha lägre årsmax än  $x$ ).

Resultaten beror givetvis på vilken statistisk fördelning som anpassas till data. Wern och German (2009) använder den så kallade Generaliserade ExtremVärdesfördelningen (GEV) som enligt teorin beskriver det största värdet från en serie oberoende observationer med samma fördelning. Ett specialfall av GEV är Gumbelfördelningen. Eftersom GEV är generellare än Gumbel kommer den alltid att passa bäst till data. Andra fördelningar som använts för extremregn är Weibull och Log-Pearson 3.

Förutom AM-metoden är peak over threshold (POT) är en vanlig metodik för att beräkna återkomsttider från en tidsserie (Coles, 2001). Grundprincipen är att man extraherar oberoende händelser över en viss tröskel, och att dessa sedan anpassas till en sannolikhetsfördelning som man kan beräkna återkomsttider ifrån.

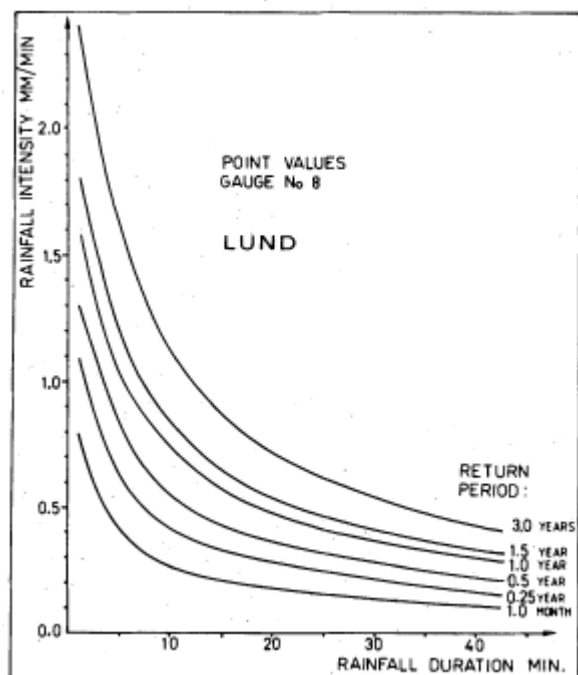
Det första steget i en POT-analys är att extrahera händelser över en viss tröskel. Tröskeln bör väljas så att de händelser som ligger över tröskeln i någon mening är "extrema" och relevanta i ett extremvärdessammanhang. Ofta är det så att en händelse ligger över tröskeln under flera sammanhängande tidssteg, i vilket fall man då extraherar det högsta värdet från denna händelse. Händelserna behöver dessutom vara oberoende av varandra, vilket man kan se till att de är genom att ansätta ett minsta tidsfönster mellan varje händelse. Om detta är uppfyllt kan det visas att överskridelsen av tröskeln (d.v.s. för varje händelse subtraherar man det valda tröskelvärdet) följer en *Generaliserad Pareto-fördelning*.

Hur tröskeln i POT-analysen väljs är ett aktivt forskningsområde och det finns ofta inget uppenbart svar. Om tröskeln väljs för hög så är man mer garanterad att händelserna är oberoende och verkligen relevanta för extremvärdesanalysen, men man kan då gå miste om relevanta händelser. Om tröskeln väljs för låg så får man in mycket brus i data, händelser som inte är extrema och därmed inte av intresse för analysen. Svensson och Jones (2010) pekar på användning av medel av årsmaximum istället för median och skriver att estimeringen blir mer känslig för "outliers". När man använder årsmaximumserier (AM), försvinner till exempel en stor del av mätdata. Det näst största värdet i ett år t.ex. kan vara större än maxvärdet i ett annat år utan att användas.

### 5.1.3 Intensitet-varaktighetskurvor (IDF-kurvor)

En intensitets-varaktighetskurva (IDF-kurva) visar förhållandet mellan intensiteten och varaktigheten för en regnhändelse med en viss återkomsttid ( $T$ ) (t.ex. Koutsoyiannis et al., 1998). I stället för återkomsttid kan man tänka i termer av årlig sannolikhet för överskridande ( $p$ ), där  $p = 1/T$ . Ett tioårsregn med en viss varaktighet och intensitet har alltså en sannolikhet på 10 % att inträffa under ett visst år.

IDF-kurvor tas vanligen fram genom frekvensanalys på regndata från punktmätningar och kan användas för att erhålla värden på dimensionerande regn. Dock kan även areella IDF kurvor tas fram genom exempelvis viktade medelvärden av data från ett flertal regnmätarna (Niemczynowicz J., 1982). Figur 5.1 visar ett exempel på IDF-kurvor för olika återkomsttider för en regnmätare i Lund.



Figur 5.1 Exempel på IDF-kurvor för en regnmätare i Lund. Från Niemczynowicz (1982)

#### 5.1.4 Probable Maximum Precipitation (PMP)

PMP står för Probable Maximum Precipitation och definieras som den teoretiskt maximala nederbörden för en viss varaktighet utan hänsyn taget till långsiktiga klimattrender (WMO, 2009). Syftet med att uppskatta ett värde på PMP är normalt att kunna beräkna det teoretiskt maximala vattenflödet PMF (Probable Maximum Flood) som används vid dimensionering och design av hydrauliska strukturer såsom dammar i en del länder. Beräkningar av PMP och PMF är approximationer då de bakomliggande fenomenen är fysikaliskt komplexa och det finns begränsningar i både tillgänglig data och i teoretiska beskrivningar.

Enligt WMO:s manual för beräkning av PMP (WMO, 2009) finns det för närvarande sex använda metoder för beräkning av PMP (Dyrddal, 2012):

- a) Lokala metoden  
Den observerade maximala stormen används för att uppskatta PMP
- b) Omflyttningsmetoden  
En extraordinär storm flyttas teoretiskt till aktuellt område och stormens egenskaper anpassas efter lokal topografi och geografi. Används där kraftiga stormar är ovanliga.
- c) Kombinationsmetoden  
Två eller flera stormar i området kombineras för att producera en sekvens av artificiella stormar med lång varaktighet. Denna metod kan användas i stora avrinningsområden och kräver meteorologisk expertis.
- d) Inferentiala metoden  
En förenklad fysikalisk ekvation som beskriver ett regnmolns tredimensionella struktur skapas. Denna metod kräver meteorologisk observationsdata från högre nivåer i atmosfären.
- e) Generaliserade metoden  
Observerad nederbörd delas upp i orografisk nederbörd och nederbörd från passerande vädersystem. Metoden används för att uppskatta PMP i en stor meteorologiskt homogen region. Metoden är tidskrävande och dyr och kräver stora mängder långtidsregnmätningar i området.

f) Statistiska metoden

Denna metod använder data från ett stort antal regnmätare i området. frekvensanalys tillämpas i kombination med den generaliserade metoden fast för ett område som bör vara mindre än 1000 km<sup>2</sup>.

De fyra första metoderna kallas för direkta metoder medan de två sista grupperas som stormområdesmetoder. För mycket stora avrinningsområden finns ytterligare två metoder som kan tillämpas.

Noggrannheten i resultatet av PMP beror på kvalitet och kvantitet av data samt på beräkningarna i sig. Det finns för närvarande inga metoder för att kvantitativt bestämma tillförlitligheten i resultaten. Istället är det viktigt att analysera och jämföra resultat genom konsistens- och rimlighetskontroller.

I Sverige dimensioneras högriskdammar med hjälp av en metod som istället för PMP/PMF är baserad på extrem areell nederbörd i kombination med kraftig snösmältning (Svensk Energi, Svenska kraftnät och SveMin, 2015).

### 5.1.5 Dynamiska och areella egenskaper

Nederbördsintensitetens variation med tiden för ett skyfall är unikt för varje regnhändelse. När denna information ändå efterfrågas, vid till exempel dimensionering av dagvattensystem, kan två typer av nederbördsdata användas, historiska regn eller så kallade typregn (Svenskt Vatten P104, 2011).

*Rörelsen* (riktning och hastighet) hos häftiga regn berörs av Hernebring (2008) med exempel från Malmö, Jönköping och Växjö. Det visade sig svårt att nå fram till några slutsatser.

Att kunna omvandla nederbördsmängd i en punkt till medelnederbördsmängd över ett område (exempelvis ett avrinningsområde) är viktigt för vid fastställning av samband mellan nederbörd och avrinning och för att minska den totala nederbördsvolymen när dimensionerande regn används för hydraulisk design (Asquith and Famiglietti, 2000).

Medelnederbördsmängden för ett område beräknas ofta genom att multiplicera punktnederbörd med en Areell ReduktionsFaktor (ARF). ARF definieras generellt som förhållandet mellan medelnederbördsmängden över ett område för ett regn och den maximala punktnederbörden i området för regnet. ARF har ett värde i intervallet 0 till 1 och varierar beroende på regnets återkomsttid. Faktorn är en funktion av områdets egenskaper, såsom storlek, form och geografiskt läge. Med ökad regnvaraktighet ökar ARF och med minskat område minskar ARF (Dyrddal, 2012).

ARF har tagits fram i många länder med olika metoder. I Sverige har bland annat Niemczynowicz (1984) härlett ARF genom statistisk analys separat på punktnederbörd och areell nederbörd i Lund. Relationen mellan regncellers rörelse och areell reduktion av regnintensitet har studerats av Bengtsson och Niemczynowicz (1986).

I många länder använder man regionalisering. Regionalisering innebär: 1- avgränsning av regioner, 2- estimering av regionala parametrar och 3- bestämmande av en regional fördelning. Regionerna definieras som geografiskt sammanhängande områden med liknande klimat och fysikaliska egenskaper.

## 5.2 Omvärldsanalys

Den vanligaste tillämpningen för beräkning av extremregn är vid dimensionering av dagvatten- och avloppssystem. Olika länder använder här olika metoder.

I Sverige används Dahlströms formel (Dahlström, 2010). Den är utvecklad för att beräkna dimensionerande regnintensitet i Sverige för varaktigheter från 5 minuter och upp till 24 timmar. Återkomsttider av extrem nederbörd beräknas vid SMHI med statistisk extremvärdesanalys och redovisas för dygnsnederbörd (Wern, 2012) och korttidsnederbörd (Wern och German, 2009).

I Norge har man antagit den brittiska NERC-metoden (NERC, 1975) och anpassat den till norska förhållanden. Danmark har sedan 2006 en egenutvecklad modell (Madsen m.fl., 2002; 2009). Finland använder ”extRemes toolkit” mjukvarupaket utvecklat av National Center of Atmospheric Research (NCAR: <http://ncar.ucar.edu/>) (Katz m. fl., 2005; Gilleland & Katz, 2006; <http://www.assessment.ucar.edu/toolkit/>).

Litteraturstudien tar också upp vilken metodik som används i några utomnordiska länder: Kanada, Frankrike, Tyskland, USA, Sydafrika, Storbritannien och Australien se Bilaga I.

## 5.3 Utveckling inom projektet

### 5.3.1 Förstudie av PMP-beräkning för svenska förhållanden

WMO har gett ut en manual där ett flertal metoder för beräkning av PMP tas upp (WMO, 2009). De flesta av dessa metoder är mycket tidskrävande men en metod, den lokala metoden, har inom uppdraget kunnat preliminärt testas på svenska förhållanden.

Utgångspunkten för den lokala metoden är ett utvalt signifikant regnväder som det finns data för och som ska representera en effektiv dynamisk mekanism. Det utvalda regnvädet (modellregnet) maximeras sedan med hjälp av förstärkningsfaktorer för både tillgänglig fuktighet och nederbördseffektivitet (hur stor andel av tillgänglig fuktighet som fälls ut som nederbörd).

Den lokala metoden har testats på två fall med punktnederbörd, Daglösen-regnet den 5 juli år 2000 (det kraftigaste uppmätta regnvädet vid SMHI:s automatstationer för korta varaktigheter) samt Malmö-regnet den 31 augusti 2014.

I tabell 5.1 redovisas erhållna resultat av PMP i mm som erhållits genom att multiplicera förstärkningsfaktorn med modellstormens nederbördsmängd. I tabellen redovisas även beräknad återkomsttid för de erhållna PMP-värdena vilket även kan jämföras med redovisade återkomsttider för modellstormens nederbördsmängder. Återkomsttiderna har beräknats med hjälp av fördelningsfunktionen Gumbel.

*Tabell 5.1. Beräkning av PMP för 15 minuters varaktighet utgående från Daglösenregnet 2000-07-05 samt Malmöregnet 2014-08-31.*

| Station         | Nederbörds-<br>mängd modell-<br>stormen (mm) | Förstärkningsfaktor | PMP<br>(mm) | Återkomsttid PMP<br>(år) | Återkomsttid<br>modellstormen (år) |
|-----------------|----------------------------------------------|---------------------|-------------|--------------------------|------------------------------------|
| <b>Daglösen</b> | 40,2                                         | 1,71                | 68,8        | 25 536                   | 262                                |
| <b>Malmö</b>    | 17,6                                         | 1,89                | 33,2        | 4 105                    | 22                                 |

De erhållna PMP-värdena för 15-minutersregnen motsvarar återkomsttider på ca 25 000 respektive 4 000 år vilket WMO (2009) inte är orimliga värden för beräknad PMP.

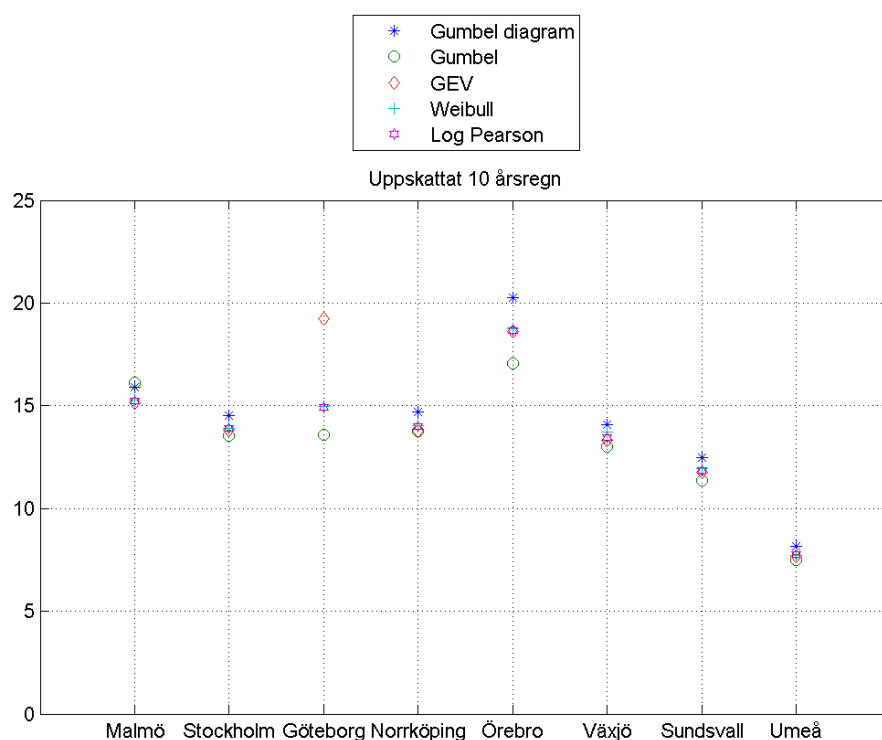
Baserat endast på dessa första försök tycks den lokala metoden vara användbar för beräkning av PMP på punktnederbörd för enstaka platser i Sverige. Om det i framtiden uppkommer motiv för att ta fram PMP-värden för hela Sverige skulle den så kallade generaliserade metoden användas då den sannolikt ger resultat av hög noggrannhet. Själva genomförandet av metoden är mycket tidskrävande men när den väl är utförd finns PMP-resultat lättillgängligt.

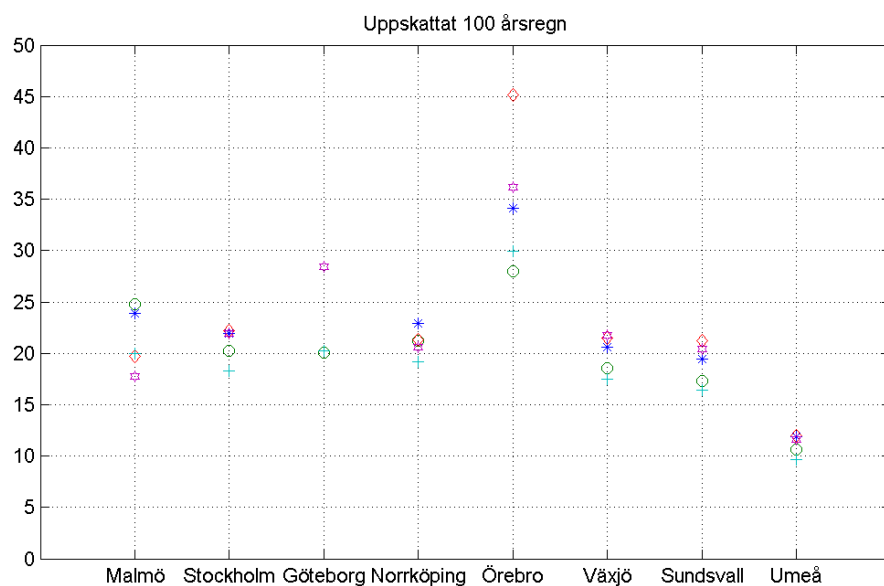
Flera detaljer om studien finns i Bilaga VII.

### 5.3.2 Inverkan av statistisk metodik på beräknade extremregn

Som nämnts i avsnitt 5.1.2 finns ett flertal teoretiska fördelningsfunktioner som använts för att beskriva extrem korttidsnederbörd. För analyser av SMHIs 15-min data har hittills GEV-fördelningen (och dess specialfall Gumbel) använts men att GEV beskriver data på bästa sätt är t.ex. inte helt givet. I verkligheten är inte regnmängder lika fördelade under ett år och observationer med täta mellanrum som 15 min i SMHIs stationer är inte heller oberoende. Under en längre tid är det dessutom troligt att det finns en trend i nederbördsmängderna. Med dessa begränsningar behöver vi undersöka hur bra en extremvärdesfördelning beskriver årsmaxima och om någon annan fördelning är bättre. Inspirerade av Li et al. (2015) jämförs GEV och Gumbel med Weibull och log Pearson 3 som är två andra populära fördelningar för att modellera extremt regn.

Figur 5.2 visar uppskattningen av ett 10-årsregn och 100-årsregn under 15 minuter över åtta större svenska städer. Materialet som använts är 15-min observationer från 1995 till 2014 från den av SMHIs automatstationer som ligger närmast staden. Efter att högsta årliga regnmängden tagits fram anpassades en statistisk fördelning till dessa årsmax. Den regnmängd som enligt dessa fördelningar underskrids med 90 respektive 99 % sannolikhet har i figurerna samma namn som fördelningen (Gumbel, GEV, Weibull och Log Pearson 3).





Figur 5.2 Beräknade 15-min regn med olika fördelningsfunktioner.

I figurerna är "Gumbel diagram" ett alternativt sätt att uppskatta återkomsttiden: om man antar att årsmaxen genererats av en Gumbelfördelning går det att rita in dem i ett diagram där den horisontella axeln är sannolikheten att en regnmängd på den vertikala axeln underskrids. Vidare har den horisontella axeln skalats så att punkterna ska ligga nära en rät linje om de verkligen kommer från en Gumbelfördelning. De återkomsttider som kan beräknas om en linje anpassas till punkterna i ett sådant diagram är de blå kryssen i figuren. Det är denna metod som använts på klimatmodelldata i avsnitt 7.2.

Generellt visar figurerna att de olika modellerna skiljer sig åt mera för 100-årsregn än 10-års regn vilket är väntat eftersom det är vanskligt att förutspå ett 100-årsregn från som mest 20 observationer av årsmax. För 10-årsregn gav Gumbel diagrammet oftast något högre värden än att invertera någon av fördelningarna. För 100-årsregn finns inget lika klart mönster mer än att GEV verkar ge högre värden relativt de andra fördelningarna än för 10-årsregn.

Stationen i Göteborg hade bara observationer för 8 år samt ett enstaka högt årsmax på 19 mm; de övriga sju är under 11mm, och det visar sig som en stor variation redan för 10-årsregn. För 100-årsregn spårade GEV-skattningen ur med ett värde på cirka 170 mm som inte visas i diagrammet. Även stationen i Örebro är problematisk med bara observationer under 13 år och ger misstänkt höga och skilda värden på 100-årsregnet. Umeå hade bara 10 men de årsmaxen var väl samlade under 10 mm och beskrevs bra av alla fördelningar. Norrköping hade observationer för 15 år och de övriga för alla 20 år. Även de visar faran av extrapolation då det skiljer omkring 20 % mellan den lägsta och högsta uppskattningen av 100-årsregnet.

I en annan analys jämfördes ifall extremvärdesanalys med AM- respektive POT-metoden (avsnitt 5.1.2) ger olika värden för skyfall med lång återkomsttid. I analysen har 15-min data från fyra städer i Sverige med i princip kompletta 15-20-års tidsserier analyserats med båda metoderna och resultatet visas i Tabell 5.2. I POT-analysen ansattes trösklar så att antalet regn blev dels lika många som antalet år i serien (alltså samma antal som i AM-metoden), dels 10 gånger antalet år vilket rekommenderats av t.ex. Hernebring (2006). Resultaten indikerar att AM och POT med 1 regn per år ger ett likartat resultat i genomsnitt, även om det kan skilja för en viss station och återkomsttid. POT med 10 regn per år ger emellertid systematiskt högre värden och särskilt för 100 års återkomsttid är skillnaden markant. Skillnaden mellan de båda POT-angreppen överensstämmer principiellt med ett liknande test i Hernebring (2006).

Tabell 5.2. 10- och 100-årsregn med 15-min varaktighet beräknade med tre olika metoder: annual maximum (AM) samt peak-over-threshold med anpassad tröskel 1 regn/år ( $POT_{1/y}$ ) och 10 regn/år ( $POT_{10/y}$ ).

|            | 10-årsregn  |             |              | 100-årsregn |             |              |
|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
|            | AM          | $POT_{1/y}$ | $POT_{10/y}$ | AM          | $POT_{1/y}$ | $POT_{10/y}$ |
| Malmö      | 15.1        | 14.8        | 14.8         | 19.7        | 26.7        | 25.9         |
| Norrköping | 13.8        | 14.7        | 15.0         | 21.3        | 20.7        | 28.2         |
| Stockholm  | 13.8        | 14.6        | 15.2         | 18.9        | 18.1        | 34.1         |
| Sundsvall  | 11.8        | 12.9        | 13.3         | 21.2        | 17.5        | 27.8         |
| Växjö      | 13.3        | 13.4        | 14.1         | 21.5        | 20.1        | 24.4         |
| Medel      | <b>13.6</b> | <b>14.1</b> | <b>14.5</b>  | <b>20.5</b> | <b>20.6</b> | <b>28.1</b>  |

## 6 Prognoser

Det vore önskvärt att kunna göra exakta prognoser av kraftiga skyfall i så pass god tid innan de inträffar att samhället hinner vidta skyddsåtgärder. Är detta inom det möjligas gränser? I avsnitt 6.1 nedan och i mer detalj i en bilaga diskuteras prediktabiliteten (förutsägbarheten) hos skyfall.

Även om den teoretiska prediktabiliteten för skyfall med dagens resurser är ett besvärande aber finns det trots allt möjligheter att göra prognoser som är värdefulla för många samhällsfunktioner; och utvecklingen går snabbt framåt (avsnitt 6.2). Ska det vara möjligt krävs att många delar samverkar med snabb datainsamling, snabb bearbetning och snabb distribution av informationen samt, inte minst, att mottagaren har lärt sig tolka informationen. Ett exempel i form av en fallstudie belyser problematiken (avsnitt 6.3).

### 6.1 Prediktabilitet hos skyfall

Extrem korttidsnederbörd – eller skyfall – förorsakas normalt sett av konvektiva moln, Cumulonimbus, Cb. Dessa moln har en horisontell storlek på ungefär 10 km och är därmed på gränsen till att explicit kunna beskrivas av dagens finmaskiga väderprognosmodeller. Dessa modeller har för närvarande ett gridavstånd på 2.5 km, men det krävs troligen betydligt kortare gridavstånd, omkring 100 m, för en god beskrivning av dessa moln.

Det faktum att ett fenomen kan beskrivas explicit i en modell innebär dock inte nödvändigtvis att det därmed också är förutsägbart. Teorier för atmosfärens förutsägbarhet - eller prediktabilitet - indikerar nämligen att det finns ett mycket starkt samband mellan storleken, eller rumsskalen, hos det fenomen som skall förutsägas och dess prediktabilitet. Fenomen som är storskaliga i rummet är också långvariga i tiden och med detta följer att den tidsrymd över vilken meningsfulla prognoser kan göras är relativt långvarig. Omvänt gäller att fenomen som är småskaliga i rummet är kortvariga i tiden och att med detta följer att den tidsrymd över vilken meningsfulla prognoser kan göras är relativt kortvarig.

Teori, observationer och numeriska experiment med väderprognosmodeller ger tillsammans en kvalitativt och kvantitativ entydig bild av atmosfärens prediktabilitet. För den storskaliga så kallade synoptiska skalan – där de för oss så bekanta vandrare låg- och högtrycken återfinns - visar det sig att den typiska tidsskalan är oberoende av längdskalan. Detta faktum har vittgående konsekvenser då det möjliggör meningsfulla prognoser så långt fram i tiden som 1 till 2 veckor.

I skarp kontrast med förhålllet på den synoptiska skalan så har fenomen på skalor mindre än ungefär 500 km däremot en typisk tidsskala som är starkt beroende av längdskalan. Ju mindre fenomenet är ju kortare är dess tidsskala, vilket i sin tur innebär successivt allt mer begränsad prediktabilitet. Ju mindre skalan är ju tydligare manifesterar sig detta. Prediktabiliteten hos ett så pass småskaligt fenomen som ett Cb-moln är därför ytterst begränsad, av storleksordningen en timme eller mindre.

En ytterligare försvårande omständighet är det faktum att antalet observationer som finns tillgängligt för att specificera det initialtillstånd varifrån en modell utgår ifrån för att göra en prognos är flera storleksordningar mindre än vad som skulle krävas. Detta betyder att även om en modell har ett grid-avstånd på 2.5 km, och därmed marginellt skulle kunna upplösa ett Cb-moln, så kommer trots detta inte individuella Cb-moln att finnas specificerade i utgångsläget på grund av brist på observationer.

Att förutsäga exakt hur varje Cb-moln kommer att röra och utveckla sig är alltså inom överskådlig framtid inte möjligt. Det man i praktiken måste förlita sig på är någon typ av sannolikhetsprognos baserad på ett ensemble-prognos-system (EPS). Grunden för dessa prognoser är att den synoptiska skalan är relativt väl prognoserad. Givet detta är det möjligt att beräkna olika möjliga utfall – representerat av ett antal olika ensemblemedlemmar - för hur Cb-molnen kommer att röra och utveckla sig. Kvaliteten hos ett EPS är direkt beroende på hur väl man kan skapa ensemblemedlemmar som är representativa för hur den verkliga atmosfären skulle kunna utveckla sig.

Dessutom är kvaliteten på EPS direkt beroende på kvaliteten på själva den modell som används för att göra prognoser. Inom båda dessa områden pågår ett intensivt forsknings- och utvecklingsarbete.

## **6.2 Prognossystem för skyfall**

För att kunna prognostisera häftiga nederbördsområdets utveckling i tid och rum samt intensitet behöver man använda någon form av högupplösta observationsdata tex radardata. Detta för att i det korta tidsperspektivet ge mer information i tillägg till de numeriska meteorologiska prognoserna. Genom att använda radarinformation för de första timmarna tillsammans med data från numeriska modeller, kan man förstärka information i dessa då det föreligger situationer med häftig nederbörd, skyfall. Vidare så ger det ytterligare information om var risken för detta är och i vilken riktning som nederbördsområdet utvecklas. Situationer kan även förekomma då modellerna indikerar på intensiv nederbördsutveckling men att radarinformationen ger att den inte blir så kraftig som prognostiserats. Detta system som hanterar kombinationen av modelldata och radar data kallas KNEP, Korta Nederbörds Prognoser.

### **6.2.1 Befintligt**

Målet med detta arbete var att få in KNEP i produktion, så att prognosmeteorologer på SMHI:s prognosenhet kan använda det som beslutsunderlag. I huvudsak då man gör de meteorologiska styrningar som genererar den operationella prognosen samt som underlag för varningsinformation till allmänheten.

Den version av KNEP som fanns framtagen tidigare baserades bara på utdata från en prognosmodell, nämligen SMHIs trotjänare HIRLAM version E05. Detta innebar att det inte alltid gick att få konsistens mellan den modell som valdes in i den operationella prognosen med den modell som låg till grund för KNEP-beräkningen. Detta accentuerades i och med införandet av den nya så kallade AROME-modellen, som har högre horisontell upplösning än E05, 2.5 km jämfört med 5 km, då den valdes in oftare i den operationella prognosen analysen.

Den version av KNEP som tagits fram nu kan använda samtliga av de modeller som finns tillgängliga för meteorologerna på SMHI att välja in i den operationella prognosen som indata, tillsammans med radardata som är baserad på NORDRAD information. NORDRAD är sammanlagrad radarinformation från samtliga radaranläggningar i Norden. Data från KNEP levereras för en prognoslängd på 6 timmar med en tidsupplösning på en timme. Radarinformationen och modelldata vägs in linjärt för denna tidsperiod. Detta innebär att för den första timmen är det enbart radarinformation, medan för sjätte timmen är det ren modelldata som ligger till grund för prognosen.

### **6.2.2 Under testning (KNEP)**

Den nya KNEP-versionen rullar numera i testproduktion och arbete pågår kontinuerligt med att verifiera kvalitén. KNEP kan nu hantera samtliga de modeller som används operationellt på SMHI. Resultaten från dessa beräkningar kommer att genereras på separat utdatafil som är ett komplement till den datafil som generas och som levereras via webbgränssnittet "SMHI öppna data". Valet att göra så är på grund av att ändringar av den operationella prognosen datafilen kan ha stor påverkan på avnämare av denna och skall därför kommuniceras i god tid.

Parallellt med detta arbete har en optimering av koden genomförts för att lättare kunna modifiera och som även innebär att den är mer tidseffektiv. Ett steg i detta är att den skall kunna gå att köra operationellt på ett datakluster som finns National Supercomputer Centre i Linköping. Detta innebär att beräkningsresultaten kan finnas tillgängliga till operationell meteorolog tidigare än de finns i dag.

### 6.2.3 Möjliga om några år

Potentialen för detta system är stor, men är beroende av de indata som finns tillgängliga. I det nuvarande systemet används modellvindarna för att prognostisera rörelseutvecklingen av nederbördshändelsen. Det som vore mer optimalt är att använda vindinformationen från radar. Detta för att ett kraftigt konvektivt nederbördsfenomen påverkar även de horisontella vindarna. För att kunna använda vindarna från radaranläggningarna behöver kvalitén på dem verifieras. I och med de nya radaranläggningar som installeras i Sverige finns möjligheten att få radarvindar med tillräckligt bra kvalitet.

Eftersom skyfallshändelser har ett väldigt snabbt och kraftigt utvecklingsförlopp skulle det vara bra om man kunde generera KNEP prognoser var 15 minut, då man har fått uppdaterad radarinformation. I samband med detta skulle man behöva se över den viktningssalgorithm som används för att kombinera radar och modellinformation. Eventuellt skulle man använda någon form av logaritmisk eller potentiell fördelning för detta.

Det finns även en möjlighet att använda satellitinformation av atmosfäriska labiliteten för att indikera risk för konvektiv nederbörd. Genom detta skulle man få information om var det finns risk för skyfall innan det har detekterats på radar. Detta arbete befinner sig i nuläget i forskningsstadiet.

## 6.3 Fallstudie

### **Numeriska simuleringar av Malmöskyfallet augusti, 2014 med AROME – en känslighetsstudie.**

Ett extremt skyfall till följd av kraftig konvektion drabbade Köpenhamn och Malmö den 31 augusti, 2014 och resulterade i att många vägar stängdes av och byggnader översvämmades. Under 24 timmar föll 100,1 mm över Malmö, vilket är ett rekord sedan åtminstone 1961. Dessutom slog händelsen rekordet för den största nederbördsmängden på en timme i Malmö; 31,6 mm ([www.smhi.se](http://www.smhi.se)). Sådana stora nederbördsmängder är inte ovanligt i samband med konvektiv aktivitet, men när det faller över en stor stad (eller två stora städer i det här fallet), så är konsekvenserna mycket allvarliga, och händelsen har utlöst en rad diskussioner, undersökningar och åtgärder inom den hydrometeorologiska forskningen i Skandinavien.

Numeriska modeller utgör grunden för väderprognoser. Dessa modeller är matematiska beskrivningar av atmosfärens flödes- och termodynamik och grundas på kända fysikaliska lagar. Beskrivningen består av ett system icke-linjära differentialekvationer vilka måste lösas med hjälp av numeriska metoder. De fysikaliska processer som inte löses upp numeriskt måste beskrivas (parameteriseras) som funktion av de upplösta variablerna, det kan vara processer så som molnbildning, turbulens, strålning och konvektion. Ekvationerna kan lösas med ett givet initialtillstånd som konstrueras utifrån observationer av atmosfären i kombination med en tidigare prognos genom så kallad data-assimilation. Felet som initialtillståndet besitter växer p.g.a. de icke-linjära modellekvationerna och dubblas efter ca två dagar för stora vågor, men bara efter några timmar för småskaliga fenomen så som konvektion (Lorenz, 1969; Hohenegger and Schär, 2007). Ett sätt att uppskatta osäkerheter i modellen är att använda ensembleprognoser (flera simuleringar med små ändringar i modellens initialtillstånd). En robust uppskattning av osäkerheten i de numeriska modellerna är ytterst värdefullt för att forma adekvata beslut vid extrema väderutvecklingar.

I den här studien har vi använt oss av den meso-skaliga modellen AROME (Seity et al., 2012), och som jämförelse också den globala modellen ECMWF, båda används operationellt på SMHI för korta och långa väderprognoser. För ensemblestudier har vi använt det meso-skaliga ensemblesystemet, HarmonEPS, vilket är baserat på prognosmodellen AROME.

Syftet med denna studie är följande: för det första är vi intresserade av att förstå känsligheten av Malmöskyfallet för olika komponenter i AROME, såsom horisontell upplösning, områdets storlek, kopplingen av laterala randvillkor, känslighet för val av modellfysik, samt dataassimilering. Detta för att öka förståelsen för vilka aspekter som är viktigast för att prognostisera skyfallet i fråga. För

det andra är vi intresserade av att se hur ett sådant småskaligt konvektivt fenomen kan representeras i ett högupplöst ensemblesystem, och om vi kan uppskatta vilken typ av sannolikheter ett sådant system skulle kunna generera för just denna händelse. Till slut är vi intresserade av att försöka svara på frågan "hur kraftigt skulle skyfallet ha kunnat bli?". Detta görs genom att gradvis öka havsytans temperatur i Öresund, där konvektion förstärktes innan det drog in över Malmö. Försöket var inspirerat av Meredith et al. (2015) där författarna tittat på sambandet mellan kustkonvektion och ökning av havsyttemperaturer (SST) i Svarta havet.

Vi vill betona att slutsatserna från denna känslighetsstudie är utförd på en enskild händelse och kan således inte ses som generella slutsatser om en "bästa" modellkonfiguration. Med detta sagt fann vi i studien att en kombination av flera aspekter var avgörande för att prognostisera händelsen: Storleken på beräkningsområdet, initiering av ett lägre randvillkor (markytan), samt dataassimilation i den övre atmosfären spelade en viktig roll för att få korrekt intensitet och en bättre placering av maximal nederbörd.

Resultaten pekar vidare på att modellens höga horisontella upplösning (2,5 km), och beskrivning av djup konvektion (explicit beskriven av modellens dynamik) var viktiga för att beskriva skyfallet, om man jämför med den globala simuleringen (där modellen inte lyckades prognostisera nederbörd över södra Sverige), men de mycket intensiva nederbördsmängderna fångas endast efter att dataassimilering används. I och med detta körs modellens egen fysik flera cykler och bygger upp en blötare modellatmosfär jämfört med den globala modellen.

Eftersom en fördubbling av det ursprungliga felet är mycket snabb för småskaliga processer såsom djup konvektion (storleksordningen timmar), är förutsägbarheten för ett skyfall som detta mycket låg. I detta fall är konvektionen driven av den synoptiska väderutvecklingen, vilken har större förutsägbarhet - och en signal av att stora mängder nederbörd skulle falla i södra Sverige fanns med i den operationella modellen 2 dagar före skyfallet. Men placeringen av individuella konvektiva celler i det synoptiska systemet har ett stokastiskt beteende, och det behövs en ensemble för att ge en signal om var de största mängderna väntas falla. I denna studie använde vi en ganska liten ensemble (11 medlemmar), och fann att den synoptiska skalan var prognostiserad med liten spridning mellan medlemmarna, men intensiteten och placeringen av de individuella konvektiva cellerna hade en stor spridning. Beräkning av sannolikheter från EPS visade en tydlig signal över Skåne av nederbörd över 50 mm under 12 timmar.

Vidare så fann vi att skyfallet hade stor känslighet för temperaturen vid havsytan i Öresund. Intensiteten i nederbörd ökar med ökade temperaturer vid havsytan. Det fanns dock inga tecken på mättnad i den ökade nederbörden med ökad yttemperatur, även för mycket höga havsyttemperaturer. Inget entydigt svar kan således ges på frågan "hur kraftigt skulle skyfallet ha kunnat bli?", men det är klart att högre yttemperatur i Öresund skulle kunna ha bidragit till ännu kraftigare skyfall, även inom nuvarande variation i yttemperatur i dagens klimat. Vi kommer analysera resultaten vidare i en fortsättning av denna studie. Vidare så är temperaturen för havsytan i nuvarande operationella modell taget från den globala modellen vid initialtillståndet, och interpoleras till den högupplösta gridden, samt hålls konstant genom hela simuleringen Östersjön undantaget. Där tas havsytans temperatur från en mer högupplöst oceanografisk modell på SMHI vid namn HIROMB. Högre upplöst beskrivning av yttemperaturen även i Öresund skulle kunna leda till förbättrade prognoser av skyfall som kommer in över Sverige från sydväst. Dessutom, för mer långsiktig utveckling, skulle det vara intressant att undersöka om en dygns cykel i yttemperatur skulle kunna beskrivas som marktillstånd för väderprognosmodellen.

Mer detaljer kring denna fallstudie finns i Bilaga IX

## 7 Skyfall i framtida klimat

En förväntad effekt av den globala uppvärmningen är mera intensiv korttidsnederbörd. Detta beror på att en varmare atmosfär kan innehålla mera vattenånga och därmed skapar förutsättningar för högre regnintensiteter än i ett kallare klimat. Den främsta metoden för att uppskatta framtida klimatförändringar är att använda klimatmodeller. Dessa har sitt ursprung i de väderprognosmodeller som används för att göra korttidsprognoser (kapitel 6), vilka har anpassats för att kunna köras över längre perioder och beskriva klimatets fluktuationer och trender. I avsnitt 7.1 ges en kortfattad översikt över kunskapsläget inom området. I avsnitt 7.2 görs en uppdaterad analys av de förväntade förändringarna av extrem korttidsnederbörd i Sverige. I avsnitt 7.3 studeras hur olika val i den statistiska analysen påverkar resultatet.

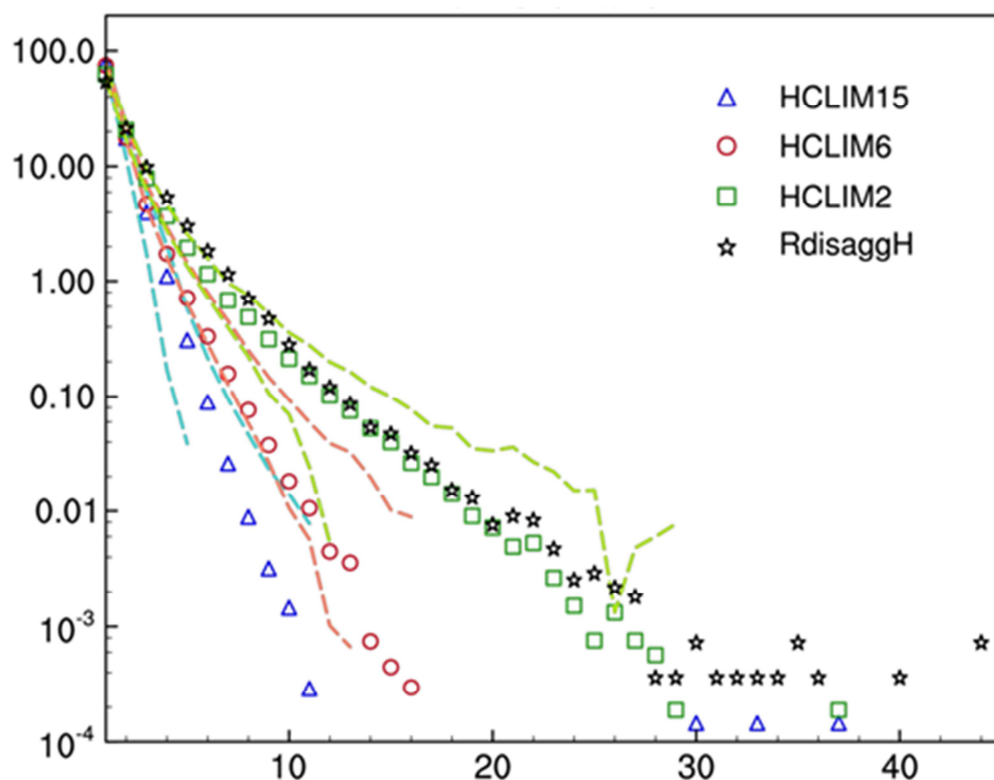
### 7.1 Kunskapsöversikt

En grundläggande problematik vad gäller framtida extrem korttidsnederbörd hänger samman med klimatmodellernas rumsliga upplösning. Framtida projektioner görs normalt med först en global klimatmodell (GCM) som därefter ”skalas ned” över en viss region med en regional klimatmodell (RCM).

Globala modeller har normalt ett beräkningsnät med ett gridavstånd på cirka 200 km och regionala modeller 10-50 km (i EURO-CORDEX används 12,5 km vilket får anses vara standard för Europa idag Jacob et al., 2013). Det senare innebär att resultatet från en RCM uttrycks som ett medelvärde över 100-2500 km<sup>2</sup> stora gridrutor, vilket är för grovt för att direkt beskriva den konvektion som normalt ligger bakom lokalt intensiv nederbörd. Modellens faktiska upplösning, dvs. de fenomen som kan beskrivas på ett realistiskt sätt, är ofta 4-10 gånger gridavståndet. I stället beskrivs konvektionen på ett förenklat sätt med hjälp av storskaliga parametervärden för t.ex. temperatur och fuktighet som representerar hela gridrutan. Den här typen av förenklingar, s.k. parameterisering, är en av de viktigaste källorna till osäkerhet i klimat- och väderprognosmodeller. Den relativt grova upplösningen i dagens klimatmodeller gör att de uppskattningar som hittills gjorts av hur extrem korttidsnederbörd kommer att förändras måste ses som approximativa.

För närvarande pågår en intensiv utveckling av regionala klimatmodeller med 2-4 km gridavstånd vilket kommer att bättre beskriva konvektion och därigenom ge säkrare uppskattningar av förändringar. Internationella studier från bland annat England, Schweiz och Tyskland visar på att den här typen av högupplösta modeller på ett bättre sätt representerar extrem korttidsnederbörd (Kjellström et al. 2014). På SMHI arbetar forskarna vid Rossby Centre med att anpassa den operationella regionala väderprognosmodellen HARMONIE (se exempel i avsnitt 6.3) för klimatstudier. Modellsystemet har bland annat använts för att simulera extrem korttidsnederbörd över Kreta inom ramen för EU-projektet ECLISE. Kombinationen av varm fuktig luft över Medelhavet och kraftiga uppvindar över de höga bergen på Kreta kan ge nederbördsmängder på uppemot 200 mm regn på bara ett par timmar vilket modellen visar sig kunna representera på ett mycket realistiskt sätt i ett par testfall, Lind et al. 2014.

En större klimatologisk studie med modellen har gjorts för Schweiz där man dragit nytta av det täta nätet av observationsstationer för att utvärdera modellens förmåga att simulera extrem korttidsnederbörd (Lind et al., 2015). Den komplexa terrängen i Alperna är en utmaning för atmosfärsmodeller och det har tidigare visats att högre upplösning är väsentlig för att få till en bra simulering av nederbörd i området. I den nya studien visar det sig att modellen vid 2 km gridavstånd ger väsentligt förbättrad förmåga att simulera högintensiv nederbörd än motsvarande modellversion med 6 resp. 15 km (se figur 7.1).



Figur 7.1. Frekvensfördelning (%) som funktion av nederbördsintensitet (mm/timme). Svarta symboler motsvarar högupplösta observationer över Schweiz. De färgade symbolerna motsvarar simulerad nederbörd med den regionala klimatmodellen HARMONIE-Climate (HCLIM) vid tre olika gridavstånd (15, 6 respektive 2 km). De streckade linjerna representerar 95% konfidensintervall. Från Lind et al. (2015).

För Sveriges del har hittills inga längre klimatkörningar gjorts vid hög upplösning men motsvarande tester med väderprognosmodellen ger mycket lovande resultat (se avsnitt 6.3 och Bilaga IX).

Den högre upplösningen är alltså eftersträfvansvärd men kommer till priset av väsentlig större behov av datorresurser och det kommer därför att dröja åtskilliga år innan det finns en tillräckligt omfattande uppsättning framtidsprojektioner med hög upplösning. För att komma runt problemet med rumsupplösningen har olika alternativa angrepp använts, t.ex. statistisk modellering av regntidsserier och identifiering av "analog platser" som idag kan antas representera det förväntade framtida klimatet.

Ett begrepp som används mycket i detta sammanhang är *klimatfaktor*. Denna faktor beskriver den förväntade framtida relativa förändringen i extrem nederbörd med viss varaktighet och återkomsttid. Genom att multiplicera dimensionerande intensiteter från existerande IDF-kurvor (avsnitt 5.1.3) med motsvarande klimatfaktor kan den framtida dimensionerande intensiteten uppskattas.

De uppskattningar av framtida förändringar och klimatfaktorer som hittills gjorts pekar i allmänhet på en framtida ökning av den extrema korttidsnederbörden, såsom förväntat. För Sveriges del indikerar resultaten totalt sett en ökning av intensiteter för kortare varaktighet än 1 timme och återkomsttid 10 år med 10% (0%/20%) till mitten av seklet och 25% (15%/35%) till slutet av seklet (låg/hög uppskattning). Detta motsvarar klimatfaktorer på 1,1 respektive 1,25. Spridningen mellan olika projektioner är emellertid stor. För längre varaktigheter blir den framtida ökningen lägre. Inga tydliga regionala mönster har kunnat ses och inte heller någon tydlig skillnad mellan olika återkomsttider.

Av våra grannländer är det främst i Danmark som framtida korttidsextremer beräknats. För olika varaktigheter upp till 1 dygn har klimatfaktorer på upp till 2 beräknats men också faktorer under 1 som indikerar framtida minskning. Sett till hela Europa indikeras överlag framtida ökning i storleksordningen 10-50% beroende på plats, varaktighet och återkomsttid, Nikulin et al. (2011). Ofta uttrycks förändringen som att återkomsttiden ungefär halveras i framtiden, d.v.s. den regnintensitet som idag inträffar i genomsnitt vartannat år kommer i framtiden att inträffa varje år.

För en mera fullständig översikt över förväntade framtida förändringar, se avsnitt 4.2. i Bilaga I.

## 7.2 Analyser av högupplösta framtidsprojektioner

De flesta tidigare analyser som gjorts av extrem korttidsnederbörd i klimatprojektioner för Sverige har använt klimatmodelldata med en rumslig upplösning 50×50 km<sup>2</sup>, vilket medför en stor osäkerhet i lokal nederbörd (avsnitt 7.1). Inom uppdraget genomfördes en analys av nederbörd i en ensemble av åtta projektioner körda med RCA4-modellen (Samuelsson et al., 2014) på 12×12 km<sup>2</sup> grid inom Euro-CORDEX-samarbetet. Även den tidsmässiga upplösningen, 7,5 min, är högre än vad som tidigare studerats. I ensemblen fanns en projektion driven med RCP2.6, tre med RCP4.5 och fyra med RCP8.5. RCP (Representative Concentration Pathway) beskriver de framtida utsläppen av växthusgaser till atmosfären där 2.6 innebär minskande utsläpp från och med cirka 2020, 4.5 en minskning från och med cirka 2060 och 8.5 en fortsatt ökning till slutet av seklet.

För varje modellgridruta inom Sverige extraherades 30-års tidsserier med 7,5-min nederbörd i perioderna 1976-2005 (referensperiod), 2010-2039, 2040-2069 och 2070-2099. Därefter applicerades AM-metoden (avsnitt 5.1.2) på 30-årsserierna för att uppskatta intensiteter relaterade till olika varaktigheter och återkomsttider. Slutligen beräknades den relativa förändringen i intensitet från referensperioden till de olika framtidsperioderna.

Tabell 7.1 visar förändring i nederbörd med återkomsttiden 10 år, för varaktigheterna 15 minuter, 1, 3 och 24 timmar. Resultat visas för två RCP-ensembler och för två olika fram-tidsperioder relativt referensperioden 1976-2005. Förändringen till perioden 2010-2039 är lika för samtliga varaktigheter. Förändringen är marginellt större hos RCP8.5-ensemblen, mest ökar 24-timmarsnederbörden med 9.3 %. För perioden 2070-2099 är skillnaden mellan de två ensemblerna tydligare: RCP4.5 beräknas till knappt 20 % (15-minutersnederbörd) medan RCP8.5 når en förändring på nära 30 %.

Modellernas högsta och minsta värden visas inom parenteser och ger ett mått på osäkerheten i resultaten. Generellt minskar osäkerheten i resultaten med längre varaktighet, men det finns avvikelser.

*Tabell 7.1. Procentuell förändring i nederbörd med återkomsttid 10 år, jämfört med 1976-2005, för två olika framtidsperioder och två olika RCP-ensembler. Medelvärden för Sverige av samtliga modellberäkningar, minsta och största värden från modellerna visas inom parentes.*

| Varaktighet  | 2010-2039      |                | 2070-2099        |                  |
|--------------|----------------|----------------|------------------|------------------|
|              | RCP4.5         | RCP8.5         | RCP4.5           | RCP8.5           |
| <b>15min</b> | 6.0 (5.1/6.8)  | 8.2 (5.0/10.1) | 19.8 (12.6/31.8) | 28.1 (14.2/37.5) |
| <b>1h</b>    | 7.1 (5.4/10.2) | 7.6 (5.3/10.2) | 17.1(13.7/23.5)  | 29.4 (13.0/38.5) |
| <b>3h</b>    | 6.5 (3.9/10.9) | 7.5 (3.5/10.3) | 16.2 (12.3/22.1) | 29.7 (13.2/40.2) |
| <b>24h</b>   | 6.3 (3.2/8.1)  | 9.3 (6.5/11.7) | 16.3 (11.2/19.2) | 28.7 (12.2/37.8) |

En direkt jämförelse med tidigare resultat från andra projektioner med upplösningen 50×50 km<sup>2</sup> är svårt då olika referensperioder användes i beräkningarna. Men det verkar som de nya resultaten uppvisar en mer likartad förändring för olika varaktigheter. På 50×50 km<sup>2</sup> gav den allra kortaste

varaktigheten de högsta värdena för samtliga projektioner och tidsperioder, men den slutsatsen går inte att dra av de nya resultaten.

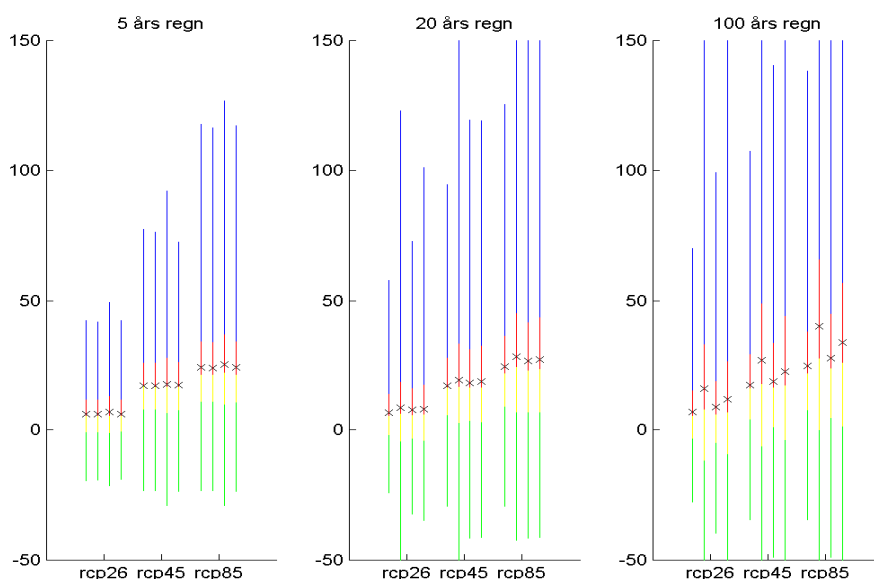
Observera att modellunderlaget för de två olika RCP-scenarierna skiljer sig åt; RCP4.5 baseras på resultat från de globala modellerna EC-Earth, CNRM\_CM5 och HadGEM2\_ES. RCP8.5 baseras på CNRM\_CM5, HadGEM2\_ES, IPSL\_CM5A\_MR och MPI\_ESM\_LR. Detta ger en osäkerhet när resultat från de två scenarierna jämförs.

### 7.3 Inverkan av statistisk metodik

I Bilaga X jämförs GEV och Gumbel med Weibull och log Pearson 3, som är två andra populära fördelningar för att modellera extremt regn (avsnitt 5.1.2), med avseende på förmågan att beskriva extrem korttidsnederbörd i högupplösta klimatmodelldata för Sverige i AM-metoden. Den jämförelsen visade att fördelningsfunktionen från en av Gumbel eller GEV passade bäst i drygt 60% av gridrutorna och log Pearson 3 var bäst i drygt 30% av gridrutorna. Weibull skiljde ut sig med att passa sämst i drygt 70% av gridrutorna.

Våra begränsade tester antyder att extremvärdesfördelningen som helhet kan vara lämplig för att analysera årsmax av regn från dessa klimatmodeller. Här bör påpekas att jämföra största avvikelsen i fördelningsfunktionen bara är ett av många sätt att testa kvaliteten av anpassningen med olika fördelningar. Man bör också studera plottar av hur bra en fördelning verkar passa data men det var inte praktiskt möjligt med tusentals serier som vi har här.

Med serier på bara 30 år är det också vanskligt att uppskatta längre återkomsttider. Två fördelningar kan verka passa ungefär lika bra men kan börja spreta ordentligt när man löser ekvationen  $F(x)=p$  för  $p$  nära 1. Jämför de stora skillnaderna i 100-årsregn mellan Gumbel på årsmax och POT.



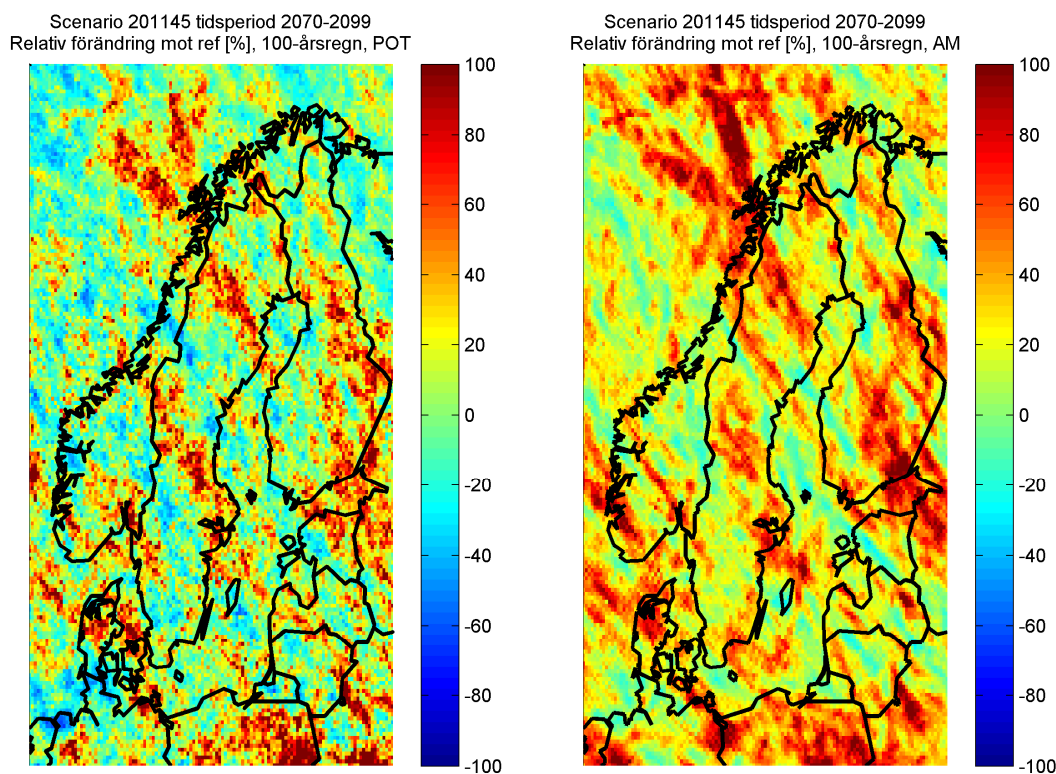
*Figur 7.2. Relativ förändring av 7.5-min regn från 1975-2005 till 2070-2099. Medelvärden över Sverige. De fyra staplarna i varje grupp är beräkningar från en anpassning av från vänster till höger Gumbel-fördelning, GEV-fördelning, Weibull-fördelning och Log Pearson 3. Färgerna i en stapel är första kvartilen (grön), andra kvartilen (gul), tredje kvartilen (röd) och fjärde kvartilen (blå). Medelvärdet är ett svart kryss.*

Vi har också studerat hur valet av fördelningsfunktion påverkar uppskattade framtida förändringar. Figur 7.2 visar relativ förändring i uppskattad 7.5-min nederbörd med återkomsttid 5år, 20 år och

100 år från 1975-2005 till 2070-2099. Statistiken har tagits fram från alla punkter inom Sverige och alla klimatmodellprojektioner (avsnitt 7.2). Skalan har klippts vid -50 % och 100 %.

För de två kortare återkomsttiderna 5 år och 20 år syns ingen större skillnad mellan de 4 fördelningarna mer än att GEV har några punkter med extremt stora relativa förändringar. Vid extrapolation till 100 års regn sticker däremot GEV och i viss mån Log Pearson 3 ut med högre uppskattade relativa förändringar än Gumbel- och Weibullfördelningen.

I en annan analys jämfördes ifall extremvärdesanalys med AM- respektive POT-metoden (avsnitt 5.1.2) ger olika signal vad gäller den framtida förändringen av extrem korttidsnederbörd. Ett representativt exempel på de preliminära resultaten visas i Figur 7.2, där framtida förändringar av ett 7.5-min regn med 100 års återkomsttid i en utvald projektion har beräknats med de båda metoderna. Totalt sett är mönstren relativt lika, med kraftiga rumsliga variationer i ungefär likartade stråk med kraftiga ökningar och däremellan områden med lägre ökning eller minskning. De rumsliga skillnaderna har knappast någon fysikalisk förklaring utan torde vara statistiskt brus. Två skillnader syns dock. En är att AM-metoden verkar ge mjukare variationer. POT-metoden ger ett avsevärt "plottrigare" mönster med lokalt mycket kraftiga ökningar såväl som minskningar. Skillnaden är troligen främst relaterad till de båda olika fördelningsfunktionerna. Den Pareto-fördelning som används i POT-metoden har en krökningsparameter som kan kraftigt påverka uppskattningar för långa återkomsttider uppåt och nedåt. Gumbel-fördelningen i AM-metoden ger ett mera regelbundet beroende av intensiteten på återkomsttider och mindre fluktuationer. Den andra skillnaden är att AM-metoden ger systematiskt större ökning. För områdena i Figur 7.3 är medelökningen med AM-metoden 30% och med POT-metoden 13%, och denna skillnad på 15-20% är genomgående för samtliga projektioner (avsnitt 7.2). En effekt av detta är att POT-metoden generellt ger minskade extremer fram till perioden 2040-2069 vilket står i motsats till den förväntade förändringen. En mera djupgående analys krävs för att förstå skillnaderna mellan resultaten från de båda metoderna.



Figur 7.3. Exempel på relativ förändring av ett 15-min regn med 100 års återkomsttid fram till slutet av seklet beräknat med POT-metodik (till vänster) och AM-metodik (till höger).

## 8 Hydrologiska effekter av skyfall

Skyfall som drabbar urbana områden innebär ofta stora kostnader för samhället. Konsekvenserna och påverkan blir omfattande eftersom byggnadstätheten är hög och graden av sårbar infrastruktur är högre än i andra typer av områden. Påverkan på samhällsviktiga funktioner kan även innebära en fara för människors hälsa.

Skyfallen karakteriseras av korta, lokala förlopp som är svåra att prognostisera var de ska komma att inträffa. För att skaffa sig information om hur sådana situationer skulle kunna påverka en enskild kommun eller tätort finns möjligheten att i förväg kartlägga kommunens geografiska område. Resultatet av en sådan analys av översvämningsrisker och avrinningsvägar kan sedan användas som underlag för beredskapsplanering, insatsplanering, åtgärder och fysisk planering. En översikt ges i avsnitt 8.1.

På nationell nivå sker hydrologisk modellering med ett 1-dygns tidssteg, vilket innebär begränsade möjligheter att med modellen beskriva de hastiga flödesökningar och kortvariga högflöden som skyfall kan leda till. Dock pågår utveckling mot modellering med ett 1-timmes tidssteg i modellen S-HYPE, vilket skulle avsevärt förbättra möjligheterna. I avsnitt 8.2 beskrivs översiktligt den nuvarande träffsäkerheten i 1-timmesmodellen och dessutom görs en första ansats till en nationell kartering av skyfallskänsliga områden.

### 8.1 Metodik för lokala skyfallskonsekvenser i tätorter

#### Genomförda metodstudier

Efter att det inträffat ett flertal skyfallshändelser i större tätorter de senaste åren har frågan om att kunna förutsäga, hantera och förebygga sådana händelser aktualiserats. I MSBs rapport; "Pluviala översvämnningar – konsekvenser vid skyfall över tätorter, en kunskapsöversikt" (Hernebring och Mårtensson, 2013) konstateras att den typen av händelser, kortvariga konvektiva skyfall, är mycket svåra att förutsäga inom rimlig tidsram. Det är svårt att hinna göra något på kort sikt. För att minska samhällets sårbarhet för skyfall är man därför hänvisad till långsiktiga, proaktiva, förebyggande åtgärder.

En annan studie som MSB låtit genomföra är; "Kartläggning av skyfalls påverkan på samhällsviktig verksamhet – framtagande av metodik för utredning på kommunal nivå" (Gustafsson m.fl., 2014). Där redovisas och värderas fyra olika metoder (GIS-analyser och översvämningskarteringar) för kartläggning av skyfalls konsekvenser på samhällsviktig verksamhet:

- GIS-analys av lågpunkter
- Tvådimensionell hydraulisk beräkning (2D)
- Kombination av dagvattenmodell (1D) och modell för nätverk av flödesvägar på markytan (1D)
- Kombinerad dagvattenmodell (1D) och markavrinningsmodell (2D)

Den metod som nämnda studie rekommenderar, efter genomgång och analys av för- och nackdelar, är att en ren 2D-analys bör väljas. Metoden ger en snabb överblick, kräver begränsad mängd indata och ger en korrekt beskrivning av markavrinningen, i samband med extrem nederbörd, till skillnad från enklare GIS-analyser. Motivet till att inte kombinera med en detaljerad modellering av ledningsnätet grundar sig på att syftet är att kartlägga konsekvenser vid mycket extrema regn (skyfall) då ledningssystemets kapacitet är begränsad i förhållande till regnvolym och intensitet.

#### Genomförda och pågående utredningar

Exempel på några kommuner som genomfört markavrinningsberäkningar är Göteborg, Malmö, Norrköping, Stockholm, Växjö och Mölndal.

Göteborgs stad har tagit fram ett digitalt verktyg för simulering av skyfall – skyfallsmodellen (Göteborg, 2015). Modellen är den största i sitt slag i Sverige och ska hjälpa kommunen att strategiskt planera för att minska konsekvenserna vid översvämningar.

Tillsammans med VA SYD arbetar Malmö stad just nu med att ta fram en Skyfallsplan – en långsiktig och konkret handlingsplan för att rusta staden mot extrema skyfall (VA SYD, 2015). Skyfallsplanen består huvudsakligen av tre delar – en strategidel, en åtgärdsdel och en beredskapsdel. Malmö stad har låtit genomföra markavrinningsmodelleringar vid ett 100-årsregn. Dessutom har man även modellerat konsekvensen av det så kallade Köpenhamnsregnet (Vejen, 2011) som föll i juli 2011, om det skulle fallit över Malmö. Resultaten är dock ännu så länge endast för internt bruk.

Norrköpings kommun lät år 2012 göra en kartering av översvämningssrisker vid ett 100-årsregn, inklusive klimatpåverkan, med 30 minuters varaktighet för samtliga tätorter inom kommunen. Resultatet har sedan legat till grund för kommunens ”Miljö- och riskfaktorer, tillägg till översiktsplanen för Norrköpings kommun – samrådshandling” (Norrköpings kommun, 2012).

Även Stockholms stad har genomfört en översvämningsskartering vid skyfall, 100-årsregn inklusive klimatpåverkan (Stockholms stad, 2014).

Växjö kommun arbetar aktivt med förebyggande åtgärder för översvämningar och har genomfört en del utredningar. I ”Miljöprogram för Växjö kommun” beskrivs som en målbild för 2030 bland annat att dagvatten ska tas om hand efter platsens behov. Konkreta åtgärder beskrivs i VA-planen (Växjö kommun 2014). Några exempel på konkreta åtgärder som kommunen har genomfört är byggandet av fördröjningsdammar, kanaler, mångfunktionella ytor och våtmarker samt invallningar i Växjösjön (Klimatanpassningsportalen).

För Mölndalsån finns ett hydrologiskt prognos- och övervakningssystem. Systemet driftsattes 2014 och är gemensamt för kommunerna Härryda, Mölndal och Göteborg. Var 20:e minut förses systemet med prognoser. Regleringen av magasinen i Mölndalsån justeras utifrån prognoserna för att förebygga risken för översvämningar. I nuläget baseras nederbördsprognoserna på dygnsvärden. Önskemål finns att istället använda timvärden. Möjligheten finns att det kan komma att införas under 2016. Inom det MSB-finansierade projektet ”Intensiv nederbörd och hydrologisk risk” planeras fallstudier för utvärdering av potentiella användningsområden för högupplösta nederbördsprognoser. En kopplads studie till Mölndalsån kommer eventuellt att genomföras i anslutning till MSB-projektet (SMHI:s hemsida).

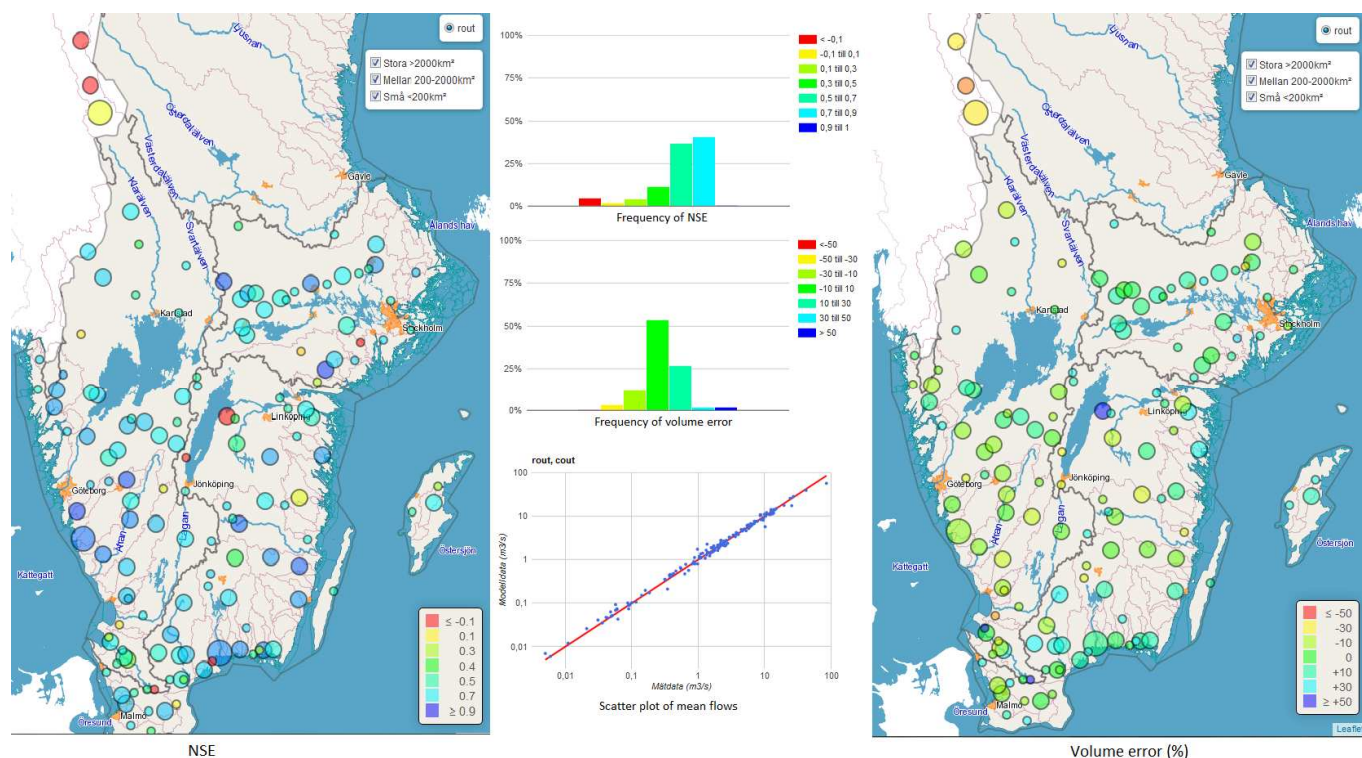
Ett annat exempel där skyfallsberäkningar använts är järnvägsprojektet Västlänken, som är en del av det Västsvenska paketet. En stor del av sträckan går i en tågtunnel under Göteborgs stad. Som en del i dimensioneringen för tunnelns översvämningssäkring har Trafikverket låtit genomföra markavrinningsmodelleringar vid ett så kallat Köpenhamnsregn (Göteborgs stad, 2013).

## 8.2 Förstudie om nationell skyfallskartering

De hydrologiska konsekvenserna av skyfall i södra Sverige uppskattades genom modellen S-HYPE, som är en nationell uppsättning av den hydrologiska modellen HYPE (Lindström m.fl., 2010). S-HYPE har kalibrerats på dygnsbasis och kan med hög noggrannhet simulera dygnsmedelflöden i hela området. Dygnsmodellen är emellertid inte fullt lämpad för att beskriva effekter av kortvariga skyfall. Därför har modellen formulerats om (om-parametriserats) för att tillåta simulering med 1-timmes tidssteg. Modellparametrarna var därefter anpassade för att reproducera 1-timmes flödesobservationer i 142 stationer i södra Sverige under perioden 2009-2014. Som indata användes en tidigare version av databasen HIPRAD i vilken stationsdata och radardata kombinerats (avsnitt 4.3). De 142 stationernas avrinningsområden varierar i storlek mellan 1 km<sup>2</sup> och 4428 km<sup>2</sup> och har en genomsnittlig storlek av 233 km<sup>2</sup>.

Figur 8.1 illustrerar träffsäkerheten hos 1-timmesmodellen. Måttet Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), som är ett ofta använt mått på överensstämmelsen mellan variationerna i observerat och simulerat flöde, har medianvärdet 0.65 vilket måste anses bra (maxvärdet är 1). Även volymfelet

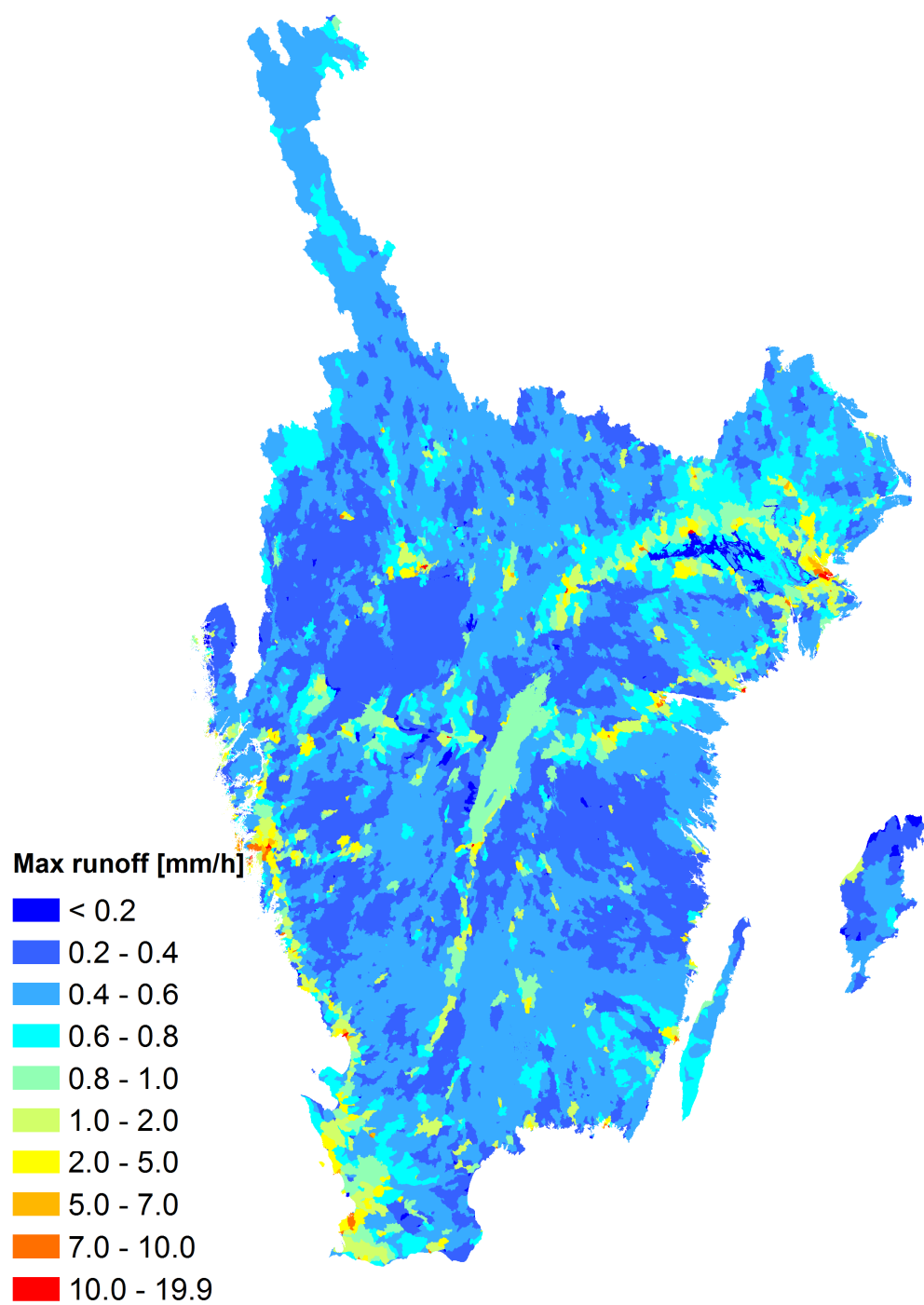
visar på god överensstämmelse, med ett medianvärde på 2.3%. Det ska påpekas att träffsäkerheten är lägre under sommarperioden, då de flesta skyfall uppträder. I Bilaga XI visas träffsäkerheten för extrema sommarflöden. I de flesta områden som utvärderats inträffar de största flödena under vinter och vår. Sommarflödena är överlag låga, vilket försvårar utvärderingen, och dessutom är många vattendrag reglerade.



Figur 8.1 Träffsäkerhet hos 1-timmes S-HYPE i termer av Nash-Sutcliffe Efficiency (vänster) och relativt volymfel (höger).

De hydrologiska konsekvenserna av extrem korttidsnederbörd uppskattades i en preliminär studie genom att driva 1-timmes S-HYPE modellen med ett typiskt skyfall (10-årsregn för Sverige) och därefter beräkna det resulterande toppflödet. Regnet hade en total volym på 29.6 mm och varade 3 timmar med 22.2 mm under den centrala timmen och 3.7 mm under de båda omgivande. Som temperaturindata under körningen användes den lokala somarmedeltemperaturen och som initialtillstånd användes modelltillståndet den 31 juli, vilket är mitt i den huvudsakliga skyfallsperioden. Dessförinnan kördes modellen i en uppvärmningsperiod från den 1 januari. Beräkningarna gjordes för samtliga sex år i perioden, för att simulera olika initialtillstånd, varefter ett medelvärde beräknades av toppflödena från varje år.

De resulterande toppflödena, som visas i figur 8.2, uppvisar ett mönster som till huvudsaklig del avspeglar markanvändningen. I rurala områden med naturlig mark utjämnas flödet och efter skyfallet sker ingen kraftig flödesökning; toppflödet är normalt  $\leq 0.6$  mm/h. I många tätortsområden sker emellertid en kraftig flödesökning och för de centrala delarna av storstäderna uppgår toppflödena till 20 mm/h, vilket riskerar att leda till översvämningsproblem. Även i mindre urbaniserade områden syns enskilda områden med höga toppflöden och tydlig skyfallskänslighet. Mera detaljerade undersökningar krävs för att karakterisera dessa områden. I ett senare skede kommer även en fortsatt utveckling av metodiken att ske, t.ex. mot att uttrycka toppflödena i termer av återkomsttid i stället för absolutvärden.



Figur 8.2 Beräknat toppflöde efter ett 3-h regn med 10 års återkomsttid.

## 9 Vägar till framgång – summering

- Det underlag som finns vad gäller observerade data med korttidsnederbörd är högst begränsat i ett klimatperspektiv; ett fåtal längre mätserier och förhållandevis kort period med data från stationsnät. Med tiden kommer allt längre tidsserier med automatstationsdata, insamlade kommundata, ny mätteknik (radar, mikrovågslänkar) att öka vår kunskap om skyfall. Kunskapen om areella extremer och långa återkomsttider (över 100 år) är idag begränsad och måste förbättras. En förtätning av nederbördsnätet är därför önskvärt. Fortsatt digitalisering och tillgängliggörande av historiska data samt utökat utbyte med våra nordiska grannländer är ett viktigt komplement.
- Det saknas idag en vedertagen metodik för att beräkna regnhändelser med kort varaktighet och lång återkomsttid i Sverige. Behovet sträcker sig över en rad samhällssektorer som fysisk planering, VA-planering, dammsäkerhet, dimensionering av infrastruktur (viadukter, tunnlar, trång, trummor) mm. Det finns en stor flora av metoder för att uppskatta extrem nederbörd av vilka bara ett fåtal testats/används i Sverige. Fler angrepp bör testas för att kunna uppskatta osäkerheter. Vi behöver samordna aktörerna i Sverige för att ta fram gemensamma definitioner, metoder och riktlinjer. Även här kan ett nordiskt utbyte vara fruktbart.
- Atmosfärmodeller av den typ som används för väderprognoser blir allt mer detaljerade. Framöver kommer väldigt högupplösta simuleringar göras med tidssteg ner emot 10-15 min och 1×1 km<sup>2</sup> gridstorlek. Utvärdering mot observationer får utvisa hur pass väl lokal nederbörd kan reproduceras. Ifall utvärderingen faller väl ut öppnas nya möjligheter att m.h.a. modeller simulera korttidsnederbörds-klimatet och uppskatta extremvärden.
- Innan detta realiseras är vi hänvisade till mer sannolikhetsbaserade prognoser (ensembler); där radarinformation är en vital del idag och satellitdata kan bidra mer i framtiden. Tolkningen av ensembleprognoserna kräver en viss kunskap för att ge ett optimalt beslutsunderlag. Utbildning är viktig och prognoserna behöver också förmedlas på ett enhetligt, begripligt och koordinerat sätt till alla inblandade aktörer.
- Frågan om eventuella trender i extrem korttidsnederbörd är svårbesvarad. Observationsunderlaget är inte tillräckligt för att dra säkra slutsatser om historiska trender. Klimatmodeller har ännu begränsad förmåga att beskriva de småskaliga processer som genererar skyfall, varför de uppskattningar av framtida förändringar som gjorts fortfarande måste ses som osäkra. Forskningen pekar dock tydligt mot högre extremer i framtiden. Mer högupplösta klimatmodeller kommer att öka tillförlitligheten i de uppskattade framtida förändringarna av skyfall.
- Förutom förbättrad uppskattning av själva nederbördsextremerna, nu och i framtiden, behövs förbättrade verktyg för att beräkna och presentera deras effekter. Detta eftersom konsekvenserna av ett skyfall kan variera från inga alls till kraftig översvämning beroende på markförhållandena på platser åtskilda med bara några km. Behoven omfattar t.ex. skyfallsmodellering i tätorter, flödesprognoser med hög detaljeringsgrad i både tid och rum samt innovativa verktyg för visualisering av riskområden. Mycket aktivitet i denna riktning är redan påbörjad och förväntas öka framöver.
- Oftast krävs koppling till sårbarhet/förmåga att kunna agera relevant på varningar. Vid användarworkshoppen nämndes att *hellre en varning i god tid än att den är perfekt*. Förvarningar är bra och extra tid, om så bara en timme, kan göra stor nytta för beredskap. Men informationen måste anpassas efter olika aktörers behov och samordnas så att alla får samma information och via utbildning att den tolkas lika.
- Storleken på framtida skyfall kommer alltid att vara osäker. Viktigast att bygga ett "skyfallsflexibelt" samhälle som kan hantera stora regnmängder utan allvarliga konsekvenser.

## Referenser

- Bengtsson, L. and Niemczynowicz, J. (1986). Areal Reduction Factors from Rain Movement. In *Nordic Hydrology* 17(2). p.65-82
- Berg, Peter, Lars Norin, and Jonas Olsson. (2015). Creation of a high resolution precipitation data set by merging gridded gauge data and radar observations for Sweden. Accepted for publ. in *Journal of Hydrology*.
- Coles S. (2001), *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*, Springer London. ISBN 978-1-4471-3675-0.
- Dahlström B. (2010). Regnintensitet – en molnfysikalisk betraktelse. Svenskt Vatten Utveckling, rapport 2010-05.
- Dyrddal, A. V. 2012. Estimation of extreme precipitation in Norway and a summary of the state-of-the-art. Report no. 08/2012, Climate, Norwegian Meteorological Institute.
- Gilleland, E. & Katz, R. 2006. Analyzing seasonal to interannual extreme weather and climate variability with the extremes toolkit. Research Applications Laboratory, National Center for Atmospheric Research
- Gustafsson, L.-G., Mårtensson, E. (2014). Kartläggning av skyfalls påverkan på samhällsviktig verksamhet. Framtagande av metodik för utredning på kommunal nivå. Publikation MSB694 - maj 2014.
- Göteborg stad (2015). <http://goteborg.se/wps/portal/invanare/bygga-o-bo/kommunens-planarbete/verktyg-for-stadsplanering-2/miljo-och-klimat/extremt-vader/>
- Göteborgs stad (2013). Detaljplaner Västlänken. Göteborgs stad, Västra Götalands län, miljökonsekvensbeskrivning. Samrådshandling 2013-09-05.
- Hernebring C. (2006) 10års-regnets återkomst, förr och nu – regndata för dimensionering/kontrollberäkning av VA-system i tätorter. Svenskt Vatten. Rapport 2006-4.
- Hernebring C. (2008). När regnet kommer – effektivare utnyttjande av kommunernas nederbördsinformation. Svenskt Vatten Utveckling, rapport 2008-17.
- Hernebring C. och Mårtensson E. (2013). Pluviala översvämningar. Konsekvenser vid skyfall över tätorter, en kunskapsöversikt. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. Publikation MSB567-13, 67 s, 978-91-7383-347-9.
- Hohenegger C. and Schär C. 2007. Atmospheric predictability at synoptic versus cloud-resolving scales. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88(11), 1783-1793.
- Johansson, K. Slutrapport för projektet – Etablering av gemensamt styr- och driftövervakningssystem för bättre reglering av Mölndalsån. Göteborg Stad, Trafikkontoret. Rapport-6/TFK457.
- Katz, R. W., Brush, G. S. & Parlange, M. B. 2005. Statistics of extremes: Modelling ecological disturbances. *Ecology* 86: 1124-1134.
- Klimatanpassningsportalen, information om Dagvattenlösningar i Växjö: <http://www.klimatanpassning.se/atgarda/2.3113/dagvattenlosningar-i-vaxjo-fordjupning-1.75382>
- Koutsoyiannis D, D. Kozonis and A. Manetas (1998). A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships. *J. of Hydrol.* V.206, Iss. 1-2, pp 118-135. doi:10.1016/S0022-1694(98)00097-3.
- Li et al. 2015: Z. Li, Z. Li, W. Zhao and Y. Wang, Probability Modeling of Precipitation Extremes over Two River Basins in Northwest of China, *Advances in Meteorology* Volume (2015).
- Lind, P., Lindstedt, D., Jones, C. and Kjellström, E., 2014. Simulating extreme precipitation in the island of Crete with non-hydrostatic high-resolution RCMs. 3rd International Lund Regional-scale

- climate modelling workshop. International Baltic Earth Secretariat Publication No. 3, June 2014, pp 127. ISSN 2198-4247
- Lind, P., Lindstedt, D., Kjellström, E. and Jones, C., 2015. Spatial and temporal characteristics of summer precipitation over Central Europe in a high-resolution climate model. *Journal of Climate*, in review.
- Lindström, G., Pers, C.P., Rosberg, R., Strömqvist, J., Arheimer, B. 2010. Development and test of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) model – A water quality model for different spatial scales. *Hydrology Research* 41.3-4:295-319.
- Lorenz, E.N., 1969: The predictability of a flow which possess many scales of motion. *Tellus*, 21, 289-307.
- Madsen, H., Mikkelsen, P. S., Rosbjerg, D. and Harremoës, P. 2002. Regional estimation of rainfall intensity-duration-frequency curves using generalized least squares regression of partial duration series statistics, , *Water Resour. Res.*, 38(11), 1239, doi:10.1029/2001WR001125.
- Madsen, H., Arnbjerg-Nielsen, K., Mikkelsen, P. S. 2009. Update of regional intensity–duration–frequency curves in Denmark: Tendency towards increased storm intensities, *Atmospheric Research* 92: 343–349.
- Meredith, E. P., Semenov, V. A., Maraun, D., Park, W., and Chernokulsky, A. V. (2015). Crucial role of Black Sea warming in amplifying the 2012 Krymsk precipitation extreme. *Nature Geoscience*.
- Moseley, et al., 2013. "Probing the precipitation life cycle by iterative rain cell tracking." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118.24 (2013): 13-361.
- NERC 1975. Flood Studies Report (five volumes). Natural Environment Research Council, UK.
- Niemczynowicz J. (1982), Areal Intensity-duration-frequency Curves and Statistical Areal Reduction Factors for Short Term Rainfall Events in Lund, Report V. 3065 , ISSN 0346-8062. Report-Department of Water Resources Engineering, Lund Institute of Technology, University of Lund.
- Niemczynowicz J.(1982) Areal intensity-duration-frequency curves for short-term rainfall events in Lund. *Nordic Hydrol.* 4, 193-204.
- Niemczynowicz, J. (1984) An Investigation of the Areal and Dynamic Properties of Rainfall and its Influence on Runoff Generating Processes. Dept. Water Res.Eng. University of Lund, Report No.1005.
- Nikulin, G., Kjellström, E., Hansson, U., Jones, C., Strandberg, G. and Ullerstig, A., 2011. Evaluation and Future Projections of Temperature, Precipitation and Wind Extremes over Europe in an Ensemble of Regional Climate Simulations. *Tellus*, 63A(1), 41-55. DOI: 10.1111/j.1600-0870.2010.00466.x
- Norrköpings kommun (2012). Miljö- och riskfaktorer, tillägg till översiktsplanen för Norrköpings kommun – samrådshandling december 2012.
- Samuelsson, P., Gollvik, S., Jansson, C., Kupiainen, M., Kourzeneva, E., van de Berg, W.J.: The surface processes of the Rossby Centre regional atmospheric climate model (RCA4). Report in *Meteorology* 157, SMHI, SE-601 76 Norrköping, Sweden, 2014.
- Seity, Y., P. Brousseau, S.Malardel, G. Hello, P. Benard, F. Bouttier, C. Lac, and V. Masson, 2011: The arome-france convective-scale operational model. *Mon. Wea. Rev.*, 139, 976–991.
- SMHI (2015), Framtidsklimat i Sveriges län – enligt RCP-scenarier. (2015-12-18), <http://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/framtidsklimat-i-sveriges-lan-enligt-rcp-scenarier-1.95384>

- Svensk Energi, Svenska kraftnät och SveMin 2015. Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar - Utgåva 2015. ISBN 978-91-976721-6-0.
- Svenskt Vatten (2011). Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem. P-104.
- Svensson C. and Jones D.A. (2010): Review of rainfall frequency estimation methods. Journal of Flood Risk Management, vol 3, 2010, issue 4 pp. 296–313.
- VA SYD (2015). <http://www.vasyd.se/Artiklar/Nyheter/Ledningsnat/Skyfallsplan>
- Vejen (2011). Tropisk styrtregn over København den 2. Juli 2011. Alle danske monsterregns moder...! Vejret, DMI, 128, aug 2011.
- Växjö. Dagvattenlösningar i Växjö:  
<http://www.klimatanpassning.se/atgarda/2.3113/dagvattenlosningar-i-vaxjo-1.75379>
- Växjö. Miljöprogram för Växjö kommun. Antaget av Växjö kommunfullmäktige 2014-06-17.  
Växjö kommuns hemsida: <http://www.vaxjo.se/dagvatten>
- Wern L. och German J. (2009): Korttidsnederbörd i Sverige 1995-2008, SMHI rapport Meteorologi 139.
- Wern L. (2012). Extrem nederbörd i Sverige under 1 till 30 dygn. SMHI Rapport Meteorologi Nr 2012-143. ISSN: 0283-7730.
- WMO, 2009. Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP). WMO-No.1045.

# BILAGOR

## Bilaga I

### En litteraturstudie om skyfall

Alavi, Kindell, Asp, Jacobsson, Tengdelius-Brunell

2015-12-10

Vi har försökt göra denna litteraturöversikt så komplett som möjligt, men p.g.a. den begränsade tiden som varit tillgänglig kan det inte uteslutas att viktiga referenser saknas.

#### 1 Inledning

[Stoff utan källhänvisning i detta avsnitt härrör från på SMHI känd kunskap.]

Mycket kraftigt regn i vårt land är vanligast förekommande under hög- och sensommar. Det beror dels på att luftens förmåga att innehålla vattenånga ökar med ökad temperatur, dels på att med ökad temperatur över en landmassa ökar tendensen för konvektion – hävning av luftmassor – ledande till avkylning, kondensation och nederbörd.

Beteckningen skyfall använder SMHI för regn som är så intensivt att 1 mm/minut eller mer kan mätas upp. För 1-timmesnederbörd används gränsen 50 mm. När skyfall förekommer har stora vattenmängder samlats i ett cumulonimbusmoln, vatten som kondenserats ut i de kraftiga uppvindarna. När uppvindarna inte längre kan hålla emot så faller vattnet i form av ett skyfall.

Ett skyfall är kortvarigt, från minuter till någon timme, och är en lokal företeelse. Det drabbade området kan vara så litet att det inte fångas av någon mätstation, framförallt fångas oftast inte platsen för den allra största mängden.

SMHIs mätstationer finns av två huvudslag: Automatstationer och manuella stationer. De senare rapporterar vanligen endast en gång per dygn medan automatstationerna kan ha betydligt högre tidsupplösning. Radar kan ge en grovt skattad bild av nederbördsmängder och tillsammans med stationsmätningar även ge underlag för en ytutbredd kartering. Utöver de stationer som ingår i SMHIs nät förekommer mätningar utförda av kommuner, institutioner och företag, samt tidsbegränsade mätkampanjer av olika aktörer. Vid extrema regnväder undersöks ofta förekomsten av privata mätningar som kan ge information mellan maskorna i det officiella nätet; kvaliteten kan då vara bristfällig.

I avsnitt 3.2 Stationsdata ges mer information om SMHIs nederbördsnät i historiskt perspektiv.

#### 2 Förekomst av skyfall och extremnederbörd

##### 2.1 Sverige

[Stoff utan källhänvisning i detta avsnitt härrör från på SMHI känd kunskap.]

##### 2.1.1 Extrem dygnsnederbörd

Först bör det slås fast att nederbördsmängder under en tidsrymd av ett dygn är betydligt mer studerade än de kortvariga skyfallen vilka är svårare att fånga i mätningar.

Utöver mätningarna som utförs i SMHIs observationsnät, som samlas in och lagras av SMHI, utförs även mätningar av andra aktörer. Det kan vara kommunala mätningar eller mätningar som institutioner, företag eller enskilda personer svarar för. Dessa bör i största mån utnyttjas när kraftiga regn ska kartläggas. Det finns inget känt register eller sammanställning över dessa inofficiella mätningar som alltså är splittrade på ett stort antal aktörer och som i en del fall kan vara behäftade med kvalitetsbrister.

De största dygnsnederbörds mängderna har främst drabbat Norrlands kustland, Svealand, östra Götaland samt Skåne. Västra Götaland, speciellt inre Halland, drabbas ofta av mycket nederbörd men brukar ändå inte få de allra största dygns mängderna.

Den största dygnsnederbörd som har uppmätts i vårt land vid en SMHI-station sedan år 1900 är 198 mm, i Fagerheden i Norrbotten 1997-07-28. Går man till andra mätningar, av SMHI bedömda som trovärdiga, så har större dygns mängder noterats: 237 mm uppmättes i Karlaby i Skåne 1960-08-06 i samband med ett hydrologiskt projekt, och 276 mm uppmättes av en privatperson på Fulufjället i Dalarna 1997-08-30--31.

I avsnitt 3.2 Stationsdata redovisas de största uppmätta dygns mängderna i Sverige för varje månad under året, förändring över tid samt geografiska olikheter över landet. Där redovisas också återkomsttider för årets största dygnsnederbörd i Sverige.

## 2.1.2 Extrema skyfall

För att kunna studera kortvariga men intensiva skyfall behöver man naturligtvis betydligt tätare mätintervall än en gång per dygn, vilket är vad som traditionellt gäller för SMHIs tätaste observationsnät, de manuella s.k. ”små” nederbördsstationerna.

SMHI introducerade mätningar i 15-minutersintervall i ett relativt stort observationsnät omkring år 1995, då man införde automatstationer på bred front. Dessa ersatte till stor del manuella s.k. synoptiska stationer som utförde nederbördsobservationer i 12-timmarsintervall (enstaka stationer i 6-timmarsintervall). Tidigare utförde SMHI endast sporadiska och begränsade mätinsatser med större tidsupplösning. Andra aktörer, främst kommuner, har utfört mätningar av korttidsnederbörd på enstaka platser även före 1995. Exempelvis redovisar Arnell (1974) bearbetningar av nederbördsdata från 5 nederbörds-mätare i Göteborg med data mellan 1926 och 1971. Arnell nämner också att de första mätningarna startade redan 1897, dock var det något lägre upplösning tidigt under mätperioden.

Registrerande nederbörds mätare med 15-minutersintervall har bara funnits i reguljär drift i större omfattning (SMHIs nät) i ca 20 år, men nätet med sådana stationer är betydligt glesare än det traditionella nederbörds mätnätet som enbart mäter dygnsnederbörd.

Den största 15-minutersnederbörden som sedan uppmätts var 40 mm i Daglösen i östra Värmland den 5 juli 2000. En bedömning som gjorts vid SMHI gav vid handen att det vid samma tillfälle och plats som mest föll en 1-timmesmängd på 81 mm. Detta är den största 1-timmesmängden vid en SMHI-station sedan automatstationsnätet etablerades 1995. Händelsen beskrivs av German & Wern (2010).

I avsnitt 3.2 Stationsdata redovisas de största uppmätta 15-minutersmängderna i Sverige för varje månad under året.

Nederbördsregistreringarna hänför sig till konsekutiva 15-minutersintervall. Hade man kunnat studera ”glidande” 15-minutersintervall hade man mycket sannolikt kunnat finna en 15-minutersperiod med större mängd än den som enligt ovan registrerats.

För att i mätningar fånga den mycket lokala företeelse som skyfall utgör behöver observationsnätet även geografiskt vara mycket tätt. Nätet med 15-minutersrapporterande stationer är väsentligt glesare än de stationer som endast mäter dygns mängd. Tillsammans med att dataperioden för 15-minutersregistreringar är väsentligt kortare än den drygt 100-åriga period som dygns mängder rapporterats utgör detta försvårande omständigheter i kartläggningen av historiska skyfall.

### 2.1.3 Ett exempel på extremt kraftigt regn – Orust-Tjörn augusti 2002

Mycket varm och fuktig luft hade strömmat in över de södra delarna av Sverige med sydostliga vindar. Ett värmeåskväder rörde sig den 1 augusti från nordvästra Småland mot Göteborgstrakten och sedan vidare mot Tjörn och Orust där det intensifierades våldsamt, delvis som en följd av att det växte samman med andra åskceller. När det nådde västra Orust omkring klockan 20.30 hade det utvecklats till ett synnerligen kraftigt oväder med nederbörd i form av kraftigt skyfall.

SMHI:s station på Orust som ligger i Henån uppmätte natten 1-2 augusti 55 mm. På SMHI-stationen på Måseskär noterades 76 mm och i Rörastrand på Tjörn 49 mm. På Måseskär registreras timvis nederbörd, och under en enda timme mellan kl. 02 och 03 svensk tid uppmättes 40 mm.

Mängderna varierade emellertid kraftigt över små avstånd, varför privata observationer var av stort intresse i kartläggningen av detta oväder, där västra Orust drabbades värst. I det mest utsatta området föll uppskattningsvis 180-200 mm regn under natten till den 2 augusti. Enligt en lantbrukare bosatt några km nordost om Nösund föll 120 mm mellan klockan 20.30 och 23.30, och 60 mm under resten av natten och morgonen. Dessutom kan det ha runnit över eller skvätt ur mätaren, något som har uppskattats till ca 20 mm. I Slätterna nära Stocken uppmättes 190 mm i en målarburk, vilket efter korrigering har uppskattats till 180 mm. Nederbörden avtog mycket tvärt från väster mot öster. Den 1-2 augusti registrerades mer än 2000 blixar i området Orust-Tjörn, ett mycket högt antal.

Händelsen beskrivs bl.a. av Gustavsson (2004). Skador av detta och andra skyfall återkommer vi till i avsnitt 2.3.

I nästa avsnitt beskrivs bl.a. ett sannolikt ännu kraftigare maximalt regn, på Fulufjället 1997, som inträffade i ett område med betydligt glesare observationer än Orust-fallet och har därför varit svårare att kartlägga.

### 2.1.4 Andra mycket kraftiga regn

Så kraftiga regn som i Orust-Tjörn-fallet med uppemot 200 mm på ett halvt dygn är ytterst ovanliga i vårt land. Ett inte helt olik fall inträffade dock i just detta område den 17 juli 1939 då 128 mm uppmättes i Väderöbod (Väderöarna), men skadorna torde inte ha varit så omfattande den gången. Till skillnad från ovan beskriven händelse från 2002 visar väderbeskrivningen av 1939 års fall, liksom av ett ännu äldre från 22 augusti 1828, att ett rejält lågtryck passerat. I det äldsta fallet kan det bedömas ha rört sig om liknande regnmängder som 2002.

Det skyfall i vårt land som får klassas som det allra värsta vi känner till inträffade på Fulufjället i västra Dalarna den 30-31 augusti 1997, ett åskoväder som resulterade i mycket kraftiga erosionsskador. Händelsen har dokumenterats i en webbartikel (Alexandersson et.al. (senast uppdaterad 2015)) och ett faktablad (SMHI (2003)). Den största uppmätta nederbördsmängden på en SMHI-station under 24 timmar var på stationen Storbron: Från kl. 14 den 30 till kl. 14 den 31 noterades 136,9 mm. Vid Rösjöstugan nära Njupeskar gjordes en privat mätning med en enkel nederbördsmätare där man noterade 276 mm på ett dygn; urskvättning från mätaren kan ändå ha förekommit. En analys, där även skadorna på terräng och vegetation vägdes in, ledde till en uppskattning av nederbördsmängder (dygn) på omkring 300-400 mm i ett mindre område utan några mätningar. Tim- och 15-minuters-nederbörd finns ej uppmätt från denna episod.

Ett skyfall drabbade Uppsala den 17 i samma augustimånad 1997, då en 10-minutersmängd på 28,5 mm uppmättes. Fallet beskrivs av Alexandersson, Bergström. Lindström (1997); mer populärvetenskapligt av Alexandersson & Vedin (1997).

Ett mycket kraftigt regn under de senaste åren inträffade i sydvästra Skåne den 31 augusti 2014 som drabbade Malmö hårt. På 24 timmar noterades på SMHI-stationen 100,1 mm, varav 85,2 mm föll på sex timmar mellan klockan 04 och 10 svensk sommartid. Under en timme föll 31,6 mm, och värsta 15-minutersperioden 17,6 mm dvs. skyfall (SMHI (2014)). I motsats till för regnkatastrofen på Fulufjället är regnförloppet i sydvästra Skåne mycket väldokumenterat då mätningar här utförs i

ett tätt nät av främst kommunala mätningar. Störst mängd under sextimmarsperioden klockan 04-10 noterades i Höllviken med 144,8 mm (Hernebring et.al. (2015).

Extrema nederbördsfall av sådana digniteter som nämnts ovan är ovanliga och har i dagens klimat en återkomsttid på i storleksordning 100 år eller mer. Fler extrema fall beskrivs i avsnitt 3.2.

Nilsson (2012) kartlägger den samtida förekomsten av intensivt regn i Sverige och dess konsekvenser, med utgångspunkt från några regnhändelser åren 2009-2011. Studien syftar till att skapa en referenspunkt till diskussionerna om framtidens regnintensiva klimat och hur det kommer påverka samhället.

Samhälleliga konsekvenser av 14 extrema regnhändelser i Sverige 2000-2012 beskrivs av Johansson (2015) där också källorna till sådan information kartläggs.

## **2.2 Extremnederbörd i grannländer**

### **Danmark**

Ett mycket kraftigt skyfall inträffade i Köpenhamn den 2 juli 2011 och beskrivs bl.a. av danska vädertjänsten DMI (2012) och Beredskabsstyrelsen (2012). I stort sett hela Storköpenhamn blev drabbat. I större delen av Köpenhamn föll mellan 30 och 90 mm under dygnet 2 juli. Botanisk Have fick mest med 135 mm som dygnsnederbörd, och på några platser kom över 50 mm på 30 minuter.

Ett sådant intensivt kortvarigt skyfall skulle lika gärna kunna drabba Sverige.

### **Norge**

En 1-timmesmängd på över 80 mm uppskattades ha fallit nära Notodden i södra Norge den 24 juli 2011 (Førland, 2015). Privata mätningar i Nedre Eiker i sydöstra Norge visade en 1-timmesmängd på 88 mm under stormen "Frida" 6-7 augusti 2012 (Førland, 2015).

## **2.3 Skyfallsskador i Sverige med omnejd**

Det mycket intensiva regnet på Fulufjället 30-31 augusti 1997 orsakade stor erosion. Enligt SMHI (2003): "Det intensiva regnandet höll på i flera timmar och i bäckar och åar steg vattnet till alltmer kritiska nivåer och snart började en enorm erosion ta fart. Jord och sand spolades snabbt bort och allt större vattenmassor fick kraft att rulla iväg stenar och underminera stora träd, som drogs med i det virvlande vattnet. Jättelika trädbrotar började byggas upp och enorma förflyttningar av grus och sten, som avsattes i lite lugnare partier, tvingade in vattnet i nya banor."

Det extremt kraftiga regnet på Orust-Tjörn 1 augusti 2002 beskrivs av bl.a. Gustavsson (2004). Det våldsamma regnet medförde att vägar skars av, broar förstördes och ett stort antal källare översvämmades, när bäckar och diken snabbt svällde till något som mera liknade åar.

Skyfallet i Malmöområdet den 31 augusti 2014 har undersökts av Hernebring m.fl. (2015) och beskrevs i ett föredrag vars dokumentation finns tillgänglig, Hall (2015). En rapportering gjordes i DN (2014): Stora problem uppstod för vägtrafiken, fordon fastnade i vattensamlingar. Räddningstjänsten fick hjälpa nödställda. En rad vägavsnitt stängdes av för trafik. Busstrafiken inne i Malmö stoppades helt. En linjebuss fastnade under en vägbro, varpå vattnet steg snabbt och passagerare och förare fick slå sig ut genom att krossa ett fönster. Räddningstjänsten kom till hjälp. Även tågtrafiken drabbades, med inställd trafik utmed vissa sträckor. Källare vattenfylldes på flera håll i staden och många hushåll drabbades av elavbrott. Skånes universitetssjukhus i Malmö fick problem med elförsörjningen.

MSB (2014) analyserar konsekvenser av extrema regn på samhällsviktig verksamhet. En särskild studie gjordes för ett 100-årsregn i Örebro (återkomsttider förklaras i avsnitt 5.1.1). Påverkan på energiförsörjning, vägar och järnvägar, samt avlopps- och vattenanläggningar kvantifierades.

Några trendanalyser av själva skadebilden vid skyfall har vi inte kunnat finna.

Konsekvenserna av skyfallet som drabbade Köpenhamn den 2 juli 2011 beskrivs av Beredskabsstyrelsen (2012). Stora störningar drabbade viktiga samhällsfunktioner eftersom avloppssystemen inte hann föra undan vattenmassorna. Förutom att källare översvämmades blev vägar oframkomliga; tåg- och busstrafik drabbades av stora störningar liksom vissa el-, tele- och IT-system. Ett sådant intensivt kortvarigt skyfall skulle lika gärna kunna drabba Sverige.

## 2.4 Förutsägbarhet

Skyfallens mycket lokala karaktär, ofta som extremt kraftig lokal förstärkning av mer utbredd nederbörd, gör det svårt att prognosticera i vädermodeller. Prognoser kan ofta något dygn i förväg förutsäga sannolikheten för mycket kraftigt regn över ett område/region, men inte precisera var det maximala regnet inträffar. I mycket kortfristiga prognoser ("nowcasting") kan radar någon timme i förväg ge indikationer om vad som håller på att hända och vart en skyfallscell rör sig.

## 3 Beräkning av extremregn

Här följer en beskrivning av olika länders metoder för beräkning av dimensionerande regn.

### 3.1 Sverige

Vid dimensionering av dagvatten- och avloppssystem i Sverige rekommenderar Svenskt Vatten att den så kallade Dahlströms formel används (Svenskt Vatten P104, 2011) om inte den aktuella orten har egen, etablerad regnstatistik.

Dahlströms formel (Dahlström, 2010) är utvecklad för att beräkna dimensionerande regnintensitet i Sverige för varaktigheter från 5 minuter och upp till 24 timmar. Formeln har utgått från en molnfysikalisk beskrivning av förlopp i kondensationsprocessen och sedan förenklats för att vara användbar för samhällsnyttiga tillämpningar.

För dimensionering är det viktigt att ta hänsyn både till häftiga regn från konvektiva regnmoln och till mindre intensiva regn från frontmoln, där stora regnmängder kan uppmätas efter långvarigt regnande. Båda dessa mekanismer för regnbildning har integrerats i formeln.

Parametrarna i formeln har bestämts från en del av tillgängliga regndata och resultatet har därefter verifierats mot andra, oberoende data. Formeln lyder:

$$R_{ij} \approx 190\tau_i^{\frac{1}{3}} \ln(\Delta t_j) / \Delta t_j^{0,98} + 2$$

där  $R_{ij}$  är regnintensitet, l/s ha

$\tau_i$  är återkomsttid, månader

$\Delta t_j$  är regnvaraktighet, minuter

I bilaga C i Dahlström, 2010, ges en tabell över regnintensiteter enligt den utvecklade formeln för olika varaktigheter 5 min – 1 440 min (1 dygn) och återkomsttider 0,5 år till 10 år. I Svenskt Vatten P104 (2011) presenteras värden för återkomsttider upp till 100 år.

Angående val av statistisk fördelning för att beskriva extrem korttidsnederbörd i Sverige har olika angrepp testats. Hernebring (2006) använde log-Pearson fördelningen. I Bengtsson och Milotti (2008) testades att anpassa olika extremvärdesfördelningar till korttidsnederbörd i Malmö. Totalt sett fungerade GEV-fördelningen och log-Pearson bäst för de mest extrema regnen och Gumbel-fördelningen för de mindre extrema. Valet av fördelning har stor inverkan på den uppskattade intensiteten för längre återkomsttider än c:a 50 år.

Vid SMHI beräknas återkomsttider av extrem nederbörd med statistisk extremvärdesanalys. Resultat har presenterats i rapporter både för dygnsnederbörd (Wern, 2012) och korttidsnederbörd

(Wern & German, 2009). I dessa rapporter har serier av årsmaxima (AM-metoden) anpassats till sannolikhetsfördelningarna Gumbel, GEV och GEV med konstant theta (parameter som anger krökning på fördelningskurvan). SMHI:s affärsverksamhet utför även extremvärdesanalys på beställning och då kan även flera andra sannolikhetsfördelningar utnyttjas såväl som POT-metoden.

Ett par sydvästskånska extremregnstudier av bl.a. återkomsttid gjordes före respektive efter det extrema regnet den 31 augusti 2014. Intensiva regn i Malmö fram till 2008 studerades av Bengtsson och Milotti (2008) och skyfallet den 31 augusti 2014 i sydvästra Skåne av Hernebring m.fl. (2015).

En avhandling av Arnell (1982) behandlar området dimensionering av dagvatten- och avloppssystem, med fokus på hur bästa nederbördsdata för ändamålet selekteras.

Vid dimensionering och planering av samhällskritisk infrastruktur och funktioner krävs inte sällan dimensionerande nederbördshändelser med korta varaktigheter och extrema återkomsttider (betydligt överstigande de 50-100 år som är möjliga att beräkna ur SMHIs nuvarande dataunderlag med någorlunda säkerhet). I dagsläget saknas dock etablerad metodik för att beräkna dessa extrema dimensionerande regn. I olika sammanhang har olika ansatser använts, t.ex. har delar av järnvägstunneln Västlänken dimensionerats för nederbörd motsvarande nederbördshändelsen i Köpenhamn 2011 (Trafikverket, 2015). I andra sammanhang har det istället gjorts beräkningar genom statistisk extremvärdesanalys av mätdataserier där extrapolering gjorts till mycket höga återkomsttider. Dessa beräkningar har stora osäkerheter vilket åskådliggjorts av mycket stora konfidensintervall.

## 3.2 Nordiska länder

### Norge

met.no ansvarar för beräkning av extremnederbörd för mätstationer och avrinningsområden i Norge. Man har antagit den Brittiska NERC-metoden (NERC, 1975) och anpassat den till norska förhållanden genom användning av maximala dagliga nederbördsvärden från 166 stationer med i genomsnitt 80 års data (Dyrddal, 2012; Førland, 1992; Førland och Kristoffersen, 1989).

Dimensionerande nederbörd för olika återkomsttider (MT) beräknas som en funktion av 5-års regn med 24 timmars varaktighet (M5):

$$MT = M5e^{C[\ln(T-0.5)-1.5]} \quad (1)$$

Faktorn C varierar geografiskt. Den antas vara en funktion av M5 och bestäms empiriskt. Førland (1987) konstaterade i sin rapport att C-värden som har fastställts för Skottland & Nordirland är mest lämpade för förhållandena i Norge. M5 estimeras enligt Gumbel metod (Gumbel, 2004). För en godtycklig punkt i Norge kan M5 bestämmas från isolinje-kartor över M5 eller kvoten mellan M5 och normal årsnederbörd (medel för perioden 1961-1990, PN). Kvoten MT/M5 kallas tillväxtfaktor.

Kvoten mellan MT för "n" timmar och MT för 24 timmar används för estimering av extremnederbörd för andra varaktigheter (Dyrddal, 2012).

Vid beräkning av MT för areell nederbörd ansätts en arealreduktionsfaktor på punktvärdet. Förslag finns dock på förändring av denna metodik och istället använda griddad nederbördsdata (Dyrddal m. fl., 2014). Estimering av daglig nederbörd är tillgänglig för hela Norge i 1 x 1 km<sup>2</sup> gridd för perioden 1957 till idag ([www.seNorge.no](http://www.seNorge.no)). De har tagits fram genom interpolering av observationsdata från 400 stationer (Tveito m. fl. 2005; Jansson m. fl. 2007; Mohr 2009).

På samma sätt som fallet dimensionerande nederbörd (se beräkning av dimensionerande regn i Norge ovan), används vid beräkning av PMP i Norge den Brittiska NERC metoden (Førland, 1992; NERC, 1975). I metoden som utgått från stora mängder data från Skottland och Nordirland antas att PMP i en viss punkt kan uttryckas som en funktion av nederbörds-mängden med 5 års återkomsttid för den aktuella punkten. Metoden utgår från dygn-snederbörd men skaleringsfaktorer används för att ta fram PMP för andra varaktigheter. PMP för areell nederbörd beräknas genom

användning av en arealreduktionsfaktor på punktvärdet. Dyrddal m. fl. (2014) har dock förslagit en förändring av denna metodik och övergång till griddad nederbördsdata.

## Danmark

För beräkning av dimensionerande regn har Spildevandskomiteen tagit fram tydliga riktlinjer baserat på omfattande statistisk analys av regndata från stationer över hela landet. Riktlinjerna uppdateras med jämna mellan rum (Spildevandskomiteen, Skrift 26, 28 och 30). Där beskrivs procedurer för framtagande av IDF-kurvor med varaktigheter mellan 1 min och 48 tim för en godtycklig punkt i landet. Sedan 1974 finns IDF-kartor för hela Danmark (Danish Water Pollution Control Committee, 1974). Traditionellt byggs kartorna genom att slå ihop information från regionala stationer och göra enkel interpolering mellan platserna.

Från och med 2006 använder man dock en ny modell för framtagning av extremregn (Madsen m fl. 2002). Madsen m fl. (2002) nämner följande 2 nackdelar med den traditionella metoden för framtagning av IDF-kurvor: - 1 om längden av tidsserien är liten i jämförelse med dimensionerade återkomsttid, blir den estimerade IDF-relationen mycket osäker, 2- eftersom den geografiska variationen för extremregnsegenskaper kan vara stora även inom ett litet område (Harremoës & Mikkelsen, 1995), en enkel sammanslagning kan ge osäkra IDF estimeringar.

Madsen m fl. (2002; 2009) ger en fullständig beskrivning av den nya modellen, här ges en kort sammanfattning av modellen. Den nya modellen tar hänsyn till rumslig heterogenitet och korrelation mellan platserna genom koppling av extremregnets egenskaper till relevanta klimat- och fysiografiska variabler. Modellen är baserad på Partial Duration Series (PDS) vilket innebär inkludering av alla händelser över en tröskelnivå. Regionalparametrar i den nya modellen är: - det genomsnittliga antalet överskridanden över tröskelnivån, - medelvärdet av överskridande regnmängd, och koefficienten av L variation (LCV). För de parametrar som visar signifikant rumsligt variabilitet används GLS (Generalized Least Squares) regressionsmodell för att beskriva variationen från ett fysiografisk- och klimatperspektiv. För bestämning av regional fördelning används L-momentmetoden (Hosking & Wallis, 1993) eftersom det är ganska okänslig för outliers och ger en mer robust estimering av parametrarna.

## Finland

Meteorologiska Institutet började med beräkning av återkomsttider för extremregn på ett systematiskt sätt 2007 (Venäläinen m.fl., 2007). Man använder "extRemes toolkit" mjukvarupaket utvecklat av National Center of Atmospheric Research (NCAR: <http://ncar.ucar.edu/>) (Katz m. fl., 2005; Gilleland & Katz, 2006; <http://www.assessment.ucar.edu/toolkit/>). Det är en öppen källkod skriven i R programmeringsspråk som också är en öppen källkod.

"extRemes toolkit" använder olika statistiska metoder, bl a POT. Det inkluderar ett verktyg för att kunna hitta det mest passande tröskelvärde i POT metoden. Det beräknar också 95% konfidensintervall för återkomsttiderna. Programmet hittar det mest passande tröskelvärdet antingen med hjälp av "Mean residual plot" metoden eller genom att anpassa data (olika tröskelvärde) till GPD fördelning (Generalised Pareto Distribution). Den senare används av Meteorologiska Institutet (Venäläinen m.fl., 2007 & 2009). Parametrarna i GPD estimerats med olika metoder, bl a med Nelder-Mead metoden. Valet av tröskel är viktigt i POT analysen. Väljer man ett för högt värde på tröskel, kastar man bort mycket av intressant data medan ett för lågt tröskelvärde leder till systematiskt avvikelse (Gilleland & Katz, 2006).

Meteorologiska Institutet har beräknat dimensionerande regn för mätstationer över hela Finland för 10, 20, 50, 100 och 500 års återkomsttider och följande varaktigheter; 6 tim, 1 – 14 dagar och 1 månad. Ingen regionalisering används i Finland.

Den senaste versionen av IDF-kurvor baseras på mätningar genomförda under perioden 2002-2005 och är beräknade för en area på 1 km<sup>2</sup> (Aaltonen m.fl., 2008). Den statistiska fördelningen som användes för beräkning av nederbörd (mm) för en given återkomsttid och varaktighet synes vara

Weibull-fördelningen. Tidigare IDF-kurvor för återkomsttider för punktnederbörd finns från 1969 (Kokkonen, 2015).

Dagvattensystem dimensioneras normalt för kraftiga regn som inträffar en gång på 2-3 år. Dräneringssystem för landets huvudvägar dimensioneras efter nederbörd med en återkomsttid på 10 år (Hulevesiopas, 2012).

### 3.3 Utomnordiska länder

#### Kanada

Uppdaterade tabeller och grafer och IDF kurvor som visar regnintensitet, varaktighet och frekvens är tillgängliga för ca 550 stationer runt om i Kanada. Utöver detta visas 50%-konfidens intervall för 2, 5, 10, 25, 50 och 100 års återkomsttider och följande varaktighet; 5, 10, 15, 30 min och 1, 2, 6, 12 och 24 t (<http://www.ec.gc.ca/?lang=En>).

Medan IDF information ger allmänheten möjlighet att göra egna rumsliga interpolationer, finns det också regnfrekvens atlas (Hogg et, 1989; Hogg & Carr, 1985) som innehåller kartor för hela Kanada med parametervärde för beräkning av dimensionerande regn (varaktighet mellan 5 min och 24 t och olika återkomsttider) för vilken punkt som helst i Kanada. Trots att Kanada formellt inte använder regionalisering, ovannämnda parameterkartor ger en mjuk rumslig övergång.

Parametrarna är medel och standardavvikelse av regnets årsmaximumserier (AM) beräknat enligt Momentmetoden som används i en specifik formulering av Gumbel fördelning för beräkning av återkomsttider. Medel och standardavvikelse värdena kan också användas för grovestimering av PMP (Hershfield, 1977; Hogg & Carr, 1985).

#### Frankrike

För beräkning av återkomsttider mindre än 100 år och varaktigheter mellan 6 min och 10 dagar använder Météo France AM och POT serier. Man anpassar GEV-fördelningen till AM- serier genom PWM (Probability Weighted Moments). Man använder GEV istället för Gumbel eftersom det senare inte passar för varaktigheter mindre än 24 timmar (parameter "k" som antas vara noll i Gumbel är generellt negativ för sådana varaktigheter).

För beräkning av återkomsttider större än 100 år (varaktighet >4t) använder man dock GRADEX metoden (FRCOLD, 1994, Kieffer & Bois, 1997). Det är en metod för dimensionering av dammar där dimensionerande regn skattas med hjälp av säsonganalys genom att man för homogena säsonger beräknar fördelningsfunktionen för extremnederbörd  $FS(P)$  från frekvensfördelning  $F(p)$  av all (noll och icke noll) tidsenhetsnederbörd observerad i den säsongen,  $FS(P) = (F(P))^m$ , där  $m$  är antal tidsenheter under säsongen. Man använder ingen regionalisering.

#### Tyskland

Tre metoder används för beräkning av dimensionerade regn baserad på önskad återkomsttid (DWD, 2005). För 0.5 – 100 år (varaktighet mellan 5 min och 72 tim) används KOSTRA metoden (Bartels m.fl., 1997). För den övre delen av skalan av återkomsttider använder man PMP och för mellandelen används en extrapolering av KOSTRA metoden. KOSTRA metoden skattar dimensionerande regn för varaktigheter mellan 5 min och 72 timmar.

Båda AM och POT metoder används i statistiska analyser. För AM serier används Gumbel fördelning och för POT serier exponentiell fördelning.

Resultaten presenteras i form av en griddad karta med 8.45 km upplösning för hela Tyskland. Värdena är baserade på 5 min observationer från 200 stationer (ca 30 års långa) och dagliga observationer från 4500 stationer. Den rumsliga interpolationsmetoden är olika för sommar, vinter

och hela året. För att få homogena regioner använder man säsonganalys. På så sätt hittar man det dominerande regnets karaktär.

## **USA**

HDSC (Hydrometeorological Design Studies Center, är en del av NOAA) producerar och uppdaterar för olika regioner i USA nederbördsfrekvens-data (återkomsttider mellan 1 och 1000 år och varaktigheter mellan 5 min och 60 dagar, se Perica m.fl., 2009 & NOAA (<http://www.nws.noaa.gov/oh/hdsc/index.html>)).

Dimensionerande regn beräknas enligt "Index-flood Approach" med hjälp av en tillväxtfaktor (growth factor, punkter på tillväxtkurva) och en tillväxtkurva (Stedinger m.fl., 1993).

Tillväxtfaktorn är medel av regnets årsmaximumserier (AM) som finns i griddad databas för hela USA (Daly m.fl., 1997, 2002).

Regionalisering har gjorts med en uppdelning i homogena regioner med hjälp av klusteranalys (baserad på topografi och förekomsten av extrema skyfall).

Man använder olika sannolikhetsfördelning för olika regioner och varaktighet. Genom test av olika sannolikhetsfördelningar för varje region och varaktighet har man valt den mest passande fördelning baserad på känslighetsanalys och önskan för en relativ mjuk övergång mellan fördelningarna från region till region. Tillväxtkurvan för homogena regioner beräknas sedan med L-momentmetoden (Hosking & Wallis, 1997).

## **Sydafrika**

Dimensionerande regn beräknas för återkomsttider mellan 2 och 200 år och varaktighet mellan 5 min och 7 dagar på ett liknande sätt som i USA; AM som data och L-momentmetoden som anpassningsteknik (Smithers & Schultze, 2003, 2004). Men medan i USA används olika sannolikhetsfördelning för olika regioner har man i Sydafrika valt GEV fördelningen för alla regioner i landet.

## **England**

Sedan 1999 används två metoder för beräkning av dimensionerande regn: NERC (NERC, 1975) och FEH (Flood Estimation Handbook, Faulkner, 1999). Svensson & Jones (2010) beskriver utförlig NERC och FEH metoden, här anges en kort sammanfattning.

### NERC

Denna metod används för återkomsttid  $\geq 1000$  år och varaktigheter mellan 1 min och 25 dagar. Dimensionerande regn för olika återkomsttider beräknas som en funktion av 5-års regn. Landet är delat i 2 regioner; -England och Wales, - Skottland och Nordirland. Mer om NERC metod kan ni läsa i sektionen om Norge nedan. Emellertid används olika tillväxtkurvor inom varje region beroende på storleken av tillväxtfaktorn. Metoden har den nackdelen att den kräver flera manuella steg (tidskrävande) och subjektiva åtgärder som kan ha signifikanta effekter på resultat.

## FEH

FEH metoden används för återkomsttider  $\leq 1000$  år och varaktigheter mellan 1 timme och 8 dagar enligt FORGEX (Reed m.fl., 1999) som är en variant av "Index-flood Approach".

Tillväxtfaktorn är median av årsmaximum och finns i 1 km-gridd-databas för hela landet (Svensson & Jones, 2010).

För framtagning av tillväxtkurvan gör man expanderande cirkulära regioner med den aktuella platsen som medelpunkt (upp till en radie av 200 km). Data från stationer inom successivt större regioner används för att ta fram sektioner av tillväxtkurvan motsvarande större och större återkomsttider.

Två olika grupper av dataserier används, 1- standardiserade värde från enskilda stationer i regionen, 2- "Netmax" serier som är årsmax av de största standardiserade värden som är observerat någonstans inom en region, ty ett värde per år. Det rumsliga beroendet i Netmax data beaktas genom användning av ett rumsligt beroende modell (Dales & Reed, 1989).

## Australien

I Australien används en version av den generaliserade metoden kallad Generalised Short-Duration Method, GSDM (Hydrometeorological Advisory Service, 2003). Den används på avrinningsområden upp till 1000 km<sup>2</sup> och varaktigheter upp till 6 timmar. Då nätet av regnmätare är glest i Australien har data från Australien kompletterats med data från USA.

PMP beräknas på tillgänglig nederbördsdata för kraftiga regnväder genom att bland annat teoretiskt maximera fuktighetsinnehållet i atmosfären på aktuell plats. Dessa resultat används sedan generellt för önskat område i landet genom att multiplicera med faktorer för terräng, marknivå och fuktighet.

Tabell 1. Beräkningsmetoder för dimensionerande nederbörd i olika länder.

| Land     | Återkomsttid (år)                       | Varaktighet                          | Statistisk fördelning             | Anpassningsteknik                            | Metod                                                                                                                                                             | Data     |
|----------|-----------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Tyskland | 0.5 – 100                               | 5 min – 72 t                         | Gumbel/Exp                        | Regressionslinje                             | Resultaten presenteras i 8.45 km gridd. Olika rumsliga interpolation smetoder för sommar och vinter                                                               | AM / POT |
| England  | $\geq 1000$ (NERC)<br>$\leq 1000$ (FEH) | 1min – 25 d (NERC)<br>1t – 8 d (FEH) | (NERC, Ekv 1)<br>Log Gumbel (FEH) | Grafisk (NERC) / Minsta kvadratmetoden (FEH) | Index-flood Approach med 5-års regn (NERC), with median årsmax (FEH)<br><br>Landet delat i 2 regioner (NERC).<br><br>Expanderande cirkulära regioner runt platsen | AM       |

|                          |              |                |                                                |                                                                                     |                                                                       |          |
|--------------------------|--------------|----------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------|
|                          |              |                |                                                |                                                                                     | (FEH)                                                                 |          |
| Frankrike                | <100 - 10000 | 6min – 10 d    | GEV/ GPD                                       | PWM/Regressionslinje                                                                | Ingen regionalisering, bara På-plats-estimering                       | AM / POT |
| Kanada                   | 2 – 100, PMP | 5 min – 24 t   | Gumbel                                         | Momentmetoden                                                                       | Uppdaterad IDF värde för 549 stationer                                | AM       |
| USA                      | 1 – 1000     | 5 min – 60 d   | Varierande, beroende på region och varaktighet | L- momentmetoden                                                                    | Index-flood Approach with medel årsmax                                | AM       |
| Sydafrika                | 2 – 100      | 5 min – 7 d    | GEV                                            | L- momentmetoden                                                                    | Index-flood Approach with medel årsmax                                | AM       |
| Australia                | 50-2000      | 6 – 120 t      | GEV                                            | Minsta kvadratmetoden                                                               | Index-flood Approach med 50-års regn (NERC), with median årsmax (FEH) | AM       |
| Nya Zealand              | 2- 150       | 10 min- 72 t   | GEV                                            | PWM (mer vikt för längre mätserier)                                                 |                                                                       | AM       |
| Norge                    | 5 - >1000    | ≤ 24 tim       | NERC (Ekv 1)                                   | Grafisk                                                                             | Index-flood Approach med 5-års regn enligt NERC metoden               | AM       |
| Danmark                  |              | 1 min – 48 tim |                                                | L- momentmetoden                                                                    | Uppdaterad IDF krivor                                                 | PDS      |
| Finland                  | 10 – 500     | 6 tim – 1 mån  | GPD                                            | Nelder-Mead metod och andra metoder som finns i "extRemes toolkit" mjukvarupaketet. | Ingen regionalisering, bara för mätstationer                          | POT      |
| Sverige (Svenskt Vatten) | 0.5 – 100    | 5 min – 24 tim | -                                              | -                                                                                   | Dahlströms formel                                                     | -        |
| Sverige (SMHI)           | 2 -          | 15 min -       | GEV/Gumbel /Weibull/Log Normal/GP              | Maximum likelihood/ Momentmetoden                                                   | Punkt-nederbörd på stationsdata                                       | AM/POT   |

## 4 Trender och förändringar

### 4.1 Historiska trender av skyfall; förekomst, intensitet och geografisk fördelning

#### 4.1.1 Sverige

Hernebring (2008) studerade regndata med hög tidsupplösning i svenska kommuner. Studerade data gav inte stöd för att det skulle finnas någon långtidstrend i förekomsten av häftiga regn så att etablerad regnstatistik skulle behöva modifieras. Dock redovisas att Malmö/Skåne uppvisade ”häftigare” regndata den senaste 10-årsperioden än under 1980-talet, men författaren är tveksam till om det är tillfälligheter eller kan uppfattas som en trend.

Studien gjordes med tonvikt på varaktigheterna 5 minuter till 2 timmar. Sex orter i södra Sverige valdes ut med sikte på långa serier och att flera stationer finns på orten. Totalt omfattades närmare 60 mätstationer belägna i Göteborg, Jönköping, Lund, Malmö, Stockholm och Växjö. Tidsperiod i Göteborg är från 1920-talet och framåt, medan övriga platser avser tid fr.o.m. 1980-talet. I Göteborg noterades hög frekvens av häftiga regn under 1930-1940-talen, följt av låga värden under 1950-, 1960- och 1970-talen, samt därefter en pendling runt ett normalläge.

Bengtsson och Milotti (2008) studerade 27 års data från Malmö (1980-2007) men fann perioden för kort för att dra några slutsatser om trender.

Bengtsson (2014) analyserade dygnsnederbörd från nio orter i södra Sverige från sent 1800-tal fram till idag. Andra databaser som användes var 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 befanns ha ökat, men inte extremnederbörd med återkomsttid på 2 år eller längre. Rapporten anger att dygnsårsmaximum för en ort kan relateras till årsnederbörd, medan de verkligt extrema händelserna är slumpartade.

En studie av Wern (2012) visar att extrem nederbörd generellt sett har ökat från år 1900 fram till 1930- och 1940-talet, följt av en minskning till 1970-talet. Därefter ser man en ökning fram till idag. Wern konstaterar att det är mer extrem nederbörd i dag än på 1930-talet. Speciellt noteras en ansamling av extrema nederbördstillfällen i Götaland under 2000-talet. Det konstateras att de allra största nederbördstillfällena i Sverige vanligen sker i juli eller augusti, även om det finns undantag för olika landsdelar.

#### 4.1.2 Nordiska länder

##### Danmark

I Danmark har man observerat en ökning av översvämningar i urbana områden i de senaste åren. Det kan bero på olika faktorer; det kan vara en ökning av nederbörd, förändrad bebyggelse, underhåll av avrinningsvägar, en ökning av anmälningsfrekvens eller en kombination av dem. Madsen m.fl. (2009) rapporterade ca 10 % ökning av extremnederbörd för varaktigheter mellan 1 min och 3 tim och återkomsttider på ca 10 år och ca 2 % ökning av antal extremregnstillfälle per år för varaktigheter mellan 10 min och 24 tim.

Arnbjerg-Nielsen (2006) studerade extrema regn under de då senaste två decennierna med hjälp av data från 41 stationer med hög tidsupplösning. För 10 minuters maxintensitet fann man en statistiskt signifikant trend mot mer extrema regn och mot ökad frekvens av högintensiva regn. För 6 timmars varaktighet och för de individuella regnens totala mängder var trenden mindre uttalad.

## Finland

I Finland har man observerat en ökningstrend av extrem vinternederbörd men ingen klar trend för sommarperioden (Aaltonen m.fl., 2008; Kilpeläinen m. fl., 2008; Haylock & Goodess, 2004 och Moberg m.fl., 2006). Geografisk ser man dock en minskningstrend i nederbörds mängd från söder till norr.

## Norge

Enligt Hanssen-Bauer m.fl., (2009) har en ökning av den årliga nederbörden observerats i Norge under det senaste århundradet och särskilt sedan slutet av 1970-talet. Nedan beskrivs studier av extrem korttidsnederbörd i Norges olika län utfört inom NIFS-projektet.

Enligt trendstudier för det norska länet Østlandet visar flera långa tidsserier på en ökande trend för både högsta nederbördsintensitet och frekvensen av kraftiga regnhändelser. För årlig maximal dygnsnederbörd under perioden 1957 – 2010 är trenden ökande. Både intensiteten och frekvensen av kraftiga nederbördshändelser (Över 10 mm/d) har ökat. För Osloregionen var den största ökningen av frekvens under perioden 1971 – 2000. Både de högsta registrerade värdena och de högsta beräknade återkomsttiderna återfinns i de södra delarna av området, särskilt i området vid Oslofjorden. För korta varaktigheter är den regionala variationen i IDF liten, medan resultaten tyder på större variationer för längre varaktigheter. Studien visar också att det sällan förekommer samtidig hög intensitet för korttidsnederbörd vid närliggande mätstationer. (Ødemark m.fl., 2012)

Studier för de norska regionerna Møre och Romsdal, Trøndelag och Nord-Norge tyder på att det finns en ökande trend för både högsta nederbördsintensitet och frekvensen av kraftiga regnhändelser, definierade som regnmängder över vissa tröskelvärden för varaktigheterna 1 min, 10 min, 30 min och 1h (Trenden gäller för enbart de två mätstationer som har långa tidsserier inkluderande de senaste åren). För korta varaktigheter är den regionala variationen i IDF liten, medan resultaten tyder på större variationer för längre varaktigheter (Førland m.fl., nr. 42 2014).

Studier av 6 utvalda stationer i de norska regionerna Telemark, Sørlandet och Vestlandet tyder på att det finns en ökande trend för både högsta nederbördsintensitet och frekvensen av kraftiga regnhändelser för ett flertal av mätserierna. Kraftiga regnhändelser är definierade som regnmängder över vissa tröskelvärden för varaktigheterna 1 min, 10 min, 30 min och 1h. För korta varaktigheter är den regionala variationen i IDF liten, medan resultaten tyder på större variationer för längre varaktigheter. För både högsta uppmätta intensitet och IDF-kurvor finns det en tendens till lägre värden i inlandet jämfört med kustområdena. (Førland m.fl., nr. 3 2014).

För mätstation Blindern i Oslo (Mätserier 1968 – 2009) finns en ökande trend för samtliga årsmax med varaktigheterna 5 – 60 min., även om trenden är mindre utpräglad för 5 min (Mamen & Iden, 2010).

### 4.1.3 Europa

Det har gjorts många studier och analyser av extrem nederbörd runt om i Europa (se Madsen m.fl. 2014). Studierna visar att det finns tecken på en generell ökning av extrem nederbörd. Det gäller lokala, regionala, nationella och även studier som täcker flera länder och hela Europa. De flesta studier är baserad på dagliga värden men det finns också studier av extrem korttidsnederbörd (ner till 1 – 10 minuter). En sammanfattning av studierna hittas i tabell 2.

Studier av daglig extrem nederbördsdata runt om i Europa tyder på en ökande trend; i delar av Frankrike (Pujol m.fl., 2007), Tyskland och västra Tjeckien på vinter (Zolina, 2012; Kyselý, 2009), nordöstra Italien (Brunetti m.fl., 2001) och Storbritannien, alla årstider utom sommaren (Osborn m.fl., 2000, Jones m.fl. 2013). I den alpina regionen Tyrol har noterats en ökning av antalet extrema regn av kort varaktighet (De Toffol m.fl. (2009).

För frekvensen av dagliga extrem nederbörd har man kunnat visa en signifikant ökande trend i Bulgarien (Bocheva m.fl., 2009) och en ökande trend i Grekland, dock ej signifikant (Nastos & Zerefos, 2008).

Studier av dagliga extrem nederbörd för hela Europa visar på en generellt ökande trend för höst, vinter och vår i Norra Europa men mindre eller ingen ökning i södra, västra och centrala Europa (Van den Bessalar m.fl., 2013; Zolina, 2012).

När det gäller extrem korttidsnederbörd (från 5-10 min upp till 24 timmar) har man konstaterat en ökning för:, Bryssel i Belgien (Ntegeka & Willems, 2008) och Nikosia, Cypern (Pashiardis, 2009).

*Tabell 2. Sammanfattning av studier i Europa om trend i extrem nederbörd*

| Land/region               | Data                                                               | Resultat                                                                                                                                                                                                        | Referens                                                                                         |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Belgien (Bryssel & Uccle) | Extremnederbörd (10 min - 1 mån). 107 år regnsserier               | Statistiskt signifikant ökning i extremnederbörd                                                                                                                                                                | Ntegeka & Willems (2008)                                                                         |
| Bulgarien (hela landet)   | Daglig nederbörd (1961-2005), 90 stationer                         | Signifikant ökning av frekvensen av extremnederbörd                                                                                                                                                             | Bocheva m.fl. (2009)                                                                             |
| Cypern (Nikosia)          | Extremnederbörd (5 min - 2 tim)                                    | Ökning i extremregnsintensitet                                                                                                                                                                                  | Pashiardis (2009)                                                                                |
| Danmark (hela landet)     | Extremnederbörd (1 min - 48 tim), 66 stationer                     | – Ca 10 % ökning av extremnederbörd för varaktigheter mellan 1 min och 3 tim och återkomsttider på ca 10 år<br>– Ca 2 % ökning av antal extremregnstillfälle per år för varaktigheter mellan 10 min och 24 tim. | Arnbjerg-Nielsen (2006)<br>Madsen m.fl. (2009)<br>Sadri m.fl. (2009)<br>Gregersen m.fl. (2013ab) |
| Europa                    | 95 % percentilen av daglig nederbörd, 1158 realtid stationer       | – Generell ökning av extrem vinternederbörd i hela Europa<br>– Ökning av extrem sommarnederbörd i Östeuropa<br>– Minskning av extrem sommarnederbörd i många platser i västra och centrala Europa.              | Zolina (2012)                                                                                    |
| Europa                    | 1-dag och 5-dagars max nederbördsmängd (per säsong), 478 stationer | – I norra Europa: Ökning av extremnederbörd under höst-vinter-vår<br>– I södra Europa: liten ökning av extremnederbörd i alla årstider.                                                                         | Van den Bessalar m.fl. (2013)                                                                    |
| Finland (hela landet)     | Väderradar och                                                     | Geografisk trend på så                                                                                                                                                                                          | Aaltonen m.fl. (2008)                                                                            |

|                                                    |                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                           |                                                                              |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
|                                                    | traditionella regnmätare                                                                                                                                                                     | sätt att nederbördsmängden minskar från söder till norr.<br><br>Ökning av extrem vinternederbörd men ingen klar trend för sommarperioden. | Kilpeläinen m. fl. (2008)<br>Haylock & Goodess (2004)<br>Moberg m.fl. (2006) |
| Frankrike (Medelhavsregion)                        | Daglig nederbörd (1945-2004), 92 stationer                                                                                                                                                   | Statistiskt signifikant ökning av förekomst och intensitet i extremregn konstaterades i tre av sju studerade regioner.                    | Pujol m.fl. (2007)                                                           |
| Grekland (hela landet)                             | Daglig nederbörd (1957-2001), 21 stationer                                                                                                                                                   | Ökande, dock inte signifikant, trend för frekvens av extremnederbörd                                                                      | Nastos & Zerefos (2008)                                                      |
| Grekland (Thessaloniki)                            | Daglig nederbörd (1958-2000)                                                                                                                                                                 | Ingen signifikant trend                                                                                                                   | Galiatsatou & Prinos (2007)                                                  |
| Italien (Nordöstra regionen)                       | Daglig nederbörd, 7 stationer                                                                                                                                                                | Signifikant ökning av extremnederbörd                                                                                                     | Brunetti m.fl. (2001)                                                        |
| Norge (Østlandet)                                  | Årlig maximal dygnsnederbörd (1957 - 2010)                                                                                                                                                   | Både intensiteten och frekvensen av kraftiga nederbördshändelser (Över 10 mm/d) har ökat.                                                 | Ødemark m fl 2012                                                            |
| Norge (Telemark, Sørlandet och Vestlandet)         | Högsta nederbördsintensitet och frekvensen av kraftiga regnhändelser över vissa tröskelvärden (6 stationer, som längst ca 1970 – 2010, varaktighet 1 min, 10 min, 30 min och 1h; Klocktimme) | Ökande trend för flertalet stationer                                                                                                      | Førland m.fl., NIFS-rapport nr. 3, 2014.                                     |
| Norge (Møre och Romsdal, Trøndelag och Nord-Norge) | Högsta nederbördsintensitet och frekvensen av (kraftiga) regnhändelser över vissa tröskelvärden (2 stationer, ca 1970 – 2010, varaktighet 1 min, 10 min, 30 min och 1h; Klocktimme)          | Ökande trend för de två stationerna med långa tidsserier                                                                                  | Førland m.fl., NIFS-rapport nr. 42, 2014.                                    |
| Sverige (hela landet)                              | Extremnederbörd (5 min - 24 tim), 15                                                                                                                                                         | Ingen trend hittades i de flesta stationer utom för Malmö. Där en ökning                                                                  | Hernebring (2006)                                                            |

|                              |                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                       |                                           |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                              | stationer                                                                                  | på 15 – 20 % för 1 och 2-års max och varaktigheter större än 15 min konstaterades.                                                                                                                                                    |                                           |
| Sverige (Södra Sverige)      | Extremnederbörd (5 min – 24 tim). 6 stationer med längre tidsserier.                       | Ingen trend i förekomst av häftiga regn. Undantag möjligen Malmö/Skåne.                                                                                                                                                               | Hernebring (2008)                         |
| Sverige (Södra Sverige)      | Daglig nederbörd, 200+ stationer                                                           | Inga trender hittades i årsmax serier                                                                                                                                                                                                 | Bengtson (2011)                           |
| Sverige (Södra Sverige)      | Extrem dygnsnederbörd, särskilt högupplöst i Skåne                                         | – Regn med återkomsttid ett år eller mindre har ökat; inte regn med återkomsttid 2 år eller längre.<br>– Dygnsårsmaximum kan relateras till stationens årsnederbörd; de verkligt extrema händelserna däremot slumpartade.             | Bengtsson (2014)                          |
| Storbritannien (hela landet) | 110 stationer med dagligt regn, 223 stationer med 1, 2, 5 och 10 dagar säsong- och årsmax. | – Mer intensiv daglig nederbörd under vintern och mindre intensiv under sommaren.<br>– Ökning av extremnederbördstillfälle under höst-vinter-vår perioden.<br>– Minskning av regntillfälle med kort varaktighet under sommarperioden. | Osborn m.fl. (2000)<br>Jones m.fl. (2013) |
| Tjeckien (hela landet)       | Daglig nederbörd (1961-2005), 175 stationer                                                | Signifikant ökning av extrem vinternederbörd i den västra delen av Tjeckien                                                                                                                                                           | Kysely (2009)                             |
| Tyskland (hela landet)       | 95 % percentilen av daglig nederbörd, 5454 stationer                                       | – Generell ökning av extrem vinternederbörd och en allmän minskning av extrem sommarnederbörd utom för sydöstra Tyskland.                                                                                                             | Zolina (2012)                             |

---

## 4.2 Effekten av klimatförändringar - Framtiden

Det har gjorts många modellbaserade studier av effekten av klimatförändringar på extremnederbörd i Sverige och runt om i Europa (se Madsen et al. 2014). Rapporterna pekar generellt på en ökning av extremnederbörd.

### 4.2.1 Sverige

Hernebring et.al.(2012) studerade regnintensitet i ett klimatförändringsperspektiv. Historiska data från 19 europeiska länder analyserades och ett matematiskt samband togs fram för regnintensitetsklimatet. Utifrån data från 11 klimatscenarier med en klimatmodell uppskattades framtida regnintensitet i Sverige. Intensiteten hos häftiga regn sommartid bedömdes generellt öka med 10–15 % som medianvärde för scenarierna fram till slutet av seklet. Spridningen mellan olika scenarier var mycket stor, från oförändrad intensitet upp till en ökning med mer än 40 %.

I samma rapport gav en analys av två svenska regndataserier att extremregnets intensitet ökade med ca 7 % per grad uppvärmning, och kanske med det dubbla över ett tröskelvärde för dygnsmedeltemperaturen på omkring 12° C.

I rapporten redovisas också några tillämpningar av urbanhydrologisk karaktär och framskrivningar beträffande tillskottsvattenmängder i avloppssystem, tillrinning till avloppsverk och bräddningar.

Eklund m.fl. (2015) studerade framtida förändringar av bl.a. nederbörden. Den extrema korttidsnederbörden beräknas bli mer intensiv i ett framtida klimat. Detta gäller främst skyfall med kort varaktighet. 20-minutersnederbörden beräknas för två olika klimatscenarier öka med 30 % respektive 51 % med avseende på regn med 10 års återkomsttid.

Klimatförändringen förväntas alltså leda till mera intensiv korttidsnederbörd, och det kan få negativa konsekvenser för t.ex. urban hydrologi. Olsson och Foster (2013) analyserar extrem korttidsnederbörd i Sverige simulerad med en regional klimatmodell. I ensemblen av framtida projektioner ökar 10-års 30-minutersnederbörden med 6 % från 1981-2010 till 2011-2040, 15 % till 2041-2070 och 23 % till 2071-2100. Ökningen minskar med ökande varaktighet och på dygnskala är de relativa förändringarna ungefär halverade.

Rapporten säger också att en syntes av den forskning kring framtida korttidsextremer som utförts i Sverige tyder på en förväntad ökning av extrem korttidsnederbörd ( $\leq 1$  timme, 10-årsnederbörd) med som genomsnitt 10 % till mitten av seklet (2050) och 25 % till slutet av seklet (2100), jämfört med dagens klimat. Syntesen gav ett spann på 0-20 % respektive 15-35 % svarande mot en låg och en hög uppskattning. En extrapolering görs även till återkomsttid 100 år, med den ökade osäkerhet det innebär. Resultaten indikerar en likartad ökning av 100-årsnederbörden som för 10-årsnederbörd. Regionalt har bedömts en ökning av extrem korttidsnederbörd på 20-60% för Kalmar (Olsson m.fl., 2009) och en ökning på 10-20% för Stockholm (Olsson m.fl., 2012).

I Bengtsson (2014) finns en trendanalys baserad på ett tiotal olika klimatmodeller. Då 50-årsregnet undersöktes fann man att medelvärde av modellerna inte visar på någon tydlig ökning. I rapporten framhölls att då uppskattning av verkligt extrem nederbörd (som 50-årsregn) blir osäkert redan för historiska förhållanden, så blir uppskattning av dylika framtida regn ytterst osäkert.

### 4.2.2 Nordiska länder

För hela Danmark som en region rapporteras 10- 50% ökning av intensitet för korttidsnederbörd (1 – 24 tim) under nästa 100 åren (Arnbjerg-Nielsen, 2012) medan för en station norr om Köpenhamn beräknas 100 års extrem dygnsnederbörd öka med en faktor av 2 (Sunyer m.fl., 2012).

Utifrån genererad nederbörd för perioden 2071-2100 drar Sunyer & Madsen (2009) slutsatsen att utöver antalet extremregn så kommer även variansen av extremregnets intensitet att öka. Antalet tillfällen med extremregn beräknas öka med 62 % och den dagliga variansen beräknas öka med 101 % till 2100.

Utifrån daglig nederbörd från fyra regionala klimatmodeller redovisar Sunyer m.fl. (2012) klimatfaktorer inom spannet 0,74 till 1,61 för ett regn med återkomsttiden 10 år och 0,63 till 2,06 för ett regn med återkomsttiden 100 år. Klimatfaktorererna är beräknade för referensperioden 1979-2007 och den framtida perioden 2071-2100.

Larsen m.fl. (2009) analyserade utdata för Europa, med fokus på Skandinavien, från en regional klimatmodell. Intensiteten hos extrema händelser befanns öka generellt i Europa, med störst ökning i Skandinavien. Korta varaktigheter och höga återkomsttider befanns öka mest. Onof och Arnbjerg-Nielsen (2009) konstruerade en modell för att öka den geografiska upplösningen och konstaterade en ökning av extrema regn.

### 4.2.3 Europa

I Nederländerna har fyra klimatscenarier används för att studera nederbörden i slutet av seklet. Slutsatsen är att intensiteten för extremregn förväntas öka under sommaren men antalet regndagar under sommaren förväntas att minska (van Luijtelaar m.fl., 2008). Intensiteten på daglig nederbörd med återkomsttiden 10 år förväntas öka med 10-50 % (van Luijtelaar m.fl., 2008) till år 2100.

I Ruhrområdet i västra Tyskland konstaterar Staufer m.fl. (2008) att 10 – 15 % av volymen på säsongsnederbörden kan skifta från sommaren till vintern till år 2100, samtidigt som antalet snö dagar beräknas bli i princip obefintliga. Extremnederbörd som faller på mindre än en timme med återkomsttiden 5 år beräknas få återkomsttiden 3 år i slutet av seklet.

I Storbritannien beräknas volymen och intensitet hos nederbörd som har betydande påverkan på dräneringssystem öka med ca 20 % till år 2085 (Ashley m.fl., 2008).

I Bryssel beräknas en ökning av extremnederbörd på upp till 30 % år 2100 (Willems & VRAC, 2011; Willems m.fl, 2012) och i Tjeckien en ökning på 30-50% för 50 och 100 års dygnsnederbörd (Kyselý & Beranová, 2009; Kyselý m.fl., 2011, Hanel & Buishand, 2011).

Dessa resultat överensstämmer i allmänhet med observerade trender som beskrevs ovan för olika platser i Europa.

*Tabell 3. Sammanfattning av studier i Europa om effekten av klimatförändring på extrem nederbörd*

| Land/region                  | Data                             | Resultat                                                    | Referens                                    |
|------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Belgien (Uccle & Bryssel)    | Extremnederbörd (10 min - 15 d). | Regnintensiteten kan öka så mycket som 30% år 2100          | Willems & Vrac (2011); Willems m.fl. (2012) |
| Cypern                       | Extremnederbörd (daglig)         | 1 – 3% ökning av daglig extremnederbörd år 2050             | Hadjinicolaou m.fl. (2011)                  |
| Danmark (nordöstra Själland) | Extremnederbörd (daglig)         | 100-års regn år 2100 kan öka med en faktor av 2             | Sunyer m.fl. (2010, 2012)                   |
| Danmark (Södra Jylland)      | Extremnederbörd (daglig)         | 9% ökning av daglig extremnederbörd år 2050 och 15% år 2100 | Madsen m.fl. (2013)                         |
| Danmark (hela landet)        | Extremnederbörd (1 - 24 tim)     | intensiteten i extremregn kan öka med 10 - 50% inom         | Arnbjerg-Nielsen (2012)                     |

|                                                   |                                                                             |                                                                                                                                                 |                          |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
|                                                   |                                                                             | nästa 100 år                                                                                                                                    |                          |
| Finland (hela landet)                             | Väderradar (2000-2005)                                                      | – Intensiteten för extremregn i maj-september förväntas öka med tiden, i genomsnitt mer eller mindre lineärt                                    | Aaltonen m.fl. (2008)    |
| Tjeckien (hela landet)                            | Extremnederbörd (daglig)                                                    | Upp till 50 % ökning av 50-års regn år 2100                                                                                                     | Kysely & Beranová (2009) |
| Tjeckien (hela landet)                            | Extremnederbörd (daglig)                                                    | 23 % ökning av 100-års regn år 2100                                                                                                             | Kysely m.fl. (2011)      |
| Sverige (Kalmar)                                  | Extremnederbörd (30 min)                                                    | Extremintensitet kan öka med 20 - 60% år 2100                                                                                                   | Olsson m.fl. (2009)      |
| Sverige (Stockholm)                               | Extremnederbörd (30 min – 24 tim)                                           | 5–10% ökning av kortvarig extremintensitet under perioden 2011- 2040 och 10 – 20 % under perioden 2071- 2100                                    | Olsson m.fl. (2012)      |
| Sverige baserat på data från 19 europeiska länder | Extremnederbörd (10 min – 24 timmar).<br>Modelldata från 11 klimatscenarier | Intensiteten hos häftiga regn sommartid ökar 10-15 % som medianvärde till slutet av seklet, men spridning av resultaten från 0 till mer än 40 % | Hernebring m.fl. (2012)  |
| Sverige (hela landet)                             | Korttidsnederbörd (20 min – 12 timmar)                                      | Ökning 18-51 % till 2069-2098 av nederbörd med 10 års återkomsttid                                                                              | Eklund m.fl. (2015)      |

---

## 5 Slutsatser

- Det underlag som finns vad gäller observerade data med korttidsnederbörd är högst begränsat i ett klimatperspektiv; ett fåtal längre mätserier och förhållandevis kort period med data från stationsnät. Längre tidsserier med automatstationsdata, insamlade kommundata, ny mätteknik (radar, mikrovågslänkar) kommer öka vår kunskap om skyfall. Kunskapen om areella extremer är idag mycket begränsad och måste förbättras.
- Det saknas idag en vedertagen metodik för att beräkna regnhändelser med kort varaktighet och höga återkomsttider i Sverige. Det finns en stor flora av metoder för att uppskatta extrem nederbörd av vilka bara ett fåtal testats/ används i Sverige. Fler angrepp bör testas för att kunna uppskatta osäkerheter.
- Frågan om eventuella trender i extrem korttidsnederbörd är svårbesvarad. Observationsunderlaget är inte tillräckligt för att dra säkra slutsatser om historiska trender. Klimatmodeller har ännu begränsad förmåga att beskriva de småskaliga processer som genererar skyfall, varför de uppskattningar av framtida förändringar som gjorts måste ses som mycket osäkra. Forskningen pekar dock tydligt mot högre extremer i framtiden.

Traditionella metoder för att beräkna återkomsttider för exempelvis nederbördshändelser kräver långa tidsperioder med homogena data för att ge tillförlitliga resultat. Detta gör att det från SMHIs 20 år långa tidsserier med som mest 15-minuters tidsupplösning kommer vara svårt att göra tillförlitliga analyser av återkomsttider längre än kanske 50 år. Eftersom det inom t.ex. fysisk planering eller dammsäkerhet ofta diskuteras händelser med återkomsttider som vida överstiger 100 år finns det ett behov av att även för korta intensiva regnhändelser kunna beskriva långa återkomsttider. Behovet sträcker sig över en rad samhällssektorer som fysisk planering, VA-planering, dammsäkerhet, dimensionering av infrastruktur (viadukter, tunnlar, tråg, trummor) mm.

Det kan konstateras att det internationellt finns ett flertal olika metodiker som sällan eller aldrig har testats och utvärderats för svenska (eller skandinaviska) förhållanden och som skulle kunna vara en väg framåt för att finna en praktiskt tillämpbar metodik. Det konstateras också att det kan finnas längre mätserier med hög tidsupplösning t.ex. hos kommuner och VA-huvudmän. Dessa är dock sannolikt inte digitaliserade. En digitalisering av gamla mätningar som inte finns i SMHIs ägo skulle också kunna ge längre tidsserier och bättre underlag för att t.ex. studera trender, extrapolera återkomsttider eller verifiera annan beräkningsmetodik än frekvensanalys.

## Referenser

Aaltonen, J., Hohti, H., Jylhä, K., Karvonen, T., Kilpeläinen, T., Koistinen, J., Kotro, J., Kuitunen, T., Ollila, M., Parvio, A., Pulkkinen, S., Silander, J., Tiihonen, T., Tuomenvirta, H. & Vajda, A. 2008. Rankkasateet ja taajamatulvat (RATU), SUOMEN YMPÄRISTÖ 31, Helsinki 2008.

Alexandersson, H., Bergström, H., & Lindström, B. 1997. Skyfallet i Uppsala 17 augusti 1997. Polarfront, Svenska Meteorologiska Sällskapets tidning, nr 93, sid. 16-20.

Alexandersson, H., Eklund, A. och Vedin, H. Regnkatastrofen på Fulufjället 1997. Webbartikel (senaste uppdatering 2015) <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/1997-regnkatastrofen-pa-fulufjallet-1.12691>

Alexandersson, H., Vedin, H. 1997. Väder och Vatten, september 1997. SMHIs publikation.

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

Arnbjerg-Nielsen, K. 2012. Quantification of climate change effects on extreme precipitation used for high resolution hydrologic design, Urban Water Journal, 9(2): 57-65.

- Arnbjerg-Nielsen, K., Madsen, H., Mikkelsen, P.S., 2006. Regional variation af ekstremregn i Danmark- ny bearbejdning (1979–2005) (in Danish). Skrift 28, Ingeniørforeningen i Danmark - IDA, Spildevandskomiteen.
- Arnell, V., 1974. Intensitets-varaktighetskurvor för häftiga regn i Göteborg under 45-årsperioden 1926-1971. Chalmers tekniska högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, meddelande nr 5.
- Arnell, V., 1982. Rainfall Data for the Design of Sewer Pipe Systems. Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för vattenbyggnad. Report Series A:8. ISSN 0348-1050.
- Ashley R.M., Clemens F.H.L.R., Tait S.J., Schellart A. 2008. Climate change and the implication for modeling the quality of flow in combined sewer. Proceedings of the 11th International conference in Urban Drainage, 31 August – 5 September, Edinburgh, Scotland, p. 10.
- Asquith W.H. & Famiglietti J.S. 2000. Precipitation areal-reduction factor estimation using an annual-maxima centered approach. Journal of Hydrology, 230 (2000) 55–69
- Bartels, H., Malitz, G., Asmus, S., Albrecht, F. M., Dietzer, B., Günther, T. and Ertel, H., 1997. Starkniederschlagshöhen für Deutschland (KOSTRA-Atlas). Deutscher Wetterdienst, Offenbach, 82 pp.
- Bengtsson, L. och Milotti, S., 2018. Intensiva regn i Malmö. Vatten 64:291-304.
- Bengtsson, L., 2011. Daily and hourly rainfall distribution in space and time – conditions in southern Sweden, Hydrol. Res., 42, 86-94.
- Bengtsson, L., 2014. Identifiering av extrema händelser och dess översvämningskonsekvenser i tätort. Svenskt Vatten Utveckling, Rapport Nr. 2014-19.
- Bengtsson, L. och Milotti, S., 2008. Intensiva regn i Malmö, VATTEN, 64:291–304.
- Bengtsson, L. och Niemczynowics, J., 1986. Areal Reduction Factors from Rain Movement. Nordic Hydrology, 17, 1986, 65-82.
- Beredskabsstyrelsen 2012. Redegørelse vedrørende skybruddet i Storkøbenhavn lørdag den 2 juli 2011.  
<http://brs.dk/beredskab/Documents/Redeg%C3%B8relse%20om%20skybruddet%20i%20Stork%C3%B8benhavn%202.%20juli%202011.pdf>
- Bocheva, L., Marinova, T., Simeonov, P., Gospodinov, I., 2009, Variability and trends of extreme precipitation events over Bulgaria (1961 - 2005), Atm. Res., 93, 490-497.
- Brunetti, M., Maugeri, M., Nanni, T., 2001, Changes in total precipitation, rainy days and extreme events in northeastern Italy, Intl. J. Climatol., 21, 861-871.
- Castellarin, A., Kohnová, S., Gaál, L., Fleig, A., Salinas, J. L., Toumazis, A., Kjeldsen, T. R. & Macdonald, N., editors 2012. WG 2, COST Floodfreq Action ES0901, chapter Review of applied statistical methods for flood frequency analysis in Europe. CEH, Wallingford.
- Coles S. 2001. An introduction to statistical modeling of extreme values. Spriger-Verlag, London.
- Dahlström, B., 2010. Regnintensitet – en molnfysikalisk betraktelse. Svenskt Vatten Utveckling Rapport nr. 2010-05.
- Dales, M. Y. and Reed, D. W. 1989. Regional flood and storm hazard assessment. IH report No. 102. Institute of Hydrology, Wallingford, UK, 159 pp.
- Daly, C., Taylor, G. and Gibson, W. 1997. The PRISM approach to mapping precipitation and temperature. Proc. 10th Conf. on Applied Climatology, American Meteorological Society, Reno, Nevada, 20-23 Oct. 1997. Pp. 10-12.
- Daly, C., Gibson, W. P., Taylor, G. H. and Pasteris, P. (2002) A knowledge-based approach to the statistical mapping of climate. Climate Research, 23, 99-113

- Danish Water Pollution Control Committee (DWPCC), Estimation of IDF curves (på danska), Publ. 16, Danish Soc. of Eng., Teknisk Forlag, Denmark, 1974.
- De Toffol, S., Laghari A.N., Rauch, W. 2009. Are extreme rainfall intensities more frequent? Analysis of trends in rainfall patterns relevant to urban drainage systems. *Water Science and Technology*, 2009;59(9):1769-76.
- DMI (Danmarks Meteorologiske Institut) 2012. <http://www.dmi.dk/nyheder/arkiv/nyheder-2012/2-juli-et-aar-siden-det-koebenhavnske-skybrud/>
- DN 2014. <http://www.dn.se/nyheter/sverige/ovader-drabbade-malmo-manniskor-hamnade-i-livsfara/>
- DWD (2005) Overview of extreme value statistics as a function of the reoccurrence interval in years (T). Slide presentation, Deutscher Wetterdienst (DWD) – Department of Hydrometeorology, 29 November 2005. Courtesy of Dr Rudolf Bruno, DWD.
- Dyrørdal, A. V. 2012. Estimation of extreme precipitation in Norway and a summary of the state-of-the-art. Report no. 08/2012, Climate, Norwegian Meteorological Institute.
- Dyrørdal, A. V., Skaugen, T., Stordal, F. & Førland, E. J. 2014. Estimating extreme areal precipitation in Norway from a gridded dataset, *Hydrological Sciences Journal* <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2014.947289>
- Eklund, A., Axén Mårtensson, J., Bergström, S., Björck, E., Dahné, J., Lindström, L., Nordborg, D., Olsson, J., Simonsson, L. och Sjökvist, E. 2015. Sveriges framtida klimat - Underlag till Dricksvattenutredningen. SMHI Klimatologi Nr 14, 2015.
- Faulkner, D. 1999. *Flood Estimation Handbook*, Vol. 2: Rainfall frequency estimation. Institute of Hydrology, Wallingford, UK, 110 pp.
- FRCOLD 1994. Design flood determination by the gradex method. French Committee on Large Dams (FRCOLD), November 1994.
- Førland, E J., 1987. Beregning av ekstrem nedbør (på norska). met.no Fagrapport 23/87 KLIMA.
- Førland, E J., 1992. Manual for beregning av påregnelige ekstreme nedbørverdier (Manual for the estimation of PMP, på norska). met.no Report 21/92 KLIMA\*. Førland, E.J. 2015.
- Førland, Eirik J., 2015. Recent Heavy Rainfall Events in Norway. Presentation (bildserie) från föredrag på Workshop on Heavy Rainfall Climate, Norrköping, 22-23 oktober 2015.
- Førland, E J, & Kristoffersen, D., 1989. Estimation of Extreme Precipitation in Norway. *Nordic Hydrology*, 20, 257–276.
- Førland, E., Mamen J., Ødemark, K., Heiberg, H., Myrabø, S., 2014. Dimensjonerende korttidsnedbør for Telemark, Sørlandet og Vestlandet, NIFS-projektet rapport nr. 3, 2014.
- Førland, E., Mamen J., Ødemark, K., Heiberg, H., Myrabø, S.. Dimensjonerende korttidsnedbør for Møre og Romsdal, Trøndelag og Nord-Norge, NIFS-projektet.
- Galiatsatou, P., Prinos, P., 2007, Outliers and trend detection tests in rainfall extremes, *Proc. of 32nd IAHR Congress*, SS10-15-O, Venice, Italy.
- Gilleland, E. & Katz, R. 2006. Analyzing seasonal to interannual extreme weather and climate variability with the extremes toolkit. Research Applications Laboratory, National Center for Atmospheric Research
- Gregersen, I.B., Sørup, H.J.D, Madsen, H., Rosbjerg, D., Mikkelsen, P.S. & Arnbjerg-Nielsen, K. 2013a, Assessing future climatic changes of rainfall extremes at small spatio-temporal scales, *Climatic Change*, 118(3-4), 783-797, DOI 10.1007/s10584-012-0669-0.
- Gregersen, I.B., Madsen, H., Rosbjerg, D. & Arnbjerg-Nielsen, K., 2013b, A spatial and non-stationary model for the frequency of extreme rainfall events, *Water Resour. Res.*, 49, 127-136, doi:10.1029/2012WR012570.

- Gumbel, E J., 2004. Statistics of Extremes. Dover publications, New York. Unabridged republication of the edition published by Columbia University Press, New York, 1958.
- Gustavsson, A. (2004). Regn- och åskvädret på Orust sommaren 2002 - hur normalt är oväder av detta slag? Göteborgs Universitet, Institutionen för geovetenskaper, B397 2004.
- Hadjinicolaou, P., Giannakopoulos, C., Zerefos, C., Lange, M., Pashiardis, S., Lelieveld, J., 2011. Mid-21st century climate and weather extremes in Cyprus as projected by six regional climate models, *Regional Environmental Change*, 11: 41-457.
- Hall, K. (2015). Skyfall i Malmö 31/8-2014 - Vad hände och varför blev det som det blev? Presentation från föredrag. VA Syd.
- Hanssen-Bauer, I, Drange, H, Førland, E J, Roald, L A, Børsheim, K Y, Hisdal, H, Lawrence, D, Nesje, A, Sandven, S, Sorteberg, A, Sundby, S, Vasskog, K, & Ådlandsvik, B., 2009. Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU klimatilpassing (Climate in Norway 2100, på norska), Norsk klimasenter, September 2009, Oslo.
- Harremoës, P. & Mikkelsen, P. S. 1995. Properties of extreme point rainfall, I, Results from a rain gauge system in Denmark, *Atmos. Res.*, 37: 277–286.
- Haylock, M.R. & Goodess C. M. 2004. Interannual variability of European extreme winter rainfall and links with large scale circulation. *Int. J. Climatol.* 24: 759-776.
- Hernebring C., 2006. 10-årsregnets återkomst förr och nu – regndata för dimensionering/kontrollberäkning av VA-system i tätorter, VA-Forsk rapport, 2006-04.
- Hernebring, C., 2008. När regnet kommer - Effektivare utnyttjande av kommunernas nederbördsinformation. Svenskt Vatten Utveckling, Rapport Nr 2008-17.
- Hernebring, C., Dahlström, B. och Kjellström, E. 2012. Regnintensitet i Europa med fokus på Sverige – ett klimatförändringsperspektiv. Svenskt Vatten Utveckling, Rapport Nr 2012-16.
- Hernebring, C., Milotti, S., Steen Kronborg, S., Wolf, T. och Mårtensson, E., 2015. Skyfallet i sydvästra Skåne 2014-08-31 fokuserat mot konsekvenser och relation till regnstatistik i Malmö. *Vatten – Journal of Water Management and Research* 71:85-99. Lund 2015.
- Hershfield, D. M. (1977) Some tools for hydrometeorologists. Preprints, 2nd Conf. Hydrometeorology, American Meteorological Society, Boston, Mass., pp 79-82.
- Hogg, W. D. and Carr, D. A. 1985. Rainfall frequency atlas for Canada. Canadian Climate Programme, Canadian Government Publishing Centre, Supply and Services Canada, Ottawa, Canada.
- Hogg, W. D., Carr, D. A. and Routledge, B. 1989. Rainfall intensity-duration frequency values for Canadian locations. Environment Canada, Atmospheric Environment Service, Downsview, Ontario.
- Hosking, J. R. M., and J. R. Wallis, Some statistics useful in regional frequency analysis, *Water Resour. Res.*, 29(2), 271–281, 1993. (Correction, *Water Resour. Res.*, 31(1), 251, 1995)
- Hosking, J. R. M. and Wallis, J. R. 1997. Regional frequency analysis, an approach based on L-moment. Cambridge University Press, 224 pp.
- Hydrometeorological Advisory Service, 2003. The Estimation of Probable Maximum Precipitation in Australia: Generalised Short-Duration Method. June 2003.
- Johansson, M., 2015. Data sources on small-scale disaster losses and response – A Swedish case study of extreme rainfalls 2000–2012. *International Journal of Disaster Risk Reduction* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdr.2014.12.004>
- Jones, M.R., Fowler, H.J., Kilsby, C.G., Blenkinsop, S., 2013, An assessment of changes in seasonal and annual extreme rainfall in the UK between 1961 and 2009, *Int. J. Climatol.*, 33, 822 1178–1194, doi: 10.1002/joc.3503.

- Katz, R. W., Brush, G. S. & Parlange, M. B. 2005. Statistics of extremes: Modelling ecological disturbances. *Ecology* 86: 1124-1134.
- Kieffer, A. and Bois, P. 1997. Variability of the statistical characteristics of extreme rainfall values in the French Alps. *Rev. Sci. Eau*, 10(2), 199-216 (article in French).
- Kilpeläinen, T., Tuomenvirta & Jylhä, K. 2008. Climatological characteristics of summer precipitation in Helsinki during the period 1951-2000. *Boreal Environment Research* 13: 67-80.
- Kokkonen, T. 2015. Personlig kommunikation (e-post). [Uppgiftsmottagare: Tengdelius-Brunell, J., SMHI]
- Koutsoyiannis m. fl. 1998. A mathematical framework for studying rainfall intensity–duration–frequency relationships. *Journal of Hydrology*, 206 (1998), 118–135
- Kysely, J., 2009, Trends in heavy precipitation in the Czech Republic over 1961-2005, *Int. J. Climatol.*, 29, 1745-1758.
- Kysely, J. & Beranová, R. 2009. Climate-change effects on extreme precipitation in central Europe: uncertainties of scenarios based on regional climate models, *Theor. Appl. Climatol.*, 95(3–4), 361-374.
- Kysely, J., Gaál, L., Beranová, R. & Plavcová, E. 2011, Climate change scenarios of precipitation extremes in Central Europe from ENSEMBLES regional climate models, *Theor. Appl. Climatol.*, 104(3-4): 529-542.
- Larsen AN1, Gregersen IB, Christensen OB, Linde JJ, Mikkelsen PS. 2009. Potential future increase in extreme one-hour precipitation events over Europe due to climate change. *Water science and technology* 2009;60(9):2205-16.
- Madsen, H., Mikkelsen, P. S., Rosbjerg, D. & Harremoës, P. 2002. Regional estimation of rainfall intensity-duration-frequency curves using generalized least squares regression of partial duration series statistics, , *Water Resour. Res.*, 38(11), 1239, doi:10.1029/2001WR001125.
- Madsen, H., Arnbjerg-Nielsen, K., Mikkelsen, P. S. 2009. Update of regional intensity–duration–frequency curves in Denmark: Tendency towards increased storm intensities, *Atmospheric Research* 92: 343–349.
- Madsen, H., Sunyer, M., Larsen, J., Madsen, M.N., Møller, B., Drückler, T., Matzdorf, M., Nicolaisen, J., 2013, Climate change impact assessment of the dike safety and flood risk in the Vidaa River system, *Climate Change and Disaster Risk Management* , *Climate Change Management*, 583-595.
- Madsen, H., Lawrence, D., Lang, M., Martinkova, M., Kjeldsen, T.R., 2014, Review of trend analysis and climate change projections of extreme precipitations and floods in Europe, *Journal of Hydrology*, 519, 3634-3650.
- Mamen, J. & Iden, K. A. 2010. Analyse av Korttidsnedbør i Norge 1967 – 2009, met.no reoprt no. 11, Climate.
- Mikkelsen, P.S., Madsen, H., Arnbjerg-Nielsen, K., Jørgensen, H.K., Rosbjerg, D., Harremoës, P., 1999. Regional variation of extreme rainfalls in Denmark (in Danish). *Skrift* 26, Spildevandskomitéen, Ingeniørforeningen i Danmark. ISBN: 87-89220-49-8.
- Moberg, A., Jones, P., Lister, D., Walther, A., Brunet, M., Jacobeit, J., Saladie, O., Sigro, J., Aguilar, E., Della-Marta, P., Luterbacher, J., Yiou, P., Alexander, L.V., Chen, D., Klein Tank, A.M.G., Alexandersson, H., Almarza, C., Auer, I., Barriendos, M., Begert, M., Bergström, H., Böhm, R., Butler, J., Caesar, J., Drebs, A., Founda, D., Gerstengarbe, F.-W., Giusi, M., Jónsson, T., Maugeri, M., Österle, H., Pandzic, K., Petrakis, M., Srnc, 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 analysed for the period 1901-2000, *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 111(22), D22106.

- Mohr, M., 2009. Comparison of Version 1.1 and 1.0 of gridded temperature and precipitation data for Norway. met.no Note 19/2009
- MSB 2014. Kartläggning av skyfalls påverkan på samhällsviktig verksamhet. Framtagande av metodik för utredning på kommunal nivå. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. Publikation MSB694 - maj 2014.
- Nastos, P.T., Zerefos, C.S., 2008, Decadal changes in extreme daily precipitation in Greece, *Adv. Geosci.*, 16, 55–62.
- NERC 1975. Flood Studies Report (five volumes). Natural Environment Research Council, UK.
- Niemczynomicz J. 1982. Areal Intensity-Duration-Frequency Curves for Short Term Rainfall Events in Lund. *Nordic Hydrology*, 1982, 193-204
- Niemczynomicz, J. 1984. An investigation of the areal and dynamic properties of rainfall and its influence on runoff generating processes, Report No 1005, Institutionen för Teknisk Vattenresurslära, Lund Tekniska Högskola / Lunds Universitet.
- Nilsson, P, 2012. Intensivt regn i Sverige 2009-2011. En kartläggning över händelser av intensivt regn och dess konsekvenser. C-uppsats Geografi, Karlstads Universitet, Fakulteten för samhälls- och livsvetenskaper. Löpnummer 02-2012-02.
- Ntegeka, V., Willems, P., 2008. Trends and multidecadal oscillations in rainfall extremes, based on a more than 100 years time series of 10 minutes rainfall intensities at Uccle, Belgium, *Water Resour. Res.*, 44, W07402, doi:10.1029/2007WR006471.
- 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, *Atm. Res.*, 92: 364-375.
- Olsson, J., Willén, U. & Kawamura, A. 2012. Downscaling extreme Regional Climate Model (RCM) precipitation for urban hydrological applications, *Hydrol. Res.*, 43: 341-351.
- Olsson, J. och Foster, K. 2013. Extrem korttidsnederbörd i klimatprojektioner för Sverige. SMHI Klimatologi Nr. 6, 2013.
- Onof, C. och Arnbjerg-Nielsen, K. 2009. Quantification of anticipated future changes in high resolution design rainfall for urban areas. *Atmospheric Research* Vol. 92, Issue 3, 350-363. 7th International Workshop on Precipitation in Urban Areas.
- Osborn, T.J., Hulme, M., Jones, P.D., Basnett, T.A., 2000, Observed trends in the daily intensity of United Kingdom precipitation, *Int. J. Climatol.*, 20(4), 347-364.
- Pashiardis S., 2009, Compilation of Rainfall curves in Cyprus, Meteorological Note no. 15, Meteorological Service, Ministry of Agriculture, Natural Resources and Environment, Nicosia, Cyprus.
- Perica, S., Martin, D., Lin, B., Parzybok, T., Riley, D., Yekta, M., Hiner, L., Chen, L.-C., Brewer, D., Yan, F., Maitaria, K., Trypaluk, C. and Bonnini, G. M. 2009. NOAA Atlas 14, Volume 4, Version 2.1: Precipitation-Frequency Atlas of the United States, Hawaiian Islands. NOAA, National Weather Service, Silver Spring, MD.
- Pujol, N., Neppel, L., Sabatier, R., 2007, Approche régionale pour la détection de tendances dans des séries de précipitations de la région méditerranéenne française, *C. R. Geoscience*, 339, 651–658.
- Reed, D. W., Faulkner, D. S. and Stewart, E. J. 1999. The FORGEX method of rainfall growth estimation – II: Description. *Hydrol. and Earth System Sci.*, 3, 197-203.
- Sadri, S., Madsen, H., Mikkelsen, P.S., Burn, D.H., 2009. Analysis of extreme rainfall trends in Denmark, 33rd IAHR Congress: Water Engineering for a Sustainable Environment, International Association of Hydraulic Engineering & Research (IAHR), ISBN: 978-94-90365-01-1, 1731-1738.

- SMHI 2003. Regnkatastrofen på Fulufjället 30-31 augusti 1997. Faktablad nr 13, 2003.  
[http://www.smhi.se/polopoly\\_fs/1.6390!/faktablad\\_fulufjallet%5B1%5D.pdf](http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.6390!/faktablad_fulufjallet%5B1%5D.pdf)
- SMHI 2014. Om skyfall i Malmö 2014: <http://www.smhi.se/nyhetsarkiv/extremt-kraftigt-regn-over-malmo-1.77503>
- SMHI 2015. Framtidsklimat i Sveriges län – enligt RCP-scenarier. (2015-12-18),  
<http://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/framtidsklimat-i-sveriges-lan-enligt-rdp-scenarier-1.95384>
- Smithers, J. C. and Schulze, R. E. 2003. Design rainfall and flood estimation in South Africa. WRC Report No. 1060/1/03, Water Research Commission, Gezina, South Africa. 156 pp.
- Smithers, J. C. and Schulze, R. E. 2004. The estimation of design rainfalls for South Africa using a regional scale invariant approach. Proc. of the British Hydrological Society's conference "Hydrology: Science & Practice for the 21st Century", Vol. 1. London, July 2004.
- Stauffer, P., Siekmann, M., Roder, S., Pinnekamp, J. 2008. Sustainable development of regional water resources management confronting climate trends and extreme weather. Proceedings of the 11th International conference in Urban Drainage, 31 August – 5 September, Edinburgh, Scotland, p. 10.
- Stedinger, J. R., Vogel, R. M. and Foufoula-Georgiou, E. 1993. Frequency analysis of extreme events. In: D. R. Maidment (ed.), Handbook of Hydrology. McGraw-Hill, London.
- Sunyer, M.A., Madsen, H., 2009. A comparison of three weather generators for extreme rainfall climate simulations in climate change impact studies. CD-ROM Proceedings of the 8th International Workshop on Precipitation in Urban Areas, 10-13 December 2009, St. Moritz Switzerland, pp. 109-113.
- Sunyer, M.A., Madsen, H. & Ang, P.H., 2012. A comparison of different regional climate models and statistical downscaling methods for extreme rainfall estimation under climate change, *Atm. Res.*, 103: 119-128.
- Svensk Energi, Svenska kraftnät och SveMin 2015. Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar - Utgåva 2015. ISBN 978-91-976721-6-0.
- Svenskt Vatten 2011. Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem. Publikation P104
- Svensson, C. & Jones D. A. 2010. Review of rainfall frequency estimation methods. Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, OX10 8BB, UK
- Trafikverket, 2015. Webbplats besökt 2015-12-10: <http://www.trafikverket.se/nara-dig/Vastra-gotaland/projekt-i-vastra-gotalands-lan/Vastlanken---smidigare-pendling-och-effektivare-trafik/Nyheter/2015/2015-11/forandringar-av-vattennivaer/>
- Tveito, O E, Bjørndal, I, Skjelvåg, A O, & Aune, B., 2005. A GIS-based agro-ecological decision system based on gridded climatology. *Meteorological Applications*, 12(1).
- Van den Besselaar, E.J.M., Klen-Tank, A.M.G., Buishand, T.A., 2013. Trends in European precipitation extremes over 1951 - 2010. *Int. J. Climatol.*, 33, 2682–2689. doi: 10.1002/joc.3619
- Van Luijelaar H., Grastkemper H.G., Beenen A.S. 2008. Heavier rainfall due to climate change: how to deal with effects in urban areas. Proceedings of the 11th International conference in Urban Drainage, 31 August – 5 September, Edinburgh, Scotland, p. 10.
- Venäläinen, A., Saku, S., Kilpeläinen, T., Jylhä, K., Tuomenvirta, H., Vajda, A., Räisänen, J. & Ruosteenoja, K. 2007. Sään ääri-ilmiöistä Suomessa. (Aspects about climate extremes in Finland. På finska med sammanfattning på engelska) Ilmatieteen laitos, Helsinki Ilmatieteen laitoksen raportteja 2007:4. 81 s. (<http://hdl.handle.net/10138/1138>)
- Venäläinen, A., Jylhä, K., Kilpeläinen, T., Saku, S., Tuomenvirta, H., Vajda, A. & Ruosteenoja, K. 2009. Recurrence of heavy precipitation, dry spells and deep snow cover in Finland based on observations. *Boreal Environment Research* 14: 166- 172.

- Wern, L., 2012. Extrem nederbörd i Sverige under 1 till 30 dygn, 1900-2011. SMHI Meteorologi Nr 143.
- Wern L., German J. 2009. Korttidsnederbörd i Sverige, 1995-2008. SMHI Meteorologi Nr 139
- Willems, P. & Vrac, M., 2011. Statistical precipitation downscaling for small-scale hydrological impact investigations of climate change, *J. Hydrol.*, 402, 193–205.
- Willems, P., Arnbjerg-Nielsen, K., Olsson, J. & Nguyen, V.T.V. 2012. Climate change impact assessment on urban rainfall extremes and urban drainage: methods and shortcomings, *Atm. Res.*, 103: 106-118.
- WMO, 2009. Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP). WMO-No.1045.
- Ødemark, K., Førland, E., Mamen J., Elo, C.A., Dyrddal, A.V., Myrabø, S., Ekstrem korttidsnedbør på Østlandet fra pluviometer og radar data, NIFS-projektet rapport nr. 78, 2012.
- Zolina, O., 2012. Changes in Intense Precipitation in Europe, Chapter 6, In: *Changes in Flood Risk in Europe* (Ed. Z.W. Kundzewicz), IAHS Special Publication 10, 97-120
- Ødemark, K., Førland, E.J., Mamen, J., Elo, C. A., Dyrddal A.V. & Myrabø, S. 2012. Ekstrem korttidsnedbør på Østlandet fra pluviometer og radar data. NVE-Rapport 78/2012; Meteorologisk Institutt Rapport 14/2012.

## Bilaga II

### Sammanfattning från Workshop med experter

CONCLUSIONS/REFLECTIONS from Workshop 22-23 October 2015 in Norrköping

(Jonas Olsson and Weine Josefsson SMHI)

#### Observations precipitation

- Gathering data from "external actors" a potential huge source of new data, should be prioritised (NO: open to different actors contribution; DK: municipalities contribute, private only presented on web-site; SE: municipal contributions are to start).

Quality control is a heavy but crucial task using a vast number of private gauges. What can be done with present data? What method should be used to estimate the worst values in a nearby area if assumed homogeneous?

- Radar ideas and issues: What can be learned from radar? Fulufjället was mentioned along with damping of radar-signal. Use atmospheric models for radar interpretation/correction? Long-term consistent data sets still rare. Use radar to estimate "probability of detection" by a gauge network, and then adjust statistics accordingly?

Which time scale to use in gauge adjustment (day, month. etc.)? Correction on short time scales is uncertain due to small and uncertain gauge measurements for short time periods.

- Microwave Links: Not much tested yet, unclear future as cables become common.
- Important to think about the purpose of the data: Apply perspective on the network. What data/network is needed for hydrology, insurance, etc.? What are they used for? Who needs to worry about the worst possible cloudburst?
- A brief discussion that different approaches for long return periods exists. A possible cooperation could be to discuss a guideline for this in a changing climate.
- Worst case discussion included: Statistical extrapolation, physical extreme estimate or existing examples such as Fulufjället and Copenhagen.

#### Climate projections

- We want ensembles of global convection-permitting climate projections – soon! And an evaluation of the uncertainty of the convection of climate models
- RCM evaluation: High time resolutions needed, including separation into convective and stratiform components. More specific in terms of regions, topography, etc. Look more into point vs. areal issues.
- Climate Factors: What do the users want? How do they relate to historical trends? How much an "RCM product" and how much real change?
- A potential Nordic cooperation could be to harmonize climate factor modelling. If there are different approaches used it should be valuable to understand how they differ and why.
- It was also noted and discussed that RCP 8.5 caused high changes.

- Weather Generators: Potentially significant, requires development.

### Forecasts

- We want ensembles of global convection-permitting weather forecasts – soon!
- Accuracy: No convection generated in radar nowcasting, needs NWP. Radar can be assimilated as humidity fields and/or advected, two different things. Frequent assimilation possible by radar, an advantage compared with alternatives. But radar may decrease performance (drying out).
- Need better ways to use observed data (and statistics), e.g. clouds from satellites
- Actually resolved scales are some 5 times NWP model's  $\Delta x$  grid-spacing, which in present models is larger than most convection scales to improve now-casting.  
Wishing list: Frequent updates, finer grid, larger domains of small scale models, improved surface parameterization, more powerful computers, different tools for different time scales
- Coupled hydrological-meteorological modelling may be one way forward, being tried in Denmark, mainly for climate projections
- It was pointed out that data assimilation and model computations take time. Starting assimilating at time X and the forecast will be distributed and available usually one or two hours after X. Thus short time forecasts have to rely on other methods than traditional NWP; e.g. extrapolation. High resolved models could be useful for the time period X+2 +4 hours. After that the errors increase in present models. For X+12 hours more conventional models applies.
- Probabilistic hydrological forecasts. The question “Do users want these forecasts?” was raised. Users in Denmark are slowly adapting and the probabilistic forecasts are becoming accepted and appreciated in Denmark, esp. after the 2011 event. The users know they have to use them but the interpretation is not always clear. We need to be able to provide better information and accurate probabilities.
- At least 6 h lead time required, more probabilistic presentation of forecasts to begin in Sweden as beta-operation.
- To communicate uncertainty, we need to know what the users want, we need to know our customers to be able to give the best available information to how to interpret the probabilistic forecasts and use recent warnings and radar data.
- In emergency situations, probabilities may not be meaningful, one value required
- Multi-model ensembles useful in forecasting (such as in climate modelling)? Generally it should be better to work in one model

### FUTURE TOPICS OF COLLABORATION

- Knowledge and Data exchange
- Regionalisation of extreme rainfall statistics
- Homogenisation of methodology/guidelines for extreme statistics (IDF, PMP...)
- Nordic data set with stations for RCM evaluation
- Homogenisation of Climate Factor methodology/guidelines

## Bilaga III

### Sammanfattning från workshop med användare



### **Skyfall i dagens och framtida klimat Vad ska vi förbereda oss för och hur?**

*Sammanfattning av diskussioner vid seminarium på SMHI den 15 december 2015*

*Sammanställt av Lotta Andersson, Cecilia Alfredsson & Caroline Weidbo*

#### **Bord 1: Uppskattning av extrem nederbörd i dagens och framtida klimat**

##### **1.1 Vad är viktigast att det finns tillgång till för information i prognoser och varningar för extrem nederbörd? Vilken form av extrem nederbörd är av störst intresse, t.ex. varaktighet i tiden eller storleken på området som påverkas?**

###### Öka detaljeringsgrad hos varningar

Varningarna uppfattas inte som tillräckligt detaljerade. Det framkom inga specifika önskemål angående faktorer som varaktighet eller storlek utan det som efterfrågades var snarare säkrare och mer exakta prognoser om hur mycket, när och var.

*”Hur snabbt systemen reagerar styr vilken förvarningstid som behövs”*

###### Sprid kunskap om hur information ska tolkas

Det finns ett behov av kunskap om hur informationen ska tolkas och vad man sen ska göra med den – förslagsvis genom utbildning från SMHI. Önskemål om att informationen målgruppsanpassas efter mottageren.

###### Öka organisationers kunskap om hur de ska agera vid varningar

Varningsprognoserna är bra men organisationerna som mottar varningarna måste veta hur de bör agera utifrån varningen.

###### Koppla skyfallsvarningar till tillstånd i marken

Det uttrycktes ett behov av varningar där hänsyn tas till hur mycket nederbörd som redan kommit – det vill säga information om markens beskaffenhet. I ett område där nederbörd fallit under längre tid, krävs inte nödvändigtvis ens ett definitionsenligt skyfall för att konsekvenserna ska bli förödande. Man efterfrågar då prognoser på hur mycket mer nederbörd som krävs för att det ska uppstå problem med översvämningar.

#### Ge varningsprognoser för hagel

I samband med konvektiva skyfall kan hagel förekomma och det fanns önskemål om varningsprognoser för hagel och insamling av hagelstatistik, då även kraftiga hagel kan ge upphov till stora skador och kan komma att bli en större fråga i framtiden.

*”Varningsprognoser för hagel samt att hagelstatistik bör samlas”*

### **1.2 Vilken sorts information om skyfall i dagens klimat, samt framtida förändringar, är mest användbar för planeringsändamål? Vilken information/statistik arbetar ni med?**

#### Öka beställarkompetens och kunskap om hur man tolkar och vad man kan göra med informationen

Hur prognoserna presenteras och förmedlas anses viktigt och återigen efterfrågas kunskap om hur materialet ska tolkas. En viktig synpunkt var att frågan om vilken information som behövs bör formuleras om - frågan bör inte ställas i termer av vad kunden/beställaren behöver utan snarare i termer om vad kunden/beställaren vill kunna göra med data/information som SMHI levererar. Kunden/beställaren vet inte vad de kan begära, men SMHI vet vad som kan levereras. Beställarkompetensen, är med vissa undantag, mycket låg. Det är viktigt att skapa förståelse för vad det SMHI levererar och vad man ska göra med den informationen.

*”Målgruppsanpassa informationen efter mottagare”*

#### Tydliggör SMHI:s roll ansvar när det gäller att tillgängliggöra information – vad är specifika uppdrag och vad är allmänt tillgängligt?

Det finns ett stort intresse av vad som händer på marken vid skyfallen och vart vattnet blir av när det tar alternativa vattenvägar. Behov av detaljerad och mer allmänt tillgänglig lågpunktkartering lyftes vid flera tillfällen och det verkar råda en osäkerhet kring SMHIs roll i tillhandahållandet av information och vad som kan förväntas av den statliga delen av myndigheten. Vissa önskemål kan kräva specifika uppdrag.

*”Bra att ha prognos på markvattenmagasin för att kunna tömma i förväg vattenbassäng i reningsverk i städer”*

*”Vad händer med vattnet på marken när det kommit ner. Tex. Hur mycket (mängden), var går vattenstånden och var kommer det rinna”*

*”Varningssystem för högt flöde för att kunna tömma magasin (lång blöt period)”*

### Ge tydliga riktlinjer för vilka skyfall man bör dimensionera för som är kopplade till konsekvenser snarare än återkomsttider

I frågan om dimensionering och återkomsttider efterfrågades tydligare riktlinjer gällande vilka skyfall man bör dimensionera för. Även stöd kring hur man i dimensioneringen kan utgå från möjliga konsekvenser snarare än återkomsttid efterfrågades. Istället för att utgå från en återkomsttid bör man utgå från frågan om när det kan uppstå oacceptabla konsekvenser.

*”Karteringar för fysisk planering: ansamlingar av vatten, vattnets väg, markens känslighet för skyfall. Nationella riktlinjer för skyfall och fysisk planering.”*

*”Stöd kring hur man kan utgå från dimensionerande konsekvens snarare än återkomsttid. Det vore intressant med underlag kring förhållandet mängd/återkomsttid, dvs ser det ut mellan de scenarier vi har?”*

*”Skyfallskänsligheten verkar vara bra underlag för planering”*

*”Lågpunktskartering är bra, dessutom fakta och exempel om vad man kan göra åt de problem som upptäcks i karteringen.”*

*”Lägsta nivå på ingångsvärden för beräkning av dagvatten/skyfall. T.ex. 100 års återkomsttid 220 min intensitet.”*

*”Planera inte alltid för värsta tänkbara. Diskutera sannolikheten för viss klimatförändring”.*

*”Kolla fuktsäkerhetsprojektering för hus. ”Bygga F”. Underlag för att undvika t.ex. enstegstätade fasader”.*

*”Dimensionering av dagvattenledning – 10 års regn + klimatfaktor – och ledningarna ska hålla i 100 år...”*

### Utöka dagens stationsnät och inkludera allmänhetens observationer

Informationen från mätstationerna är värdefull och man ansåg att dagens stationsnät bör utökas samt att SMHI borde undersöka möjligheterna att nyttja allmänhetens observationer.

*”Stationsnätet behöver utökas. SMHI behöver undersöka möjligheterna att nyttja allmänhetens observationer. (crowd sourcing/citizen science).”*

## **1.3 Hur kan vi förmedla osäkerheter i samband med skyfall, dels i våra nuvarande relativt glesa observationer över kort tid, dels för klimatmodeller som inte hanterar skyfall speciellt bra?**

### Utbilda i tolkning av sannolikheter/osäkerheter och i robust planering

Det rådde samstämmighet i behovet av utbildning i hur osäkerheter bör hanteras, både för skyfallen i dagens klimat, men också de osäkerheter som följer med framtida klimatscenarier. Utbildningsbehovet är stort och krävs för att stärka förmågan att tolka

sannolikheter/osäkerheter, då det finns behov av att kunna ta beslut på osäker grund. Vikten av robust planering betonades och det faktum att prognoser bara är ett hjälpmedel.

*”Utbildning om hur man tolkar och hanterar osäkerheter i prognoser vore bra. T.ex. vi på länsstyrelsen ska i planer hålla koll på att mark är lämplig för ex. bebyggelse. Om där då är risk för översvämning, hur allvarligt är det?”*

*”Utbildningsbehov på bred front föra att tolka sannolikheter/osäkerheter då det finns behov av att kunna ta beslut på osäker grund.”*

*”Var tydligare med att det behövs robust planering, prognoser är ett hjälpmedel addera robusthet”*

*”Kostnad/nytta analys i förhållande till osäkerhet i framtida klimat”*

*”För planeringsändamål är nog prognoser på lång sikt viktig, även om osäkerheterna i data är stora.”*

*”Problem med att inte säkerhetstänk och förebyggande arbete finns integrerade för all typ av den fysiska miljön (grå, grön, blå). Behövs data för förebyggande arbete som styrker detta”*

#### Använd sannolikheter och osäkerheter i varningar

Det är angeläget att SMHI kommunicerar sannolikheter och osäkerheter bakom ett visst utfall. Då kan beslut fattas utifrån hela utfallsrummet och man undviker att fastna i en deterministisk prognos. Att lyfta fram osäkerheter/sannolikheter i varningar så väl som i prognoser ansågs användbart.

#### Tänkt bortom år 2100

I en slutgiltig kommentar riktades kritik mot längden på dagens klimatscenarier – vi behöver tänka bortom år 2100.

*”Det behövs längre klimatscenarier än till år 2100!”*

## **Bord 2: Effekter av extrem nederbörd på hydrologi och slamströmmar**

### **2.1 Vad finns för krav på detaljeringsgrad (i tid och rum) vid prognoser och varningar för översvämningar/höga flöden i samband med skyfall? Hur långt innan det inträffar behövs informationen?**

#### Öka kunskap om vad en varning såväl som kartor för planering innebär

Det krävs utbildningsinsatser så att man förstår hur varningar, med sina osäkerheter, bör hanteras. Alla varningar bör kanske inte gå ut till allmänheten. De som jobbar med beredskap bör ha nytta även av varningar med låg sannolikhet och bryter inte ihop om det inte blev något skyfall. Om skickar ut karta med 100 års regn och vilka effekter det kan ge så krävs en hel del förklaringar – vad händer vid det man ser på kartan? Det går inte att

förklara en kvart innan något händer. Exempel från Prag där många dog i samband med en översvämning. Efteråt gjordes nya karteringar som distribuerades till alla hushåll. Möjliggjorde evakueringar på grund av att det fanns acceptans för att något kunde hända.

*”Mycket positivt med möjlighet att kunna ringa och prata med jourhavande meteorolog/hydrolog/oceanograf på SMHI”*

*”SMHI:s utbildningar runt hydrologi/meteorologi/oceanografi + vädervarningar = mycket värdefullt. Gärna i paket med två steg. Gör den gärna länsvis för att nå fler kommuner och få informationen lokalt anpassad”*

### Öka kunskap om vad som kan göras i samband med att varningar utfärdas

Det krävs ett steg innan man kan hantera varningar. Först krävs analyser för vad man kan göra när man får varningar. Kommunerna behöver planer för hur de ska jobba vid en varningssituation. Först då har man nytta av varningar. Kanske nya trafikmärken ”varning för att parkera här vid skyfall”, ”kör inte ner här om det står vatten – kör av!”, skyltar som blinkar till eller avspärningar.

*”Steg 1: Analysera vad vi kan göra om vi får en varning”*

Flest observerade skyfall i södra Sverige – men beror det på stationsnätets utformning?  
SMHI:s presentation visade på fler observerade skyfall i södra Sverige i dagens klimat – men är det bara en effekt av att det finns fler mätare där? Det är i fjällområdena som klimatförändringarna blir störst. Där det blir störst förändringar i markförhållanden i förändrat klimat. Energibolag borde vara intresserade eftersom dammar påverkas

### Varna och sätt in åtgärder bara när befogat

Varningar är bra – men om man ropar man på vargen och vargen aldrig kommer så blundar man för varningar. Även om vargen finns går gränsen för när det är befogat att varna någonstans. Det finns mycket mer man kan göra vid varningar än vad som görs idag, t.ex. leda om trafik från lågt liggande motorvägar. Med mer detaljerade varningar ökar även risken för att man ger varningar och det sedan inte händer någonting. Vad är rimliga gränser i Sverige? Sätt åtgärder i relation till vad som kan hända. Varningar i sig kan inte vara dåliga. Det dåliga är om man inte kan hantera dem. Det behövs (och finns ibland) rutiner för olika varningsnivåer.

### Hitta fungerande kedjor för vem som är avsändare och mottagare av varningar

Om man vill nå fastighetsägare vid viss gata i viss kommun. Då är det kommunen som ska skicka ut varning – efter att kommunen fått regnvarning från SMHI? Kommunen vet vilka gator som är särskilt utsatta och var det finns känsliga verksamheter. För beredskap och planering är det inte intressant om det regnar eller ej – utan vad effekterna blir. Det är kommunerna som itter på den aggregerade informationen, där man lägger på risk och sårbarhet. Det är således kommunerna som kan göra denna sammanvägning.

### Anpassa information efter olika aktörers behov

Olika aktörer har olika behov. Det gäller t.ex. allmänheten jämfört med kommuner/myndigheter.

*”Till vem informationen riktas avgör innehåll. Kommuner behöver en sak. Fastighetsägare och verksamheter behöver koppling till sårbarhet/förmåga att hantera skyfall”*

#### Varningar för att det kan komma en varning är bra – men kanske inte riktat till alla

Varningar för att det kan komma en varning kan vara bra. Men ska bara skickas till de som vet vad det innebär (inte till allmänheten). Förvarning om varning finns nu på SMHI:s hemsida. Frågan är om det kan komma att vara relevant för skyfall – vore bra om man visste ett dygn i förväg, men är det realistiskt?

#### Om möjligt – ge varningar för skyfall

Vore bra om det fanns varningar specifikt för skyfall. Om det fanns skulle många ha vilja att agera på varningarna. För Trafikverket skulle det vara bättre med varning för skyfall än för höga flöden. Man har för denna sektor ofta mer nytta av info om hastiga flöden än om höga flöden.

#### Att få en varning i god tid är viktigare än att den är perfekt

För översvämningar och höga flöden i vattendrag är det viktigt få fram information/prognoser så snabbt som möjligt. Detta gäller speciellt om det är reglerade vattendrag så man kan planera hur magasinet ska se ut och vilka luckor man ska öppna. Ju tidigare desto bättre. Inte alltid krav på exakthet. Viktigare med tidiga signaler för att något kan komma att hända. Så man hinner få fatt på alla markägare och de som ska öppna luckor. Både varningssignal för vad som sker i vattendragen (uppströms) och tidiga signaler på vad som kan komma. Att få info en halvtimme tidigare kan innebära att man kan reglera på annat sätt och undvika att t.ex. ett samhälle svämmas över. Signalerna för skyfall i prognosen kommer ganska sent. Det är en flödesvåg som rör sig – deltagarna positiva till planerna på att bygga visualiseringssystem för att följa flödestoppar, inklusive simuleringar, där det skulle kunna vara möjligt följa förlopp på timnivå.

#### Karta med skyfallskänslighet värdefull för planering

Kartan med skyfallskänslighet som visades av Jonas Olsson är värdefull för planering. Den är gjord med S-HYPE för storstäder och visar att ett visst regn ger större flöde för vissa platser. Användbart för att identifiera känsliga lägen där insatser behövs, samt hjälp för prioritering av insatser. Till exempel för översiktsplaner och räddningstjänst. Den visa var finns behov av förebyggande åtgärder och när det händer. Ännu finns ännu bara som en test för att se om tekniskt genomförbart och meningsfullt. Lovande, men krävs mycket mer arbete. SMHI jobbar vidare med den. För t.ex. Jönköping finns översvämningsskarteringar med prioriteringar för områden med samhällsviktiga aktiviteter. Viktigt att klimatförändringar tas in i risk- och sårbarhetsanalyser. Vilket är ett krav för kommunerna. Klimatrelaterade frågor bör tas in i befintliga analyser, t.ex. översiktsplaner. Så man slipper introducera nya system.

*”Bilderna som visar hur stor sårbarhet landskapet har för ett skyfall (Jonas Olssons presentation) är värdefull i planering. Den identifierar var insatser behövs”*

#### Viktigt att prata ihop sig mellan olika grupper när beslut om åtgärder ska tas

Nästa steg är vad vi ska göra på utpekade platser – eller om det ska göras på någon annan (uppströms) plats. Här är det ofta problem när man ska prata ihop sig i olika grupper. Plötsligt har ”gata” tagit bort en kantsten. Då gäller inte kartorna längre – för vattnet kan ta en annan väg. Kommunikation viktigt! Målgrupper bör breddas - knyt ihop beredskap och samhällsplaneringshandläggare i förebyggande arbete.

### Se till att många får tillgång till information samtidigt vid pre-operativa lägen

Vid pre-operativa lägen är det många som samtidigt behöver informationen. Tillgängliggörande helt avgörande. Viktigt att se över hur man säkerställer att alla får information samtidigt - i vilket system och på vilket sätt? Både ”gata” och räddningstjänst och många fler som samtidigt måste följa en risk, även privata aktörer. Sådan tillgänglighet finns inte idag. Behövs 24/7 öppen tillgänglighet för alla, även villaägare.

## **2.2 Ökad detaljeringsgrad leder till ökad osäkerhet på den lokala skalan. Bör detta mötas genom att istället för att ge ett (osäkert) värde ge sannolikhet för olika risknivåer? Skulle det vara användbart?**

### Öka förståelsen för hur man bör arbeta med varningar baserade på sannolikheter/osäkerheter

Går mer och mer mot sannolikhetsprognoser istället för fasta värden, med sannolikheter för olika nivåer av regn och flöden. Det krävs dock ökade insatser för att skapa förståelse för vad det handlar om. Ofta kan det, trots att det är svårt att exakt säga var ett skyfall kommer vara viktigt veta om förutsättningar för ett ordentligt skyfall finns. Detta måste kopplas till mycket bättre förståelse för varningssystem. Där varningar ser olika ut för olika delar av Sverige. Måste kunna lära sig att hantera sannolikheter. Osäkerheter både för intensitet, timing och geografisk fördelning. Vi måste understryka vikten av att ge sannolikheter. Annars risk att agrar på osäkert deterministiskt värde och inte gör någon egen sannolikhetskalkyl och därmed rycker ut i onödan eller inte agerar där borde ha agerat. Osäkerheten finns ändå. Bättre att tänka att utfallet finns någonstans inom ett intervall. Bör göra en riskbedömning och agera utifrån den.

### Sannolikhetsvärden mer realistiska än fasta värden

Sannolikhetsvärden kanske kan få mer effekt än fasta värden som inte alltid har så stor effekt (dvs låg trovärdighet). Mera tillgång till sannolikhetsbaserade värden kan snarare utlösa respons som inte finns idag.

### Ange sannolikhet för att något kan hända – och anpassa åtgärder efter det

Måste vara noga med att ange sannolikheten för att det ska inträffa när ger ut en varning. Man vidtar andra åtgärder om sannolikheten är 75 % istället för 25 %. Och man vidtar andra åtgärder om varningen gäller mycket höga än ganska höga mängder regn/flöden. Det fanns system för detta under Räddningsverkets tid med klasser och info om vem som skulle få varningar mm. Har detta försvunnit?

### Riskenivåer bör kopplas till kostnadsanalyser

Gör kostnadsanalyser för vad som sker vid olika nivåer och vad som är rimligt att skydda sig mot.

### Var tydlig med vokabulären

Måste vara tydlig med vokabulären. Risk innebär i riskhanteringsvärlden en sammanvägning av sannolikhet och konsekvens. Begreppet bör inte användas på ett annorlunda sätt än det görs inom krisberedskapen. Bättre använda sannolikhet än risknivå. Kanske bara ange om det är en osäker eller säker prognos.

### Gör övningar utifrån sannolikhetsscenarioer

Krisorganisationer på länsstyrelser och kommuner bör köra övningar utifrån sannolikhetsscenarioer för att bygga upp medvetenhet och organisation som kan fungera. Det finns sådana övningar – när det blir skarpt läge inträffar dock oväntade saker. Speciellt hitta rätt markägare för öppning av dammluckor – blir översvämningar på fel ställen.

## **2.3 På vilket sätt skulle förebyggande arbete kunna dra nytta av systematisk dokumentation och uppföljning av tidigare inträffade slamströmmar till följd av skyfall? Vad krävs för att uppföljningar ska ge samhällsekonomiska vinster?**

### Vad är en slamström?

Hur specifikt ska slamström definieras – ”vatten med bös i”? Inte så viktigt att hålla sig till geologiska definitionen slamström. Större skador av en slamström än när bara vatten transporteras. T.ex. händelse i Jönköping som sågs som slamström från kommunen (och SGI) tills fick info från annat underlag om att det inte strikt var definierat som slamström. Spelar dock ingen roll för den som drabbas.

### Det finns problem med brist på underlag

Det finns problem med underlag. Förslag på att kommunerna ska samla in info. Detta kan t.ex. vara: Hur ofta vid varningar har det blivit slamströmmar? Vilka skador har det gett? Med tillgång till dokumentation/information för beslut om värt att gå vidare och göra, t.ex. geotekniska åtgärder. Slamströmmar kan uppstå där det finns kuperad terräng. Mycket i fjälltrakterna. Mycket mer än vad vi har koll på. Kanske inte alltid ekonomiska problem i obbyggda områden, men kan ju t.ex. gå över en viktig riksväg, eller samhällen som Åre. Men pga. brist på dokumentation vet vi inte när eller hur ofta det sker. Många kommuner som har en medelstor risk känner inte till risken för problemet. Problem med att det inte finns dokumentation om inträffade slamströmmar och dess konsekvenser. Detta gäller i alla områden där det finns slamströmsproblematik. Även utanför bebyggda områden.

### Kombinera skyfallsinfo med info om möjliga lägen för slamströmmar

Skyfallsinfo måste kombineras med info om var slamströmsproblematik skulle kunna finnas. Det bör dock inte underskattas att illa nog med ”bara” översvänningsproblematiken. Närheten av Helsingborg – uppströms eroderat lerområde med lutning, ytavrinning och ravin. Större och större ledning – men räcker inte. Gallren sätter snabbt igen. Stora avrinningsområden med trång passage – se till att göra något med passagen, svårt få till åtgärder uppströms. Krävs dock mycket mer detaljerat arbete – vår översiktliga och detaljerade bild stämmer inte alltid överens.

### Lyft frågans vikt för berörda så kommer viljan till dokumentation

Skulle finnas vilja till dokumentation om frågan lyfts och berörda förstår sammanhanget. D.v.s. detta måste vi ha koll på för vår egen säkerhet, så vi inte bygger på fel ställen etc. Om finns en kartering av vilka som är mest berörda så gör man en insats med dokumentation i berörda kommuner, kanske via länsstyrelserna.

### Se över hur Sverige ska rapportera till SENDAI – vem och hur?

Sverige har förbundet sig genom att skriva på SENDAI överenskommelsen i april 2015 att bygga en ”disaster lost database” som ska vara i drift senast 2020. Där ska även kostnader med. Frågan är hur olika myndigheter väljer att tillämpa det. Hur ska försäkringsbolagens insamlingar kopplas in här? Svårt att få tillgång till data. Vilken myndighet tar ansvar för att bygga den? Idag sker räddningstjänstens inrapportering på frivillig grund. Närmast 100 % att kommuner lämnar info till MSB om sina insatser. Bara att fortsätta att bygga på det.

### Se över möjliga åtgärder – såväl uppströms som i flaskhalsar

Finns många åtgärder man kan göra uppströms för att minska vattenflödet, t.ex. trappor, sedimentationsdammar, fördämningssystem där man lugnar ner energin. Rensa innan kraftig nederbörd. Men går det att lösa problemen utan att öka kapaciteten hos ledningarna? Kartor med lutning, jordarter mm är mycket användbara. Hjälp att hitta platserna. Men svårt när man hittar områden med problem att få göra något uppströms. Miljödomar, Natura2000 – går ibland men svårt att hantera. Det är svårt göra volymer – fylls för snabbt. Man kan minska energin.

### Fokusera på områden där det finns problematik

Involvera bara kommuner där finns problematik. Ofta små avrinningsområden med snabba processer. Bra om man kan relatera konsekvenser från tidigare händelser till faktiska risker och framtida varningar i specifika områden, t.ex. när vattenmättat. Vägverket ser tillsammans med SGI, SGU och Skogsstyrelsen på effekter av skogsavverkning på slamströmmar och effekt av skyfall. Ingår att titta på vilka jordarter som kan bli aktuella. Måste ha kunskap om jordarna för att ha nytta av skyfallsprognoserna. SGI lanserar en kartvisningstjänst för ras, skred och erosion –den 18 december 2015.

### De flesta incidenterna rapporteras inte

Hint om hur mycket som sker som inte rapporterats kan exemplifieras av fel hantering av skogsmaskiner som lett till incidenter (branden i Västmanland). De flesta incidenterna rapporteras inte. Har vi ingen aning om var och hur ofta kan vi inte göra någonting åt det. Svårt att göra något åt det man inte känner till. Finns säkert incidenter som kunde bli slamströmmar som vi inte vet något om. Skulle vara bra att få info om incidenter från Vägverket – som har ett stort nätverk med observationer över hela Sverige.

### Både kommunerna och länsstyrelserna har en viktig roll

Lokalkännedomen finns hos de kommunala handläggarna. Det kan dock finnas samordningsvinster kring gemensam metodik för kartläggning, t.ex. med hjälp av satellitbilder eller flygfotografier skapa gemensamma underlag som kan användas för kommunal planering. Så att inte alla behöver uppfinna hjulet. Där kan länsstyrelsen ta en större roll (om får direktiv att göra det).

### Statistik från försäkringsbranschen skulle kunna vara till hjälp

Försäkringsbranschen ser det på ett annat sätt. Det är en skada som omfattas av villkoren. Gör ingen notering av att det beror på en slamström. Reglerar skadan, som sätts upp som naturskada. Är en konkurrensfråga mellan olika bolag. Varje bolag bestämmer vad man ska titta på och vilka riskbedömningar man gör. Därför sker inget gemensamt. Försäkringsbolagen kan samverka (via Svensk Försäkring) om får en begäran att göra det. Inget man gör på eget initiativ. Gör insamling av statistik som är bolagsneutral. Redovisas på aggregerad nivå. Inte så populärt hos bolagen. Innebär manuellt arbete.

*”Bra att identifiera riskområden för slamströmmar och beskriva hur riskerna påverkas vid skyfall. Lättare då att fatta beslut som är hållbara i ett förändrat klimat.”*

### **Diskussionerna kom även in på byggande...**

Viktigt inte befäster och bygger på felaktiga beslut som fattas tidigare. Tendens till att vi fortsätter bygga där vi inte ska bygga. Borde inte försäkringsbolagen titta på risker framåt – inte bara se bakåt på statistiken. T.ex. när man vet att havsnivån kommer att stiga. Beror på att försäkringsbolagen har lätt att kliva av. Försäkringskontrakten ofta bara ett år långa. Då står fastighetsägaren med byxorna nere. Borde vara Villaägarföreningen som skulle vara intresserad. Försäkringsbolagens målsättning är att kunna fortsätta försäkra. Det är därför de är måna att driva på arbetet med klimatanpassning. Finns fastigheter, framförallt i Skåne, som ligger i riskzonen. Försäkringsbolagen kan inte följa var nyproduktion av bostäder sker. De kommer in när det är byggt. Då får de förfrågningar om försäkringar. Kommunala planmonopolet – Länsstyrelsen granskar från bl.a. ett klimatförändringsperspektiv. Viktigt att utbilda planarkitekterna hos kommunerna. Har föreslagits att försäkringsbranschen ska vara med (rådgivande) på ett tidigare skede i bygglovshanteringen. Skulle göra försäkringsbranschens roll mer proaktiv. Men troligen svårt att genomföra. Vi måste bygga mer adaptivt – t.ex. hus som står på pontoner som görs i Holland. Lyfts vid översvämning. Kan bo nära vattnet och ändå försäkras. Vid nyproduktion tar PBL inte riktig höjd för klimatanpassning. Borde tas med där, plus separat lag för befintlig bebyggelse. I bästa fall är kommunerna duktiga på detta. Då skulle inte länsstyrelsen behöva kontrollera. Viktigt hålla ordning på vem som har ansvar för vad – kommunen har inte ansvar för privata fastigheter. Var och en har ett eget ansvar. Tänk på privata aktörer. Både drabbas och orsakar problem (t.ex. liftstationer). De har även data.

## **Bord 3: Riktlinjer och stöd, samt bedömning av ekonomiska konsekvenser**

### **3.1 Vad är ert budskap kring vad MSB bör tänka på vid utformning av det presenterade verktyget/processen så att det blir praktiskt användbart?**

Kan vara svårt att nå ut eftersom få kommuner arbetar strategiskt med klimatanpassning

En underökning som Svensk försäkring och IVL gjort visar att endast ett fåtal kommuner arbetar strategiskt med klimatanpassning, det kan därför vara en utmaning att nå ut med verktyget.

### Stöd befintliga processer – skapa inte nya

Stöd befintliga processer med verktyget, skapa inte nya. T.ex. stöd vid översiktsplanering i kommunen.

### Använd goda exempel som inspiration och konkretiseringar

Goda exempel behöver tas fram. Det behövs konkreta exempel på vad man kan göra för att hantera och förebygga problemen. Använd gärna exempel från kommuner som har arbetat med processen. Visa på konkreta exempel på hur verktyget kan användas för att begripa. ”Kommunen A gjorde så här. Började med... Gjorde sen... vilket ledde till... och då tog man hjälp av detta. Även internationella lärdomar/exempel (t.ex. Holland).

### Ta hänsyn till skilda förutsättningar och möjligheter mellan kommuner

Inte för komplicerat. Olika förutsättningar i stora och små kommuner för hur de kan använda ett verktyg. Vägledningen bör anpassas så att både små och stora kommuner kan ha nytta av det. Olika nivåer på användning beroende på användarens möjligheter.

### Utgå från enkelhet och tydlighet

Risk för att verktyget blir för komplext och svårt att använda. Gör det enkelt i form av t.ex. checklistor. Tydligt, intuitivt, lättanvändbart. Enkelhet även i språket.

### Gör det lätt att hitta i digital form

Portal där man hittar checklistor och annat materiel digitalt. Tips på var man kan hitta mer stöd.

### Inkludera en behovsanalys

Tydliggörande av risk innebär att man visar vilka skador man accepterar. Behovsanalys. Vad vill man klara? Vilka samhällsfunktioner kan man acceptera avbrott i? Verktöget bör ta fram en basnivå för vad kommunen bör utgå ifrån. (Exempelvis 100-årsregn). Revidering av ”basnivå” bör också kunna ske. Det bör vara mer skall och bör krav.

### Inkludera även det befintliga

Ta gärna med det befintliga, inte bara nyexploaterat.

### Beskriv ansvar och åtgärder

Beskriva ansvar. När man har identifierat en lågpunkt, vad gör man då? Vilka åtgärder kan man vidta. Hur stor volym kan inte ledas bort? Vad gör vi med den volymen? Lagstiftning bör ses över. Ansvar för vägar, markavvattning, exploaterer mm.

### Stöd långsiktig grön och blå planering

Viktigt med långsiktig planering. Tänk grönt och blått och inte bara grått. Grön infrastruktur.

### Ta med ekonomin

Ekonomi bör tas med. En lagom enkel modell för att nå mål till lägsta möjliga totalkostnad. Kostnad nu och i framtiden.

### Stöd för dialog mellan olika grupper – vem berörs, vem har ansvar?

Dialog mellan kommun, VA-huvudman, fastighetsägare, boende, verksamheter. Viktigt med ”stakeholder” analys. Vilka berörs? Vilka har ansvar? Vem bekostar? Viktigt med kommunövergripande grupper. Verktyg även till t.ex. fastighetsägare.

### Inkludera möjligheter till utvärdering

Det ska kunna gå att utvärdera effekten av att använda verktyget.

## **3.2 Hur kan/bör länsstyrelsen i sin rådgivande roll bistå kommunerna i föreslagen process/verktyg för hantering av skyfall? Vad för stöd behövs till den regionala nivån för att klara detta?**

### Viktigt att kommunerna har en egen väg in

Jämför med klimatrådgivare, energirådgivare.

### Länsstyrelsen behöver utbildning

Implementering av ett nytt verktyg kräver kunskap hos kravställaren. Länsstyrelserna måste därför lära sig verktyget. Länsstyrelserna bör få en utbildning om verktyget för att kunna föra det vidare korrekt i en rådgivande roll. Länsstyrelsen kan dock inte fördjupa sig för mycket i enskilda verktyg. Det finns flera områden som måste vidareutvecklas.

### Länsstyrelsen kan föra vidare kunskap till kommunerna

Länsstyrelsen bör ha en roll att bli insatt i processen och bistå kommunerna i arbetet med skyfallsfrågan. Länsstyrelsen kan hålla i användardagar. Det kan bokas in i kombination med stödutbildningar i skyfallskartering i GIS. Viktigt att utgå från respektive kommuns behov, utifrån lokal riskbild och resurser (GIS, personella resurser, genomförda karteringar) Tänk igenom kommunikationen, ta er tid att diskutera med kommunerna. Verkttyget bör ses som rådgivande, ett möjligt instrument bland fler. Fler möjligheter vid planering, upplärning hos länsstyrelsen.

### Länsstyrelsen kan initiera samverkan

Gemensamma arbetsgrupper med deltagarna från kommuner där frågorna kan diskuteras. För att hitta krav och samsyn i vissa frågor. Länsstyrelsernas upparbetade nätverk kan användas. Exempelvis klimatanpassningsnätverk, krisberedskapsnätverk. Samverkan mellan beredskap, plan och klimatanpassning hos länsstyrelsen.

## **3.3 Vad finns det för möjligheter inom din organisation att förbättra datakvalitet vad gäller skyfallsskador?**

### Använd fjärranalysdata

Nya fjärranalysdata och färdiga produkter för tex kartering av hårdgjorda ytor tillgängliga inom EU-program Copernicus.

### Statistik från försäkringsbranschen

Försäkringsbranschen kommer nästa år (2016) att diskutera förutsättningarna för att samla in all översvämningssstatistik. Frågan är inte helt oproblematisht.

### Skapa samsyn kring kategorisering av skador

Krävs samsyn kring hur man kategoriserar skador hos olika aktörer. Exempel är samarbete med VA-organisationen och Försäkringsbranschen vad gäller översvämningsskador. En gemensam blankett tas fram. Ett försök har genomförts under sommaren fortsättning även nästa år. Vilka skador har man fått/vilka skador får man inte.

### Skapa samsyn kring hur kostnader ska beräknas

Hyresintäktsbortfall bör räknas med. Lokaler/bostäder som ej kan utnyttjas under skadetid. Hanteringskostnader. VA-SYD har tre personer anställda för detta. Kostnader för att bygga en sträcka väg finns.

### Hur säkra datakvalitet?

Vad behövs för att försäkra datakvalitet? Avgränsningar av påverkat område. Klasser för olika skador baserade på fokusområden i samhället. Först och främst, börja med att analysera vilka användningsområden data kan ha förutom det primära.

### Användning av ekosystemtjänster

Ekosystemtjänster, går det att använda? Ett pågående regeringsuppdrag hos länsstyrelserna.

## Bilaga IV

### Stationsdata

Lennart Wern och Johan Södling

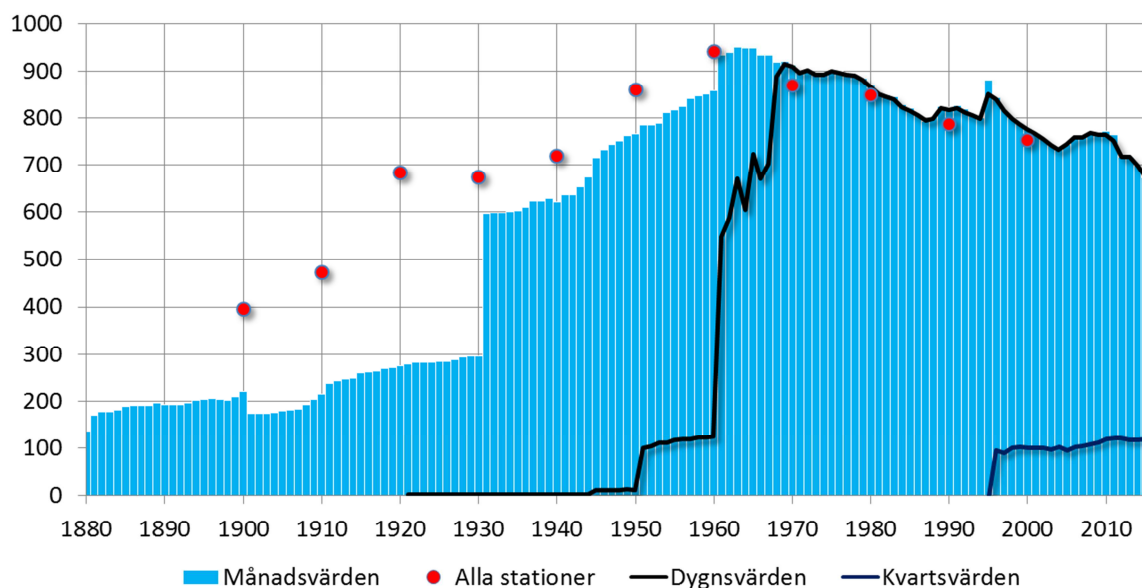
2015-12-02

#### Inledning

SMHIs definition av skyfall är minst 50 mm på en timme eller minst 1 mm på en minut. I dagligt tal säger vi dock att det varit skyfall när det regnat massor på kort tid. Ska man vara strikt så var det först när automatstationerna startade sommaren/hösten 1995 som SMHI kunde börja mäta nederbörd med tillräckligt hög tidsupplösning för att avgöra om det varit ett skyfall eller inte. Dessa stationer rapporterar nederbördsmängder varje kvart.

I detta kapitel redovisas historiskt uppmätta extrema nederbördsmängder på SMHIs väderstationer. Kring 1860 fanns början till ett nät av stationer i Sverige som mätte nederbörd dagligen. Kring år 1900 hade antalet ökat till ca 400 nederbördsstationer, se Figur 5. Antalet stationer ökade succesivt fram till i början 1960-talet då det fanns upp mot 950 stationer. Därefter har det skett en minskning och idag är antalet under 700 stycken.

De röda prickarna i figuren nedan visar totalt antal stationer som finns i SMHIs stora arkiv med pappersjournaler. De blå staplarna visar antal stationer i databasen där en månadsnederbörd finns lagrad, den svarta kurvan antal stationer med dygnsvisa data samt den blå linjen som visar automatstationer som mäter nederbörd varje kvart.



Figur 5. Antal stationer per år som finns i SMHIS databas och rapporterat under minst en månad per år. Röda prickar visar dessutom alla stationer som finns på pappersjournaler för var tionde år (SMHIs Faktablad nr 4, 2001).

I mitten av 1990-talet byggde SMHI upp ett nät av automatiska väderstationer, blå linje i Figur 5. Från ca 120 stationer mäts idag nederbörd varje kvart samt temperatur, vind, luftfuktighet, lufttryck mm varje timme. Från dessa stationer som mäter kvartsnederbörd finns även dygnsvärden och månadsvärden av nederbörd.

Under framförallt 1950-talet men även under 1960-talet saknas en hel del dygnsvisa data som bara finns i pappersjournaler i arkiv i SMHIs källare. För 1951 finns mycket begränsat med dygnsvisa data i databasen. Det pågår emellertid kontinuerligt ett arbete att föra in mer och mer data i databasen men arbetet är mycket tidsödande och det kommer ta många, många år till i nuvarande takt innan alla data finns digitalt i databasen. I skrivande stund prioriteras dygnsnederbörd och snödjup för perioden 1945 – 1970.

Om mer data hade funnits digitalt hade fler intressanta skyfall kunnat hittas, återkomsttider kunnat beräknas säkrare och skyfallstrender studeras med ett större dataunderlag. Dessutom är vissa journaler så gamla att den handskrivna texten, ibland med blyertspenna, börjar bli otydlig. Det är således viktigt att öka takten av digitaliseringen av gamla data.

Det genomsnittliga avståndet är idag ca 25 km mellan SMHIs stationer som mäter nederbörd dagligen, både manuella och automatiska. Trots det relativt korta avståndet mellan stationerna förekommer då och då att SMHI får rapporter om lokala översvämningar till följd av skyfall som inte fångats av SMHIs nederbördsnät. Glädjande nog söker nu SMHI efter fler observatörer. Målet är att antalet klimatstationer ska öka med ett femtiotal, stationer som dagligen rapporterar temperatur, nederbörd och snödjup.

Glädjande nog har diskussioner startat för att kommuners nederbördsmätningar ska lagras i SMHIs databas. Det rör sig om totalt upp emot 800 kommunala stationer med en tidsupplösning som är bättre än de 15 minuter som SMHIs automatstationer har. Tanken är dock att i ett första steg början med ett fåtal stationer för att så småningom fylla på med fler.

Nedan ges en sammanställning av stora nederbördsmängder som rapporterats från SMHIs stationer. En uppdelning har gjorts i dygnsnederbörd och kvartsnederbörd. Orsaken till detta är att antal stationer som mätt dygnsnederbörd är många gånger fler och har dessutom pågått sedan 1800-talet medan automatstationerna driftsattes först för 20 år sedan.

## **Felkällor**

En svaghet i SMHIs data är att registreringarna av 15-min-nederbörd är gjorda med fasta 15 minuters intervall. Detta gör att intensiteten för regn med 15 minuters varaktighet kommer att underskattas jämfört med om observationerna hade kunnat göras löpande. Storleken av denna underskattning är i genomsnitt ca 15 % för regn på minst 10 mm under 15-min (Jonas Olsson, opublicerad studie). Av samma orsak är även dygnsnederbörd underskattad eftersom mätningar har också görs vid fasta tidpunkter varje morgon.

Aerodynamiken ställer till problem vid all nederbördsmätning. Den uppmätta nederbördsmängden är oftast en underskattning av verklig nederbörd, speciellt vid snöfall eller duggregn och blåst. I denna studie är vi emellertid intresserade av kraftig nederbörd som huvudsakligen inträffar under sommaren eller hösten och då oftast i form av regn. Uppskattningsvis är underskattningen i mätningen inte mer än 5 – 10 % för kraftiga regn (Vedin och Eriksson, 1988). Andra felkällor som historiskt varit och är ett problem är avdunstning, vidhäftning, läckage samt för tidig eller sen mätning.

## Dygnsnederbörd

### Rekord

I Tabell 2 nedan visas de absolut största mängderna som rapporterats från SMHIs stationer, även från icke-digitaliserade data. Under årets tre första månader plus december är det i de västligaste fjällen nära norska gränsen som de största dygnsmängderna har inrapporterats. I dessa fall är nederbörden ihållande under dygnet. Nederbörd faller som varmfrontsnederbörd i varmsektorn mellan varm- och kallfrontspassagera och ofta även efter att kallfronten passerat.

Stora dygnsmängder under perioden maj-november faller i samband med kraftiga, långvariga regnskurar oftast i samband med åska och ibland hagel. Men i några fall är även passerande lågtryck och fronter inblandade, och i regnområdena finns då ofta insprängda åskceller.

*Tabell 2. Största uppmätta dygnsnederbörd i Sverige från kl 06 UTC angivet datum till kl 06 UTC dagen efter.*

| Månad | Mängd [mm] | Plats       | Landskap      | Datum        |
|-------|------------|-------------|---------------|--------------|
| Jan   | 104,3      | Katterjåkk  | Lappland      | 10 jan 2002  |
| Feb   | 85,2       | Joesjö      | Lappland      | 16 feb 1976  |
| Mar*  | 90,0       | Joesjö      | Lappland      | 19 mars 1966 |
| Apr   | 78,0       | Härnösand   | Ångermanland  | 8 april 1959 |
| Maj   | 93,0       | Öxabäck     | Västergötland | 27 maj 1931  |
| Jun   | 187,3      | Härnösand   | Ångermanland  | 18 juni 1908 |
| Jul   | 198,0      | Fagerheden  | Norrbottn     | 28 juli 1997 |
| Aug** | 188,6      | Råda        | Värmland      | 4 aug 2004   |
| Sep   | 141,0      | Hemse       | Gotland       | 2 sep 1913   |
| Okt   | 126,8      | Söderhamn   | Hälsingland   | 15 okt 1992  |
| Nov   | 82,9       | Ryningsnäs  | Småland       | 12 nov 1910  |
| Dec   | 121,8      | Riksgränsen | Lappland      | 14 dec 1909  |

\* Ursprungligt rapporterat värde var 101,0 mm, men en del av denna mängd hade troligen fallit dygnet innan. Därför korrigerades dygnsnederbörden av SMHI till 90,0 mm. Den största direkt uppmätta dygnsmängden i mars i Sverige är 84,4 mm i Joesjö 25 mars 1982.

\*\* 237 mm uppmättes i Karlaby i Skåne 6 augusti 1960 vid ett hydrologiskt projekt. 276 mm uppmättes av en privatperson på Fulufjället i Dalarna 30-31 augusti 1997.

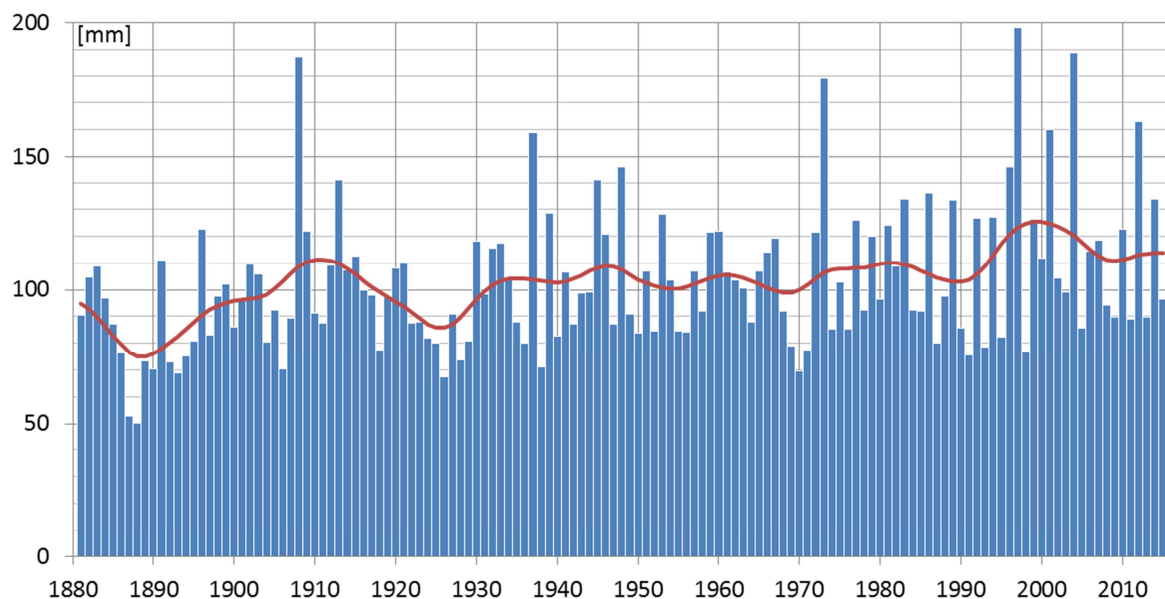
### Förändring med tiden

Figur 6 nedan visar årets absolut största dygnsnederbörd under åren 1881 till 2015 uppmätt vid någon av SMHIs stationer. Även data som bara finns i pappersjournaler är inkluderade. Den röda kurvan i figuren är en utjämning av staplarna som visar de 135 årshögstavärdena. I Bilaga 1 finns alla fall listade.

Årets största nederbördsmängd under 1 dygn, på någon av SMHIs väderstationer, har under perioden 1881 – 2015 varierat mellan 50 mm och 198 mm med ett snitt på 103 mm, Figur 6.

De allra största mängderna under senare år härrör från Hinshult i Småland som fick 163 mm den 7 juli 2012, från Råda i Värmland med 188,6 mm den 4 augusti 2004, från Rössjö i Ångermanland 27 augusti 2001 med 160 mm och från Fagerheden i Norrbotten som översköljdes med 198 mm den 28 juli 1997. Det sista värdet är den största mängd som SMHI mätt under ett enda dygn. Notera den stora geografiska spridningen i dessa fyra fall.

Vid sju tillfällen under 135 år, sedan 1881, har någon av SMHI:s observatörer mätt minst 150 mm på ett dygn. Fyra av dessa sju fall har inträffat de senaste 19 åren.



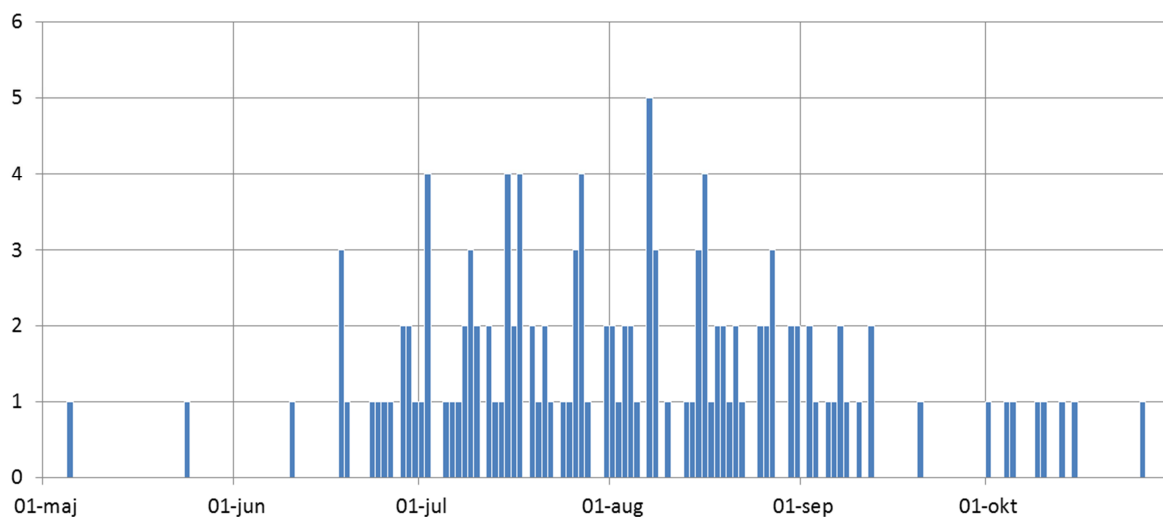
Figur 6. Årets största dygnsnederbörd i Sverige på någon av SMHI:s väderstationer, 1881-2015.

Antal stationer ökade från 1881 till mitten av 1960-talet för att därefter minskat fram till idag, se Figur 5. Man skulle kunna misstänka att denna variation skulle avspeglas i Figur 6. Visserligen ser vi att både antal stationer och årets största dygnsnederbörd ökar från slutet av 1800-talen till 1960-talet men efter 1960-talet har antal stationer minskat men årets största dygnsnederbörd har ökat enligt den röda kurvan.

I Figur 6 kan vi se att det varit en ökning av årets största dygnsnederbörd i Sverige från 1881 till 2015. Det har varit en statistiskt signifikant linjär ökning vid 95 % konfidensnivå. Man får dock ha i minnet att antal stationer och mätutrustning varierat under perioden.

### Variation under året

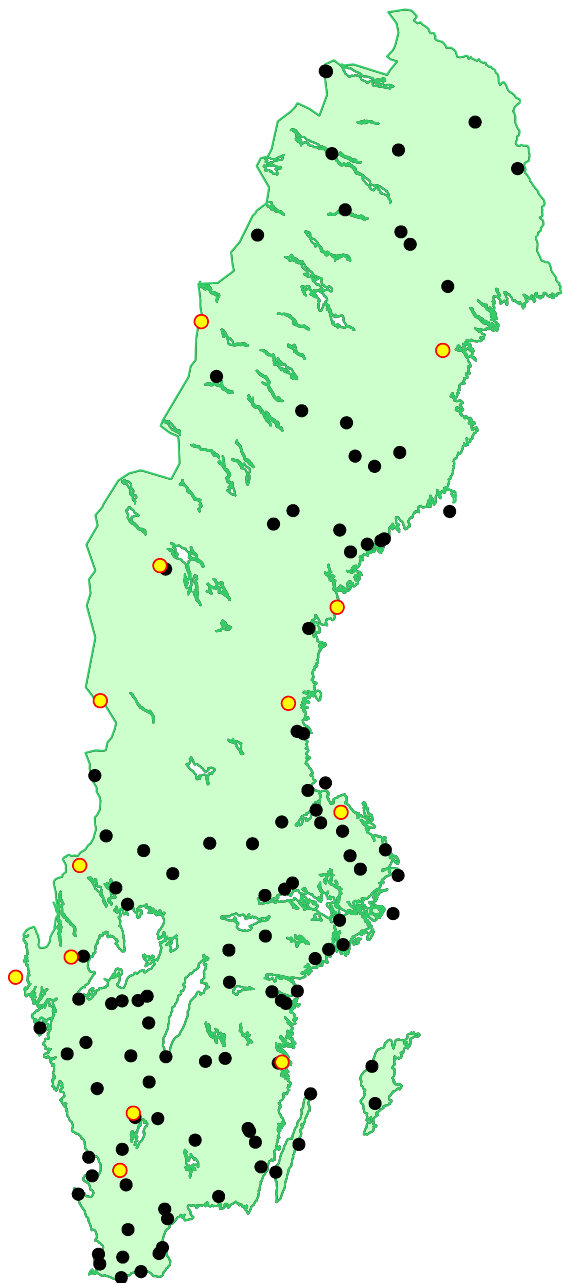
Det är vanligast att årets största dygnsnederbörd inträffar någon gång från mitten av juni till mitten av september med en topp i slutet av juli eller början av augusti, Figur 7. Det är ovanligt att den största mängden faller under november – maj, men det förekommer och då är det oftast någon station i fjällen.



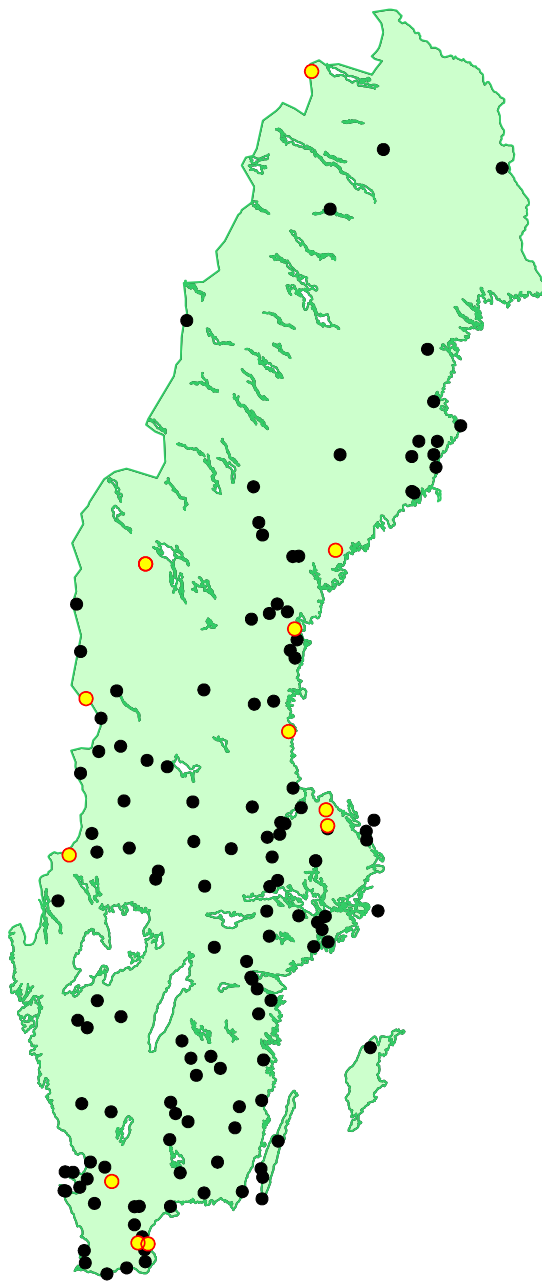
*Figur 7. Årsvariation. Antal fall då årets största dygnsnederbörd i Sverige inträffat, 1881-2015. Figuren bygger på det största dygnsvärdet varje år, 135 dygnsvärden. Under några enstaka år har årets största dygnsnederbörd fallit under november – april.*

### Geografisk fördelning

Hela Sverige har drabbats av extrema nederbördsmängder, Figur 8 och Figur 9. Inget område har undantagits. Från figurerna ser vi emellertid att Norrlands inland inte drabbats lika många gånger som övriga landet, det är fler prickar i södra Sverige än i norra.



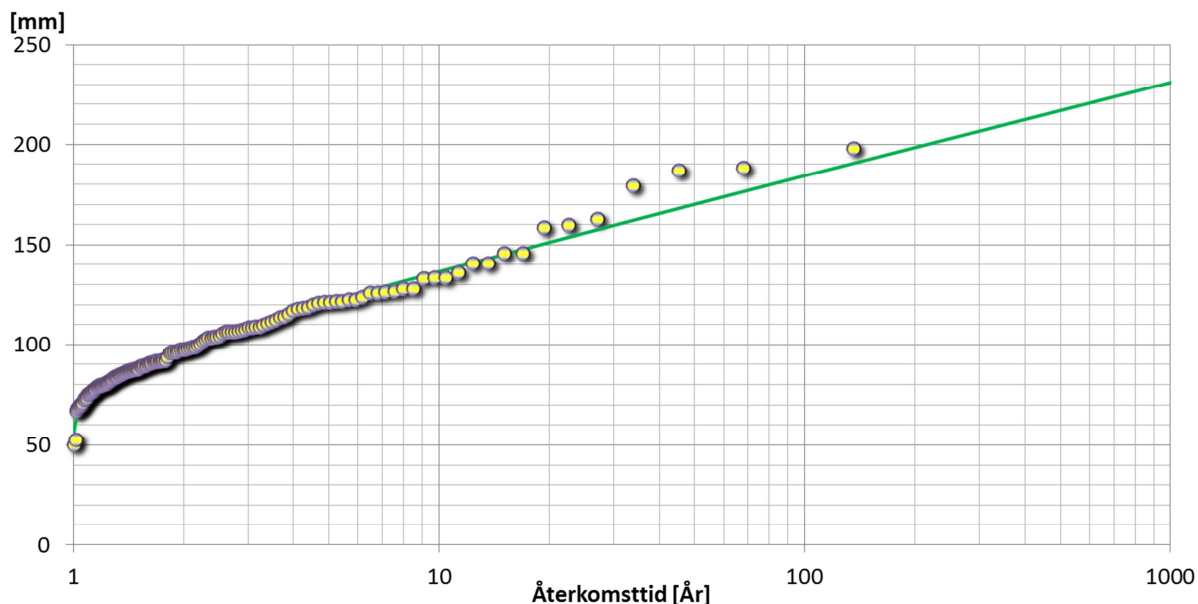
Figur 8. Stationer som mätt årets största dygnsnederbörd, 1881 - 2015. Vid gula prickar har årets största mängd drabbat stationen två eller fler gånger.



Figur 9. Stationer som mätt minst 90 mm under ett dygn för perioden 1961 – 2015. Vid gula prickar har 90 mm drabbat stationen två eller fler gånger.

## Återkomsttider

Med hjälp av extremvärdesanalys av data i Figur 6 har diagrammet i Figur 10 tagits fram. En gång vart tionde år kommer det 137 mm eller mer på någon av SMHI:s stationer och en gång vart hundra år faller det minst 185 mm. I beräkningarna har det inte tagits hänsyn till att det i Figur 6 ser ut att finnas en ökande trend i data.



Figur 10. Återkomsttid för årets största dygnsnederbörd på en väderstation i Sverige. Anpassning enligt Gumbel.

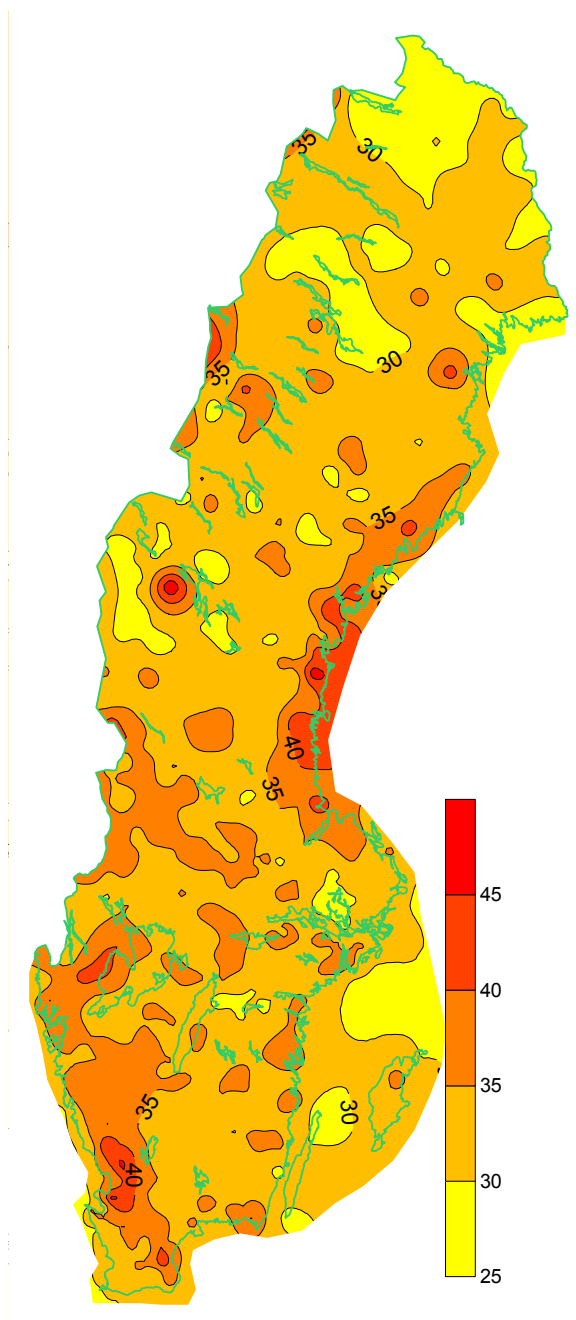
Lägg märke till att i figuren ovan ligger alla de sju största mängderna över den anpassade kurvan. Detta skulle kunna tyda på anpassningen underskattar nederbördsmängderna för de längsta återkomsttiderna.

De största nederbördsmängderna under ett dygn får vanligen västra Götaland, speciellt inre Halland, samt södra Norrlands kustland, Figur 11. Området i Halland sammanfaller med det område som får störst årsnederbörd i Sverige utanför fjällen.

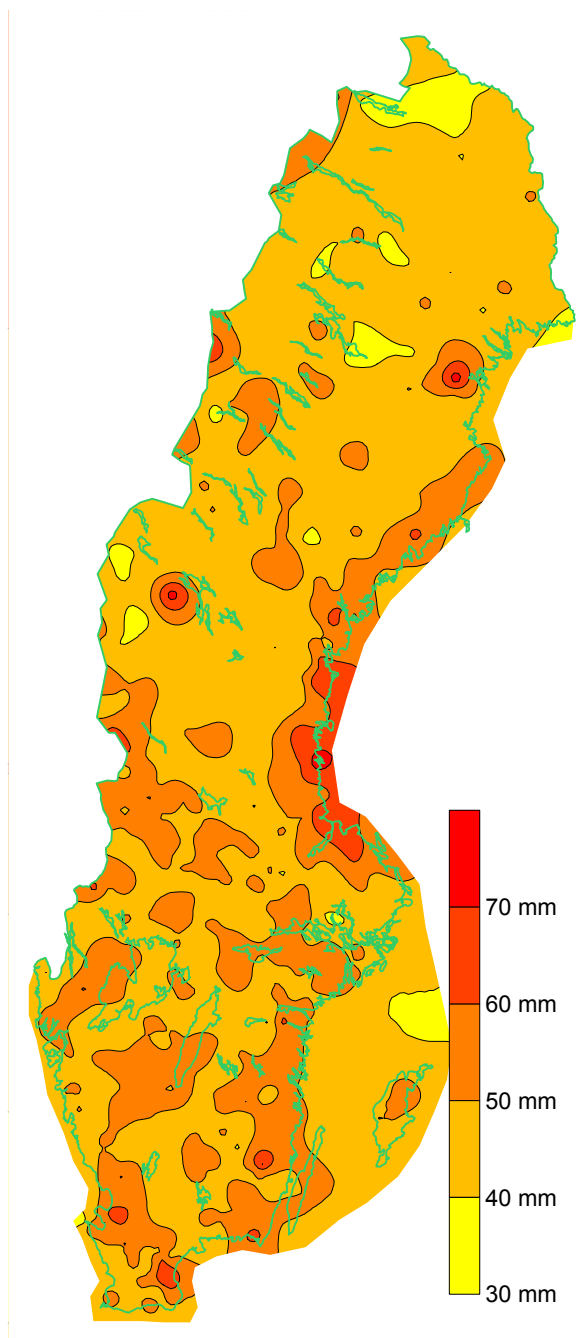
I Figur 12 och Figur 13 ges kartor med beräknade återkomsttider av 10 och 50 år för dygnsnederbörd, vilka bygger på nederbördsstatistik för perioden 1961 – 2015.

Vi noterar att nederbördsmängderna generellt sett är något högre i södra Sverige än i norra. Det stora undantaget är de relativt stora mängderna vid södra Norrlands kustland.

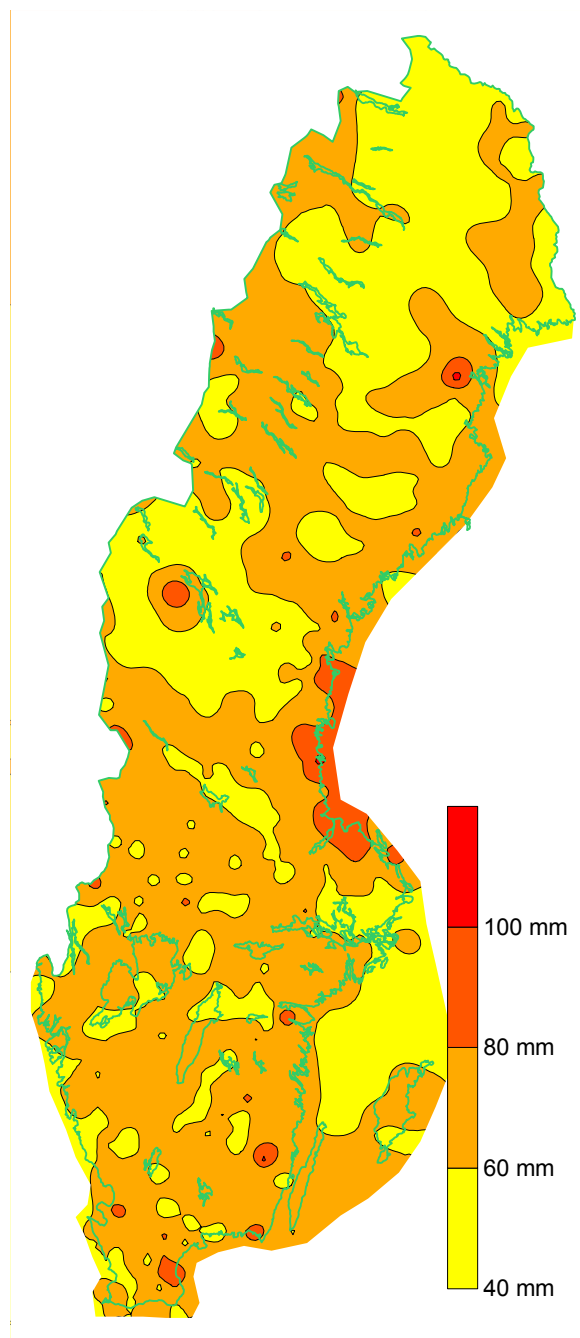
Kanske något förvånande är att vi inte ser ett tydligt maximum i inre Halland i kartan med 10-års och 50-årsregn. I detta område kommer det relativt ofta ganska stora mängder men de riktigt stora mängderna faller vanligtvis inte här. Man kanske hade förväntat att det skulle komma riktigt stora nederbördsmängder i inre Halland eftersom årsnederbörden är störst i Sverige i detta område undantaget vissa platser i fjällen.



Figur 11. Medel av årets största dygnsnederbörd



Figur 12. 10-års återkomsttid av dygnsnederbörd enligt Gumbel.



Figur 13. 50-års återkomsttid av dygnsnederbörd enligt Gumbel.

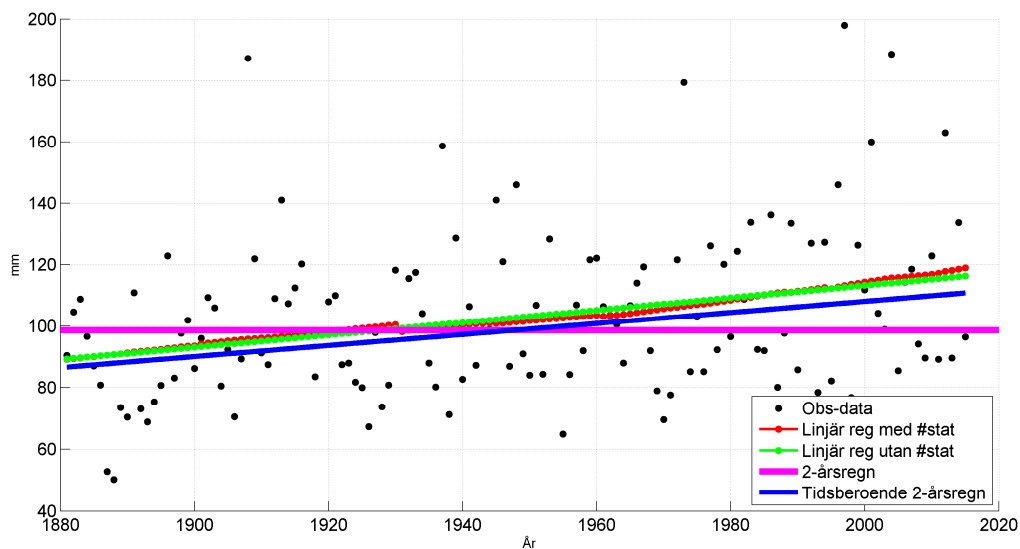
### Statistisk diskussion

Det finns åtminstone tre faktorer som kan ge en ökande trend av årets högsta uppmätta nederbörd:

1. En klimatologisk trend för ökande årsmaxnederbörd
2. En förtätning av stationsnätverket vilket ger oss större chans att mäta kraftiga skurar, Figur 5.

3. En förbättring av mättekniker, vilket skulle kunna ge större nederbördsmätningar på senare tid (i och med avdunstningsskydd, vindskydd, etc.).

Faktor 3 är väldigt svår att separera från faktor 1. För att försöka avgöra om faktor 2 spelade en roll så har det gjorts en linjär regression på nederbördsvärdena både med och utan antal stationer som förklarande variabel. Ifall denna faktor spelar stor roll så borde kurvorna skilja sig signifikant. I Figur 14 syns det att så är inte fallet, utan storleken på årsmax-nederbörden kan förklaras i princip enbart med information om aktuellt år. Grön kurva i figuren är linjär regression enbart på år, medan röd kurva även inkluderar antal stationer. Kurvorna skiljer sig inte mycket. Det intressanta är att regressionen har en svag negativ koppling till antal stationer, vilket känns orealistiskt och ger ytterligare stöd till att den signal regressionen hittade beror mest på brus.



Figur 14. Analys av Figur 6.

Det är ytterligare två kurvor i Figur 14, en rosa och en blå. Den rosa kurvan är 2-årsregnet där vi anpassat en Gumbelfördelning till årsmaxvärdena. 2-årsregnet kan tolkas som median-årsmaket, dvs det värde som ca 50% av årsmaken ligger under, och 50% över. Om man inte låter detta värde bero på tiden (alltså som man brukar göra), så blir det ju ett enda 2-årsregn för hela datamaterialet, i detta fall ca 100 mm.

Man kan också göra så att man låter Gumbelfördelningens parametrar vara tidsberoende. I princip så tillåter man för varje parameter addition av en term  $c \cdot T$ , där  $T$  är antal år sedan startåret, och  $c$  är en koefficient som man kalibrerar. Om det inte finns något tidsberoende så blir denna koefficient nära 0. Fördelen med att låta fördelningens parametrar bero på tiden är att man inte bara kan ta hänsyn till ett ökande medelvärde (så som i regressionskurvan), utan man kan även ta hänsyn till ökande spridning av årsmak, vilket rent visuellt verkar kunna finnas i data.

Den blå kurvan visar vad Gumbelfördelningen gör för 2-årsregn då man låter dess parametrar vara tidsberoende. Som synes så ligger denna kurva nära regressionskurvorna, vilken den ju bör göra, skillnaden här är mest att vi tittar på medianen snarare än medelvärdet.

Från den här tidsberoende-Gumbelfördelningen kan man extrahera all möjlig intressant information. T.ex. kan man ta fram sannolikheten att årsmaxet ligger över 150 mm för olika år, och se hur denna sannolikhet ändrat sig med åren. Det visar sig också att högre återkomsttider har en högre lutning på kurvan, vilket stämmer överens med klimatscenarioresultat (som i regel brukar peka på att t.ex. 1000-årsregnet ökar mer än 10-årsregnet framöver).

### Exempel på extrema fall

Det allra värsta skyfallet vi känner till är från Fulufjället 30-31 aug 1997. Ett våldsamt åskregn drog fram med stor förödelse som följde. SMHI station som inte ligger i det värst drabbade området mätte "bara" 137 mm men med en enkel privat mätutrustning vid Rösjöstugan mättes 276 mm på ett dygn. Uppskattningsvis föll det 300-400 mm lite längre söderut längs östra sidan av fjället. Åskvädret "fastnade" på fjällets östra sida, men försvagades inte som annars är vanligt när skurar stannar upp, utan försågs med ny varm och fuktig luften en lång period under kvällen och natten (SMHI faktablad nr 13, maj 2003). Topografin i området förstärkte således ovädret.

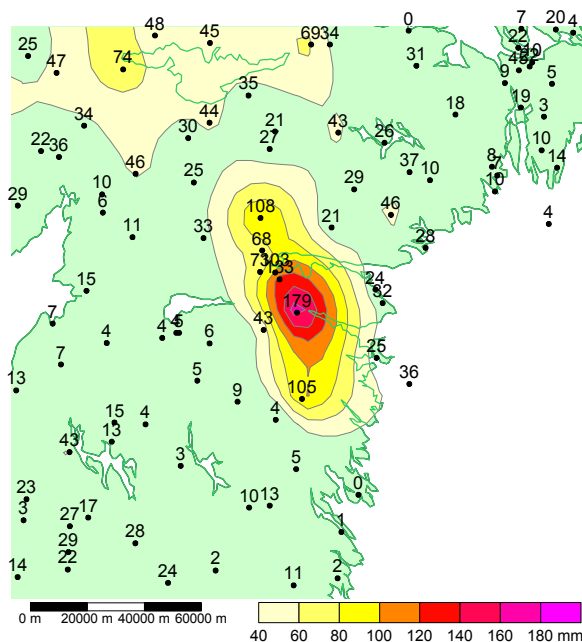
Den 9 juli 1973 föll det 179,4 mm i Söderköping, vilket är den största dygnsnederbörd SMHI har mätt i Götaland, Figur 15. Observatören i Söderköping skriver:

*"För Söderköpings del har den gångna månaden varit av både ondo och godo. Tidigare torka behövde mer än väl kompenseras men att som den 9 få 164 mm på 5 timmar var i mesta laget. Resultatet blev spolierade källarinredningar i nästan alla byggnader. Dessutom skador i affärslokaler, på gator och vägar, till detta kommer skördeskador i distriktet. Uppmätningen av den abnorma nederbörden – 179.4 mm den 9-10 – verkställdes för säkerhets skull i vittnes närvaro."*

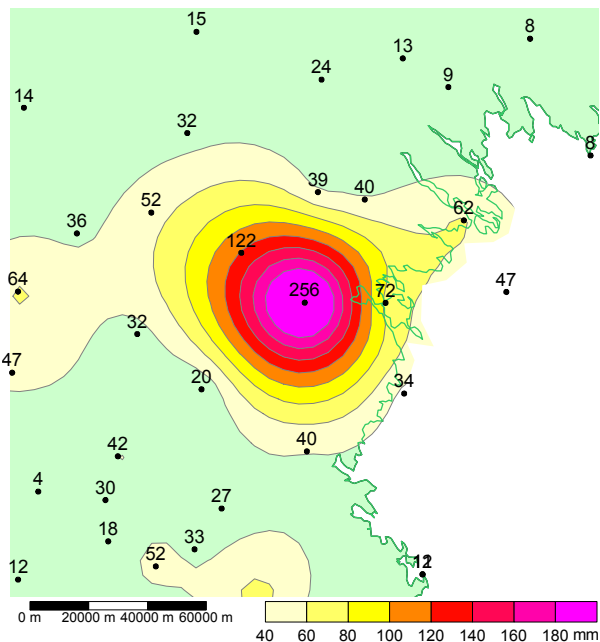
(Månadsöversikt över väderlek och vattentillgång i Sverige, 1973)

Väster om Piteå föll det oerhört stora nederbördsmängd sommaren 1997. Från kl. 11 på söndagen den 27 juli till morgonen den 29 juli låg en front i östvästlig riktning där åskmolnen växte enormt med skyfall som följde. Under det första dygnet fram till morgonen den 28 föll 58 mm och under det andra dygnet vräkte 198 mm ner, totalt 256 mm under de bägge dygnen, Figur 16. Mängden 198 mm är den största dygnsnederbörd som överhuvudtaget uppmätts vid någon av SMHIs stationer.

De stora regnmängderna i området väster om Piteå innebar att marken där snabbt mättades så att vattnet rann ut i vattendraget Råkån vilket medförde omfattande översvämningar. Vid vattenföringsstationen Lillänget vid det närliggande vattendraget Åbyälven steg vattenföringen från 7,5 m<sup>3</sup>/s till 200 m<sup>3</sup>/s på 38 timmar. Vägnätet i området drabbades hårt och många broar och vägtrummor skadades svårt eller spolades bort. 15 vägar fick stängas av bl a huvudvägen mellan Piteå och Arvidsjaur. (Väder och Vatten, augusti 1997).



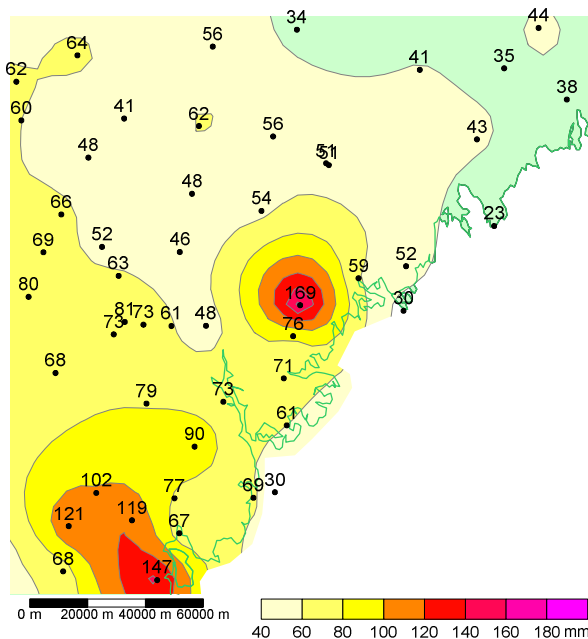
Figur 15. 9 juli 1973, nederbörd 24-timmar.  
Söderköping 179 mm



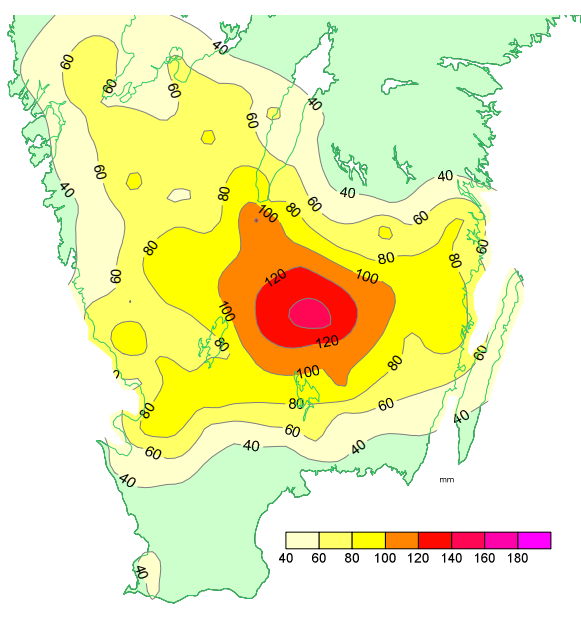
Figur 16. 27-28 juli 1997, nederbörd 48-timmar.  
Fagerheden 256 mm

160 mm föll det i Rössjö sydväst om Örnsköldsvik den 27 augusti 2001 vilket är den största mängd som uppmätts i södra Norrland. Stationen fick 169 mm under två dygn, Figur 17. Flera andra stationer i området drabbades också av stora mängder. (Väder och Vatten augusti 2001)

I juli 2004 drabbades Småland av mycket stora nederbördsmängder, Figur 18, med höga flöden som följde.



Figur 17. 27-28 augusti 2001, nederbörd 48-timmar.  
Rössjö 169 mm

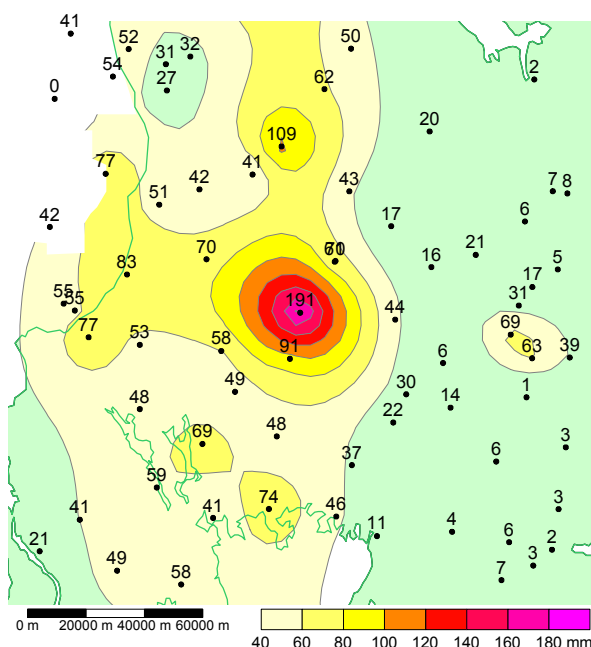


Figur 18. 9-10 juli 2004, nederbörd 48-timmar.  
Berg 152 mm.

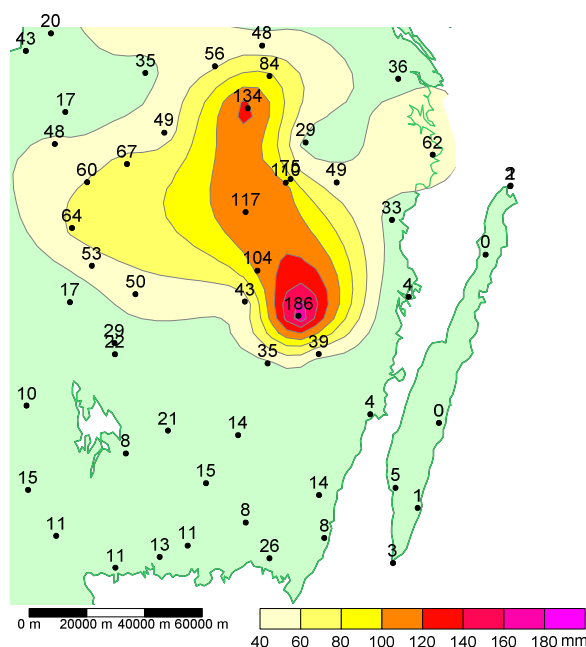
Ovädret den 4 augusti 2004 i sydöstra Värmland har gett ett av de absolut största dygnsvärdena i vårt land som bara överträffats ett fåtal gånger. Råda i Värmland rapporterade 188,6 mm på ett

dygn, vilket är den största mängd som rapporterats i Svealand under ett dygn. Under två dygn kom 191 mm, Figur 19. En väg mellan Lidsbro och Haftersbol spolades bort av den normalt mycket lilla bäck som rinner här.

I juli 2012 fick Hinshult i Småland 163 mm under dygn och 186 mm under två dygn, Figur 20. Det är den femte största dygnsmängd som noterats vid en officiell svensk väderstation.



Figur 19. 3-4 aug 2004, nederbörd 48-timmar. Råda 191 mm.



Figur 20. 7-8 juli 2012, nederbörd 48-timmar. Hinshult 186 mm.

### Extremt skyfall i Norra Orrtorp?

Ibland rapporteras extrema nederbördsmängder som avviker så mycket från omgivande stationer att det kan vara svårt att lita på den rapporterade mängden. Som grundregel har dock SMHI alltid att man ska lita på den nederbördsmängd som observatören har rapporterat. Om ett värde ska underkännas måste man ha starka argument för att något fel begåtts. Ibland är det svårt eller till och med omöjligt att godkänna vissa observationer.

Den 19 juli 1913 rapporterade SMHIs väderstation, som numer är nedlagd, på gården Norra Orrtorp i Värmland 303 mm på ett dygn och 684 mm under hela månaden. Observatören noterade den 19 i journalen "Störtregn, åska fr 1-7 em". Den ohyggliga mängden 303 mm ska alltså kommit på sex timmar. Stationen låg nordost om Charlottenberg nära norska gränsen i ett glesbebyggd område med kuperad skogsterräng. (SMHIs tidning Väder och Vatten juli 1985).

Journalen är prydligt förd av observatören och de observerade värdena tydligt inskrivna. I månaderna både före och efter juli 1913 kan man inte se något anmärkningsvärt i de införda nederbördsmängderna. De stämmer väl med övriga stationer.

De 303 mm som stationen mätte är mer än 116 mm högre än det dåvarande Svenska dygnsrekordet på 187 mm i Härnösand den 18 juni 1908. Det nuvarande godkända rekordet på 198 mm är från Fagerheden den 28 juli 1997. Den tidens meteorologer ställde sig förstås frågande till de otroliga siffrorna och skickade ett brev till observatören där man skrev:

*”STATENS METEOROLOGISKA CENTRALANSTALT”*

*Stockholm den 2/9 1913*

*Meteorologiska Stationen Norra Orrtorp*

*Med anledning av de orimligt höga nederbördssiffrorna, som förekomma i juli månads journal, särskilt den 19 juli, frågas, om Ni är ni förvissad om att intet fel begåtts vid uppmätningen? Står mätaren så att vatten kan vid starkt regn komma från närliggande tak, träd eller dylikt? Eller kan okynne förekomma från barn eller eljest tanklöst folk? Var god säg oss omgående Eder mening härom; vi våga ej utan vidare tro på Edra siffror. Står mätaren olämpligt till måste den genast flyttas till plats i enlighet med instruktionen.*

*Högaktningsfullt*

*Nils Ekholm*

*t.f. föreståndare”*

Tyvärr frågade Ekholm inte observatören om vilken följder skyfallet fick i området. Om värdet på 303 mm är korrekt måste det ha varit en fullständig katastrof för bygden med stora översvämningar och den beskrivningen hade varit intressant att läsa. Observatören beskrev inte heller händelsen i journalen. Marken måste dessutom sedan tidigare varit genomblöt eftersom det rapporterats mycket stora nederbördsmängder tidigare under månaden t ex: 108 mm den 7 juli, 81 mm den 9 juli och 70 mm den 14 juli. Observatören svarade följande:

*”Något fel vid uppmätningen har ej begåtts, ej heller finnes anledning ta fel på grund af Edra öfriga frågor, utan allt synes här vara som sig bör. Mätaren står äfven på plats som är i enlighet med instruktionen.*

*Högaktningsfullt*

*Elis Magnusson”*

Mätningarna godkändes emellertid inte. På journalen skrevs *”Otroliga siffror”*. I Månadsöversikten som publicerades lämnades inga uppgifter från Norra Orrtorp.

Den erfarne meteorologen och kollegan Bertil Eriksson undersökte fallet närmare i en artikel i SMHIs tidning Väder och Vatten i juli 1985. Han avslutar sin artikel med följande:

*”Slutsatsen undertecknad drar, är att julimätningarna 1913 från N Orrtorp bör godkännas. Det finns ej tillräckliga argument för att förkasta de inrapporterade mängderna. Men sextimmarsmängden den 19 juli och månadssumman är svårslagna rekord. Sannolikheten för att sådana mängder skall uppmätas i Sverige är mycket låg. Kanske sådana händelser kan inträffa en gång på 1 000 år, s k tusenårsregn.”*

Enligt Figur 10 så är 1 000-årsregnet ca 230 mm. Mängden i detta fall, 303 mm, motsvarar snarare ett 30 000-årsregn.

I samband med detta projekt har ytterligare efterforskningar gjorts angående skyfallet i Norra Orrtorp, om det möjligen går att hitta någonting som stöder de otroliga siffrorna.

Ingen station i området, varken i Sverige eller Norge, har rapporterat några nederbördsmängder vid det aktuella tillfället som skulle styrka 303 mm i Norra Orrtorp. Den största dygnsmängden under hela månaden i hela Värmland, efter Norra Orrtorp, fick Mässvik med 46,5 mm den 22. Norra Orrtorp skulle således ha drabbats av nederbördsmängder under fyra dygn som är större än det

största värdet på övriga stationer under månaden. På den Norska sidan fick Nord-Odal mest den aktuella dagen med 14 mm. Det största månadsvärdet efter Norra Orrtorp rapporterades från Gåsbornshyttan med 163 mm. Norra Orrtorp skulle ha fått 684 mm.

MSB (Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap) har genomfört en inventering av de översvämningar i Sverige som lett till ogynnsam påverkan på människors hälsa, miljön, kulturarvet och ekonomisk verksamhet under åren 1901-2010 (Alfredsson C, januari 2012). Inventeringen resulterade i totalt 190 inträffade betydande översvämningar. Fallet från Norra Orrtorp 1913 finns ej beskrivet i rapporten.

SMHI mäter dagligen flöden i vattendrag på en stor mängd platser. Den enda hydrologiska stationen som emellertid fanns i området den aktuella tiden är Rottneros som mätte vattennivån i ån Rottnan. Från området kring Norra Orrtorp rinner vattnet genom sjön Kymmen innan det rinner ihop med de två större vattendragen Granån och Rottnan. Sedan rinner det vidare genom sjön Rottnan och i ån Rottnan genom Rottneros. Att flödet går genom två ganska stora sjöar gör att en hög flödestopp i bäckarna vid norra Orrtorp skulle dämpas ganska mycket innan den når Rottneros. Vattennivån i Rottneros har ökat lite, men orsaken är svår att bestämma. De hydrologiska observationerna varken styrker eller förkastar den höga nederbördsobservationen i norra Orrtorp den 19 juli 1913. (Eklund, 2015)

I Nya Wermlands-Tidningen den 24 juli 1913 står att läsa:

*”VÄLDIGA REGNSKURAR, föllo i tisdags öfver vida trakter af Värmland. Där och hvar kom regnet som riktiga skyfall. Välbehöfligt på den bottentorra jorden.”*

Den 19 juli var en lördag. Notisen i tidningen refererar således till fel dag. 303 mm på ett dygn kan inte heller anses som ”välbehöfligt” utan snarare katastrofalt. Således finns inget i tidningen som stödjer de rapporterade nederbördsmängderna från Norra Orrtorp.

Nederbördsmätningarna i juli 1913 från Norra Orrtorp underkändes först, därefter godkändes de men är nu slutligen(?) underkända. Det har nu inte framkommit något nytt som pekar på att de 303 mm bör godkännas igen.

## Kvartsnederbörd

### Rekord

I Tabell 3 och Tabell 5 presenteras Svenska nederbördsrekord från SMHIs automatiska väderstationer som mätt nederbörd varje kvart sedan sommaren/hösten 1995.

*Tabell 3. Största nederbördsmängder från SMHIs automatstationer, 1995-2015. Löpande 15-min och 1-tim.*

| Varaktighet   | [mm]               | Klimnr | Station     | Datum      |
|---------------|--------------------|--------|-------------|------------|
| <b>15-min</b> | 40.2               | 94390  | Daglösen A  | 2000-07-05 |
| <b>30-min</b> | 57.9               | 94390  | Daglösen A  | 2000-07-05 |
| <b>45-min</b> | 61.1               | 94390  | Daglösen A  | 2000-07-05 |
| <b>1-h</b>    | <sup>1)</sup> 61.5 | 94390  | Daglösen A  | 2000-07-05 |
| <b>2-h</b>    | 90.9               | 94390  | Daglösen A  | 2000-07-05 |
| <b>3-h</b>    | 91.3               | 94390  | Daglösen A  | 2000-07-05 |
| <b>4-h</b>    | 91.5               | 94390  | Daglösen A  | 2000-07-05 |
| <b>5-h</b>    | 91.5               | 94390  | Daglösen A  | 2000-07-05 |
| <b>6-h</b>    | 92.3               | 106160 | Kerstinbo A | 2002-07-20 |
| <b>12-h</b>   | 101.8              | 75250  | Målilla A   | 2012-07-08 |

<sup>1)</sup> Data saknas under en timme den aktuella dagen de fyra kvartsvärdena timmen innan som innehöll det högsta kvartsvärdet. Sverker Hellström, som var vakthavande meteorolog den aktuella dagen, har dock en handskriven anteckning om att det kom 81.3 mm på en timme.

I Tabell 4 visas ett intressant fall från Uppsala där mätningarna sker i Uppsala Universitets regi. Detta fall är extremare än de som mätts på någon av SMHIs stationer. Vid mätplatsen, vid Observatorieparken på Uppsala Universitet, fanns vid det aktuella tillfället två nederbördsräkare. Den ena räkaren var automatisk av typen "tipping-bucket" (det finns inget vedertaget svenskt namn) och den andra var av samma typ som SMHIs manuella räkare.

I en tipping-bucket samlas nederbörden upp i räkaren, i vilken det finns två mindre uppsamlingskärl, till vilka nederbörden omväxlande fördelas. När nederbörd motsvarande 0,1 eller 0,2 mm samlats i det ena kärlet tippas nederbörden automatiskt ut och det andra mätkärlet börjar fyllas. Antalet tippningar per tidsperiod blir ett mått på nederbördsintensiteten.

Tyvärr var den automatiska tipping-bucket räkaren sliten vilket gav upphov till att när det regnade extrem mycket förekom dubbeltippningar och räkaren registrerade således för mycket nederbörd. Denna räkare registrerade 121,7 mm under dagen den 17 augusti medan den manuella räkaren mätte 103,9 mm. Nederbördsmängderna i Tabell 4 är därför korrigerade med en faktor 0,85 (103,9/121,7).

Tabell 4. Uppsala Aut, 1997-08-17. Löpande 10-min.(Källa Hans Bergström, Uppsala Universitet)

**Varaktighet [mm]**

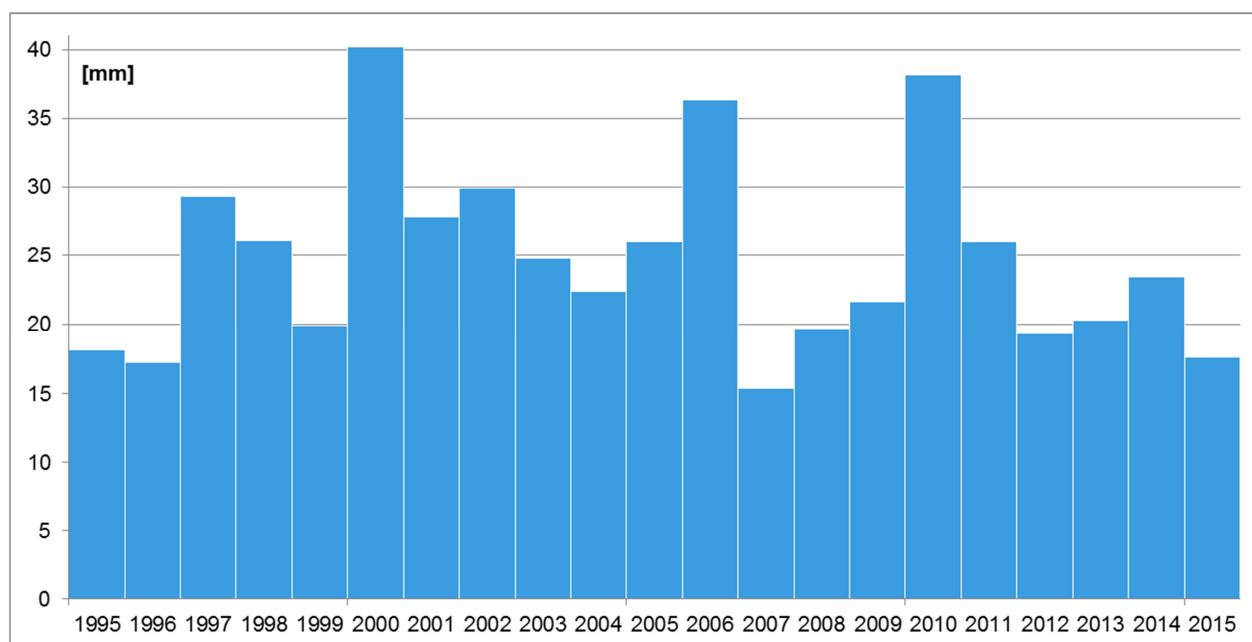
|               |       |
|---------------|-------|
| <b>10-min</b> | 28.4  |
| <b>20-min</b> | 44.7  |
| <b>30-min</b> | 63.6  |
| <b>40-min</b> | 74.4  |
| <b>50-min</b> | 82.2  |
| <b>1-h</b>    | 89.0  |
| <b>2-h</b>    | 101.3 |

Tabell 5. Största nederbördsmängder i Sverige från SMHIs automatstationer.

| <b>Månad</b> | <b>15-min</b> | <b>Station</b> | <b>Datum</b> | <b>30-min</b> | <b>Station</b> | <b>Datum</b> | <b>60-min</b> | <b>Station</b> | <b>Datum</b> |
|--------------|---------------|----------------|--------------|---------------|----------------|--------------|---------------|----------------|--------------|
| <b>jan</b>   | 7.2           | Bjuröklubb     | 20020103     | 8.2           | Rångedala      | 20020128     | 9.8           | Floda          | 20010102     |
| <b>feb</b>   | 8.0           | Fredrika       | 19990201     | 10.8          | Parkalompolo   | 20020216     | 14.8          | Gielas         | 19980225     |
| <b>mar</b>   | 10.0          | Mierkenis      | 20120312     | 11.5          | Mierkenis      | 20120312     | 13.3          | Gielas         | 19980303     |
| <b>apr</b>   | 10.4          | Sala           | 19990430     | 13.1          | Helsingborg    | 20030430     | 17.3          | Helsingborg    | 20030430     |
| <b>maj</b>   | 38.2          | Tomtabacken    | 20100520     | 50.6          | Tomtabacken    | 20100520     | 55.5          | Tomtabacken    | 20100520     |
| <b>jun</b>   | 22.8          | Edsbyn         | 20110612     | 35.7          | Floda          | 20040611     | 38.5          | Floda          | 20040611     |
| <b>jul</b>   | 40.2          | Daglösen       | 20000705     | 57.9          | Daglösen       | 20000705     | 61.5          | Daglösen       | 20000705     |
| <b>aug</b>   | 31.7          | Krångede       | 20000804     | 42.7          | Nordkoster     | 20020801     | 55.7          | Nordkoster     | 20020801     |
| <b>sep</b>   | 15.4          | Tomtabacken    | 20070908     | 21.7          | Kerstinbo      | 19970903     | 30.3          | Gotska Sandön  | 20070911     |
| <b>okt</b>   | 15.5          | Floda          | 19991001     | 22.2          | Floda          | 19991001     | 27.2          | Floda          | 19991001     |
| <b>nov</b>   | 10.5          | Fredrika       | 20061117     | 11.2          | Fredrika       | 20061117     | 12.6          | Fredrika       | 20061117     |
| <b>dec</b>   | 10.6          | Rångedala      | 19991217     | 11.8          | Rångedala      | 19991217     | 14.2          | Rångedala      | 19991217     |

### Förändring med tiden

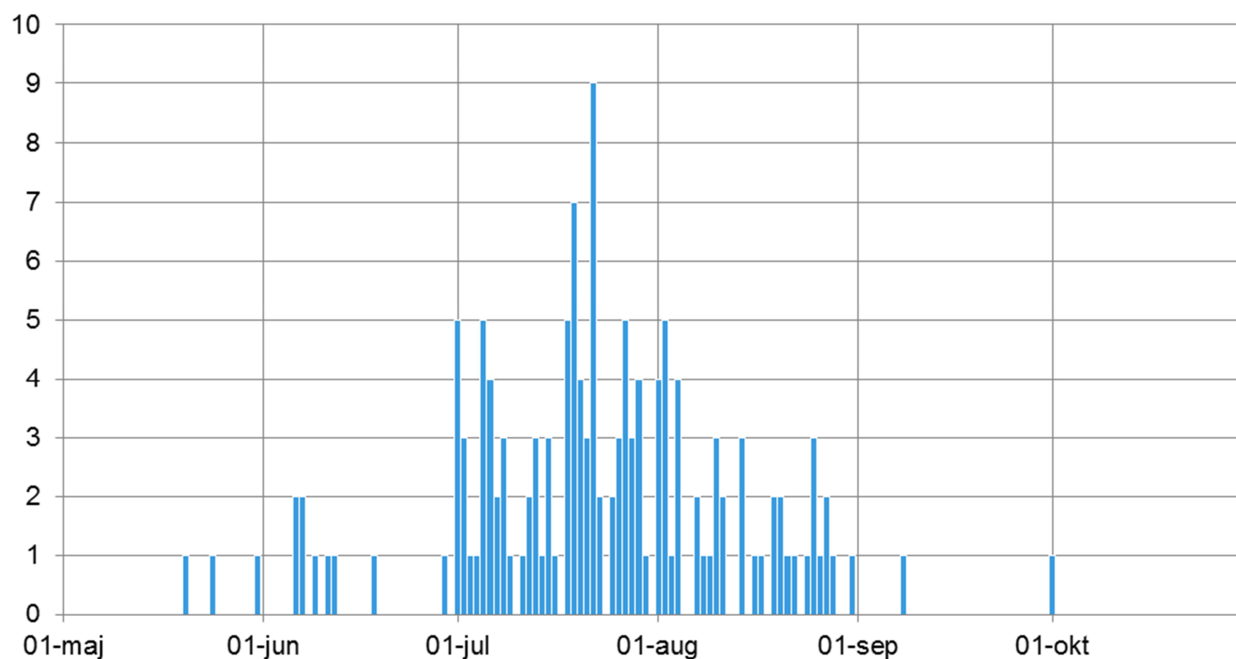
Årets största nederbördsmängd under 15 minuter, på någon av SMHIs automatiska väderstationer, har under perioden 1995 – 2015 varierat mellan 15 mm och 40 mm med ett snitt på ca 25 mm, Figur 21. I Bilaga 2 finns alla årshögsta nederbördsmängder listade. Perioden är för kort för att studera eventuella trender. Det största värdet, 40 mm på 15 minuter år 2000, kommer från Daglösen. År 2006 mättes 36 mm i Krångede och år 2010 mättes 38 mm i Tomtabacken.



Figur 21. Årets absolut största 15-min-nbd på någon av SMHI:s stationer.

### Variation under året

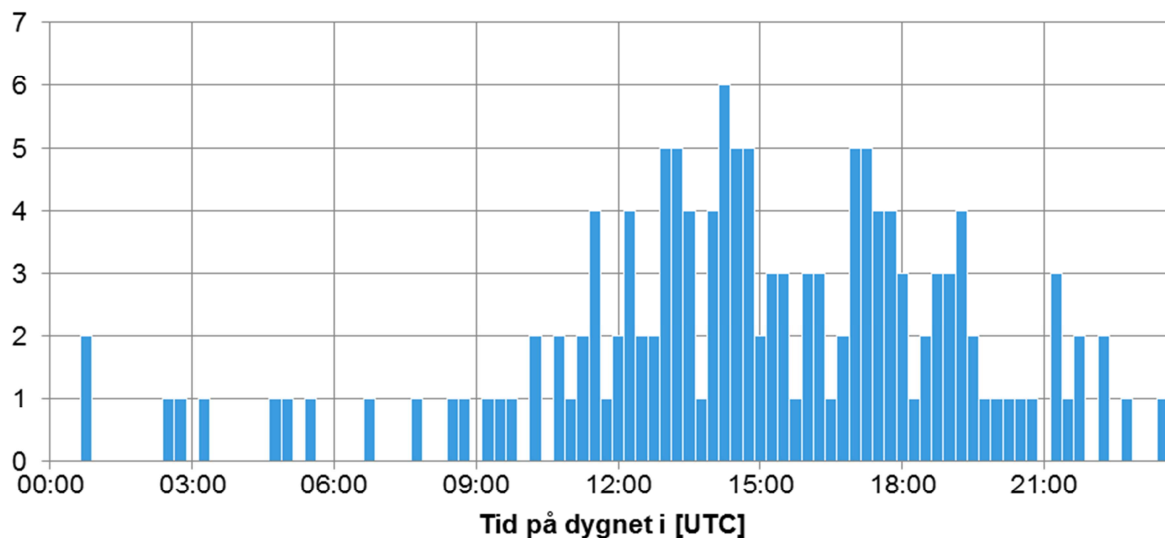
Det är vanligast att skyfall (minst 15 mm på 15 minuter) inträffar under juli följt av augusti, Figur 22. Det har dock förekommit skyfall så tidigt på säsongen som den 20 maj och ända till den 1 oktober. Den 20 maj 2010 kom 38 mm i Tomtabacken vilket är den näst största mängden på 15 minuter efter de 40 mm som drabbade Daglösen den 5 juli 2000.



Figur 22. Årsvariation. Antal observationer av minst 15 mm under 15-min. Totalt 141 tillfällen.

### Variation under dygnet

Ett skyfall (minst 15 mm på en kvart) kan inträffa under dygnets alla timmar, Figur 23. Det är dock vanligast att skyfallet inträffar under eftermiddagen eller tidig kväll och då på en inlandsstation. Vid övriga tider på dygnet är det vanligt att det är en station nära kusten som drabbas.



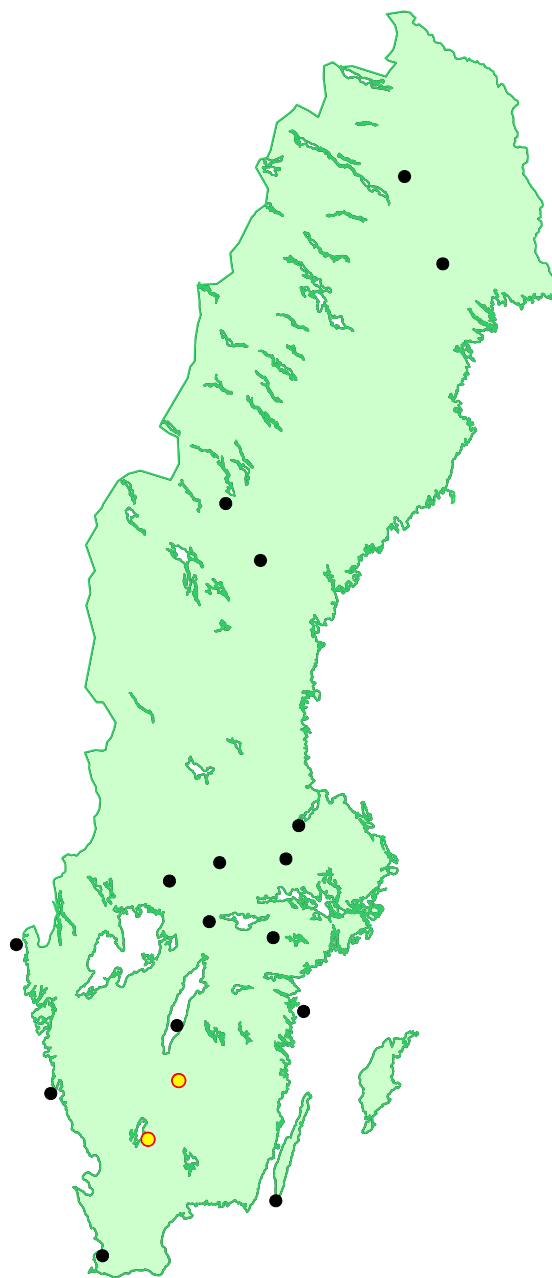
Figur 23. Dygnsvariation. Antal observationer av 15-min-nederbörd på minst 15 mm. Totalt 141 tillfällen. Observera att tiden i figuren är i UTC. För att få Svensk sommartid måste två timmar adderas.

## Geografisk fördelning

I Figur 24 har årets största nederbörds mängd, med varaktigheten 15 minuter, prickats in för perioden 1995 – 2015. Dessa 21 fall har inträffat från Malmö i söder till Latnivaara i norr, Figur 24. Både inlandsstationer och kuststationer har drabbats.

Den största mängden under året kan således drabba vilken plats som helst i Sverige. Från figuren ser vi dock att det varit vanligare med stora mängder i södra Sverige än i norra delen av landet.

På stationen i Ljungby har årets största 15-min-nederbörd inträffat två gånger. Ljungby är den sydligaste gulprickade stationen. I Tomtabacken, som är den gula prickken norr om Ljungby, har årets största mängd inträffat tre gånger.

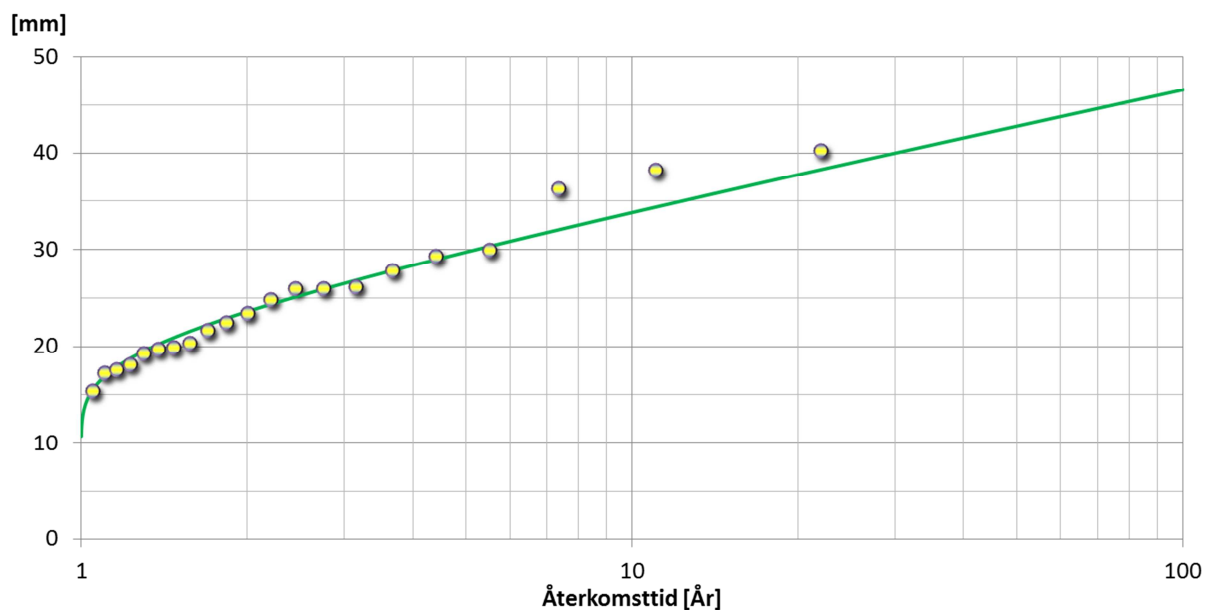


Figur 24. Årets största 15-min-nederbörd, 1995 - 2015. Vid gula prickar har årets största mängd drabbat stationen två eller fler gånger.

## Återkomsttider

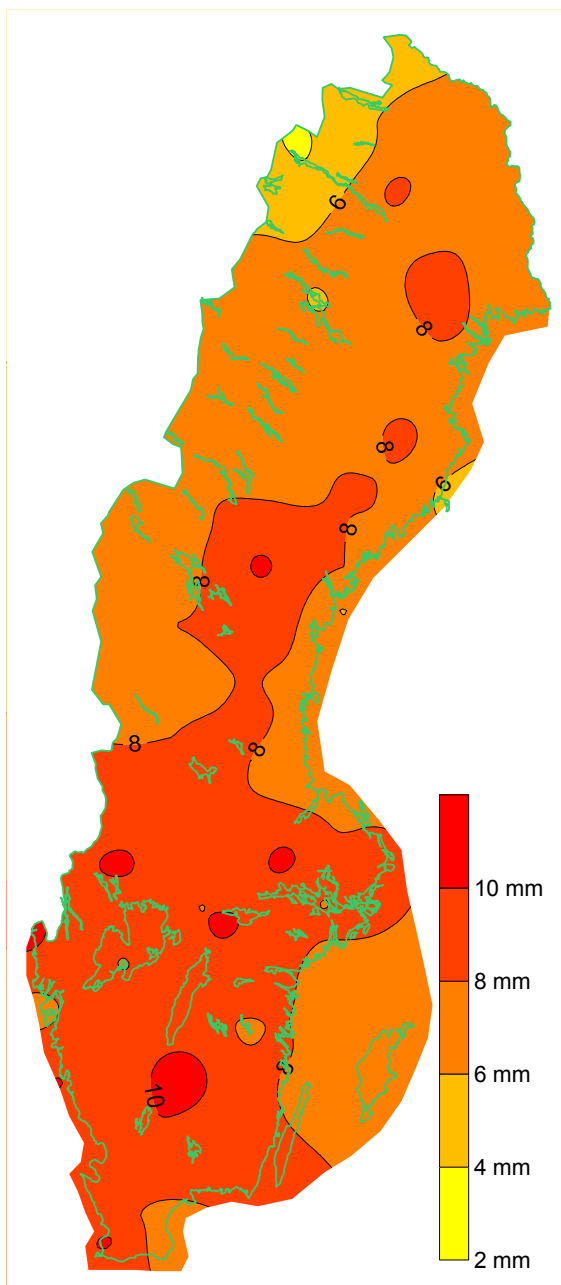
Årets största nederbördsmängd under 15 minuter, Figur 21, har behandlats med extremvärdesanalys och därmed har Figur 25 kunnat tas fram. Från figuren ser vi att en gång vart tionde år kommer det 34 mm eller mer under en kvart på någon av SMHI:s stationer.

Lägg dock märke till att i figuren nedan så ligger alla de tre största mängderna över den anpassade kurvan. Detta skulle kunna tyda på anpassningen underskattar nederbördsmängderna för de längsta återkomsttiderna.

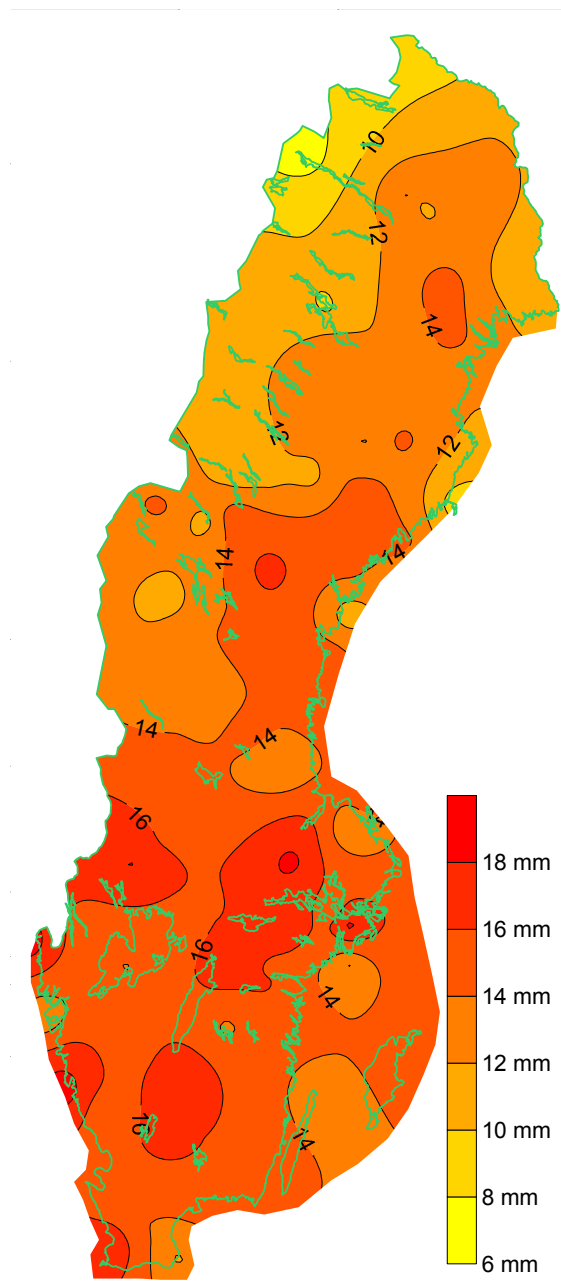


Figur 25. Återkomsttid för årets största 15-min-nederbörd på en väderstation i Sverige. Anpassning enligt Gumbel.

Årets största nederbördsmängd, med varaktigheten 15-minuter och 1-timme, är i genomsnitt generellt sett större i södra Sverige än i norra Sverige, Figur 26 och Figur 27. Några fler slutsatser om den geografiska fördelningen är svårt att dra. Möjligen, i framtiden när automatstationerna varit i drift ytterligare ett antal år, skulle man kunna hitta en geografisk fördelning. Det kan dock vara så att antalet stationer är för få för att se fördelningen.



Figur 26. Medel av årets största 15-min-nederbörd.

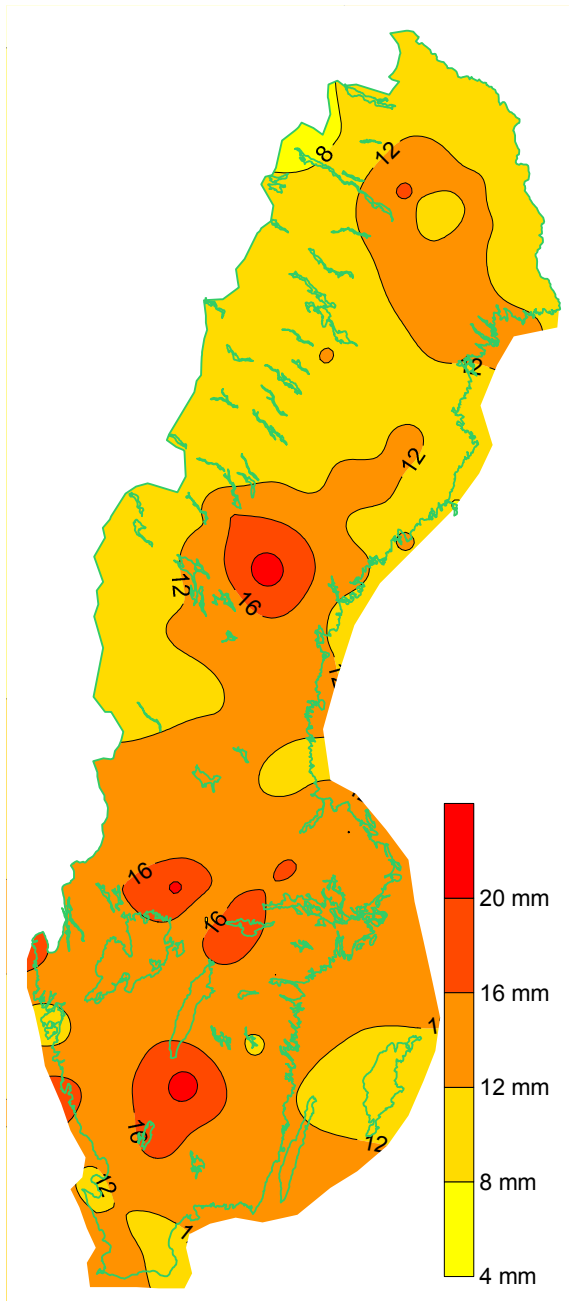


Figur 27. Medel av årets största timnederbörd (fyra löpande 15-min-värden).

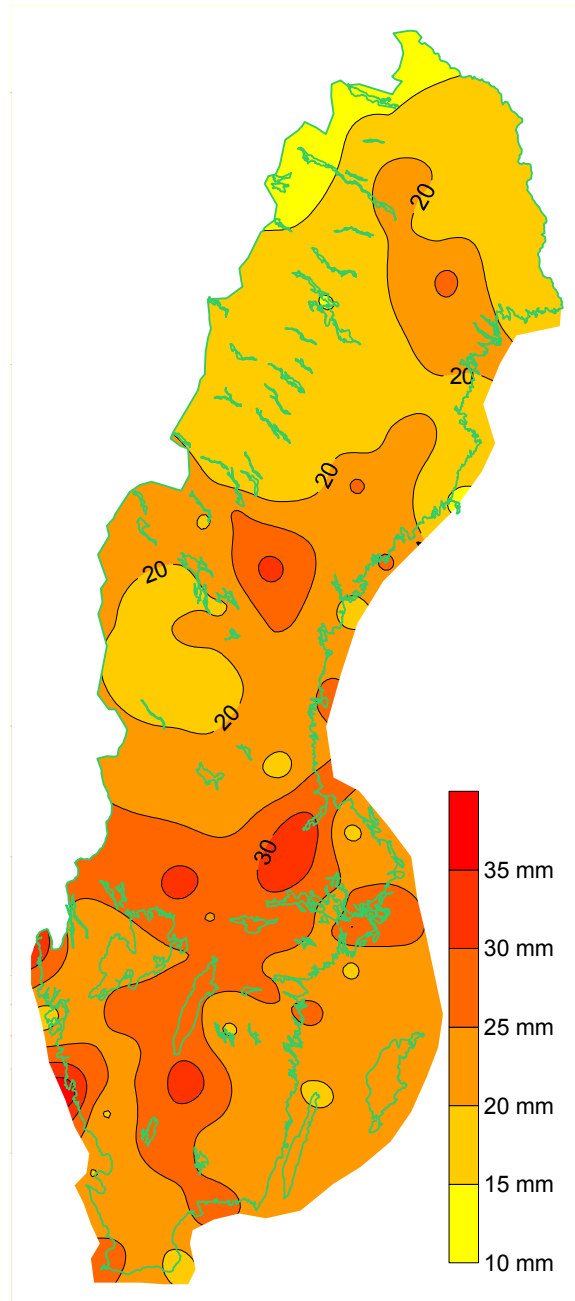
I Figur 28 och Figur 29 presenteras hur 10-årsregnet av 15-min-och timnederbörd fördelar sig över landet. Kartorna bygger på 105 svenska automatstationer vilka har minst 10-åriga serier. Många stationer har emellertid data för alla år under perioden 1996-2015.

Kartorna nedan visar ingen tydlig geografisk fördelning. Vi kan dock se att det finns en tendens till att nederbördsmängderna för 10-årsregnet i norra Sverige är lägre än i södra Sverige för de beräknade varaktigheterna. Två stationer, Krångede i östra Jämtland och Tomtabacken i Småland, utmärker sig på kartorna nedan med höga värden. Det finns dock ingen anledning att tro att just Krångede skulle vara oftare drabbat av kraftiga regn än andra stationer. Därför måste det tills vidare anses att orsaken till de många kraftiga regnen här är slumpens verk.

Stationen Tomtabacken däremot ligger högt (356 möh) och inte mycket lägre än högsta punkten i Tomtabacken (377 möh) som för övrigt är Götalands högsta punkt. Det är troligt att den höga höjden medverkar till att nederbördsmängderna här ofta är större än på andra lägre belägna platser i södra Sverige.



Figur 28. 10-års återkomsttid av 15-min-nederbörd enligt Gumbel.



Figur 29. 10-års återkomsttid av 1-timmes-nederbörd enligt Gumbel.

Mönstret i kartorna ovan är något "plottrigt" och det är svårt att veta säkert om mönstret har någon förankring i verkligheten eller om det beror på slumpen eftersom vi har en relativt kort period med mätdata.

På grund av den relativt korta perioden har därför medelvärden beräknats för alla stationer, se Tabell 6 nedan. Det finns en tumregel i återkomstteori att man inte bör beräkna återkomsttider för mer än dubbla seriens längd. I detta fall används serier som är 10-20 år långa varför det är tveksamt att beräkna återkomsttider för 50 och 100 år. Detta har dock gjorts men nederbördsmängderna för dessa återkomsttider är således osäkra.

Tabell 6. Medelvärden för Sverige i mm, okorrigerade värden.

| Varaktighet   | Återkomsttid |      |       |       |       |        |
|---------------|--------------|------|-------|-------|-------|--------|
|               | 2 år         | 5 år | 10 år | 20 år | 50 år | 100 år |
| <b>15-min</b> | 7.3          | 10.6 | 12.8  | 14.9  | 17.6  | 19.7   |
| <b>30-min</b> | 10.2         | 14.8 | 17.9  | 20.9  | 24.7  | 27.6   |
| <b>45-min</b> | 11.8         | 17.0 | 20.5  | 23.9  | 28.2  | 31.5   |
| <b>1-h</b>    | 12.9         | 18.6 | 22.3  | 25.9  | 30.5  | 34.0   |
| <b>2-h</b>    | 16.1         | 22.6 | 26.8  | 30.9  | 36.2  | 40.1   |
| <b>3-h</b>    | 18.5         | 25.3 | 29.8  | 34.1  | 39.7  | 43.8   |
| <b>4-h</b>    | 20.3         | 27.4 | 32.1  | 36.6  | 42.5  | 46.9   |
| <b>6-h</b>    | 23.3         | 31.0 | 36.1  | 41.0  | 47.3  | 52.1   |
| <b>12-h</b>   | 28.9         | 38.1 | 44.2  | 50.1  | 57.6  | 63.3   |

Med regn med återkomsttid 100 år avses att mängden nederbörd med bestämd varaktighet uppnås eller överskrids i genomsnitt en gång vart 100:e år. Sannolikheten att ett 100-års regn inträffar nästa år, eller vilket enskilt år som helst, är 1 på 100, dvs 1 %. Sannolikheten att ett 100-årsregn inträffar någon gång under de närmaste 100 åren är 63 %. Det är alltså större sannolikhet att ett 100-årsregn överskrids än underskrids någon gång de närmaste 100 åren, se vidare i Tabell 7.

Tabell 7. Återkomsttid, sannolikhet och risk

| Återkomsttid [År] | Antal år |    |     |     |     |     |
|-------------------|----------|----|-----|-----|-----|-----|
|                   | 2        | 5  | 10  | 20  | 50  | 100 |
| <b>2</b>          | 75       | 97 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| <b>5</b>          | 36       | 67 | 89  | 99  | 100 | 100 |
| <b>10</b>         | 19       | 41 | 65  | 88  | 99  | 100 |
| <b>20</b>         | 10       | 23 | 40  | 64  | 92  | 99  |
| <b>50</b>         | 4        | 10 | 18  | 33  | 64  | 87  |
| <b>100</b>        | 2        | 5  | 10  | 18  | 39  | 63  |

### Exempel på extrema fall

SMHIs definition av skyfall är minst 50 mm på en timme eller minst 1 mm på en minut. Det första utav dessa villkor har bara uppnåtts vid åtta tillfällen under 1995 - 2015, Tabell 8. Under samma period har det förekommit 141 fall på SMHIs stationer då det andra villkoret uppfyllts. Ett skyfall varar sällan i en hel timme utan brukar ha en betydligt kortare varaktighet. Om SMHIs stationer hade rapporterat med tätare intervall hade vi förmodligen registrerat ännu fler skyfall då villkoret minst 1 mm per minut uppfyllts.

Tabell 8. Minst 50 mm på en timme på SMHIs automatstationer under 1995-2015.

| Timvärde | Kvart 1 | Kvart 2 | Kvart 3 | Kvart 4 | Datum      | Klimatnr | Station     |
|----------|---------|---------|---------|---------|------------|----------|-------------|
| 52.4     | 4.2     | 18.9    | 16.8    | 12.5    | 1997-07-02 | 107420   | Gävle       |
| 51.9     | 19.9    | 10.1    | 14.3    | 7.6     | 1999-08-11 | 71190    | Nidingen    |
| 61.5     | 17.7    | 40.2    | 3.2     | 0.4     | 2000-07-05 | 94390    | Daglösen    |
| 53.7     | 17.9    | 11.2    | 14.3    | 10.3    | 2000-07-19 | 96560    | Sala        |
| 60.8     | 6.5     | 16.3    | 17.7    | 20.3    | 2002-07-20 | 106160   | Kerstinbo   |
| 55.7     | 12.8    | 29.9    | 8.8     | 4.2     | 2002-08-01 | 81540    | Nordkoster  |
| 52.5     | 5.3     | 21.5    | 15.8    | 9.9     | 2005-07-29 | 53530    | Hörby       |
| 55.5     | 2.0     | 38.2    | 12.4    | 2.9     | 2010-05-20 | 74300    | Tomtabacken |

### Slutsatser

- Alla områden i Sverige har drabbats av årets största dygnsnederbörd men det har varit vanligare att denna nederbörd drabbat södra Sverige än norra.
- 50-årsregnet med varaktighet 1 dygn är störst vid södra Norrlands kustland.
- Vid sju tillfällen har någon av SMHIs observatörer mätt minst 150 mm på ett dygn under 135 år, sedan 1881. Fyra av dessa sju fall har inträffat de senaste 19 åren.
- Årets största dygnsnederbörd inträffar vanligen någon gång från mitten av juni till mitten av september med en topp kring månadsskiftet juli/augusti.
- Det är vanligast att skyfall (minst 15 mm på 15 minuter) inträffar under juli följt av augusti.
- Ett skyfall kan inträffa under dygnets alla timmar. Det är dock vanligast att skyfallet inträffar under eftermiddagen eller tidig kväll.
- Fler skyfall har drabbat södra Sverige än norra Sverige.
- Mer nederbördsdata behöver digitaliseras så att data enklare kan sammanställas via dator. Från 1800-talet till och med 1968 finns mycket data bara på pappersjournal.

## Referenser

1. Månadsöversikt över väderlek och vattentillgång i Sverige, 1973
2. SMHIs tidning Väder och Vatten juli 1985
3. Vedin H och Eriksson B , 1988. Extrem arealnederbörd i Sverige 1881 – 1988 SMHI Meteorologi Nr 76, 1988
4. SMHIs tidning Väder och Vatten, augusti 1997
5. SMHIs tidning Väder och Vatten, augusti 2001
6. SMHI faktablad nr 13, maj 2003, Regnkatastrofen på Fulufjället 30-31 augusti 1997.
7. SMHIs faktablad nr 4, december 2005, Extrem nederbörd 1900 – 2004
8. Alfredsson C, januari 2012. Översvämningar i Sverige 1901–2010, MSB.
9. Eklund A, november 2015. Vattenflöden orsakade av regn i norra Orrtorp 19 juli 1913, SMHI

# Bilaga 1. Årets största dygnsnederbörd på någon av SMHIs stationer.

| År   | mm    | Datum      | Station           | År          | mm           | Datum             | Station           |
|------|-------|------------|-------------------|-------------|--------------|-------------------|-------------------|
| 1881 | 90.5  | 1881-08-21 | Sundsvall         | 1941        | 106.5        | 1941-06-28        | Säby              |
| 1882 | 104.7 | 1882-07-10 | Sulsta            | 1942        | 87.3         | 1942-06-25        | Grängesberg       |
| 1883 | 108.8 | 1883-07-15 | Oregård           | 1943        | 98.8         | 1943-08-27        | Adolfsfors        |
| 1884 | 96.7  | 1884-09-03 | Örnsköldsvik      | 1944        | 99.0         | 1944-07-22        | Untra             |
| 1885 | 87.1  | 1885-08-30 | Lekvattnet        | 1945        | 141.0        | 1945-08-14        | Växjö             |
| 1886 | 76.4  | 1886-06-29 | Fasterna          | 1946        | 120.9        | 1946-07-15        | Singeshult        |
| 1887 | 52.8  | 1887-07-17 | Väderöbod         | 1947        | 87.0         | 1947-09-10        | Bäverträsk        |
| 1888 | 50.2  | 1888-07-27 | Örträsk           | 1948        | 146.0        | 1948-08-07        | Holmögadd         |
| 1889 | 73.5  | 1889-07-15 | Applerum          | 1949        | 91.0         | 1949-07-19        | Kristianstad      |
| 1890 | 70.3  | 1890-08-01 | Tylö Fyr          | 1950        | 84.0         | 1950-08-03        | Stora Segerstad   |
| 1891 | 110.9 | 1891-07-16 | Hösterum          | 1951        | 106.9        | 1951-08-10        | Kärrgruvan        |
| 1892 | 73.0  | 1892-08-01 | Tännö             | 1952        | 84.4         | 1952-05-05        | Varpnäs           |
| 1893 | 68.8  | 1893-05-24 | Hvalstad          | 1953        | 128.1        | 1953-07-05        | Väsby             |
| 1894 | 75.3  | 1894-07-15 | Kilagården        | 1954        | 103.6        | 1954-07-27        | Junsele           |
| 1895 | 80.7  | 1895-08-07 | Åda               | 1955        | 84.7         | 1955-07-02        | Alingsås          |
| 1896 | 122.8 | 1896-08-16 | Gottenvik         | 1956        | 84.3         | 1956-09-12        | Gördalen          |
| 1897 | 83.1  | 1897-09-20 | Nianfors          | 1957        | 107.0        | 1957-07-24        | Ulvoberg          |
| 1898 | 97.7  | 1898-07-14 | Härnösand         | 1958        | 92.0         | 1958-07-17        | Åsaborg           |
| 1899 | 102.0 | 1899-06-24 | Dombäcks MK       | 1959        | 121.5        | 1959-06-29        | Gunnebo           |
| 1900 | 86.2  | 1900-08-25 | Kållerstad        | 1960        | 122.0        | 1960-08-20        | Fagerheden        |
| 1901 | 96.1  | 1901-07-27 | Häckeberga        | 1961        | 106.5        | 1961-07-21        | Kaitum            |
| 1902 | 109.4 | 1902-08-30 | Adolfsfors        | 1962        | 103.7        | 1962-08-07        | Sjögärde          |
| 1903 | 106.0 | 1903-08-16 | Norsborg          | 1963        | 100.7        | 1963-07-31        | Skånes fagerhult  |
| 1904 | 80.5  | 1904-08-08 | Tomarp            | 1964        | 88.0         | 1964-10-13        | Håvrestrom        |
| 1905 | 92.3  | 1905-07-19 | Ölands östra f.   | 1965        | 106.8        | 1965-09-07        | Knäred            |
| 1906 | 70.5  | 1906-08-04 | Eggegrunds f.     | 1966        | 114.0        | 1966-06-10        | Sankt Olof        |
| 1907 | 89.3  | 1907-07-02 | Visby             | 1967        | 119.2        | 1967-08-07        | Tjåmotis          |
| 1908 | 187.3 | 1908-06-18 | Härnösand         | 1968        | 92.0         | 1968-09-07        | Flakaträsk        |
| 1909 | 121.8 | 1909-12-14 | Riksgränsen       | 1969        | 79.0         | 1969-08-27        | Höglekardalen     |
| 1910 | 91.3  | 1910-07-01 | Bie               | 1970        | 69.5         | 1970-07-20        | Ransaren D        |
| 1911 | 87.5  | 1911-09-08 | Grönsinka         | 1971        | 77.6         | 1971-08-07        | Ulricehamn        |
| 1912 | 109.1 | 1912-08-21 | Bydalen           | 1972        | 121.5        | 1972-07-26        | Mörbylånga        |
| 1913 | 141.0 | 1913-09-02 | Hemse             | 1973        | 179.4        | 1973-07-09        | Söderköping       |
| 1914 | 107.4 | 1914-07-09 | Knäred            | 1974        | 85.2         | 1974-07-10        | Lainio            |
| 1915 | 112.5 | 1915-07-26 | Väddö             | 1975        | 103.0        | 1975-08-16        | Sandhamn          |
| 1916 | 100.0 | 1916-07-06 | Ölands Norra Udde | 1976        | 85.2         | 1976-02-16        | Joesjö            |
| 1917 | 98.0  | 1917-08-15 | Härblingtorp      | 1977        | 126.0        | 1977-08-05        | Ramsele           |
| 1918 | 77.6  | 1918-08-08 | Grönkulla         | 1978        | 92.3         | 1978-08-03        | Dannemora         |
| 1919 | 97.4  | 1919-07-17 | Tranhult          | 1979        | 120.1        | 1979-08-26        | Gävle             |
| 1920 | 108.0 | 1920-07-12 | Juggijaure        | 1980        | 96.6         | 1980-06-18        | Malmö 2           |
| 1921 | 110.0 | 1921-10-04 | Hällnäs           | 1981        | 124.2        | 1981-08-16        | Lövsta            |
| 1922 | 87.5  | 1922-06-19 | Merkenes          | 1982        | 108.8        | 1982-10-09        | Vitemölla         |
| 1923 | 88.0  | 1923-08-19 | Kimramåla         | 1983        | 133.9        | 1983-07-12        | Persberg          |
| 1924 | 81.8  | 1924-08-15 | Öxabäck           | 1984        | 92.5         | 1984-07-21        | Västerås-Hässlö   |
| 1925 | 80.0  | 1925-07-09 | Klockarp          | 1985        | 92.0         | 1985-09-06        | Gördalen          |
| 1926 | 67.2  | 1926-10-26 | Bäckefors         | 1986        | 136.2        | 1986-07-02        | Järpliden         |
| 1927 | 91.0  | 1927-06-28 | Bäckefors         | 1987        | 80.1         | 1987-11-12        | Nianfors          |
| 1928 | 73.7  | 1928-08-22 | St. Segerstad     | 1988        | 97.7         | 1988-09-12        | Höglekardalen     |
| 1929 | 80.8  | 1929-06-18 | Koskats           | 1989        | 133.5        | 1989-07-13        | Lövsta            |
| 1930 | 118.2 | 1930-08-08 | Marö              | 1990        | 85.8         | 1990-07-31        | Almunge           |
| 1931 | 98.3  | 1931-07-08 | Hököpinge         | 1991        | 75.7         | 1991-01-22        | Joesjö            |
| 1932 | 115.5 | 1932-07-16 | Gunnebo           | 1992        | 126.8        | 1992-10-15        | Söderhamn         |
| 1933 | 117.5 | 1933-06-23 | Nybro             | 1993        | 78.4         | 1993-07-25        | Härnösand         |
| 1934 | 104.2 | 1934-10-05 | Kasa              | 1994        | 127.1        | 1994-08-18        | Ronneby-Bredåkra  |
| 1935 | 88.0  | 1935-10-10 | Suorva            | 1995        | 82.2         | 1995-08-26        | Pajala            |
| 1936 | 80.2  | 1936-08-18 | Jonsered          | 1996        | 146.0        | 1996-08-25        | Hallstabergr      |
| 1937 | 158.7 | 1937-07-26 | Båstad            | <b>1997</b> | <b>198.0</b> | <b>1997-07-28</b> | <b>Fagerheden</b> |
| 1938 | 71.2  | 1938-08-31 | Vänersborg        | 1998        | 76.8         | 1998-08-13        | Högboda           |
| 1939 | 128.5 | 1939-07-17 | Väderöbod         | 1999        | 126.2        | 1999-08-15        | Nyhamnsläge       |
| 1940 | 82.7  | 1940-06-30 | Jönköpings Flyg   | 2000        | 111.9        | 2000-09-02        | Ystad             |

*Bilaga 1, fortsättning. Årets största dygnsnederbörd.*

| År   | mm    | Datum      | Station        |
|------|-------|------------|----------------|
| 2001 | 160.0 | 2001-08-27 | Rössjö         |
| 2002 | 104.3 | 2002-01-10 | Katterjåkk     |
| 2003 | 99.0  | 2003-07-02 | Gladhammar A   |
| 2004 | 188.6 | 2004-08-04 | Råda           |
| 2005 | 85.5  | 2005-07-27 | Övre Svartlå D |
| 2006 | 114.3 | 2006-08-02 | Börtrum D      |
| 2007 | 118.5 | 2007-06-26 | Prästkulla     |
| 2008 | 94.2  | 2008-10-01 | Höglekardalen  |
| 2009 | 89.7  | 2009-07-08 | Munktorp D     |
| 2010 | 122.8 | 2010-08-17 | Beddingestrand |
| 2011 | 89.2  | 2011-12-09 | Bredbyn D      |
| 2012 | 163.0 | 2012-07-07 | Hinshult       |
| 2013 | 89.7  | 2013-08-31 | Söderala D     |
| 2014 | 133.7 | 2014-08-19 | Hällum A       |
| 2015 | 96.5  | 2015-09-05 | Hjortkvarn D   |

*Bilaga 2. Årets största 15-min-nederbörd på någon av SMHIs stationer.*

| År   | mm   | Datum      | Klimatnr | Station             |
|------|------|------------|----------|---------------------|
| 1995 | 18.1 | 1995-08-14 | 106160   | Kerstinbo A         |
| 1996 | 17.2 | 1996-08-25 | 96560    | Sala A              |
| 1997 | 29.3 | 1997-07-22 | 180770   | Latnivaara A        |
| 1998 | 26.1 | 1998-07-02 | 63510    | Ljungby A           |
| 1999 | 19.9 | 1999-08-11 | 71190    | Nidingen A          |
| 2000 | 40.2 | 2000-07-05 | 94390    | Daglösen A          |
| 2001 | 27.8 | 2001-07-09 | 63510    | Ljungby A           |
| 2002 | 29.9 | 2002-08-01 | 81540    | Nordkoster A        |
| 2003 | 24.8 | 2003-07-22 | 84050    | Visingsö A          |
| 2004 | 22.4 | 2004-06-11 | 96040    | Floda A             |
| 2005 | 26.0 | 2005-07-01 | 95130    | Örebro A            |
| 2006 | 36.3 | 2006-07-27 | 136090   | Krångede A          |
| 2007 | 15.4 | 2007-09-08 | 74300    | Tomtabacken A       |
| 2008 | 19.7 | 2008-07-19 | 171790   | Lakaträsk A         |
| 2009 | 21.6 | 2009-07-18 | 66110    | Ölands Södra Udde A |
| 2010 | 38.2 | 2010-05-20 | 74300    | Tomtabacken A       |
| 2011 | 26.0 | 2011-08-04 | 135460   | Hallhååsen A        |
| 2012 | 19.3 | 2012-08-22 | 95540    | Kloten A            |
| 2013 | 20.3 | 2013-07-26 | 87140    | Harstena A          |
| 2014 | 23.4 | 2014-07-26 | 74300    | Tomtabacken A       |
| 2015 | 17.6 | 2015-07-25 | 52350    | Malmö A             |

## Bilaga V

### Studier av radar på hög tids- och rumsupplösning

Peter Berg, SMHI

Sveriges yta täcks till stor del in av en samling av främst svenska, men även andra nordiska länders radarer. Sedan början av 2000-talet har SMHI data med en rumsupplösning på 2x2-km<sup>2</sup> och tidsupplösning på 15 minuter. Även om vissa större luckor med saknade data existerar, så utgör detta en unik datasamling på så hög upplösning. Dessvärre påverkas radarerna av olika systematiska fel och brister, vilket är särskilt märkbart vid längre tids-medelvärden, samt för vissa stationer. Ändringar i hårdvara och kalibrering av radarstrålen påverkar också resultaten. Därför är det nödvändigt att först homogenisera de olika mätningarna så att statistiken är jämförbar mellan olika delar av Sverige.

I den här bilagan presenteras först radarnätverket (kallat BRDC), sedan följer en metodbeskrivning för hur radarnätverket homogeniserats genom att koppla det till ett griddat stationsnätverk (PTHBV) för att skapa den slutgiltiga produkten HIPRAD. Sedan följer en utvärdering av HIPRAD först på långtidsmedel och generellt över Sverige, och därefter en mer specifik utvärdering mot stationer på kortare tidssteg och med fokus på skyfall. Hur skyfallen beskrivs av HIPRAD och BRDC även utanför stationstäckningen utforskas i en avslutande del.

## 1. Data

### 1.1 Radarkompositen BRDC

Radardatan utgår från den så kallade BRDC-datan (comp.pcappi-dbz-0.nrd2km-ps14e60n-2000.\*), vilket är en produkt där en komposit av radarer i Norden, Baltikum och norra Tyskland ingår. Korrektionsalgoritmen och domänen är konstant för hela tidsperioden. Däremot skiljer sig radarer åt i tiden vad gäller plats och typ. T.ex. är alla radarer av doppler-typ efter ca 2007, vilket ger markant mindre problem med så kallad clutter. För information om processering, korrekationer samt hur radarkompositen satts samman refererar vi till Norin (2015) och Berg et al. (2015).

Följande förprocesseringssteg (inklusive vissa korrekationer) utförs på radardatan:

- Tillfällen där en enskild radarpixel visar ekon för ett tidssteg, men inte för varken det föregående eller det nästkommande steget antas vara ett felaktigt och sätts till noll.
- Radarekon (z) konverteras till intensiteter (mm/h) med formeln

$$R = \left( \frac{Z}{a} \right)^{\frac{1}{b}} = \left( \frac{10^{\frac{z}{10}}}{a} \right)^{\frac{1}{b}}$$

där a=200 och b=1.6. Detta är standardförfarandet även i SMHIs operationella radarverksamhet.

- Vid tillfällen då enskilda 15-min observationer saknas fylls intervallet genom interpolation av föregående och nästkommande intervall. Längre perioder med saknade data lämnas som NaN i datasettet.
- För att få en mer korrekt bild av nederbörden som fallit under en 15-min period,

beräknas en uppskattning av ackumulationen som ett medelvärde av två intilliggande ögonblicksbilder.

Datan skrivs till NetCDF-filer, där tidsstämpeln i datan anger tiden för det senare intervallet, dvs motsvarande slutet av ett ackumulationsintervall (liksom i MORA). Koordinaterna anger mittpunkten för varje gridpunkt.

## 1.2 HIPRAD

Problem med BRDC-datan är särskilt tydliga vid långtidsackumulationer, där problem med avstånd från radarn, olika kalibreringar för olika radarer, blockeringar av radarstrålen, med mera, blir synliga. En metod för att korrigera sådana problem på ett enkelt och snabbt sätt presenterades av Berg et al. (2015) för en kombination av SMHIs operationella radardata (NORDRAD) och SMHIs griddade stationsmätningar av nederbörd (PTHBV). Här har samma metod använts på BRDC-datan och vissa ändringar har gjorts. Produkten kallar vi HIPRAD (High-resolution Precipitation from gauge-adjusted weather RADar).

Grundtanken är att korrigera radarkompositen så att långtidsmedelvärden är korrekta, men samtidigt så att datans statistik på kortare intervall överensstämmer med motsvarande mätningar. Metoden utgår därför från stationsmätningar i form av den griddade produkten PTHBV som här antas ge en sann bild av nederbörden under en enskild månad (konsekvenser av detta antagande diskuteras senare i rapporten). BRDC anpassas därför till att ha samma månadsmedel för varje enskild månad, genom en skalfaktor.

HIPRAD-metoden består av följande steg:

1. PTHBV-datan, som ursprungligen är på en upplösning av  $4 \times 4 \text{ km}^2$ , mappas om till radarns upplösning och projektion.
2. BRDC-datan ackumuleras över alla tillgängliga data för en given månad. Sedan ackumuleras även PTHBV över samma period, dvs om BRDC-datan saknar vissa dagar, så tas inte de med i PTHBV-ackumuleringen heller. Sedan beräknas en skalfaktor genom kvoten av  $\langle \text{PTHBV} \rangle_{\text{mon}} / \langle \text{BRDC} \rangle_{\text{mon}}$ , som appliceras till varje enskilt 15-min mätning under den aktuella månaden.

Observera att stegen skiljer sig något från metoden som presenterades i Berg et al. (2015). HIPRAD ger ett nytt dataset med långtidsmedelvärden som är identiska med PTHBVs, men med tidsserier i varje gridpunkt enligt radarn. Eftersom BRDC innehåller perioder med saknade data, så är det även fallet för HIPRAD.

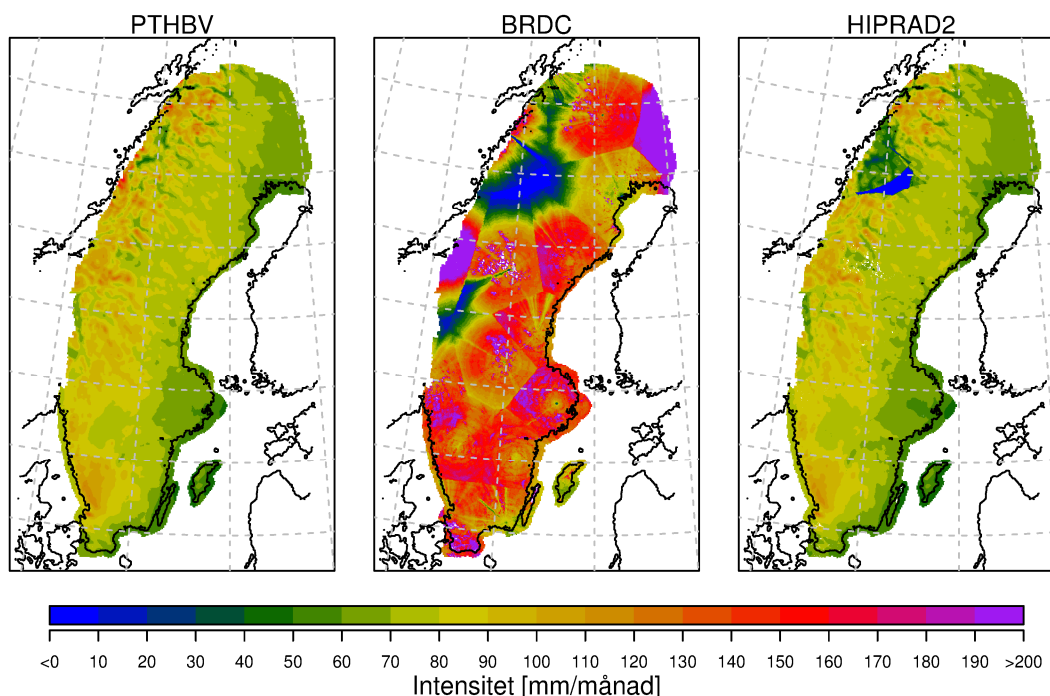
## 2. Utvärdering av HIPRAD2

Utvärderingen presenteras här i två olika segment: Det första redovisar HIPRAD2s kvalitet jämfört med PTHBV på tidsskalor från dygn upp till 15 år. Vi visar här resultat för perioden maj till september (MJJAS), eftersom det är under den perioden skyfall primärt uppstår.

### 2.1 Jämförelser med PTHBV

Långtidsmedelvärdena visar på stora problem i BRDC-datan, med en generell

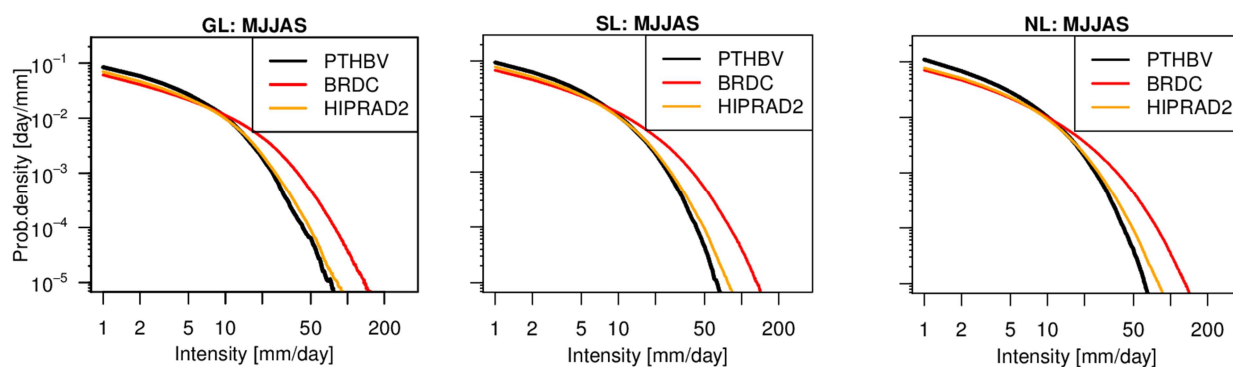
överskattning av nederbörds mängd, samt tydliga skillnader i kalibreringen mellan olika radarer (Figur 1). Även avståndsberoende, samt områden påverkade av blockering av radarstrålen är tydliga. Särskilt kan nämnas ett område i norra fjällen där det inte finns täckning av radarnätverket, vilket syns tydligt även i kartan för HIPRAD2.



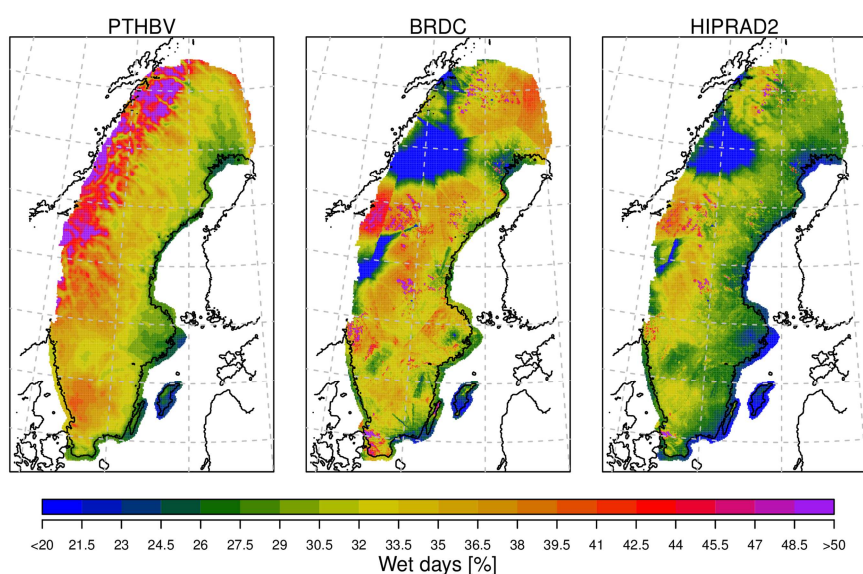
Figur 1: Medelnederbörd för maj till september under 2000-2014.

Dagliga intensiteter för BRDC visar på allt för höga värden jämfört med PTHBV, medan korrektionen av den generellt för höga medelnederbörden gör att HIPRAD2 får en fördelningsfunktion som stämmer mycket väl med PTHBV (Figur 2). Resultaten är konsistenta över hela landet, även om täckningen av radarnätverket är sämre i norra Sverige. Antalet våta dagar, d.v.s. antal dagar med nederbörd över 1 mm/dag, underskattas något av BRDC jämfört med PTHBV (Figur 3). HIPRAD2 visar på en förvärrad situation, med en än större underskattning. Detta är återigen en konsekvens av reduktionen av nederbörds mängderna, vilket förskjuter intensitetsfördelningen mot lägre intensiteter och påverkar antalet våta dagar.

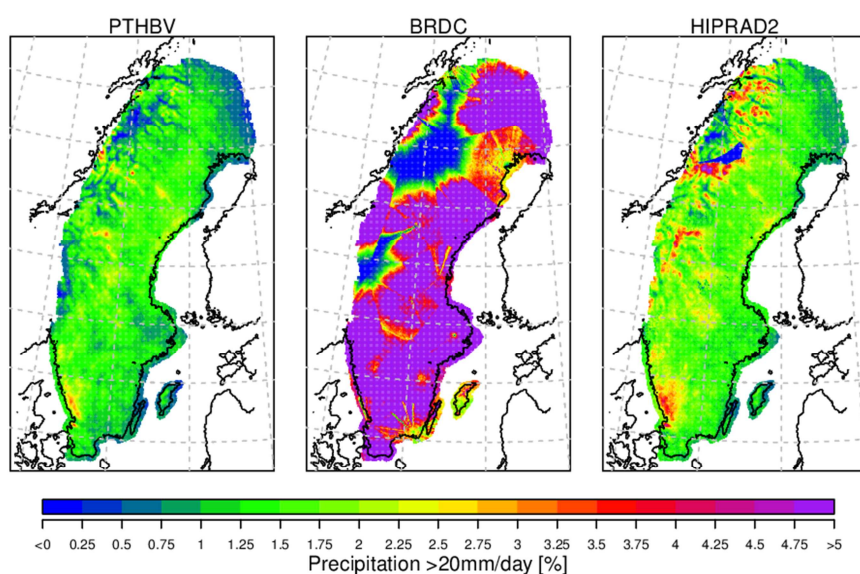
Andelen dagar med mer än 20 mm/dag (mycket kraftig nederbörd) visar på mycket högre värden i BRDC än PTHBV (Figur 4). HIPRAD2 är mycket närmre PTHBV, men visar på generellt lite högre värden. Speciellt har HIPRAD2 högre värden i områden där antalet kraftiga nederbördsdagar redan är högt, som till exempel Halland och delar av fjällkedjan.



Figur 2: Intensitetsfördelning av daglig nederbörd för Sverige indelat i Götaland (GL), Svealand (SL) och Norrland (NL).



Figur 3: Andel våta dagar (>1 mm/dag) för perioden maj till september för 2000-2014.



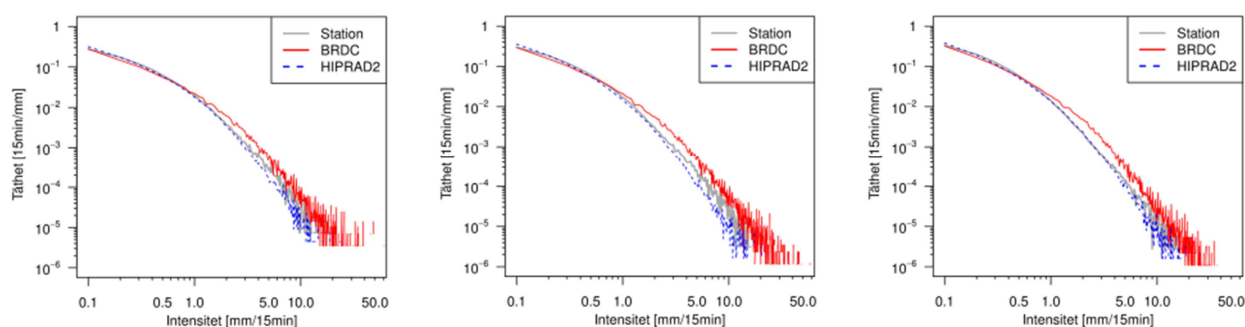
Figur 4: Andel dagar med nederbörd på mer än 20 mm/dag för perioden maj till september för 2000-2014.

## 2.2 Jämförelser med stationsmätningar

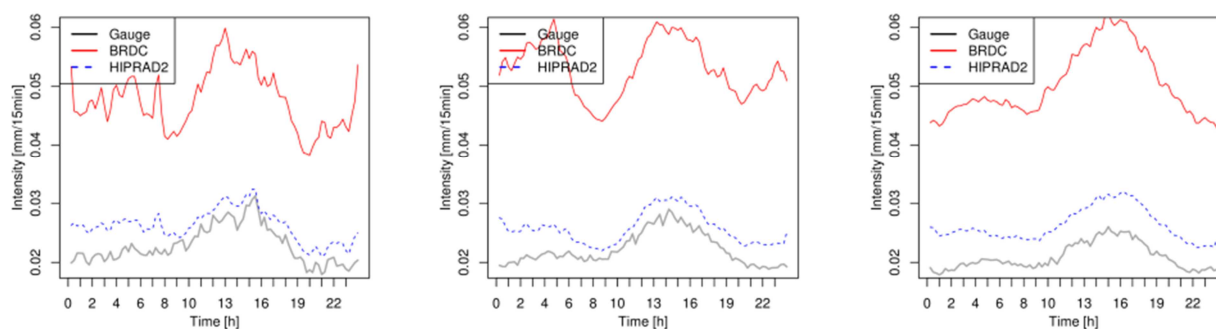
Radarn ger nederbörd i medel över en area, medan en nederbördsstation i stort sett ger ett punktvärde. Jämförelsen är inte triviell (se till exempel Eggert m.fl. (2015) och Haerter m.fl. (2015)), men här utförs den under antagandet att skillnaden är försumbar, förutom att vi kan förvänta oss något lägre intensiteter för radardatan. Ytterligare ett fenomen som måste hållas i åtanke är det som kallas “undercatch”, vilket innebär att en nederbördsstation inte fångar all nederbörd, till exempel på grund av turbulens runt uppsamlingskärlet. Detta förvärras vid stark vind och lätt nederbörd (till exempel snö). PTHBV-metodiken beräknar en klimatologisk korrektion (Alexandersson, 2003) av detta fenomen, vilket gör att PTHBV har högre nederbördsvärden än de ingående stationsobservationerna. Sammanfattat så innebär ovanstående att radardatan (BRDC och HIPRAD) kan förväntas uppmäta något lägre intensiteter på grund av rumsligt medelvärde, samt att HIPRAD kan förväntas ha något högre nederbördsmängder än stationsmätningarna på grund av “undercatch”-korrektionen.

Liksom för den dagliga intensitetsfördelningen (Figur 2), överskattar BRDC intensiteterna även för kortare tidssteg (Figur 5). HIPRAD2 ligger väldigt nära stationsmätningarna, med endast en mindre underskattning för högre intensiteter (enligt förväntningar på grund av rumsupplösningen). Resultaten är konsistenta för hela Sverige.

Dygnscykeln av nederbördsintensiteter visar främst en stor överskattning av medelintensiteten i BRDC (Figur 6). HIPRAD2 visar också en överskattning av medelintensiteten, vilket förklaras av korrektionen mot PTHBV som i sin tur korrigerats för undercatch, se diskussion ovan. Dygnscykeln i sig är väl beskriven vad gäller toppen under eftermiddagen, då mest konvektiv nederbörd faller. För Götaland och Svealand uppvisar BRDC och HIPRAD2 en överskattning av nederbördsintensiteten under natten. Anledningen till denna överskattning är ännu inte utredd.



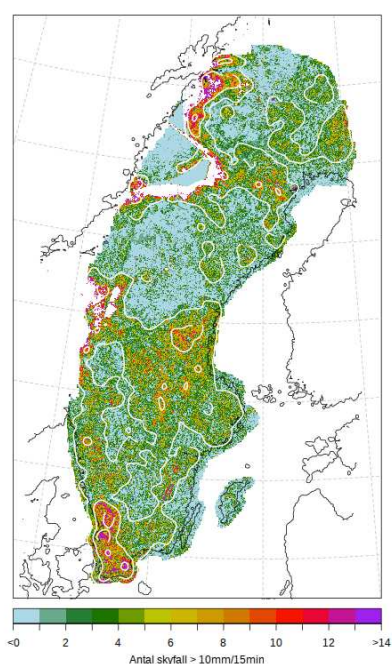
Figur 5: Intensitetsfördelning för automatstationsmätningar samt närmaste gridpunkt till varje station för BRDC och HIPRAD2.



Figur 6: Dygnscykel av nederbördsintensiteter på 15 min upplösning för automatstationerna samt närmaste gridpunkt till varje station för BRDC och HIPRAD2 för Götaland (vänster), Svealand (mitten) och Norrland (höger).

## 2.3 Extremvärdesstatistik

För att undersöka eventuella regionala mönster i var de mest extrema nederbördstillfällena uppstår plottades det absoluta maximum för varje gridpunkt för både BRDC och HIPRAD. Varken 15-minutersmaxima eller entimmesmaxima visar på något uppenbart geografiskt mönster och inte heller någon tydlig struktur i tiden. Slutsatsen är att de mest extrema tillfällena är slumpmässiga och kan uppstå var som helst i landet. Det kan tilläggas att BRDC visar visst rumsligt mönster, men det är starkt knutet till enskilda radarer och visar därför snarare på problem med kalibreringen. Trots avsaknaden av geografiskt mönster i intensiteten av skyfall, så finns ett mönster i frekvensen av skyfall. Figur 7 visar antalet skyfall med en intensitet över 10 mm/15 min. Två tydliga regioner med förhöjt antal skyfall främst i Skåne/Halland, men även omkring östra Dalarna/Gästrikland/Helsingland, längs västkusten, samt nära Norrlands kustlinje. HIPRAD2 visar även på förhöjd skyfallsfrekvens i fjällen, men de resultaten bör tas med en nypa salt eftersom de är nära regioner med dålig radartäckning samt tveksam kvalitet på radarekona.



Figur 7: Antal skyfall med intensitet över 10 mm/15min under perioden maj till september 2000-2014 enligt HIPRAD2. Konturerna visar antalet enligt en utjämnad version av kartan, med konturer för 3, 6 och 9 skyfall.

SMHIs nätverk av automatiska nederbördsräknare med 15 min upplösning har en ungefärlig täckning på en station per  $50 \times 50 \text{ km}^2$ . Vi beräknar två olika typer av tidsserier från radarn till varje enskild station:  $I_{NGP}$  den närmaste gridpunkten till stationen och  $I_{MAX}$  en tidsserie där varje tidssteg antar värdet av den maximala uppmätta nederbördsintensiteten i ett kvadratisk område av  $50 \times 50 \text{ km}^2$  centrerat på stationen.

Vi studerar nu de mest extrema skyfallen från SMHIs automatstationer i mer detalj tillsammans med de två ovan introducerade tidsserierna från radardatan. Tabell 1 och Tabell 2 visar de tio högsta noteringarna för en 15 min-period, respektive en 60 min-period, uppmätt i SMHIs automatstationsnät. Tillsammans med stationsdatan presenteras mätningen från BRDC, samt HIPRAD för gridpunkten närmast stationen, samt en variant av  $I_{MAX}$ , kallad  $I_{MAX}^*$  där vi även tar höjd för en osäkerhet i tiden genom att söka efter det maximala värdet i  $50 \times 50 \text{ km}^2$ -området för tiden  $t \pm 15 \text{ min}$ , det vill säga över tre tidssteg.

Vid flera tillfällen visar BRDC på mindre, eller mycket låga, nederbördsintensiteter för tillfällena med höga intensiteter i stationsmätningarna. Det kan ha flera orsaker, till exempel fel i radarmätningen, förskjutning i rummet (felmarginer i positionering från radarn, advektion under de sista hundratalen meterna till marken), eller exakt när regnet föll (radaruppskattningen består av ett medelvärde av två ögonblicksbilder).  $I_{MAX}^*$  visar att radarn oftast fångar ett intensivt regn i närheten av stationsobservationen. BRDC visar konsekvent högre värden än HIPRAD2, vilket är på grund av korrektionsmetoden som använts för den senare. Dessutom, eftersom stationsmätningarna är det maximala värdet som kan komma in i PTHBVs griddningsprocedur, så kommer HIPRAD2 alltid att underskatta intensiteter runt om stationspunkterna, vilket bör hållas i åtanke. Däremot håller HIPRAD2 en jämnare kvalitet jämfört med BRDC som kan ha väldigt extrema värden för vissa gridpunkter.

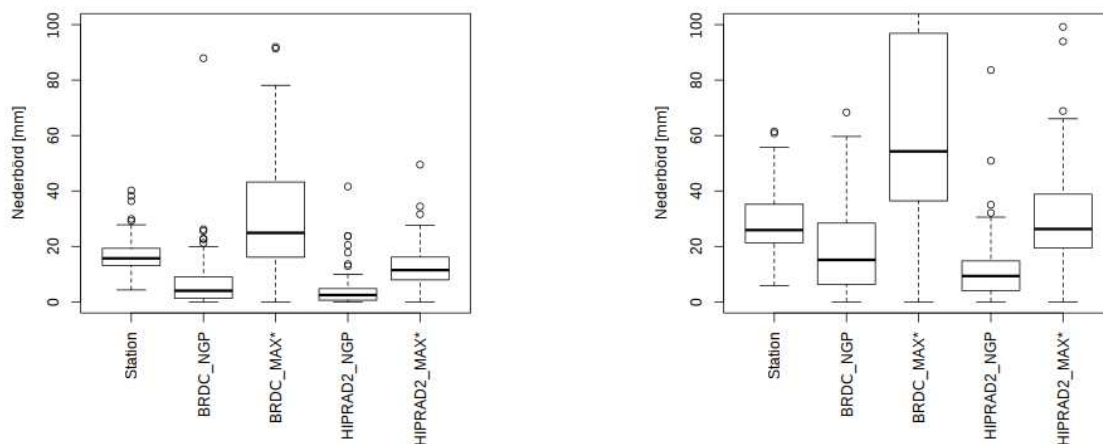
| Tidpunkt       | Station no. | I <sub>station</sub> | I <sub>NGR, BRDC</sub> | I <sub>MAX*, BRDC</sub> | I <sub>NGR, HIPRAD2</sub> | I <sub>MAX*, HIPRAD2</sub> |
|----------------|-------------|----------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 20000705 13:15 | 9439        | 40.2                 | 17.9                   | 36.2                    | 12.9                      | 24.0                       |
| 20100520 16:45 | 7430        | 38.2                 | 105.6                  | 105.6                   | 23.7                      | 23.7                       |
| 20060727 17:15 | 13609       | 36.3                 | 15.3                   | 22.8                    | 5.7                       | 9.1                        |
| 20000804 14:45 | 13609       | 31.7                 | 0.1                    | 11.4                    | 0.1                       | 6.1                        |
| 20020801 22:00 | 8154        | 29.9                 | 22.6                   | 75.6                    | 13.6                      | 18.9                       |
| 20100713 15:00 | 12403       | 29.2                 | 2.1                    | 60.7                    | 0.9                       | 18.6                       |
| 20010709 11:45 | 6351        | 27.8                 | 8.9                    | 50.2                    | 4.0                       | 20.6                       |
| 20110804 15:15 | 13546       | 26.0                 | 2.2                    | 23.7                    | 1.7                       | 34.4                       |
| 20050701 15:45 | 9513        | 26.0                 | 1.6                    | 30.0                    | 0.6                       | 8.1                        |
| 20030722 17:00 | 8405        | 24.8                 | -                      | -                       | -                         | -                          |

Tabell 1: Tio högsta uppmätta nederbördshändelser (mm/15min) under 15 min från automatstationerna under maj till september 2000-2014, samt motsvarande värde från BRDC och HIPRAD2 för närmaste gridpunkt och maxvärde inom 50x50 km<sup>2</sup> och +/- 15 min från observationen.

| Tidpunkt       | Station no. | I <sub>station</sub> | I <sub>NGR, BRDC</sub> | I <sub>MAX*, BRDC</sub> | I <sub>NGR, HIPRAD2</sub> | I <sub>MAX*, HIPRAD2</sub> |
|----------------|-------------|----------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 20000705 13:00 | 9439        | 61.5                 | 42.4                   | 99.6                    | 30.6                      | 66.1                       |
| 20020720 17:00 | 10616       | 60.8                 | 0.1                    | 58.3                    | 0.1                       | 23.0                       |
| 20020720 17:15 | 10616       | 59.3                 | 0.4                    | 58.3                    | 0.4                       | 32.3                       |
| 20020801 21:45 | 8154        | 55.7                 | 48.1                   | 169.0                   | 29.0                      | 43.0                       |
| 20100520 16:30 | 7430        | 55.5                 | 226.7                  | 226.7                   | 50.9                      | 50.9                       |
| 20100520 16:45 | 7430        | 54.0                 | 138.7                  | 226.7                   | 31.1                      | 50.9                       |
| 20000719 13:45 | 9656        | 53.7                 | 50.5                   | 102.9                   | 22.1                      | 41.7                       |
| 20100520 16:15 | 7430        | 52.6                 | 223.6                  | 226.7                   | 50.2                      | 50.9                       |
| 20050729 14:45 | 5353        | 52.5                 | 0.0                    | 5.6                     | 0.0                       | 2.6                        |
| 20050729 15:00 | 5353        | 52.4                 | 0.0                    | 4.9                     | 0.0                       | 2.3                        |

Tabell2: Tio högsta uppmätta nederbördshändelser (mm/h) under 60 min från automatstationerna under maj till september 2000-2014, samt motsvarande värde från BRDC och HIPRAD2 för närmaste gridpunkt och maxvärde inom 50x50 km<sup>2</sup> och +/- 15 min från observationen. Observera att vissa rekord upprepas för en del stationer då nederbörden föll under en längre period än 60 min och det löpande medelvärdet därför kan registrera flera höga

Vi studerar även varje enskild automatstations högsta uppmätta värde och jämför på samma sätt för radarprodukterna (Figur 8). Ett tydligt mönster framträder, med en underskattning av de uppmätta intensiteterna för den närmsta gridpunkten, men en ganska väl fångad högsta intensitet när ett större område samt närliggande tidssteg beaktas. I<sub>MAX\*, BRDC</sub> visar ofta väldigt höga värden, medan I<sub>MAX\*, HIPRAD2</sub> ligger generellt nära stationsobservationerna.



Figur 8: Boxplottar av alla automatstationers maximalt uppmätta nederbördshändelser under 15min (vänster) och 60min (höger). Plottarna visar från vänster till höger: Stationsvärdet,  $I_{NGP}$ , BRDC,  $I_{MAX*}$ , BRDC,  $I_{NGP}$ , HIPRAD2 och  $I_{MAX*}$ , HIPRAD2.

### 3. Tracking av regnceller

Vi undersöker om “iterative raincell tracking”-metoden (IRT) från Moseley et al. (2014) kan appliceras på BRDC- och HIPRAD2-data. IRT är utförligt beskriven i Moseley et al. (2014) och består av följande huvudsakliga steg:

1. För varje tidssteg identifieras rumsligt sammanhängande områden med nederbörd över ett satt tröskelvärde (till exempel 0,5 mm/h.
2. Sök efter överlappande områden mellan två tidssteg och skapa länkar mellan dem. Detta utgör starten för ett “track”.
3. Utifrån identifierade tracks beräknas från förflyttningen av nederbördsområdenas masscentrum (baserat på intensiteter) ett advektionsfält på en grövre rums- och tidsskala.
4. Beräkna nya överlappande områden genom att advektera varje enskilt område enligt advektionsfältet i steg 3.
5. Steg 3 och 4 itereras tills en stabil lösning uppnås, det vill säga när inga fler tracks identifieras och advektionsfältet har stabiliserats.

Det visade sig att IRT-metoden är känslig för brus i BRDC och HIPRAD2, vilket är större än för den tyska radardatan som metoden utvecklades för. HIPRAD2 är betydligt jämnare i kvalitén över både tid och rum och har därför studerats närmare. BRDCs ojämna värden, men till exempel blockerade radarstrålar och många outliers gör trackingen komplicerad. Ytterligare problem uppstår på grund av de svenska datans grövre upplösning i rummet och tiden ( $2 \times 2 \text{ km}^2$  och 15 min jämfört med  $1 \times 1 \text{ km}^2$  och 5 min), samt av den avlånga domänen med huvudcirkulationen i västlig riktning, vilket ger stort inflytande av saknade data längs Sveriges gränser och dessa kan inte följas på meningsfullt vis.

Den nuvarande studien rekommenderar fortsatta studier om tracking av radardata att

fokusera på följande områden:

- Sammanfogning av HIPRAD2 med BRDC utanför PTHBV's definierade region, med en jämn övergång. Detta underlättar för trackingen eftersom den är beroende av definierade data över ett större område.
- Undersök olika metoder för att filtrera bort brus i HIPRAD2, till exempel genom ett rumsligt medelvärdesfilter som "jämna ut" datan.
- Undersök tidsupplösningens påverkan genom att applicera trackingmetoden på 5 min radardata, vilket finns tillgängligt för de senaste åren.

### 3.1 Inverkan av rumslig upplösning

A simple rain cell tracking method (Moseley et al., 2013) is available to identify the rain cell's formation and dissipation. The method is developed at a fine resolution (5 min and 1 km) data set of radar-derived rainfall intensity.

In the Skyfall project (section 4.3), a PTHBV-corrected radar data is prepared (15 min and 2km) over the whole Sweden. The time series starts from 2000 to 2014. As there is no other data set at such fine scale that we interpolated the PTHBV corrected radar data from fine resolution (2 km) to coarse resolution (12 km) with consideration of mass conservation. The aim is to investigate the impact of spatial resolution and also evaluate the applicability of cloudburst tracking to coarse resolution (i.e., 12 km).

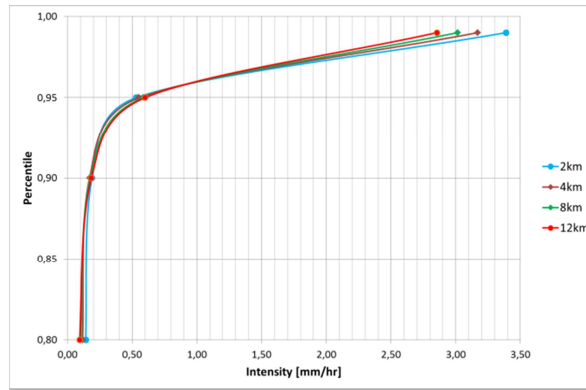
**Table 1:** Set-up of various resolutions

| Data             | Temporal Resolution | Spatial Resolution | Coarsing - x              | Coarsing - y              |
|------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------|
| PTHBV-BRDC       | 15 min              | 2 X 2 km           | $600/6 = 100$<br>(200km)  | $846/9 = 94$<br>(188km)   |
| PTHBV-BRDC       | 15 min              | 12 X 12 km         | $102/6 = 17$<br>(204 km)  | $144/9 = 16$<br>(192 km)  |
| Climate scenario | 7.5 min             | 12 X 12 km         | $130/10 = 13$<br>(156 km) | $182/14 = 13$<br>(156 km) |

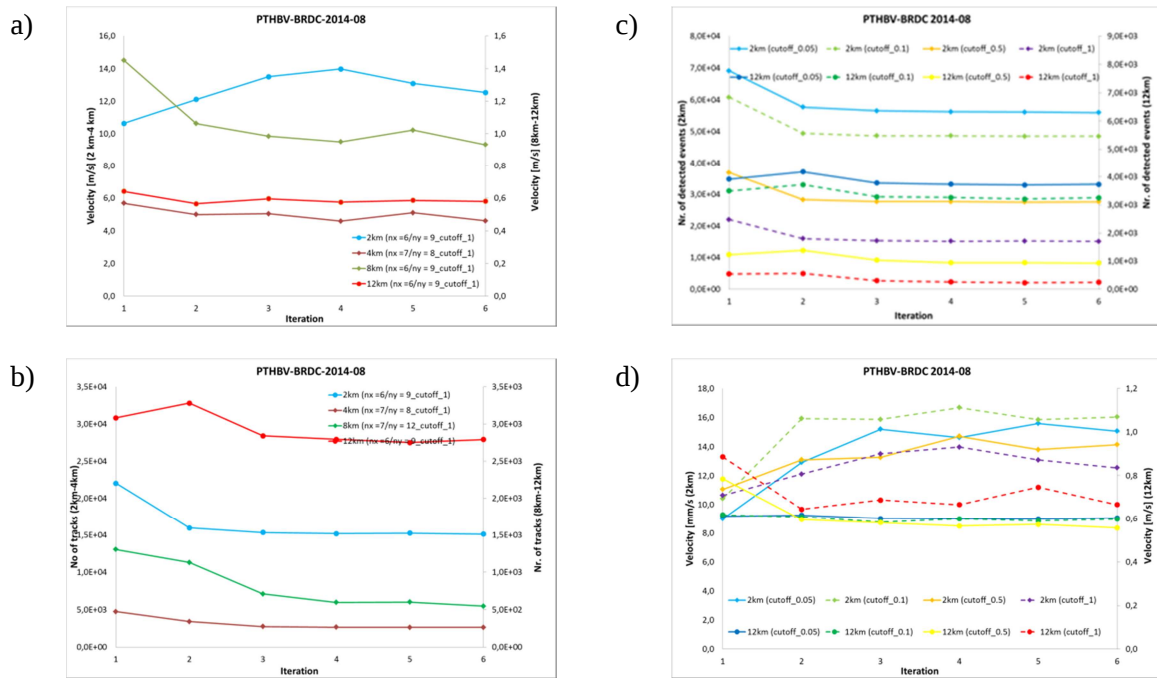
Coarse resolution (i.e., 12 km) smoothen out the extreme values, the reduction is about 20 % in terms of averaged 99<sup>th</sup> percentile value. The threshold value of 0.1 mm/hour appears to be appropriate to capture the majority of extreme events for both fine and coarse resolution data sets.

Weather conditions in August, 2014 is used as an example to demonstrate the impact of model resolution on events detection. The number of detected cloudburst track and rainfall moving velocity are compared amongst various spatial resolutions from 2 km to 12 km and also amongst different cut-off values. As expected, the coarser the resolution the fewer the detected cloudburst track and rainfall moving velocity are, which is due to the smoothing effect. The large scale rainfall moving velocity is mainly dependent on the spatial resolution, but not the cut-off value; whereas the detected events largely depend on the cut-off value.

**Figure 1:** Statistics of extreme values for the PTHBV corrected radar data interpolated from 2 km to 12 km resolution

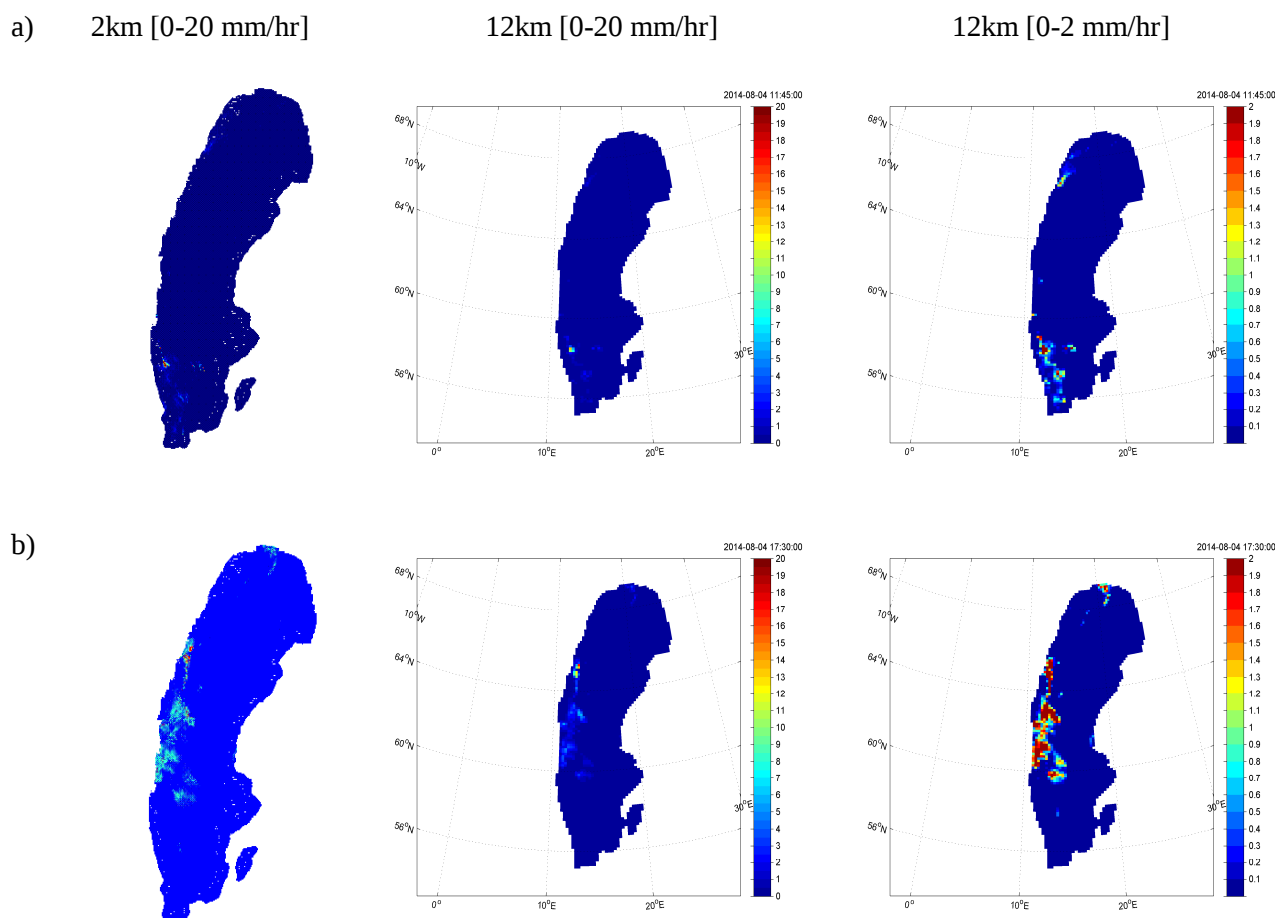


**Figure 2:** Detected events and rain flow velocity for different resolution



Rainfall events on the 4<sup>th</sup> Aug, 2014 are detected by both data sets at fine and coarse resolution. The event originated from south most Sweden and then move along the mountain range towards northeast. The interpolated data at 12 km is capable to capture the pattern in space, though the magnitude is largely reduced.

**Figure 3:** Two of the largest rainfall events detected for the PTHBV corrected radar data at a) 2014-08-04-11:45 and b) 2014-08-04-17:30



### 3.2 Inverkan av klimatförändring

A number of high-resolution RCM model runs in Euro-CORDEX project (7.5 min temporal resolution + 12 km resolution) cover the Scandinavian area (Nordic Europe). They represent climate change projections using the latest regional climate model (i.e., RCA4) and the finest spatial resolution (i.e., 12 km) and temporal resolution (i.e., 7.5 min) for simulation.

In the light of climate change impact studies, three time slots are chosen to represent near future (2010-2039), middle future (2040-2069) and distant future (2070-2099). The statistics calculated for future climate are in comparison with those during the reference period (1976-2005). CNRM-CM5 is chosen to present the impact from rcp4.5 and rcp 8.5 scenarios.

The 7.5- min model outputs are compiled to be at 15 minutes resolution, in comparison with 7.5 minutes resolution (see Table 3).

With 7.5 minutes resolution, the detected events under future climate get largely increased in comparison with historical period from 1976-2005. It is probably due to wetter and warmer climate conditions projected by climate models for the future. With 15 minutes resolution, the increase from historical period up to the end of century is noticeable, but isn't as strong as that with 7.5 minutes resolution. Compared to 7.5 minutes resolution, the detected tracks are largely decreased by 15 minutes resolution.

|        |           | 7.5 min + 12 km    |               | 15 min + 12 km     |               |
|--------|-----------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|
|        |           | Nr. Tracks         | Flow velocity | Nr. Tracks         | Flow velocity |
| hist   | 1976-2005 | $1.46 \times 10^6$ | 0.527         | $3.34 \times 10^6$ | 0.665         |
| Rcp4.5 | 2010-2039 | $1.13 \times 10^7$ | 0.510         | $3.48 \times 10^6$ | 0.674         |
|        | 2040-2069 | $1.14 \times 10^7$ | 0.507         | $3.68 \times 10^6$ | 0.687         |
|        | 2070-2099 | $1.19 \times 10^7$ | 0.504         | $3.83 \times 10^6$ | 0.694         |
| Rcp8.5 | 2010-2039 | $1.12 \times 10^7$ | 0.507         | $3.34 \times 10^6$ | 0.666         |
|        | 2040-2069 | $1.17 \times 10^7$ | 0.507         | $3.47 \times 10^6$ | 0.695         |
|        | 2070-2099 | $1.19 \times 10^7$ | 0.517         | $4.04 \times 10^6$ | 0.712         |

**Table 2:** Area statistics calculated from climate projection CNRM-CM5 using 0.1 mm/hr as a cut-off value

### 3.3 Framtida arbete

Firstly, deep understanding of detected cloudburst tracking in terms of rain cell development as well as sensitivity testing of model parameters is needed. The aim is to ensure the tracking methodology capture the extreme event and its full rain life cycle. Moreover, a kind of bias correction may be needed in order to get reasonable distribution of rainfall in order to conduct reasonable track detection. Climate model run at high resolution (2km) is expected to investigate the evolution of cloudburst event at local scale. Last, a full application consists of more climate change scenarios can be applied in order to get a general overview of climate change impact.

### Referenser

Alexandersson, H. "Korrektion av nederbörd enligt enkel klimatologisk metodik", SMHI, 2003

Berg, P. et al. "Creation of a high resolution precipitation data set by merging gridded gauge data and radar observations for Sweden", accepted for publication in Journal of Hydrology.

Eggert, B., et al. "Temporal and spatial scaling impacts on extreme precipitation." *Atmospheric Chemistry and Physics* 15.10 (2015): 5957-5971.

Haerter, Jan O., et al. "Statistical precipitation bias correction of gridded model data using point measurements." *Geophysical Research Letters* 42.6 (2015): 1919-1929.

Moseley, et al., 2013. "Probing the precipitation life cycle by iterative rain cell tracking." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118.24 (2013): 13-361.

Norin, L. "A quantitative analysis of the impact of wind turbines on operational Doppler weather radar data." *Atmospheric Measurement Techniques* 8.2 (2015): 593-609.

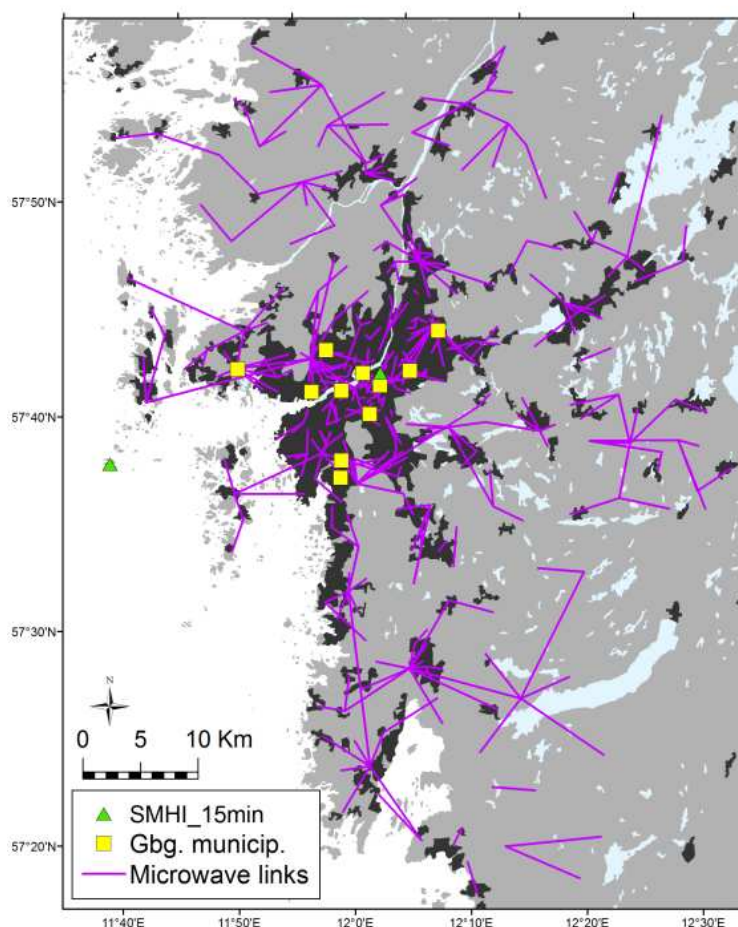
## Bilaga VI

### Regnmätning med mobiltelefonnät

Jafet Andersson

#### Regnmätning med mobiltelefonnät

Data från 364 mikrovågslänkar i båda riktningarna (dvs 728 tidsserier) samlades in med 10-sekunders upplösning från och med 2015-05-13 och framåt (testen är inte avslutat ännu). Analyserna här bygger dock endast på data från juli 2015. Kartan nedan visar länkarnas utbredning i Göteborgsområdet samt de nederbördsstationer som användes för att utvärdera mikrovågslänkarna. Stationerna är dels SMHI:s 15-minuters nederbördsstationer i centrala Göteborg, samt 11 stationer från Göteborgs kommun (varav 9 med 1-minuts upplösning och med minst en länk inom 500 meters avstånd). Utöver det användes även SMHI:s operationella NORDRAD väderradarprodukt med 4km<sup>2</sup> och 15-min upplösning.



**Figur 30.** Karta över mikrovågslänkar som användes samt SMHI:s och Göteborgs kommuns högupplösta nederbördsstationer i området.

Olika algoritmer applicerades för att beräkna nederbörden utifrån signalstyrkan. Olika jämförelser gjordes sedan mellan stationerna, länkar och radarn. Exemplet som visas i Figur 4.4a jämför regnintensiteter för Torslanda station (mm/h omräknat från 1-minuts ackumulation) med intensiteter var 15:e minut från radarn (omräknade från radarekon med NORDRADs algoritm, vilken även inkluderar korrigering mot SMHI:s nederbördsstationer), samt beräknade intensiteter vid en av länkarna i närheten. Notera att Göteborgs kommuns 1-minuters mätare inte finns tillgängliga för SMHI i operationellt hänseende i dagsläget, vilket betyder att de kan användas som oberoende valideringsstationer. Troliga orsaker till att radarn inte gav något utslag i detta fallet är att radarn endast gör ögonblicksmätningar var 15:e minut, eller att radarn placerat regnet på en

annan plats. Med länkdata skulle sådana situationer kunna begränsas i och med att mer information finns tillgänglig som kan indikera potentiell risk för skyfall. Det behövs dock mer analys av olika länkar under en längre tidsperiod och för ett större område, samt ytterligare metodutveckling för att till fullo kunna utnyttja informationen på bästa sätt för att observera skyfall.

Figur 4.4b jämför den högsta uppskattade intensiteten för perioden 1-31 Juli 2015. Vi jämför här nio stationer från Göteborgs kommun med de nio närmaste radarpixlarna samt alla 62 länkar som ligger inom 500m radie från stationerna. En del av förklaringen till skillnaderna är att radarn mäter på en grövre rumsupplösning än länkarna och att länkarna i sin tur mäter på en grövre rumsupplösning än stationerna. Det är dock oklart hur stor denna skaleffekt är av det totala resultatet. Kartorna i Figur 4.4c och d bygger på NORDRAD samt griddning och rumslig interpolation av länkarnas intensitetsvärden till  $0.25\text{km}^2 \times 1\text{-min}$  upplösning.

Nyckeln till att kunna använda denna datan framöver är att hitta en ekonomisk modell för att finansiera insamlandet och behandlandet av datan operationellt. Med en fungerande modell finns stor potential att utöka informationsinhämtningen till andra delar av Sverige, men även utomlands. I förlängningen kan detta användas för att konstruera bättre realtidskartor baserat på en fusion av radar, länkar och stationer. Detta kan i sin tur användas som initialisering i hydrologiska modeller (både nationella modeller och specifika modeller över särskilt utsatta dräneringssystem i städerna) samt till att utvärdera olika förbättringsförslag i meteorologiska prognosmodeller.

## Bilaga VII

# Inledande försök med beräkning av PMP för svenska förhållanden

Magnus Asp 2016-01-20

## 1 Inledning

PMP står för Probable Maximum Precipitation och definieras som den teoretiskt maximala nederbörden för en viss varaktighet utan hänsyn taget till långsiktiga klimattrender (WMO, 2009). Syftet med att uppskatta ett värde på PMP är normalt att kunna beräkna det teoretiskt maximala vattenflödet PMF (Probable Maximum Flood) som används vid dimensionering och design av hydrauliska strukturer såsom dammar i en del länder. Beräkningar av PMP och PMF är approximationer då de bakomliggande fenomenen är fysikaliskt komplexa och det finns begränsningar i både tillgänglig data och i teoretiska beskrivningar.

## 2 Tillgängliga metoder

Enligt WMO:s manual för beräkning av PMP (WMO, 2009) finns det för närvarande sex använda metoder för beräkning av PMP (Dyrddal, 2012):

### a) Lokala metoden

Den observerade maximala stormen används för att uppskatta PMP

### b) Omflyttningsmetoden

En extraordinär storm flyttas teoretiskt till aktuellt område och stormens egenskaper anpassas efter lokal topografi och geografi. Används där kraftiga stormar är ovanliga.

### c) Kombinationsmetoden

Två eller flera stormar i området kombineras för att producera en sekvens av artificiella stormar med lång varaktighet. Denna metod kan användas i stora avrinningsområden och kräver meteorologisk expertis.

### d) Inferentiala metoden

En förenklad fysikalisk ekvation som beskriver ett regnmolns tredimensionella struktur skapas. Denna metod kräver meteorologisk observationsdata från högre nivåer i atmosfären.

### e) Generaliserade metoden

Observerad nederbörd delas upp i orografisk nederbörd och nederbörd från passerande vädersystem. Metoden används för att uppskatta PMP i en stor meteorologiskt homogen region. Metoden är tidskrävande och dyr och kräver stora mängder långtidsregnmätningar i området.

### f) Statistiska metoden

Denna metod använder data från ett stort antal regnmätare i området. Hydrologisk frekvensanalys tillämpas i kombination med den generaliserade metoden fast för ett område som bör vara mindre än 1000 km<sup>2</sup>.

De fyra första metoderna kallas för direkta metoder medan de två sista grupperas som stormområdesmetoder. För mycket stora avrinningsområden finns ytterligare två metoder som kan tillämpas.

Noggrannheten i resultatet av PMP beror på kvalitet och kvantitet av data samt på beräkningarna i sig. Det finns för närvarande inga metoder för att kvantitativt bestämma tillförlitligheten i resultaten. Istället är det viktigt att analysera och jämföra resultat genom konsistens- och rimlighetskontroller.

I Sverige dimensioneras högriskdammar med hjälp av en metod som istället för PMP/PMF är baserad på extrem areell nederbörd i kombination med kraftig snösmältning (Svensk Energi, Svenska kraftnät och SveMin, 2015).

### **3 Beräkning av PMP i andra länder**

#### **3.1 Norge**

Vid beräkning av PMP i Norge används en förenklad statistisk metod utvecklad vid National Environment Research Council (NERC) i Storbritannien (Førland, 1992; NERC, 1975). I metoden som utgått från stora mängder data från Skottland och Nordirland antas att PMP i en viss punkt kan uttryckas som en funktion av nederbörds mängden med 5 års återkomsttid för den aktuella punkten. Metoden utgår från dygnsnederbörd men skaleringsfaktorer används för att ta fram PMP för andra varaktigheter. PMP för areell nederbörd beräknas genom användning av en arealreduktionsfaktor på punktvärdet. Dyrddal m. fl. (2014) har dock förslagit en förändring av denna metodik och övergång till griddad nederbördsdata.

#### **3.2 Australien**

I Australien används en version av den generaliserade metoden kallad Generalised Short-Duration Method, GSDM (Hydrometeorological Advisory Service, 2003). Den används på avrinningsområden upp till 1000 km<sup>2</sup> och varaktigheter upp till 6 timmar. Då nätet av regnmätare är glest i Australien har data från Australien kompletterats med data från USA.

PMP beräknas på tillgänglig nederbördsdata för kraftiga regnväder genom att bland annat teoretiskt maximera fuktighetsinnehållet i atmosfären på aktuell plats. Dessa resultat används sedan generellt för önskat område i landet genom att multiplicera med faktorer för terräng, marknivå och fuktighet.

### **4 Test av Lokala metoden**

De flesta av metoderna för att beräkna PMP som tas upp i WMO (2009) bör gå att använda för svenska förhållanden men flera metoder är antingen mycket tidskrävande eller kräver tillgång till stora datamängder. Vid val av metod spelar alltså datatillgång och tillgänglig tid och kompetens för att utföra arbetet stor roll.

Av de föreslagna metoderna är den lokala metoden den som är enklast att använda under förutsättning att en tillräckligt lång serie av nederbörds- och daggpunktstemperaturdata finns tillgänglig inklusive data för ett kraftfullt regnväder. Då Sverige har data av daggpunktstemperatur och nederbörd för ett stort antal automatstationer som togs i drift 1995/1996 har denna metod kunna testas. Det har gjorts för två fall med punktnederbörd, ett fall då data för ett högeffektivt regnväder funnits och ett något mindre nederbördseffektivt fall.

#### **4.1 Metodik**

Den lokala metoden beskrivs i avsnitt 7.3 i WMO (2009) och det är denna beskrivning som ligger till grund för utförda beräkningar. Metoden kräver en relativt lång serie av nederbördsdata och även data av fuktighet i form av daggpunktstemperaturen. Utgångspunkten är sedan ett utvalt signifikant regnväder som det finns data för och som ska representera en effektiv dynamisk mekanism. I

Sverige har vi haft automatstationer i drift i 20 år och dessa mäter nederbördsmängd med 15 minuters upplösning och daggpunktstemperatur med 1-timmesupplösning.

Metoden går ut på att det utvalda regnvädrät (modellregnet) ska maximeras med avseende på både tillgänglig fuktighet och dynamik. Detta görs med hjälp av förstärkningsfaktorer som multipliceras med modellregnets maximala nederbördsmängd för efterfrågad varaktighet.

#### 4.1.1 Förstärkningsfaktor för fuktighet

För att maximera den tillgängliga fuktigheten används en förstärkningsfaktor för fuktighet  $K_w$ .

$$K_w = \frac{W_{100}}{W_m} \quad (1)$$

där  $W_{100}$  är 100-årsvärdet av utfällningsbart vatten (mm) i samband med kraftiga regnväder och  $W_m$  är utfällningsbart vatten (mm) vid tillfället för modellregnet.

$W_m$  kan erhållas från tabeller i Annex 1 i WMO (2009) då daggpunktstemperaturen precis innan modellregnet startade är känd.

$W_{100}$  fås genom att först beräkna 100-årsvärdet av daggpunktstemperaturen i samband med varje års högsta nederbördsmängd och därefter utläsa mängden utfällningsbart vatten vid denna daggpunktstemperatur.

#### 4.1.2 Förstärkningsfaktor för nederbördseffektivitet

Som dynamisk faktor kan nederbördseffektiviteten användas. Denna kan approximativt beräknas genom:

$$\eta = \frac{I}{W} \quad (2)$$

där  $\eta$  är nederbördseffektiviteten (%/h),

$I$  är nederbördsintensiteten (mm/h)

och  $W$  är utfällningsbart vatten (mm).

Förstärkningsfaktorn för nederbördseffektivitet,  $K_\eta$  erhålls genom

$$K_\eta = \frac{\eta_{100}}{\eta_m} \quad (3)$$

där  $\eta_{100}$  är 100-årsvärdet av nederbördseffektiviteten (%/h) i samband med kraftiga regnväder och  $\eta_m$  är nederbördseffektiviteten (%/h) vid tillfället för modellregnet.

$\eta_m$  erhålls genom insättning av  $W_m$  i (2). Som  $I$  används modellregnets maximala nederbördsintensitet för efterfrågad varaktighet.

$\eta_{100}$  fås genom att först beräkna  $\eta$  (genom att ta fram  $I$  och  $W$ ) vid varje års högsta nederbördsmängd och därefter beräkna 100-årsvärdet av  $\eta$ .

## 4.2 Resultat

### 4.2.1 Daglösenregnet

Under den 20-årsperiod som SMHI har haft automatstationer i drift uppmättes det kraftigaste regnvädrät för korta varaktigheter av stationen Daglösen den 5 juli år 2000. De maximala nederbördsmängder som uppmättes av Daglösen presenteras i Tabell 1. Då data saknades under en

timme den aktuella dagen har några av värdena modifierats från den officiella databasen efter en handskriven anteckning som vakthavande meteorolog gjorde om nederbördsmängden vid tillfället.

**Tabell 1.** Maximal uppmätt nederbördsmängd vid Daglösen 2000-07-05 för olika varaktigheter.

| Varaktighet | Nederbördsmängd (mm) |
|-------------|----------------------|
| 15 minuter  | 40,2                 |
| 30 minuter  | 57,9                 |
| 45 minuter  | 69,6                 |
| 60 minuter  | 81,3                 |
| 2 timmar    | 90,9                 |
| 3 timmar    | 91,4                 |

PMP har beräknats för Daglösen utgående från rekordregnet i tabell 1. Då detta var ett högeffektivt regnväder ( $K_{\eta} \approx 1$ ) har bara den tillgängliga fuktigheten maximerats. Detta gjordes med förstärkningsfaktorn för fuktighet  $K_w$

I tabell 2 redovisas erhållna förstärkningsfaktorer för de olika undersökta regnvaraktigheterna. Förstärkningsfaktorn multipliceras med modellregnets nederbördsmängd för att få värdet av PMP i mm. I tabellen redovisas även beräknad återkomsttid för de erhållna PMP-värdena vilket också kan jämföras med beräknade återkomsttider för modellstormens nederbördsmängder. Återkomsttiderna har beräknats med hjälp av fördelningsfunktionen Gumbel.

**Tabell 2.** Beräkning av PMP utgående från regnet vid Daglösen 2000-07-05 för olika varaktigheter.

| Varaktighet | Nederbörds-<br>mängd modell-<br>regnet (mm) | Förstärkningsfaktor<br>för fuktighet, $K_w$ | PMP<br>(mm) | Återkomsttid PMP<br>(år) | Återkomsttid modellregnet<br>(år) |
|-------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------|--------------------------|-----------------------------------|
| 15 minuter  | 40,2                                        | 1,71                                        | 68,8        | 25 536                   | 262                               |
| 30 minuter  | 57,9                                        | 1,58                                        | 91,7        | 14 860                   | 317                               |
| 45 minuter  | 69,6                                        | 1,55                                        | 108,2       | 11 790                   | 313                               |
| 60 minuter  | 81,3                                        | 1,71                                        | 139,0       | 34 239                   | 331                               |
| 2 timmar    | 90,9                                        | 1,57                                        | 142,6       | 14 940                   | 335                               |
| 3 timmar    | 91,4                                        | 1,50                                        | 136,9       | 10 382                   | 342                               |

#### 4.2.2 Malmöregnet

PMP har även beräknats för Malmö utgående från Malmöregnet den 31 augusti 2014. Även detta var ett kraftfullt regnväder, dock inte lika högeffektivt som Daglösenregnet. Därför har detta regn maximerats med förstärkningsfaktorer för både fuktighet  $K_w$  och nederbördseffektivitet  $K_{\eta}$ . I tabell 3 redovisas erhållna PMP-värden för Malmö. Dessa har tagits fram genom att multiplicera den kombinerade förstärkningsfaktorn för fuktighet och nederbördseffektivitet  $K_{w\eta}$  med modellregnets nederbördsmängd.  $K_{w\eta}$  är helt enkelt produkten av  $K_w$  och  $K_{\eta}$ .

**Tabell 3.** Beräkning av PMP utgående från regnet i Malmö 2014-08-31 för olika varaktigheter.

| Varaktighet | Nederbörds-<br>mängd modell-<br>regnet (mm) | Förstärkningsfaktor för<br>fuktighet och<br>nederbördseffektivitet,<br>$K_{mf}$ | PMP<br>(mm) | Återkomsttid PMP<br>(år) | Återkomsttid modellregnet<br>(år) |
|-------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------|-----------------------------------|
| 15 minuter  | 17,6                                        | 1,89                                                                            | 33,2        | 4105                     | 22                                |
| 30 minuter  | 28,2                                        | 1,75                                                                            | 49,2        | 6020                     | 45                                |
| 45 minuter  | 33,4                                        | 1,73                                                                            | 57,8        | 3900                     | 40                                |
| 60 minuter  | 34,7                                        | 1,76                                                                            | 61,1        | 4804                     | 40                                |
| 2 timmar    | 49,6                                        | 1,75                                                                            | 86,8        | 5336                     | 55                                |
| 3 timmar    | 74,3                                        | 1,52                                                                            | 112,8       | 4138                     | 141                               |

## 5 Diskussion och slutsatser

De erhållna PMP-värdena motsvarar återkomstider på mellan 4000 och 35 000 år vilket enligt WMO (2009) inte är orimliga värden för beräknad PMP.

PMP-värdena skiljer sig en hel del åt mellan Daglösen och Malmö vilket härrör från de betydligt större nederbördsmängderna för Daglösens modellregn. Detta kan delvis bero på att Daglösen ligger i ett kraftigt kuperat område där det finns förutsättningar för orografiskt förstärkt nederbörd. Det är dock viktigt att ha i åtanke att datamaterialet endast är ca 20 år vilket bidrar till en osäkerhet i resultaten. Om det funnits data för en betydligt längre tidsperiod hade sannolikt resultaten sett annorlunda ut. Möjligen hade skillnaderna i PMP-värden mellan de två platserna då varit mindre trots skillnaderna i topografi.

Baserat endast på dessa första försök tycks den lokala metoden vara användbar för beräkning av PMP på punktnederbörd för enstaka platser i Sverige. Samma metod går att använda för areell nederbörd men då krävs data från flera stationer inom intresseområdet och att modellregnet berört flera av dessa stationer.

Som jämförelse av resultat genom den lokala metoden skulle den förenklade statistiska metod som används i Norge kunna utnyttjas. Detta vore ett naturligt nästa steg i testandet av metoder för beräkning av PMP.

Om det i framtiden uppkommer motiv för att ta fram PMP-värden för hela Sverige skulle den så kallade generaliserade metoden kunna användas då den sannolikt ger resultat av hög noggrannhet. Själva genomförandet av metoden är mycket tidskrävande men när den väl är utförd finns PMP-resultat lättillgängligt.

## Referanser

- Dyrørdal, A. V. 2012. Estimation of extreme precipitation in Norway and a summary of the state-of-the-art. Report no. 08/2012, Climate, Norwegian Meteorological Institute.
- Dyrørdal, A. V., Skaugen, T., Stordal, F. & Førland, E. J. 2014. Estimating extreme areal precipitation in Norway from a gridded dataset, Hydrological Sciences Journal <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2014.947289>
- Førland, E J., 1987. Beregning av ekstrem nedbør (på norska). met.no Fagrapport 23/87 KLIMA.
- Førland, E J., 1992. Manual for beregning av påregnelige ekstreme nedbørverdier (Manual for the estimation of PMP, på norska). met.no Report 21/92 KLIMA\*. Førland, E.J. 2015. Recent Heavy Rainfall Events in Norway. Bildserie från föredrag på Workshop on Heavy Rainfall Climate, Norrköping 22-23 oktober 2015.
- Førland, E J, & Kristoffersen, D., 1989. Estimation of Extreme Precipitation in Norway. Nordic Hydrology, 20, 257–276.
- Førland, E., Mamen J., Ødemark, K., Heiberg, H., Myrabbø, S.. Dimensjonerende korttidsnedbør for Telemark, Sørlandet og Vestlandet, NIFS-projektet rapport nr. 3, 2014.
- Førland, E., Mamen J., Ødemark, K., Heiberg, H., Myrabbø, S.. Dimensjonerende korttidsnedbør for Møre og Romsdal, Trøndelag og Nord-Norge, NIFS-projektet rapport nr. 42, 2014.
- Hydrometeorological Advisory Service, 2003. The Estimation of Probable Maximum Precipitation in Australia: Generalised Short-Duration Method. June 2003
- NERC 1975. Flood Studies Report (five volumes). Natural Environment Research Council, UK.
- Svensk Energi, Svenska kraftnät och SveMin 2015. Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar - Utgåva 2015. ISBN 978-91-976721-6-0.
- Wern, L. 2012. Extrem nederbörd i Sverige under 1 till 30 dygn, 1900-2011. SMHI Meteorologi Nr 143
- Wern, L., German J. 2009. Korttidsnederbörd i Sverige, 1995-2008. SMHI Meteorologi Nr 139
- WMO, 2009. Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP). WMO-No.1045.

## Bilaga VIII

### Prediktabilitet

Åke Johansson, FoUm, SMHI, 30 november 2015

#### Rums- och tidsskalor i atmosfären

Atmosfären är ett tunt skal ovanför jordens yta, där det mesta som har att göra med vädret sker i det allra understa skiktet av atmosfären (från markytan upp till 10-15 km) – den så kallade troposfären. Den vertikala skalan begränsas därmed till att vara mindre än  $L_{\text{Trop}} \sim 10^4$  m. Den största horisontella skalan å andra sidan är avsevärt mycket större och begränsas endast av storleken hos jorden självt, dvs  $L_{\text{Earth}} \sim 4 \cdot 10^7$  m. En annan viktig längdskala är associerad med djupet hos det planetära gränsskiktet (PBL) där huvuddelen av utbytet av mekanisk och termisk energi mellan atmosfären och den underliggande jordytan äger rum. Denna är typiskt 1 km, dvs.  $L_{\text{PBL}} \sim 10^3$  m. Inom detta skikt uppvisar fysiska kvantiteter såsom vind, temperatur och fuktighet ett turbulent uppförande med snabba, oregelbundna fluktuationer som förorsakar stor vertikal omblandning. Den ”fria” atmosfären ovanför PBL däremot är vanligtvis inte turbulent och strömningen här är normalt kvasi-horisontell med väldigt litet vertikalt utbyte. Det finns dock viktiga undantag till detta, varav det viktigaste är förekomsten av konvektiva moln som kan sträcka sig genom hela troposfären. Figur 1 illustrerar detta och visar också att dessa konvektiva moln ofta ger upphov till nederbörd som stundtals kan vara mycket kraftig. Man kan alltså säga att den ”fria” troposfären är intermittent turbulent.

I atmosfären förekommer en stor mängd olika fenomen som var och en är associerade med vissa typiska karakteristiska egenskaper. En fundamental sådan egenskap är den skala – i tid och rum – som fenomenet vanligtvis har. Figur 2 visar att tids- och rums-skalorna inte är oberoende av varandra utan i stället påvisar ett starkt inbördes förhållande. Fenomen som är småskaliga i rummet är typiskt kortvariga i tiden medan å andra sidan storskaliga fenomen utmärks av lång varaktighet. Den grundläggande förklaringen till varför rum och tid är så intimt kopplade till varandra står att finna i fundamentala egenskaper hos de dynamiska processer som styr atmosfärens tillstånd och rörelser. Notera att den rumsliga skalan har ett maximum som aldrig kan överskridas – nämligen jordens storlek – medan någon sådan begränsning inte finns för tidsskalan. Notera också att det föreligger ett ungefärligt 1-till-1 förhållande mellan rums- och tidsskalorna ända upp till den planetära rumsliga skalan.

#### Spektra och prediktabilitet

Ett alternativt sätt att beskriva atmosfärens skalberoende är att studera dess spektrum – antingen i rums- eller tidsled. Ett av de mest kända atmosfäriska spektra som producerats, vilket är baserat på ett mycket stort datamaterial, återges i figur 3. I figuren visas hur variansen hos vind och temperatur varierar som funktion av våglängd, dvs. det är rumsliga spektra. Utmärkande är hur variansen genomgående avtar med minskande våglängd (rumslig skala). Detta utseende förmedlar flera mycket viktiga egenskaper hos atmosfären. För det första skall noteras att båda axlarna har en logaritmisk skala. Detta innebär att variansen till överväldigande grad är koncentrerad till de allra största rumsliga skalorna. För det andra sker avtagandet mycket snabbare för stora skalor – 5000-500 km våglängd – jämfört med de mindre skalorna – våglängd mindre än 500 km. I detta log-log diagram beskrivs detta utseendet hos avtagandet med dels en rät linje med en brant lutning på -3 för

de större skalorna som vid ungefär 500 km våglängd övergår i en mindre brant rät linje med lutning  $-5/3$ . Betydelsen av detta utseende hos spektra är fundamental ur många synvinklar, inte minst ur prediktabilitetssynpunkt.

Ur en statistisk synvinkel kan man betrakta hela atmosfären som ett kontinuerligt spektra av turbulenta virvlar på olika skalor. En idealiserad bild av de fysikaliska processer som ligger bakom formen på de spektra som visas i figur 3 presenteras i figur 4. Man tänker sig här att den grundläggande källan till atmosfärens variabilitet är den kontinuerliga genereringen av extratropiska cykloner (lågtryck) vid en typisk längskala om ungefär 4000 km. Dessa förorsakas av baroklin instabilitet på den dominerande västliga strömningen på mellanbredderna, vilken i sin tur beror på den nord-sydliga temperaturgradienten förorakad av solstrålningens latitudberoende. Den s k synoptiska skalan domineras av dessa extratropiska cykloner (lågtryck) och har sin största variabilitet koncentrerad till just en längskala av ungefär 4000 km. Det är alltså vid denna skala som de energibärande virvlarna - eller annorlunda uttryckt, den turbulenta variabiliteten eller energin - injiceras. Frågan är nu var denna energi tar vägen.

Inom turbulenteori finns ett grundläggande begrepp som heter "Inertial Subrange" som definieras som ett del-område inom ett spektrum där en viss kvantitet, t ex energi, befinner sig i jämvikt, dvs den varken skapas eller förstörs här men den kan transporteras antingen mot större eller mindre skalor. Den berömde matematikern och turbulensforskaren Kolmogorov visade att inom ett sådant del-område i spektrum kan man med hjälp av dimensionsanalys sluta sig till en rad viktiga egenskaper som där råder.

För skalor omedelbart till höger om där energi-injektionen sker återfinns det del-område där kvantiteten Potentiell Enstrofi spelar den avgörande rollen. Potentiell enstrofi definieras som kvadraten på den potentiella virveln. I detta del-område bevaras både energi (här betecknad med bokstaven E) och Potentiell Enstrofi (här betecknad med bokstaven F), men F är här energimässigt viktigare. Inom detta del-område förekommer en s k enstrofikaskad, dvs differentiell advektion tenderar att driva virvelvariationerna mot allt mindre och mindre skalor, ända tills dess de blir så små att diffusionen tar över. Med hjälp av Kolmogorovs teori kan man visa att inom detta del-område har spektrum en lutning om  $-3$  såsom observationerna uppvisar i figur 3. Teorin visar dessutom att den typiska tidsskalan hos de virvlar som här förekommer är oberoende av rumsskalan. Detta faktum har stor betydelse för prediktabiliteten inom detta del-område som diskuteras vidare nedan. En annan egenskap inom detta del-område är att energiflödet går mot större skalor, i motsats till enstrofiflödet som ju enligt ovan bestäms av en kaskadprocess mot allt mindre skalor. Detta har enorma konsekvenser för prediktabilitet då ansamlingen av energi i de allra största skalorna gör att det i långa stycken räcker med att betrakta den storskaliga väderutvecklingen för att göra en prognos.

För skalor mindre än ungefär 500 km återfinns det andra del-området, och här spelar kvantiteten Energi den avgörande rollen. Inom detta del-område förekommer en energikaskad, dvs energin överförs till allt mindre och mindre skalor, ända till dess att viskös dissipation sätter stopp. Med hjälp av Kolmogorovs teori kan man visa att inom detta del-område har spektrum en lutning om  $-5/3$  såsom observationerna i figur 3 också visar. Teorin visar dessutom att den typiska tidsskalan  $\tau$  hos de virvlar som här förekommer beror av rumsskalan  $\ell$  som  $\tau \sim \ell^{2/3}$ . Tidsskalan avtar alltså ganska snabbt med minskande rumsskala. Detta faktum har stor betydelse för prediktabilitet.

## Den klassiska bilden av prediktabilitet och feltillväxt

Enligt prediktabilitets-teori är den maximala tid som man med deterministiska metoder kan förutse en virvel av en given storleksordningen begränsad till 6-14 tidsskalor för den givna virveln. Med denna kunskap kan man erhålla en ganska god bild av hur prediktabiliteten beror av skalan. Antag att man har ett spektrum av den form som återges i figur 4. Antag vidare att en numerisk modell för att göra väderprognoser (NWP) finns tillgänglig och att den nu skall användas för att göra en prognos utgående från ett initialtillstånd som är perfekt inom ramen för den upplösning som modellen har. På grund av att modellen har en finit upplösning – dvs den arbetar inom ramen för ett givet gridnät med ett visst givet gridavstånd – så kommer det oundvikligen att uppkomma fel som beror på att modellen inte kan upplösa fenomen bortanför denna upplösning. De på detta sätt uppkomna felen kommer till en början att synas i de allra minsta skalor som modellen kan upplösa. I figur 5 är dessa skalor representerat av området i spektrat som ligger till höger om den linje som är markerad med siffran  $\frac{1}{4}$ . Allt som är till höger om denna linje representerar skalor som inte längre är korrekt representerade av modellen, dvs är fel, medan allt som är till vänster om linjen representerar skalor som modellen representerar korrekt, dvs där inga fel ännu finns. Siffran  $\frac{1}{4}$  avser den tid i dygn räknat som fortlöpit sedan prognosen började. Om man fördubblar denna tid, dvs från  $\frac{1}{4}$  till  $\frac{1}{2}$  dygn, kan man se att det område av spektrat som inte längre är korrekt representerade av modellen, dvs. är fel, har förflyttat sig mer än en storleksordning mot större skalor. Denna snabba förflyttning är en direkt följd av att den typiska tidsskalan  $\tau$  hos de virvlar som förekommer inom detta område av spektrat beror av rumsskalan  $\ell$  som  $\tau \sim \ell^{2/3}$ , dvs är allt kortare ju mindre rumsskalan är. Feltillväxten sker alltså väldigt snabbt inom denna del av spektrat. Efter ytterliggare en fördubbling av prognoslängden, från  $\frac{1}{2}$  till 1 dygn, har området med fel inom spektrat rört sig ytterliggare mot större skalor men inte lika mycket som från  $\frac{1}{4}$  till  $\frac{1}{2}$  dygn trots att den tid som förflutit är dubbelt så lång. Detta är återigen en direkt konsekvens av att tidsskalan är beroende av rumsskalan som  $\tau \sim \ell^{2/3}$  inom denna del av spektrat.

Efter 1 dygn börjar området av spektrat som inte längre är korrekt representerade av modellen att förflytta sig in i den delen av spektrat som har en lutning om -3 och som enligt teorin har en typisk tidsskala som är oberoende av rumsskalan. Denna egenskap att tidsskalan är oberoende av rumsskalan har stor inverkan på prediktabiliteten. Som återspeglas i figuren så kommer successiva fördubblingar av prognoslängden från 1 till 2 dygn, från 2 till 4 dygn, och från 4 till 8 dygn, att i samtliga fall föranleda en ungefärligen lika stor förflyttning mot större skalor. Det går alltså långsammare och långsammare att kontaminera ett visst spektralt område ju längre fram i tiden vi betraktar. Prediktabiliteten inom de två olika områdena av spektrat är alltså i fundamental mening mycket olika varandra.

Den grundläggande mekanismen för feltillväxten i denna klassiska bild kan beskrivas som en invers kaskad av fel från mindre till större skalor som beror på att olika skalor växelverkar (icke-linjärt) med varandra. Mekanismen antar vidare att när felet har mätts inom ett visst storleksintervall hos de mindre vågorna så kommer därefter ”överskottet” av fel att transporteras till närmast större skala. Feltillväxten är alltså intimt förknippad med hur den skala som för tillfället är mättad av fel fortplantar sig mot större skalor.

## Prediktabilitet och feltillväxt i dagens numeriska väderprognosmodeller

Den klassiska bild av prediktabilitet och tillhörande feltillväxt som förmedlas av figur 5 är illustrativ för att poängtera och belysa hur olika snabbt feltillväxten sker i olika delar av

spektrat. Däremot ger den inte en rättvisande bild av hur feltillväxten i själva verket ser ut i de modeller som i dagsläget används för att göra väderprognoser. I verkligheten ser det typiska utseendet av feltillväxten ur spektral synvinkel i stället ut som den i figur 6. Den fundamentala skillnaden jämfört med spektrat i figur 5 är att man i verkligheten inte har ett perfekt initialtillstånd utan ett initialtillstånd som är behäftat med fel – eller annorlunda uttryckt - det finns en betydande osäkerhet i specifikationen av initialtillståndet, och denna osäkerhet finns närvarande i alla skalor. Detta faktum gör att den klassiska bilden måste modifieras.

Som framgår av figur 6 sker feltillväxten i verkligheten ”nerifrån och upp” i stället för ”från höger till vänster”. Den grundläggande mekanism som förklarar detta uppträdande är baroklin instabilitet. I vågtalsbandet 6-20 är baroklin instabilitet som mest verksam och små störningar tillväxer här mycket snabbt. Avståndet mellan felkurvorna vid dag 1 och dag 2 är nästan identiskt med avståndet mellan felkurvorna vid dag 2 och dag 3 som i sin tur är nästan identiskt med avståndet mellan felkurvorna vid dag 3 och dag 4 och så vidare upp till dag 6. Detta linjära uppträdande längs en logaritmisk axel motsvaras av en exponentiell feltillväxt. Storleksmässigt motsvaras vågtalsbandet 6-20 av våglängder mellan 2000-6500 km, vilket är synonymt med den synoptiska skalan. Den exponentiella feltillväxten i de synoptiska skalorna är alltså huvudorsaken till utseendet i figur 6. Eftersom denna feltillväxt äger rum mitt i den del av spektrum där huvudparten av den totala energin finns är den viktigare och av större betydelse jämfört med den klassiska mekanismen då felet först måste fortplanta sig från de allra minsta skalorna ända vägen upp till den synoptiska skalan.

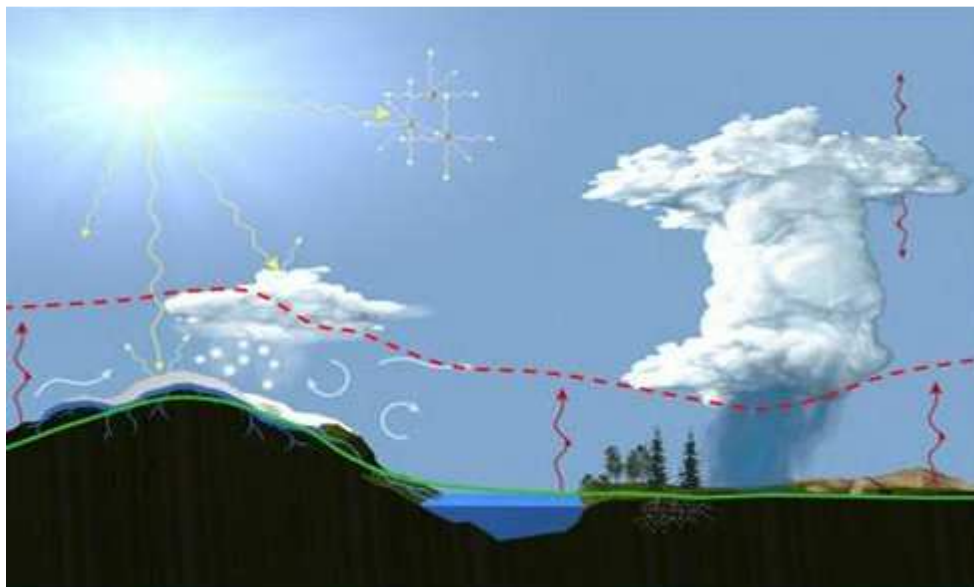
Även om de mindre skalorna vore perfekt specificerade initialt är detta dock dessvärre av begränsat värde. Då ett fel i den synoptiska skalan har växt till sig kommer nämligen detta fel – genom horisontell advektion – att helt enkelt förflytta en i och för sig helt korrekt finskalighet till att uppträda på en annan plats än där den borde vara. Då ett fel i den synoptiska skalan har etablerat sig får det alltså ödesdigra konsekvenser för felen på mindre skalor. Som en direkt konsekvens av detta kan man i figur 6 se att efter 3 dagar har felen i princip mättats för vågtal större än 100.

Slutsatsen blir alltså att det är av yttersta vikt att försöka minska felen i initialtillståndet på den synoptiska skalan. Som framgår att figur 7 har det de senaste decennierna skett imponerande framsteg på just detta område med en hel storleksordnings minskning under de senaste 30 åren av RMSE för höjdfältet på 500 hPa.

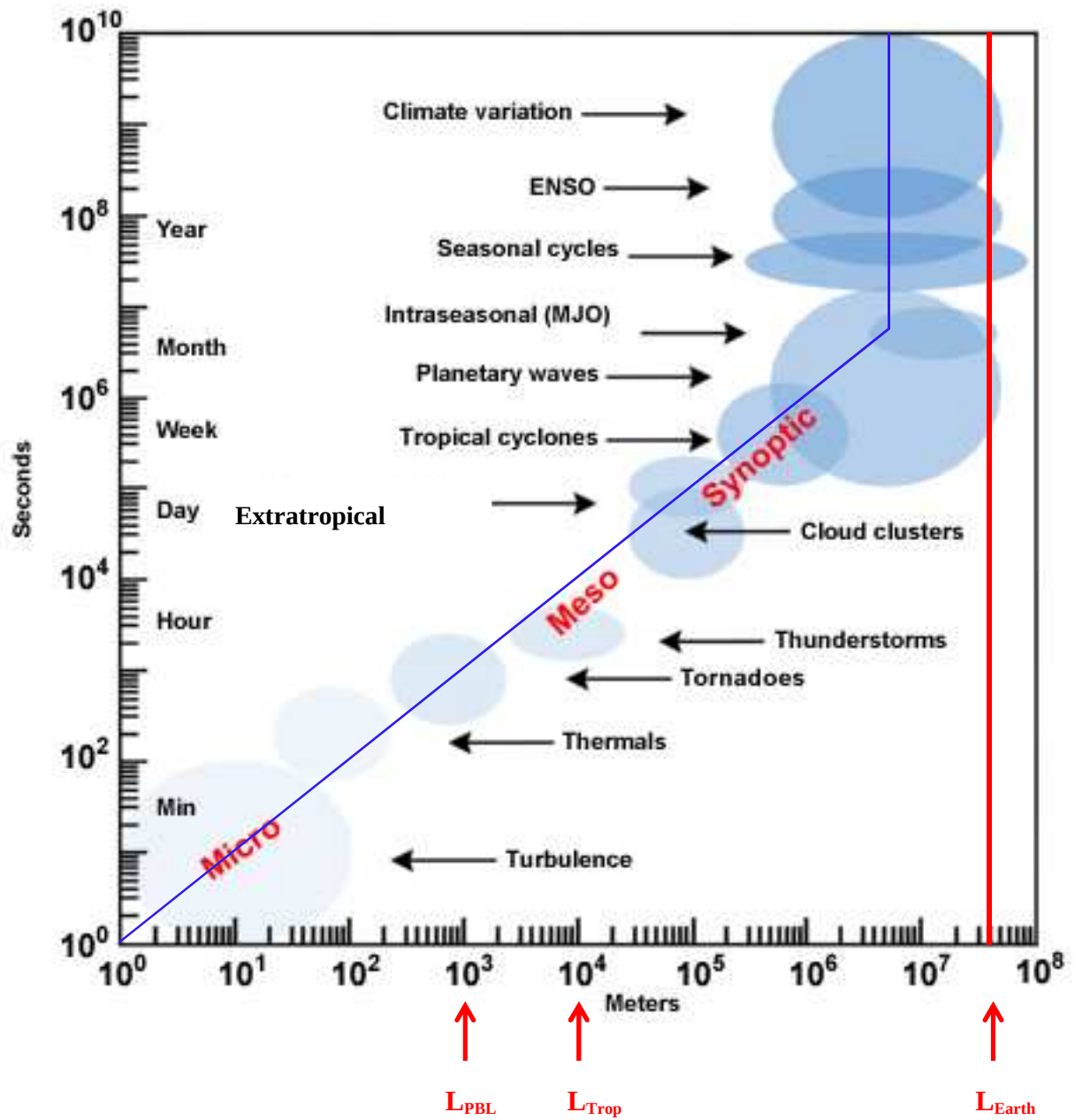
### **Prediktabilitet hos skyfall**

Extrem korttidsnederbörd – eller skyfall – förorsakas normalt sett av konvektiva moln, Cumulonimbus, Cb. Dessa moln har en horisontell storlek på ungefär 10 km och är i nuläget på gränsen till att explicit kunna beskrivas av modellerna. Som diskuterats ovan är prediktabiliteten hos så pass små fenomen ytterst begränsad, av storleksordningen timmar. En ytterligare försvårande omständighet är det faktum att antalet observationer som finns tillgängligt för att specificera det initialtillstånd varifrån en modell utgår ifrån för att göra en prognos är flera storleksordningar mindre än vad som skulle krävas. Detta betyder att även om en modell har ett grid-avstånd på 2.5 km, och därmed marginellt skulle kunna upplösa ett Cb-moln, så kommer trots detta inte individuella Cb-moln att finnas specificerade i utgångsläget på grund av brist på observationer. Att förutsäga exakt hur varje Cb-moln kommer att röra och utveckla sig är alltså inom överskådlig framtid inte möjligt. Det man i praktiken måste förlita sig på är någon typ av sannolikhetsprognos

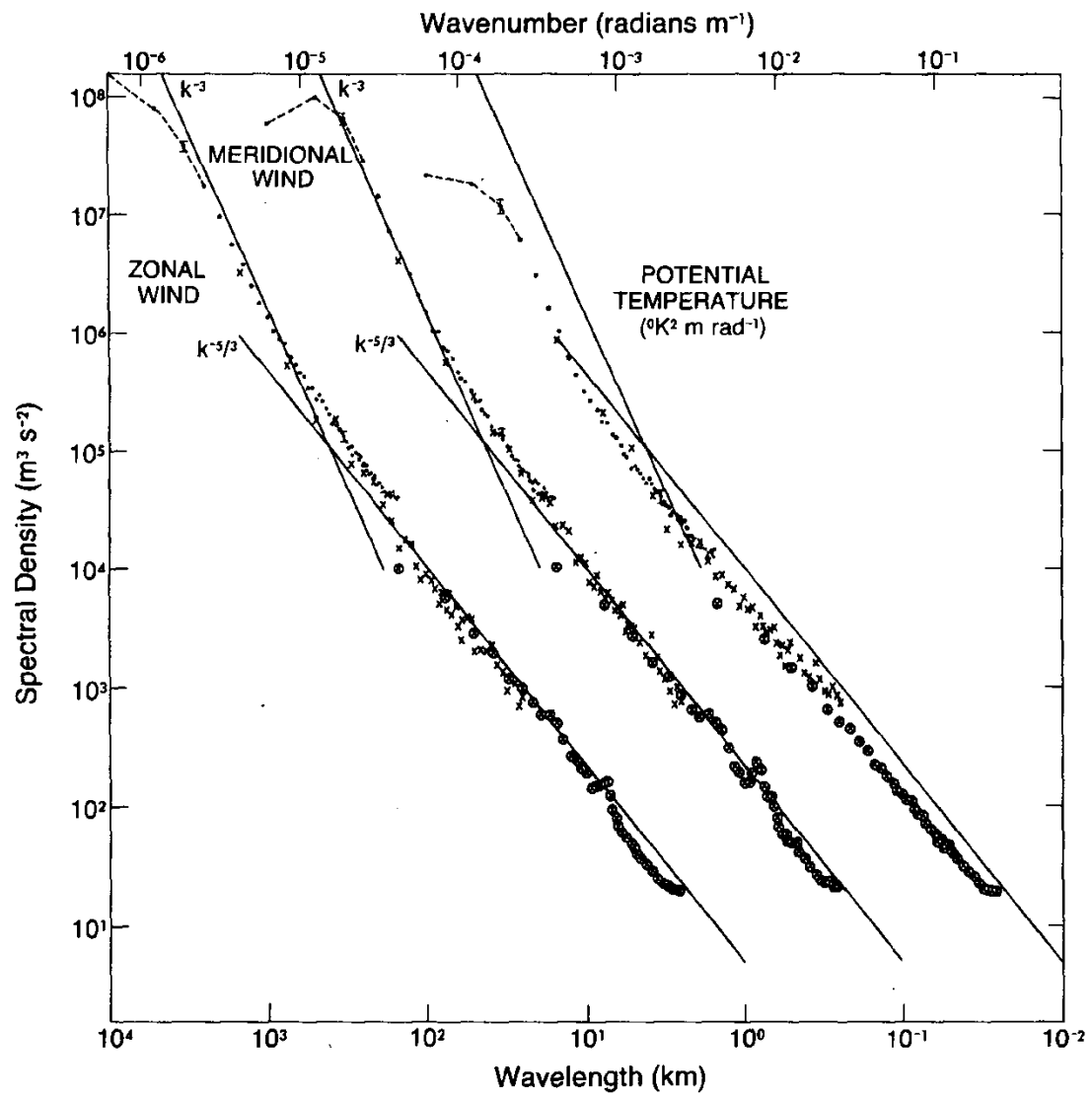
baserad på ensembleprognoser (EPS). Grunden för dessa prognoser är att den synoptiska skalan är relativt väl prognoserad. Givet detta är det möjligt att beräkna olika möjliga utfall (ensemblemedlemmar) för hur Cb-molnen kommer att röra och utveckla sig. Kvaliteten hos ett EPS är direkt beroende på hur väl man kan skapa ensemble-medlemmar som är representativa för hur den verkliga atmosfären skulle kunna utveckla sig. Dessutom är kvaliteten på EPS direkt beroende på kvaliteten på själva den modell som används för att göra prognoser.



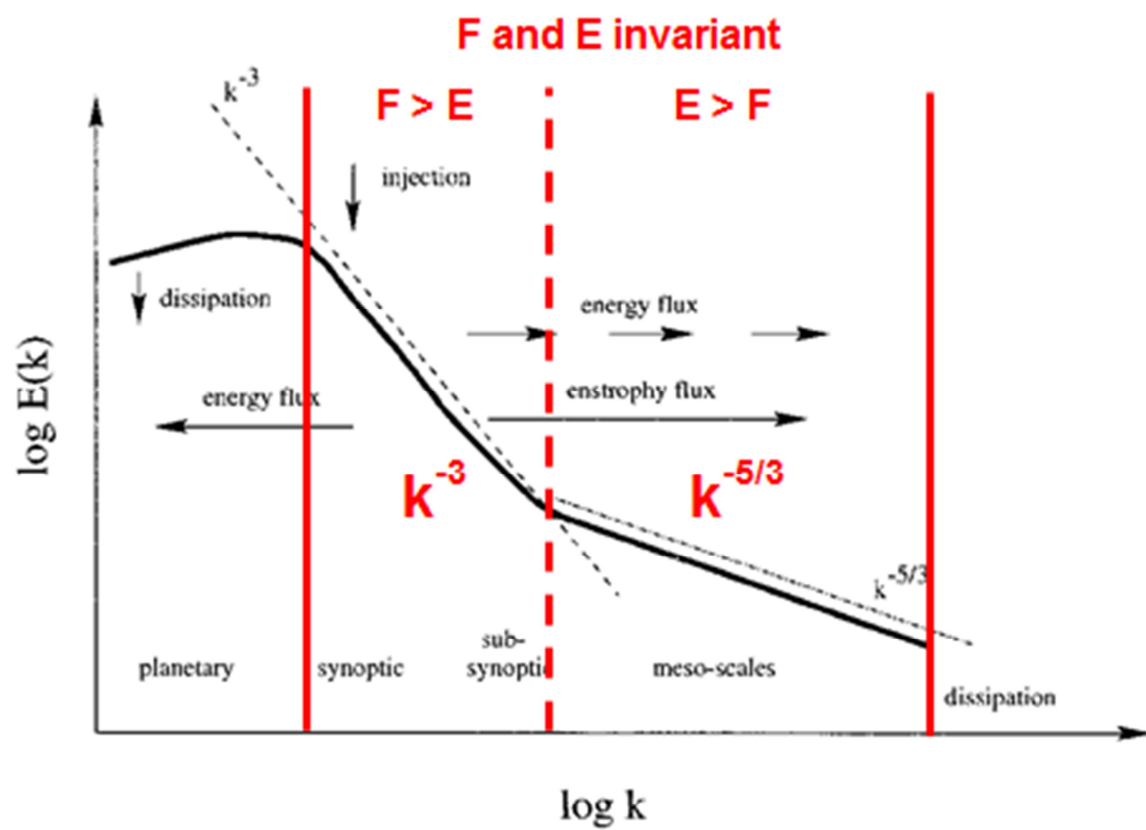
Figur 1



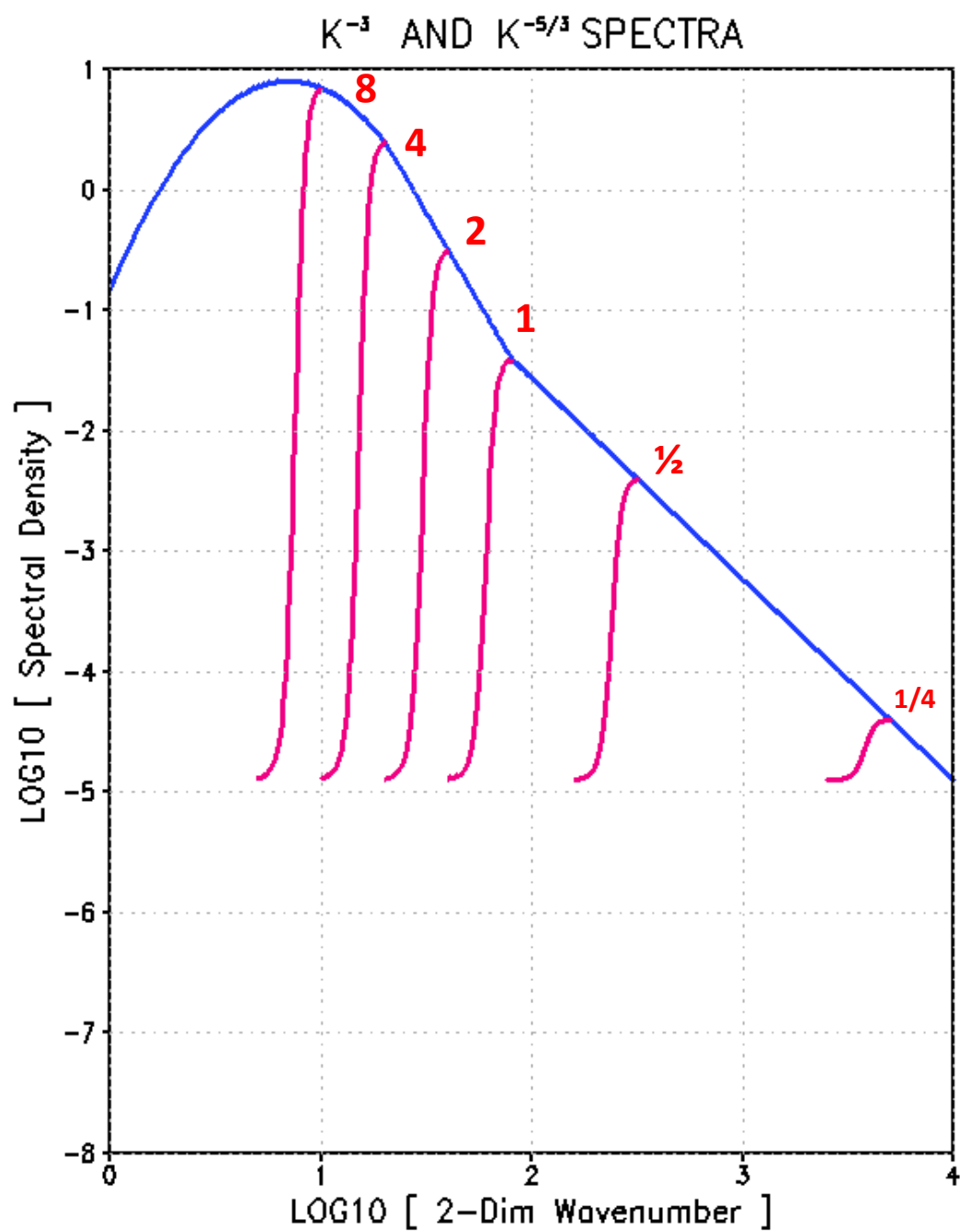
Figur 2



Figur 3



Figur 4



GrADS: COLA/IGES

Fig. 5

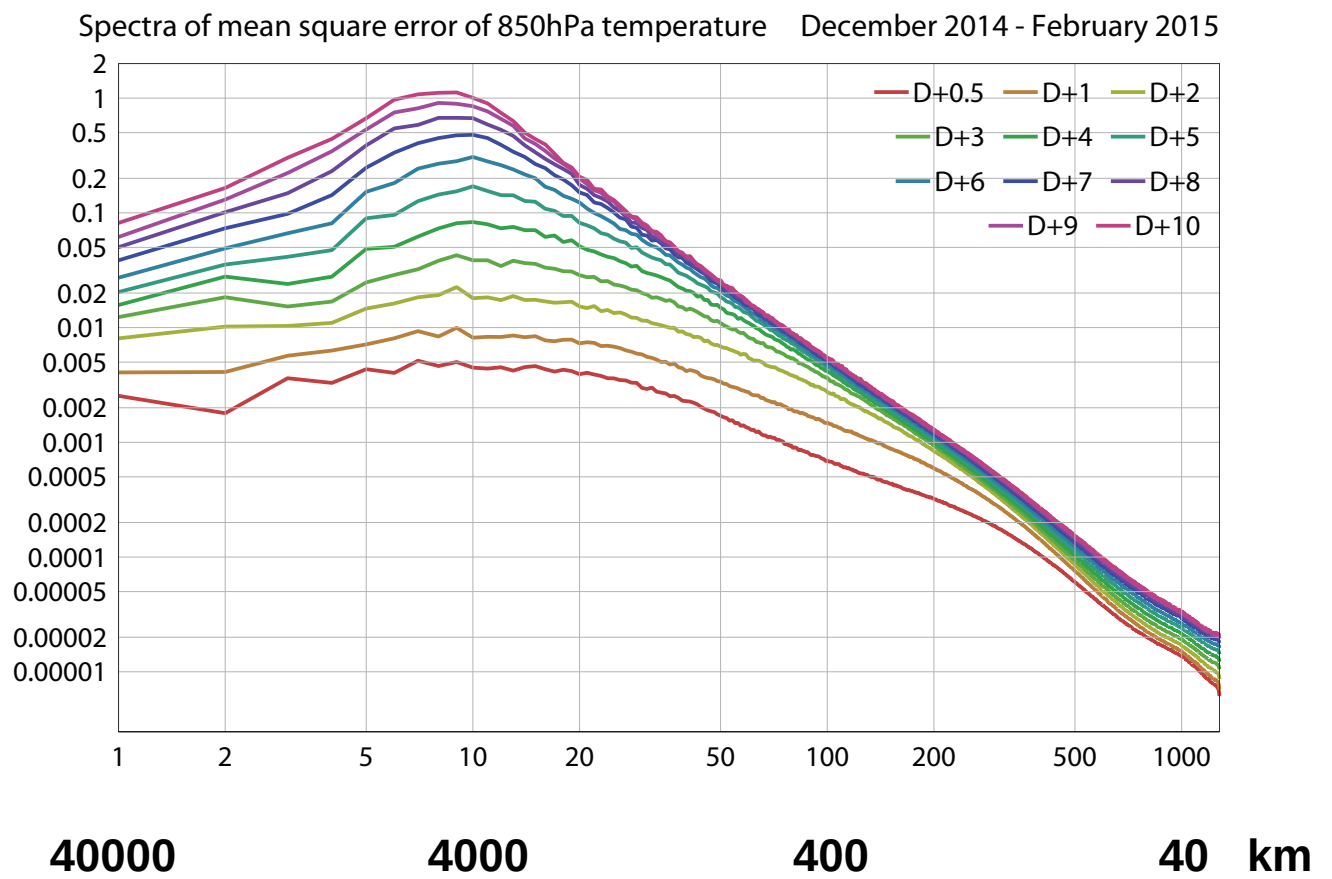


Fig. 6

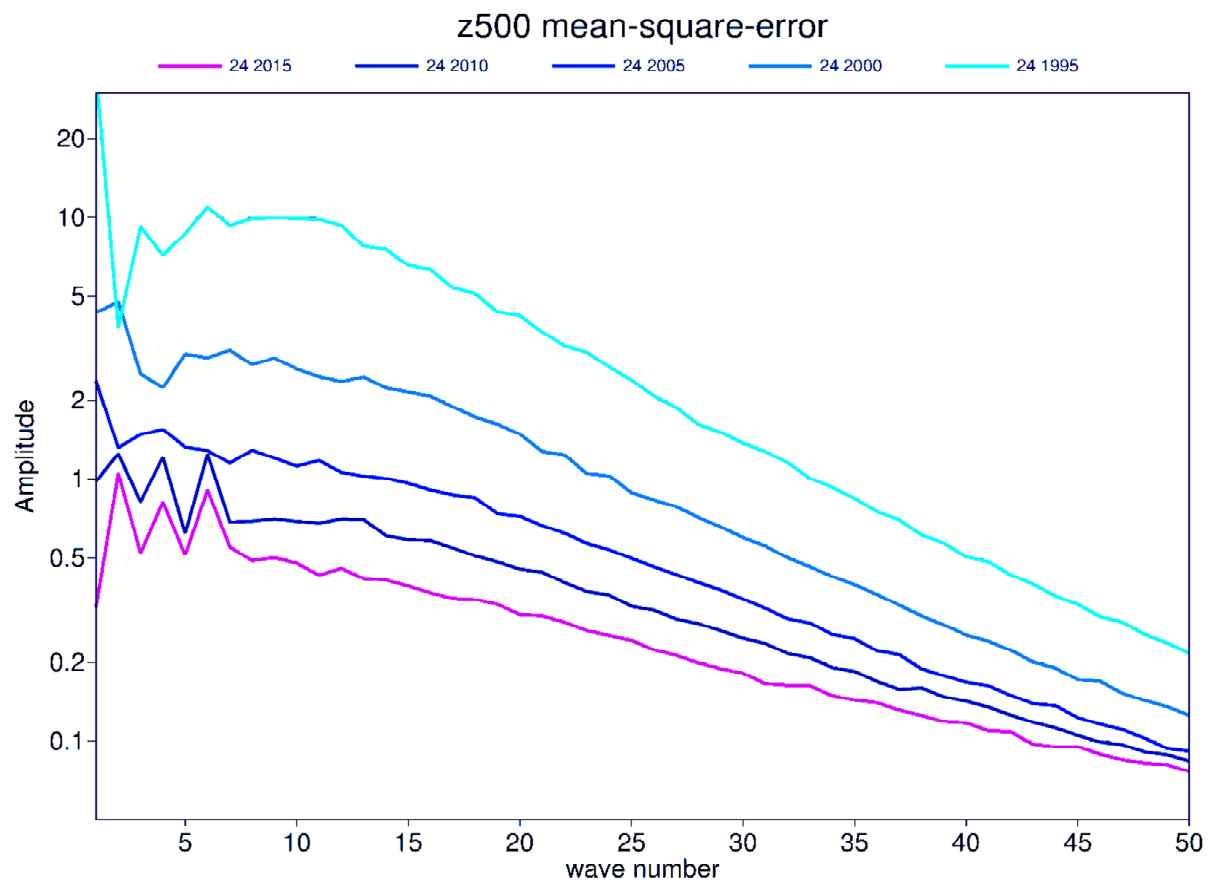


Fig. 7

## Bilaga IX

### Fallstudie prognos

#### **Numerical simulations of the Malmö extreme precipitation event of August 2014 using AROME – a sensitivity study.**

Lisa Bengtsson, Magnus Lindskog, Ulf Andrae, Peter Berg  
SMHI – Department for research and development.

##### **1. Introduction.**

The extreme precipitation event over Malmö on August 31, 2014 resulted in significant flooding, due to atmospheric convection, which affected both Copenhagen and Malmö in the evening of August 30th, and the morning of August 31st. Many roads were closed and buildings were flooded. In 24 hours 100.1 mm fell over Malmö, which is a record since at least 1961. Moreover, the event beat the record for the largest amount of rainfall in one hour, 31.6 mm for the city ([www.smhi.se](http://www.smhi.se)). Such large amounts of precipitation is not uncommon in association with convective activity, however when it falls over a large city (or two large cities in this case), the consequences are severe, and the event has triggered a series of discussions, studies and measures for the hydrometeorological community in Scandinavia.

Numerical Weather Prediction (NWP) models are the main tools used in order to make weather forecasts. In NWP, the state of the atmosphere at some future time is determined using the equations of fluid dynamics and thermodynamics, based on an analysis of the current conditions. In order to construct an initial condition to numerically solve these equations, an analysis of the present state of the atmosphere is constructed using observations of the current conditions combined with the forecast from the previous forecast cycle. Since the observations used to describe the atmosphere are irregular in space and time, a continuous complete description of the true atmosphere does not exist. Thus, the initial condition given the system of equations will never be perfect. Therefore, there is always an initial error in the model, compared with the true state of the atmosphere, which will grow in time and double in about two days for synoptic scale circulation (Lorenz, 1969). However, such doubling of the error is much faster for small scale processes such as deep convection. Typical asymptotic perturbation-doubling times of cloud-resolving and synoptic-scale simulations amount to about 4 and 40 h, respectively (Hohenegger and Schär, 2007).

Furthermore, since an analytical solution to the equations does not exist, the solution has to be approximated by the numerical methods.

One way of addressing forecast uncertainty due to the errors in the NWP models and the initial conditions is to use ensemble prediction. The error due to uncertainties in the initial condition can be represented by re-running the model several times starting from slightly different initial conditions. However, although ensemble prediction yields a good estimate of the uncertainty associated with a certain weather patterns, its ultimate purpose is to predict quantitatively the probability density of the state of the atmosphere at a future time (Leutbecher and Palmer, 2008).

The aim of the present study is threefold: first we are interested in understanding the

sensitivity of the event that occurred over Malmö to various components of the NWP model system such as horizontal resolution, the domain size, coupling of the lateral boundaries and surface/upper air data assimilation in order to learn which aspects are most important in predicting this particular event. Secondly, we are interested in seeing how such a small scale convective event is represented in a high resolution Ensemble Prediction System (EPS), and if we can estimate what kind of probabilities an EPS could generate for this particular event. Third, we are interested in trying to answer the question “how severe could the event have been?”. This is done by gradually increasing the sea surface temperature (SST) in Öresund – the strait between Denmark and Sweden where the convection was amplified before entering the city of Malmö. The attempt was inspired by Meredith et al. 2015, where the authors looked at the relationship between coastal convection and increase of SST in the Black Sea.

We would like to emphasize that the aim of this study is not to use this event to draw any general conclusions about Numerical Weather Prediction. It is merely a sensitivity study of the Malmö extreme precipitation event, to understand which model components were crucial in order to predict the event successfully, to understand how such a small scale event can be predicted in an EPS, and the role of the strait between Denmark and Sweden in amplifying convection.

## **2. The event**

Synoptically, there was a cyclonic pattern both in the upper air and at the surface southwest of Sweden, generating a circulation which brought warmer air in from the south/south-west. The convection propagated in over southern Sweden in the warm sector in the vicinity of an occluded front, in an organized band which amplified over the strait between Denmark and Sweden (Öresund). This organized convective band propagated almost straight eastward against the mean flow which was more from the south.

## **3. The NWP model**

The NWP model system used in this study is the non-hydrostatic meso-scale forecasting system HARMONIE developed within the HIRLAM-ALADIN consortia. Presently HARMONIE consists of initial condition generation through variational data assimilation, and two model components: AROME (Seity et al., 2012) and ALARO (e.g. Gerard et al., 2009). In this study we use HARMONIE-AROME which is a spectral limited area model aimed for the convection permitting scales ( $O \sim 1\text{km}$ ), and has been developed to use the full non-hydrostatic equations (Euler elastic form of Navier Stoke's equations). At SMHI, HARMONIE-AROME has been used for operational weather forecasts since 2014 in collaboration with Met-Norway.

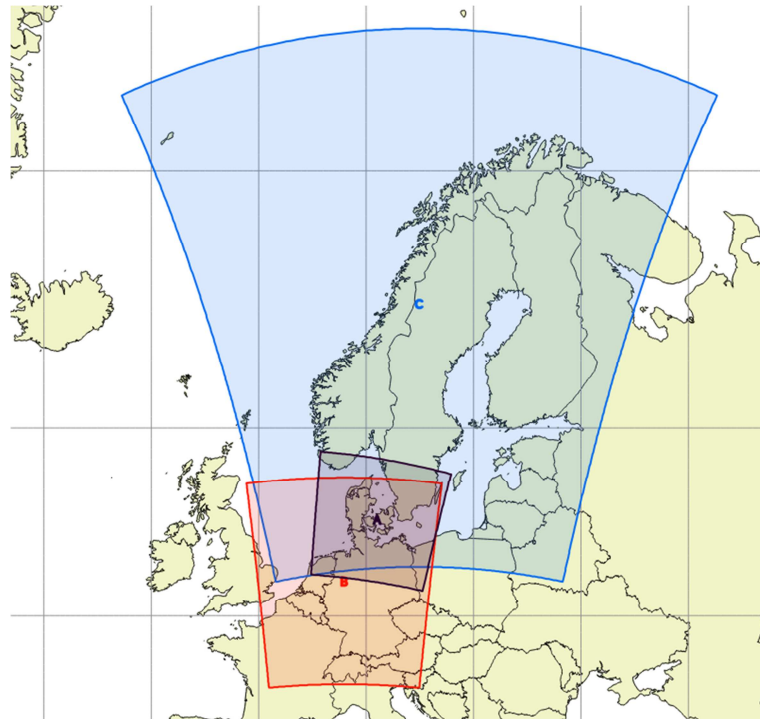
The main components of the AROME physical parameterizations can be found in Seity et al., 2012. The version of HARMONIE-AROME used in this study has in addition an updated description of the treatment of vertical mixing due to eddy diffusion and shallow convection (Siebesma et. al, 2007) and an improved representation of mixed-phase clouds (Ivarsson, 2015).

To obtain the best possible initial model state, a data assimilation is carried out to combine

observations with model information. The current HARMONIE data assimilation system consists of surface data assimilation (Giard and Bazile (2000)) based on optimal interpolation, and upper-air 3-dimensional variational data assimilation (3D-Var), with climatological background error statistics (Seity et al. (2012)). There is ongoing research towards more flow-dependent data assimilation methods, such as 4-dimensional variational data assimilation, Kalman Filter techniques and hybrid variational/ensemble methods.

#### 4. Experiment set-up

Three model domains are used in this study, all directly coupled to the global ECMWF (European Centre for Medium Range Weather Forecasts) model (and not nested), and are shown in Figure 1.



*Figure 1: Domains used in the study, A = small domain over Denmark, B = intermediate domain over central Europe, and C = large domain used for operational forecasts at SMHI.*

The sensitivity experiments done in this study are listed in Table 1, with some main components highlighted.

| Experiment            | Hor. Res. | Surface DA   | Upper air DA | Coupling LBC | Deep convection | Domain |
|-----------------------|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------------|--------|
| “cold start”          | 2.5 km    | None         | None         | 6 h old BC   | Explicit        | A      |
| “surface assim 1d”    | 2.5 km    | OI – 1 day   | None         | 6h old BC    | Explicit        | A      |
| “surface assim 1 w”   | 2.5 km    | OI – 1 week  | None         | 6h old BC    | Explicit        | A      |
| “surface assim 2 w”   | 2.5 km    | OI – 2 weeks | None         | 6h old BC    | Explicit        | A      |
| “Old bc”              | 2.5 km    | OI -1 day    | None         | 12 h old BC  | Explicit        | A      |
| “Large domain”        | 2.5 km    | OI – 1 day   | None         | 6 h old BC   | Explicit        | C      |
| “High resolution”     | 1.3 km    | OI – 1 day   | None         | 6 h old BC   | Explicit        | A      |
| “Parameterized conv.” | 2.5 km    | OI – 1 day   | None         | 6 h old BC   | Parameterized   | C      |
| “3D var”              | 2.5 km    | OI -1 day    | 3D var       | 6 h old BC   | Explicit        | A      |

Table 1. Description of sensitivity experiments. OI = Optimal Interpolation. BC = Boundary Condition.

## 5. Results

### 5.1 Sensitivity experiments

In Figure 2a we show the 12 h accumulated precipitation forecast from the global ECMWF mode initiated from 20140831 00 UTC. It can be compared with the 12 h accumulated precipitation forecast from the operational HARMONIE-AROME (based on cycle 38h1.1) run at SMHI (Figure 2b), and the radar image of 12 h accumulated precipitation (mm/h) for comparison. It can be seen that the ECMWF model missed the event, and it was rather well captured in the meso-scale model in terms of intensity and location (although, some over-prediction of precipitation can be seen over for instance Kattegat). It is with the operational forecast in mind that we have stepwise tried to understand which components of the NWP system that were important to achieve the realism of the event. By realism we mean that despite errors in location and timing, the forecaster is able to anticipate the physical characteristics of the intense phenomena that is likely to occur in a specific area.

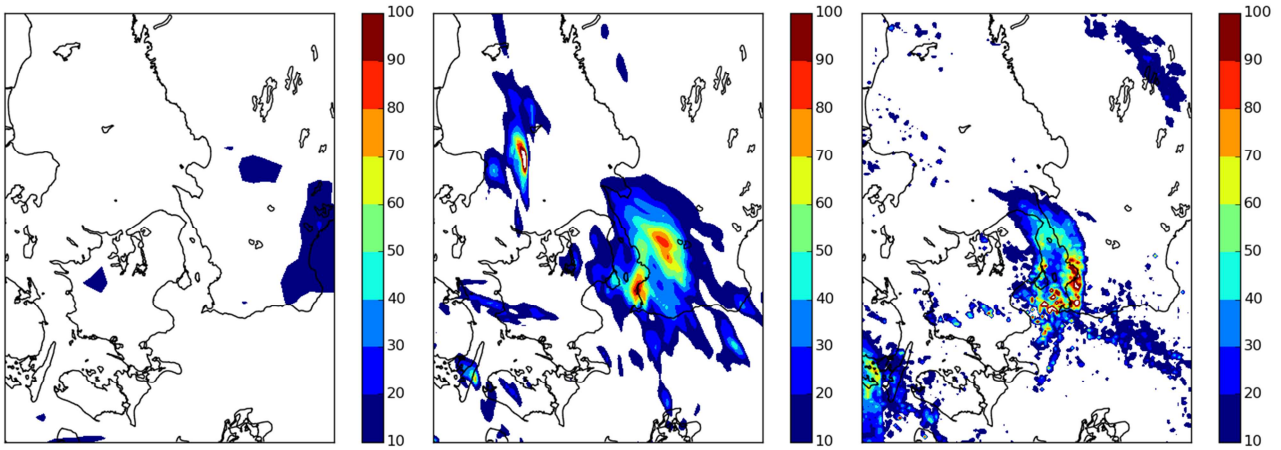


Figure 2: 12 h accumulated precipitation valid at 20140831 12 UTC. a) ECMWF operational forecast, b) HARMONIE-AROME operational forecast, c) radar composite (mm/h) from the Nordrad network.

It is tempting to attribute the success of the meso-scale model in this case to higher horizontal resolution (2.5 km vs ~16 km), as the phenomena we are trying to describe is very small scale and influenced by an inhomogeneous surface (both sea and land) covering a small area. As seen in Figure 3a, simply running the case with HARMONIE-AROME over the small domain “A”, starting from 20140831 00 UTC with a “cold start”, using ECMWF’s 20140831 00 UTC field as initial state, does indeed yield more precipitation over southern Sweden, compared with the global ECMWF model (Figure 2a). This could be attributed higher resolution or use of explicit treatment of deep convection and its accompanying microphysics (or both). However, the forecast does not yield the intensities that were seen in the operational forecast.

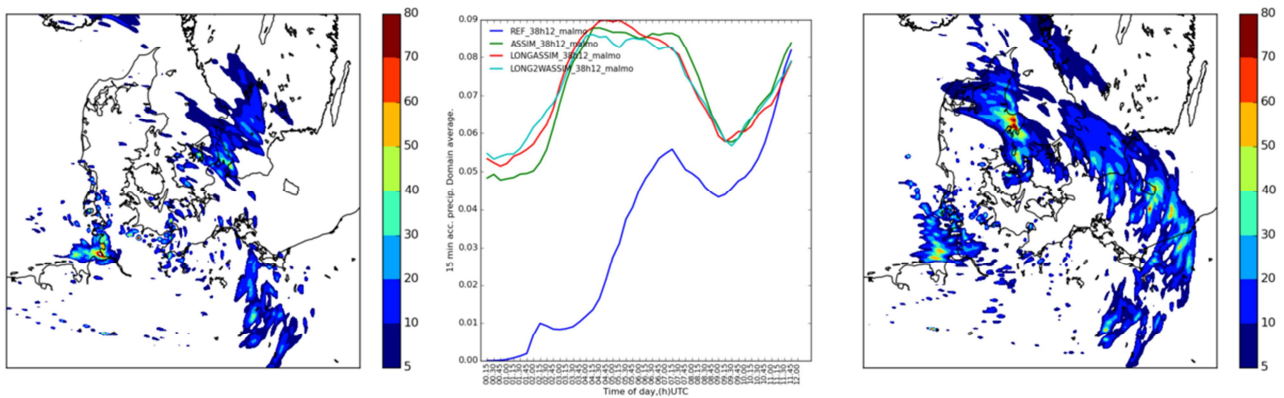


Figure 3: a) 12 h accumulated precipitation “cold start” experiment, b) domain averaged 15 min accumulated precipitation as a function of forecast lead time for “cold start” (blue), “surface assim 1d” (green), “surface assim 2d” (red), “surface assim 3d” (cyan). c) 12 h accumulated precipitation “surface assim 1d” experiment.

Figure 3b shows the domain (A) average 15 minute accumulated precipitation as a function of forecast lead time. It can be seen that the precipitation field starts at a domain average of almost 0 mm for the “cold start” experiment (blue curve), and a large spin-up is present. With surface data assimilation, as explained above, a better initial precipitation field is present, and it is clear that cycling the surface conditions in the model is important in order to have a surface which is “spun up” in order to predict the event (green curve). However,

as seen in Figure 3c the intensities of precipitation using 1d surface data assimilation over the most south-western part of Sweden are still not equivalent to the ones observed by radar or the observation network, nor as the ones simulated by the operational forecast. It can also be noted that for this particular case, it did not matter much how long we spun up the surface, comparing 1 day, 1 week and 2 weeks, as shown in Figure 3b (red and light blue curves). However, the spin-up time of surface is likely very case dependent.

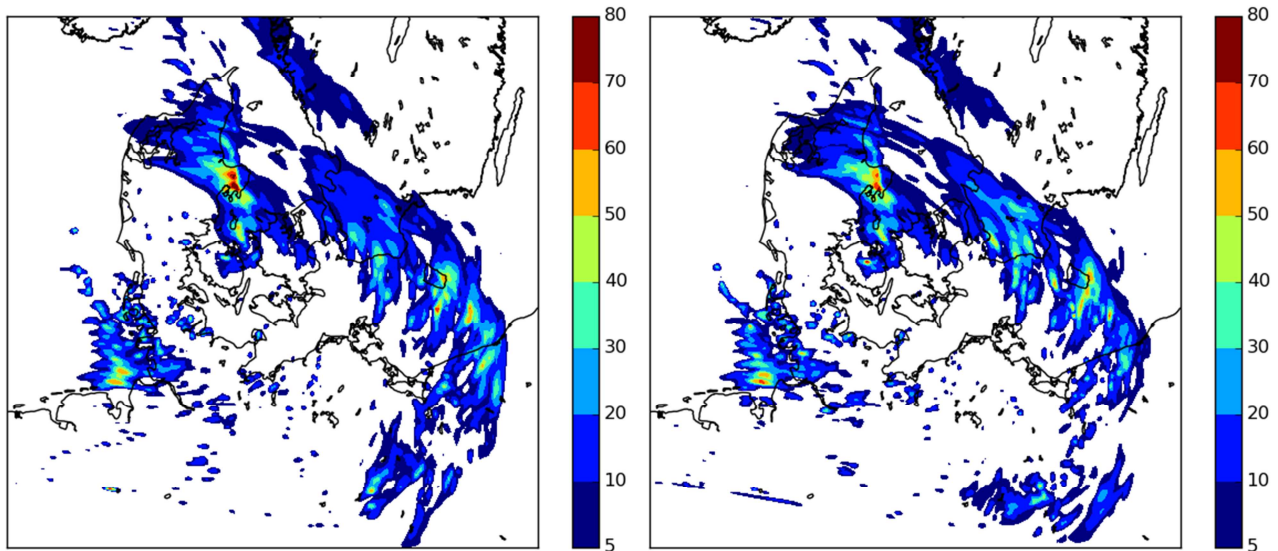


Figure 4: 12 h accumulated precipitation (mm) a) 6 h old initial and lateral boundary condition and b) 12 h old initial and lateral boundary condition.

Next we look at the impact of starting at the initial time from an older ECMWF forecast (12 hours old, compared to 6 hours old in the other experiments experiments), and also coupling lateral boundaries with the 12 hours old ECMWF forecast initiated at 20140830 12 UTC. It can be seen in Figure 4 that the impact is small, a few “random” changes in the total precipitation field when using older boundaries and initial condition here and there (Figure 4b), but the overall intensities and pattern are same as when coupling to 6 h old BC's (Figure 4a).

It can be reasoned that the small domain used for the experiments described above is too small to capture the synoptic pattern which drives the circulation in which the convection is triggered. Figure 5 shows the impact of running a “cold start” with surface data assimilation over the domain “C”. Interestingly, simulating the event over the larger domain gives more intense precipitation over southern Sweden, however the maximum accumulated over 12 hours is too far east compared with observations. Since the flow was from south-south-west in this case, the placement of the southern domain boundary strongly influences the accumulated precipitation along the front. Over the large domain “C” it is more broken up than over the small domain “A” closer to the boundaries.

Over the small domain we also conducted two sensitivity experiments to see how the Malmö event was influenced by horizontal resolution and physical parameterization. Figure 6b shows the impact on the 12 h accumulated precipitation field, running the model with 1.3 km horizontal resolution, and Figure 6c shows the impact of switching on a deep convection parameterization

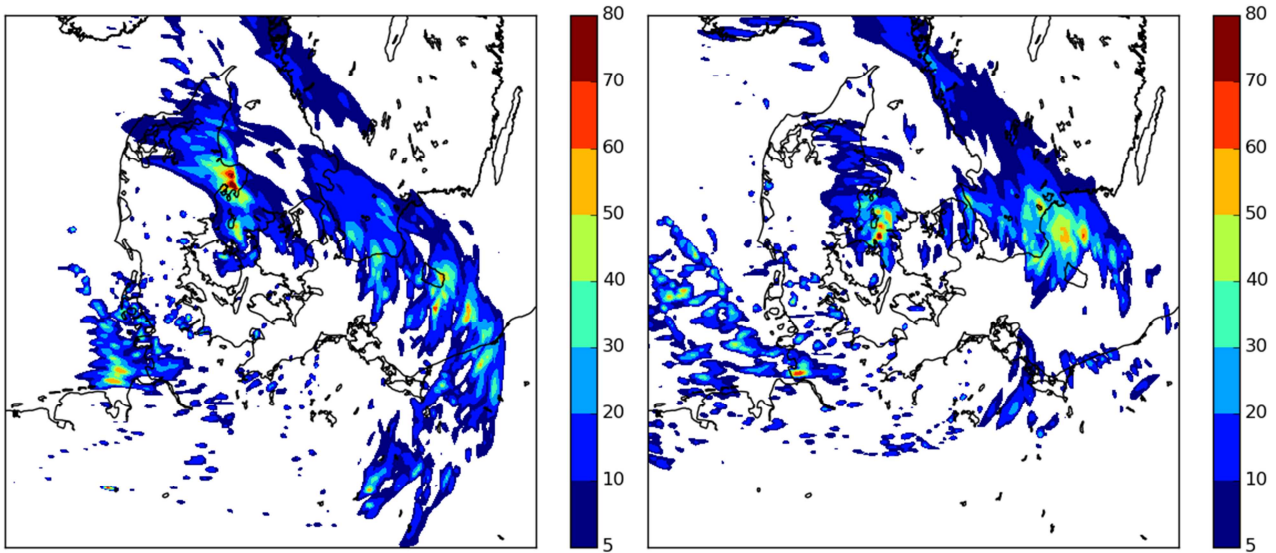


Figure 5: 12 h accumulated precipitation (mm) a) small domain “A” and b) large domain “C”.

(basically extending the parameterization of shallow convection to treat also deep convective clouds.). The overall structure of the circulation and the areas with precipitation is rather insensitive to the higher resolution and parameterized convection experiments. The convection which is embedded within the front, is strongly forced by the large scale circulation. However, impact can be seen on the more “open cell” type convection which is generated by day time heating later in the morning hours (over for instance southern Denmark and northern Germany). For such type of convection it can be seen that 2.5 km horizontal resolution is not sufficient to correctly describe individual convective cells, and the convection becomes more fractal with higher horizontal resolution. It is also interesting to note the rather small impact by switching on a convective parameterization.

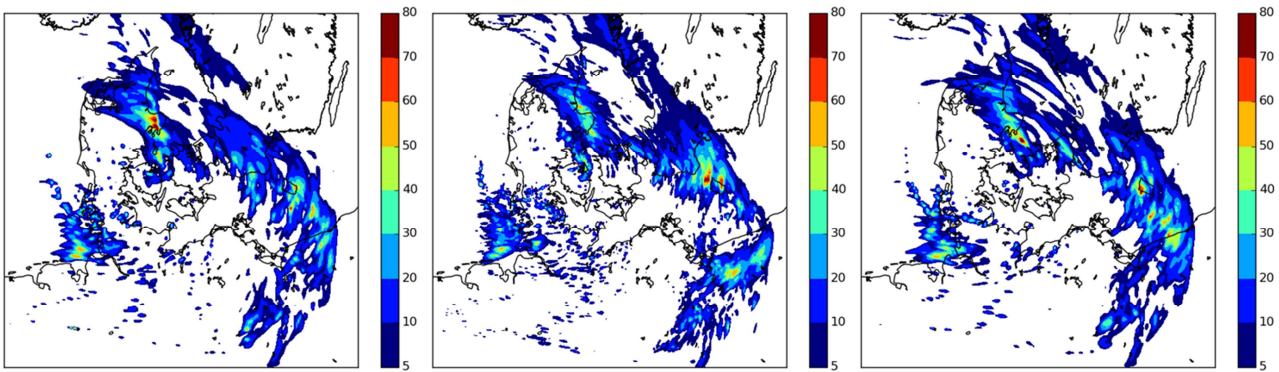
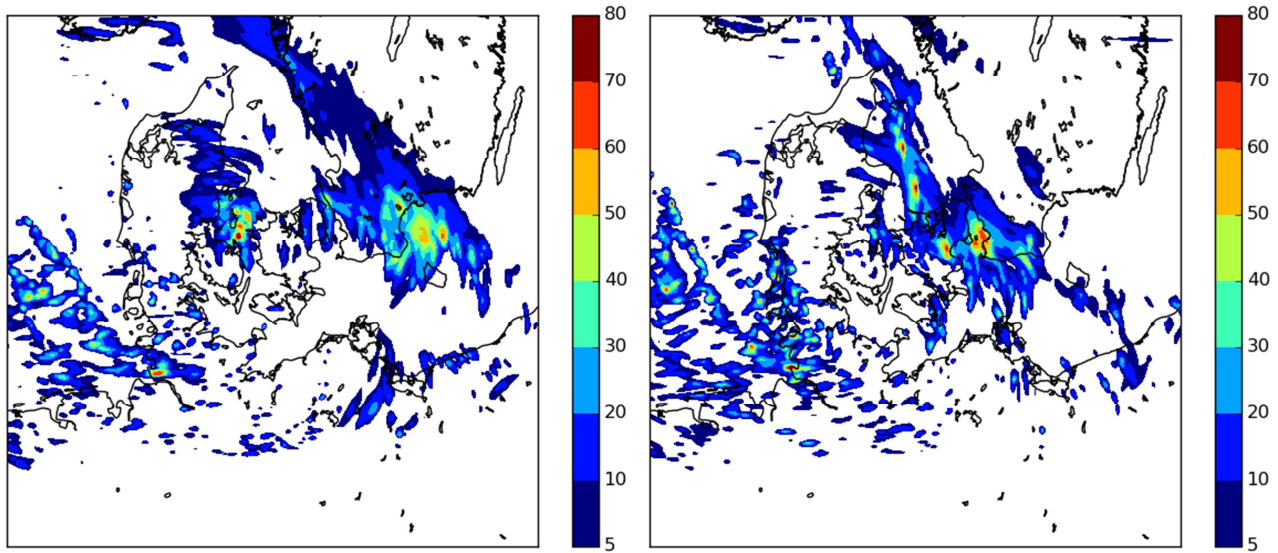


Figure 6: 12 h accumulated precipitation a) reference, b) “High resolution (1.3km)” and c) “Parameterized deep convection”.

At last we investigate the impact of 3D variational data assimilation on the 12 h accumulated precipitation fields, shown in Figure 7b. We initialized the model at 20140830 00 UTC and ran with 3h cycling until 20140831 00 + 12 h. Only “conventional” observations are used. For this experiment we used the large domain, and comparison with the experiment “Large domain” is plotted (Figure 7a) as reference. It can be seen that the intensities and placement of this specific event is much better captured using data assimilation than not.

It appears that the meso-scale model's horizontal resolution and treatment of deep convection (explicitly resolved by the non-hydrostatic dynamics) is important in order to capture the event. However, the very intense precipitation amounts are only captured after cycling HARMONIE-AROME's own model physics for several cycles with data-assimilation, building up a more moist model atmosphere, compared with the global ECMWF in this case.



*Figure 7: 12 h accumulated precipitation a) only surface data assimilation, large domain and b) both surface and upper air 3D var data assimilation, large domain.*

Furthermore, for operational forecasts, within the data-assimilation, the meso-scale model is set-up to take into account more recent observations than the global data assimilation is able to do. This is particularly important in meteorological situations with rapid developments, such as the case studied here.

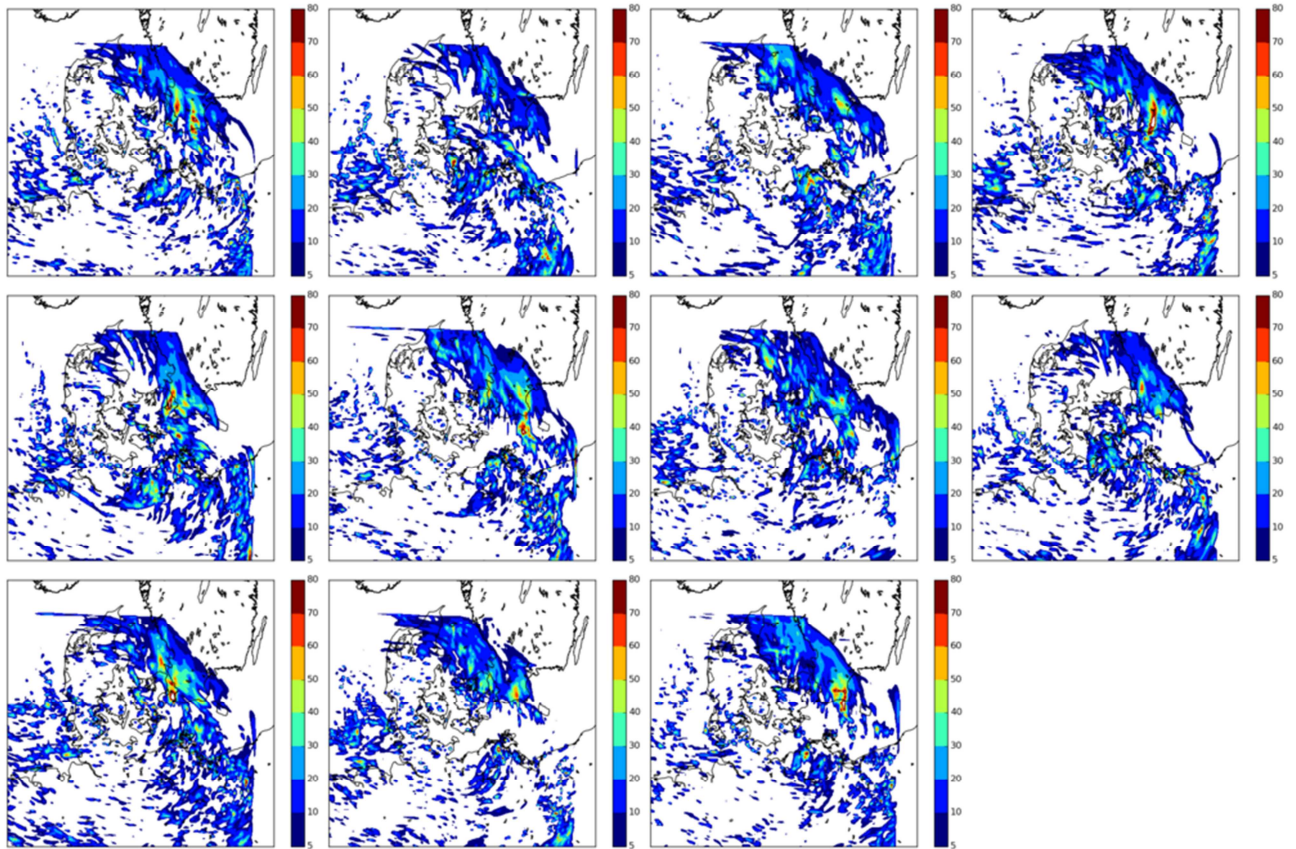
It should be noted that in the current operational set-up at SMHI and Met-Norway there is also use of satellite, GNSS (Global Satellite Navigation System) receiver stations and radar information in the data-assimilation step which are not used in this study.

## **5.2 Meso-scale Ensemble prediction.**

In order to investigate how the event was predicted by an ensemble prediction system, we ran the event using HarmonEPS. HarmonEPS is a relatively new ensemble prediction system, which up to this point has been used mostly for research, it is thus constantly evolving and improving. It is aimed for the meso-scale, and is based on the HARMONIE forecast system described above. It is intended to give reliable predictions of probabilities for high-impact weather events which are confined in space and time by meso-scale dynamical structures, orographic and other fine scaled surface forcing. Boundaries and initial condition for each ensemble member come from the 16 km resolution ensemble prediction system of the ECMWF model (courtesy of Linus Magnusson, ECMWF).

The domain is over central Europe as shown in Figure 1 (“B”), and is 1350 x 1125 km. The horizontal resolution is 2.5 km. The control member is using 3D-variational data assimilation, with 6 hour cycling. The initial conditions of the perturbed members consists

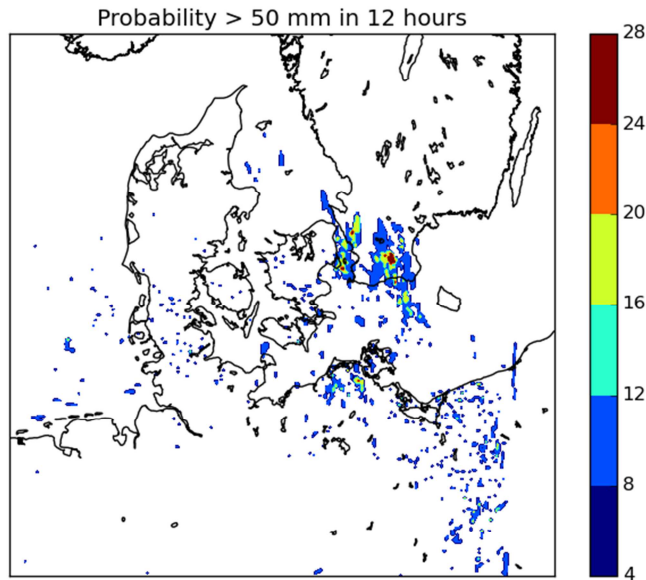
of the control analysis plus the difference between the perturbed ECMWF-EPS member and the ECMWF-EPS control member. Here, the same perturbed ECMWF-EPS member is used for the boundaries, and each member has its own surface data assimilation using optimal interpolation. For this study we use 10+1 members, all with AROME physics.



*Figure 8: 11 members of HarmonEPS, 12 h accumulated precipitation. Domain “B” in Figure 1. See text for details.*

Figure 8 shows the 12 hour accumulated precipitation from 20140831 00 of the 11 members. Due to the more southerly domain, more small scale convective events over Germany can be seen than in the previous experiments described. Overall the circulation is similar in all of the members, not one member misses precipitation over southern Sweden. However, the image illustrates nicely the problem with predictability of small scale phenomena such as convection. Given different large scale forcing, there is a different convective response. The hope is to get a signal from the ensemble where the strongest precipitation will be.

Figure 9 shows the probabilities that it will rain more than 50 mm during the 12 hour period. Here a clear signal can be seen from the rather small ensemble that there will be large amount of precipitation over southern Sweden.



*Figure 9: Probability that it will rain more than 50 mm in 12 hours from HarmonEPS.*

### 5.3 How severe could the event have been?

Since the convection is amplifying and becoming organized as it is propagating eastward over the strait between Denmark and Sweden (Öresund), the overall intensities of the event are likely strongly coupled to the SST. It is interesting to investigate the sensitivity of the Malmö precipitation event to the SST, and to understand if there is an upper bound to the total amount of precipitation given high enough sea surface temperatures.

We base the experiment on the “3D var” experiment over the large domain “C” described above.

The SST was increased by 5, 10 and 15 degrees over the strait. However, in order to avoid sharp gradients in SST we introduce the SST heating as a 2D Gaussian field, elongated in the north-to-south direction.

Figure 10 shows the 12 hour accumulated precipitation fields from the “reference” 3D var experiment with SST taken from the ECMWF model at initial time, and the three increased SST experiment. (Note the different range in the colour-bar compared with previous figures). Clearly the precipitation is increased along the coast as a direct effect of warmer SSTs. Most of the precipitation is enhanced over the water, but some amplified precipitation can also be seen in over land.

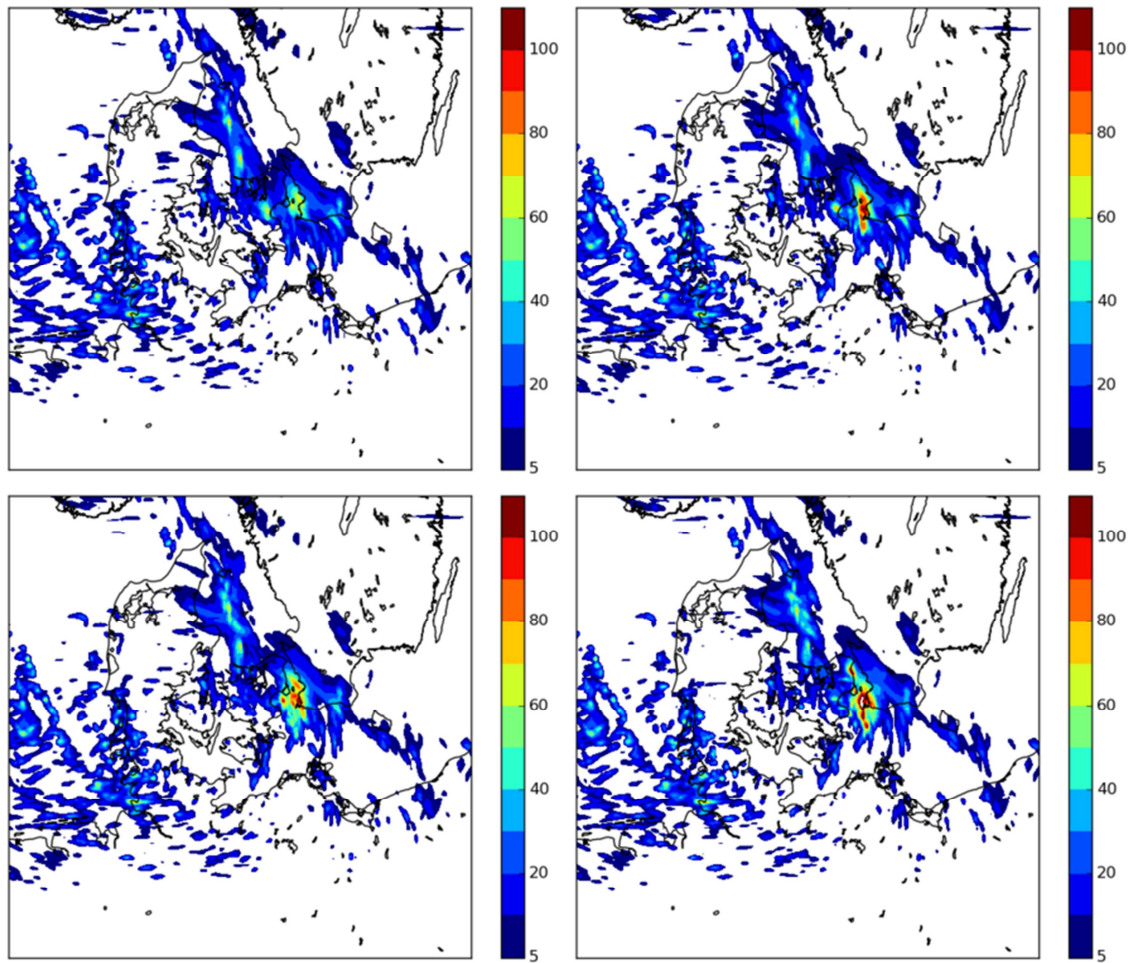


Figure 10: 12 h accumulated precipitation for a) reference “3Dvar” experiment, b) SST +5 degrees C, c) SST+10 degrees C and d) SST+15 degrees C. (Note that the colour scale has been changed compared with previous Figures).

In Meredith et al. 2015 the convection in over land was triggered and amplified as a result of higher SST over the Black Sea. And an asymptotic levelling out in the precipitation intensity could be seen with increased SST. In our case convection was already initiated over Denmark and then propagated over the strait, where the convection was amplified over sea. Therefore a direct coupling between the warmer sea surface is present, together with a continuous moisture source is present. Thus, in this case we do not see any asymptotic behaviour in the precipitation increase, even if we go as far as 15 degrees higher SSTs, and it is not straight forward to answer the question “how bad could the event have been”. In a continuation of this study we will look closer into the model sounding profiles to understand how the warmer sea surface influences the profiles of equivalent potential temperature and moisture and thus the instability.

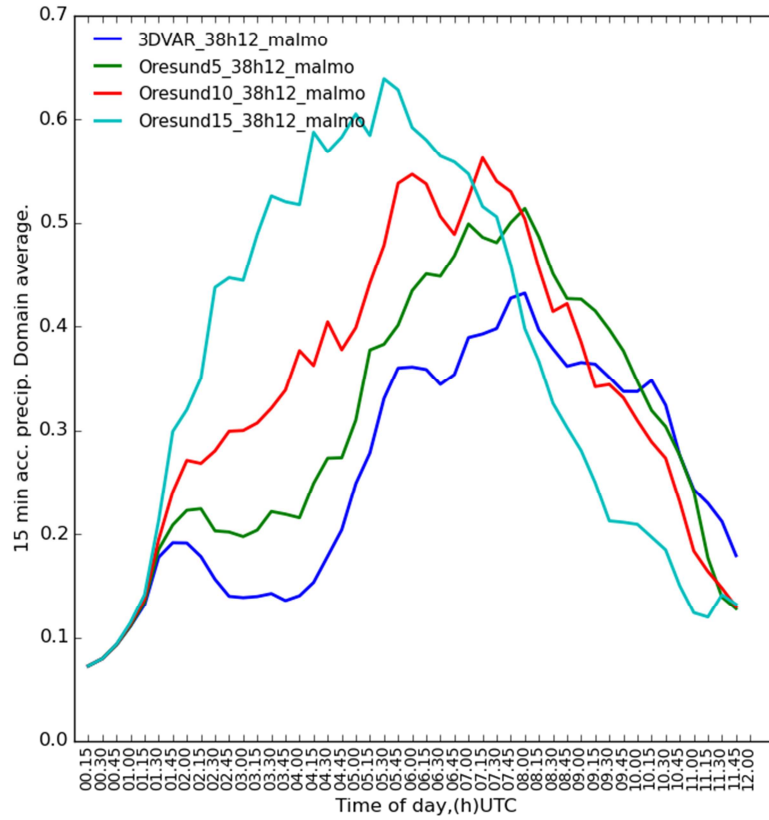


Figure 11: Area averaged 15 min precipitation for reference (blue), SST+5 (green), SST+10 (red) and SST+15 (cyan) as a function of forecast lead time.

Figure 11 shows the 15 minute area average precipitation, it can be seen that with increased temperature, the onset of precipitation is faster with warmer sea surface temperatures (after an initial spin-up period), but also a fast decay in intensities, so that there is a temporal shift in maximum precipitation amounts. No apparent asymptotic limit in precipitation increase can be seen as a function of increased SST, and thus no simple answer can be given to the question “how bad could the event have been”, we will examine the impact study from increased SST further to understand the different feedbacks going on in the boundary layer.

## 6. Conclusions

The authors would like to stress, once more, that the conclusions drawn from the sensitivity study of this single event is in no mean meant to be seen as a general conclusion of a preferred NWP model configuration. For instance, even though this particular event showed little sensitivity to higher horizontal resolution, it is not a conclusion that 2.5 km horizontal resolution is “enough” for convective events. In fact higher resolution is the only way we can better approximate the solution to our equations, and reduce errors from numerical approximation. Furthermore, higher model resolution gives better forecasts on the synoptic scale, which ultimately determines the convection in this case.

Having said that, the key question in this study is “which aspects of the NWP model system are most important in predicting this extreme precipitation event?”. Not surprisingly a combination of key aspects can be found; size of the domain, initialization of surface, and upper air data assimilation played an important role in order to get the intensities and the placement of maximum precipitation correct. It appears that the meso-scale model's horizontal resolution and treatment of deep convection (explicitly resolved by the non-hydrostatic dynamics) is important in order to capture the event. However, the very intense precipitation amounts are only captured after cycling HARMONIE-AROME's own model physics for several cycles with data-assimilation, and speculating, building up a more moist model atmosphere, compared with the global ECMWF in this case. In a continuation of the study we will look at the moist atmospheric profiles in HARMONIE-AROME with full data assimilation vs HARMONIE-AROME with a cold start from ECMWF, to get a deeper understanding of the impact of the upper air data assimilation, in this particular case.

Since the doubling of the initial error is very fast for small scale processes such as deep convection (on the order of hours), the predictability of such an event as this is very low. In this case the convection was embedded in a synoptic scale system, which has larger predictability, and therefore the deterministic forecast was able to give a signal of large amounts of precipitation in southern Sweden 1-2 days before the event. However, the placement of the individual convective cells within the system encompasses stochastic behaviour, and an ensemble prediction system is needed in order to give a signal of where the largest amounts are expected to fall. In this study we used a rather small ensemble (11 members), and found that the synoptic scale was represented similarly in all members (all of the members had the main front captured), but the intensities and the placement of the individual convective cells had a large spread. Computation of probabilities from the EPS showed a clear signal over southern Sweden of precipitation over 50 mm in 12 hours.

The event showed strong sensitivity to SST increase in Öresund. The intensities in precipitation amount increases with increased temperatures at the sea surface. There was no sign of saturation in the increase in precipitation with increasing SST, even for very large increases of the SST, as was seen in previous cases (Meredith et al., 2015). No clear answer can thus be given to the question "how strong could the event have been?" can thus be given, but it is clear that higher SST's could have contributed to a more powerful event even within current variability in SST's. In a continuation of this study we will look closer into the model sounding profiles to understand how the warmer sea surface influences the profiles of equivalent potential temperature, and moisture and thus the instability as a function of increased SST. Doing so can lead to increased understanding of how the model represents deep convection generated over a moist surface. Furthermore, in the current operational set-up, the SST in HARMONIE-AROME is taken from ECMWF in the region

south-west and west of Sweden (the Baltic Sea has SST temperatures from the ocean model HIROMB). This temperature is interpolated to the higher resolution grid at initial time, and then held constant throughout the forecast. Higher resolution description of SST (from e.g. HIROMB) could generate a more accurate lower boundary condition for convection developing over sea. In addition, for longer term development, it would be interesting to understand if a representation of the temporal development of SST could be included in our weather prediction model.

## 7. References

Gerard, L, J.-M. Piriou, R. Brozkova, J.-F. Geleyn, and D.Banciu, 2009: Cloud and precipitation parameterization in a meso-gamma scale operational weather prediction model. *Mon. Wea. Rev.*, 137, 3960-3977.

Giard, D., and E. Bazile, 2000: Implementation of a new assimilation scheme for soil and surface variables in a global nwp model. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 997–1015.

Hohenegger, C., & Schär, C. 2007. Atmospheric predictability at synoptic versus cloud-resolving scales. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88(11), 1783-1793.

Ivarsson, K-I. 2015: Description of the OCND2-option in the ICE3 clouds- and stratiform condensation scheme in AROME. ALADIN-HIRLAM Newsletter No 5, August 2015

Leutbecher, M. and T.N. Palmer, 2008: Ensemble Forecasting. *J. Comp. Phys.*, 227, 3515-3539.

Lorenz, E.N., 1969: The predictability of a flow which possess many scales of motion. *Tellus*, 21, 289-307.

Meredith, E. P., Semenov, V. A., Maraun, D., Park, W., & Chernokulsky, A. V. 2015. Crucial role of Black Sea warming in amplifying the 2012 Krymsk precipitation extreme. *Nature Geoscience*.

Seity, Y., P. Brousseau, S.Malardel, G. Hello, P. Benard, F. Bouttier, C. Lac, and V. Masson, 2011: The arome-france convective-scale operational model. *Mon. Wea. Rev.*, 139, 976–991.

Siebesma, A.P., P.M.M. Soares and J. Teixeira, 2007. A Combined Eddy-Diffusivity Mass-Flux Approach for the Convective Boundary Layer. *J. Atmos. Sci.*, 64, 1230-1248.

## Bilaga X

### Jämförelse av olika frekvensfördelningar för extremregn i klimatmodelldata

Lennart Simonsson

Gumbelfördelningen med två parametrar fås om den så kallade formparametern sätts till 0 i GEV. En kontroll av att den procedur som bygger på att data kommer från en Gumbelfördelning som använts för att uppskatta återkomsttider är vettig är att undersöka om GEV verkar beskriva data bättre än Gumbelfördelningen. Ett vanligt test är Likelihood Ratio där teststorheten

$$l = 2 * (\log \text{likelihood (GEV)} - \log \text{likelihood (Gumbel)})$$

approximativt kommer från en chi2-fördelning med en frihetsgrad.

$l$  beräknades för referensperioden, 1976-2005, och det sena 2000-talet, 2070-2099, efter att fördelningarna anpassats med Maximum Likelihood (ML) med hjälp av Statistics Toolbox i MATLAB. I tabellen visas medelvärden av andelen gridrutor inom Sverige för referensperioden och de tre scenarierna i det sena 2000-talet. Det är ingen skillnad mellan referensperioden och klimatprojektionerna för en given ackumulationstid. Vad som sticker ut lite är en timmes ackumulation där över 90 % av punkterna inte gav utslag i testet att GEV passar bättre än Gumbel, för de två övriga ackumulationerna är andelen något under 90 %.

*Andel i % av punkterna inom Sverige där teststorheten  $l$  för att avgöra om årsmaxen beskrivs*

| Akkumulation | 1976-2005  | rcp26 2070-2099 | rcp45 2070-2099 | rcp85 2070-2099 |
|--------------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 7.5 min      | (87, 9, 5) | (83, 10, 7)     | (85, 10, 5)     | (83, 11, 6)     |
| 1 h          | (93, 5, 2) | (94, 5, 1)      | (94, 5, 1)      | (92, 6, 2)      |
| 12 h         | (87, 8, 4) | (89, 8, 4)      | (88, 8, 4)      | (84, 10, 6)     |

*bättre av GEV än Gumbel är  $<3.84$ ,  $3.84 < l < 6.63$  resp.  $l > 6.63$  för olika samlingar av data. Dessa gränser svarar mot en ungefärlig signifikansnivå på 95 % resp. 99 %.*

Ett alternativ till extremvärdesfördelning är att anpassa en Pearson 3 fördelning till de logaritmerade årsmaxen. Log Pearson 3 har använts i ingenjörstillämpningar för att uppskatta extremt regn, ett exempel är Hernebring (2006). Denna fördelning jämförs med GEV och Gumbel på samma sätt som i Li m. fl. (2015) där olika fördelningar rangordnas efter hur stor den maximala avvikelserna mellan den empiriska fördelningsfunktionen och fördelningsfunktionen beräknad från de uppskattade fördelningarna är. Vi begränsar oss något och tar inte med alla fördelningar som testades i Li m. fl. (2015). En av deras fördelningar vi väljer att ta med är Weibullfördelningen. Om en variabel  $X$  är Weibull-fördelad så är  $\log(X)$  Gumbelfördelad så i någon mening är det en Gumbelfördelning anpassad till antilogaritmerade årsmax.

I tabellerna visas hur stor andel av punkterna för en viss ackumulationstid och klimatscenario/period som en fördelning kom på 1:a, 2:a, 3:e och 4:e plats i jämförelsen. Här klarade sig Weibullfördelningen sämst då den har störst avvikelse från den empiriska fördelningsfunktionen i minst 70 % av gridrutorna. Gumbelfördelningen kom på 3:e plats i ungefär 50 % av gridrutorna men överraskar något genom att vara bäst i över 20 % av gridrutorna. Log Pearson 3 klarar sig bra med drygt 30 % 1:a platser men om man summerar andelarna från GEV och Gumbelfördelningen har "extremvärdesfamiljen" överallt drygt 60 % förstaplatser och får anses passa de här data bättre enligt det här kriteriet. Här förtjänar dock att nämnas att algoritmen för ML-skattningen av parametrarna för Log Pearson 3 inte konvergerade för omkring 10 % av gridrutorna. Den är besvärlig att uppskatta för små sampel, som vi har här med bara 30 årsmax, och

simuleringsstudier i litteraturen visar att andra skattningar än ML kan vara bättre så den är något orättvist behandlad här.

*Andel i % av punkterna inom Sverige där den skattade fördelningsfunktionen har minst, näst minst, näst störst resp. störst avvikelse från den empiriska fördelningsfunktionen.*

#### GEV

| Akkumulation | 1976-2005       | rcp26 2070-2099 | rcp45 2070-2099 | rcp85 2070-2099 |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 7.5 min      | (43, 42, 13, 1) | (45, 42, 11, 1) | (44, 42, 13, 1) | (46, 41, 12, 1) |
| 1 h          | (34, 45, 19, 2) | (33, 46, 20, 2) | (33, 45, 19, 2) | (37, 44, 17, 2) |
| 12 h         | (39, 44, 16, 2) | (38, 44, 16, 2) | (39, 44, 15, 2) | (43, 42, 13, 2) |

#### Gumbel

| Akkumulation | 1976-2005        | rcp26 2070-2099  | rcp45 2070-2099  | rcp85 2070-2099  |
|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 7.5 min      | (23, 18, 53, 7)  | (20, 19, 54, 6)  | (21, 18, 55, 6)  | (21, 18, 55, 6)  |
| 1 h          | (26, 15, 46, 13) | (27, 14, 44, 15) | (26, 15, 46, 14) | (26, 17, 48, 10) |
| 12 h         | (24, 20, 46, 10) | (23, 19, 47, 10) | (24, 21, 46, 9)  | (22, 23, 47, 8)  |

#### Weibull

| Akkumulation | 1976-2005      | rcp26 2070-2099 | rcp45 2070-2099 | rcp85 2070-2099 |
|--------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 7.5 min      | (4, 2, 14, 80) | (3, 2, 16, 79)  | (4, 2, 15, 79)  | (3, 2, 16, 79)  |
| 1 h          | (7, 4, 14, 75) | (9, 3, 14, 74)  | (9, 4, 14, 74)  | (7, 3, 13, 76)  |
| 12 h         | (6, 3, 19, 72) | (6, 3, 18, 73)  | (6, 3, 20, 72)  | (5, 2, 21, 72)  |

#### Log Pearson 3

| Akkumulation | 1976-2005        | rcp26 2070-2099  | rcp45 2070-2099  | rcp85 2070-2099  |
|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 7.5 min      | (30, 38, 20, 13) | (31, 37, 18, 14) | (31, 38, 18, 13) | (29, 39, 17, 14) |
| 1 h          | (32, 36, 22, 10) | (31, 37, 23, 9)  | (32, 36, 21, 10) | (31, 36, 22, 11) |
| 12 h         | (31, 33, 19, 16) | (33, 33, 19, 16) | (31, 33, 19, 17) | (30, 32, 19, 19) |

## Referenser

Hernebring, C. (2006): 10 års-regnets återkomst, förr och nu, regndata för dimensionering/kontrollberäkning av VA-system i tätorter. VA-forsk rapport 2006-04.

Li m. fl 2015: Z. Li, Z. Li, W. Zhao och Y. Wang, *Probability Modeling of Precipitation Extremes over Two River Basins in Northwest of China*, Advances in Metereology Volume (2015).

Lennart Wern & Jonas German (2009): *Korttidsnederbörd i Sverige 1995-2008*, SMHI rapport Metereologi 139.

## Bilaga XI

### Kompletterande figurer till den hydrologiska konsekvensanalysen

Yeshewatesfa Hundecha

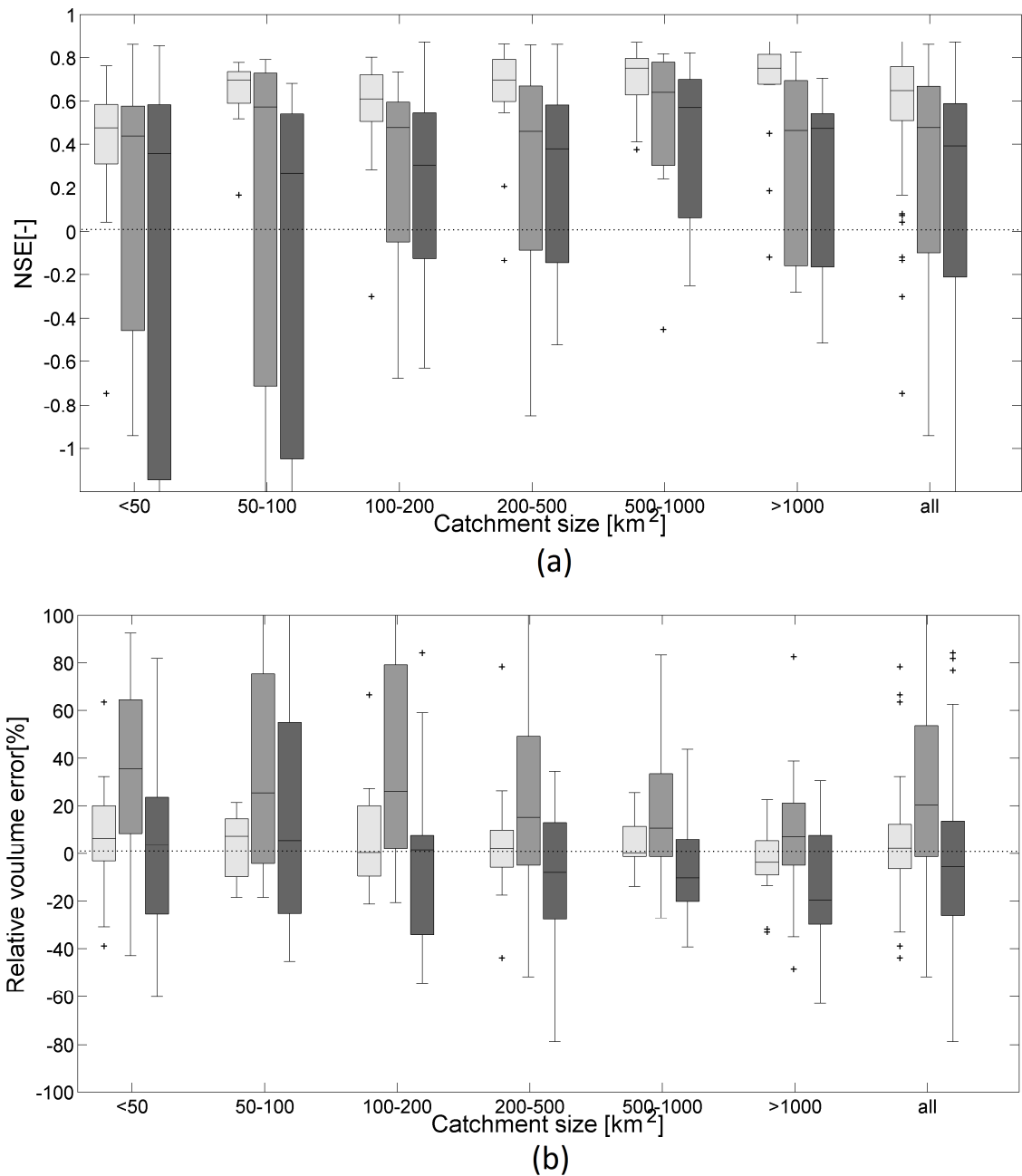


Figure A1: Model performance for different catchment size classes (Light boxes: entire period; grey boxes: summer season, entire flow; dark boxes: summer season, qobs > q90)

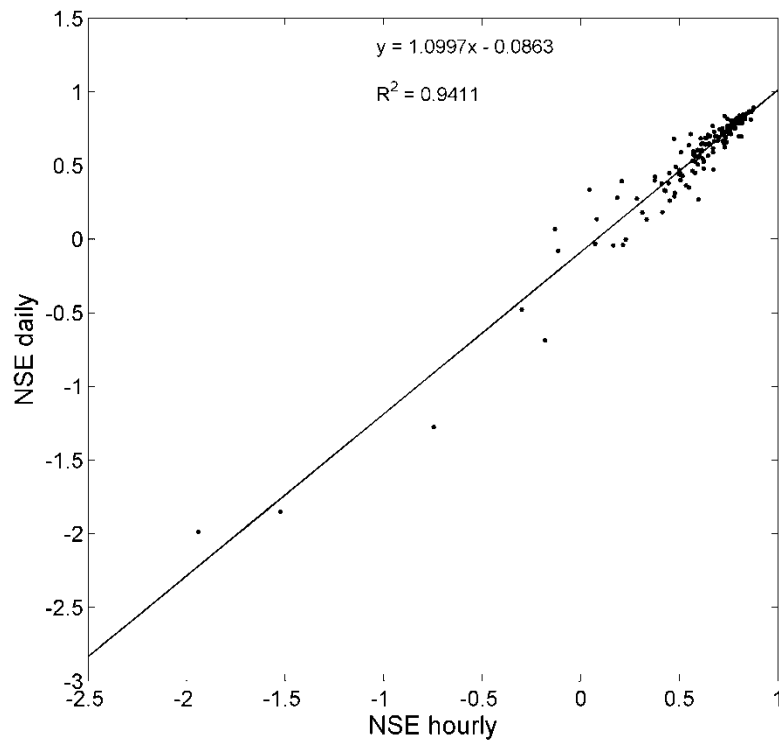


Figure A2: Relation between Nash-Suttcliffe values between the hourly and daily models

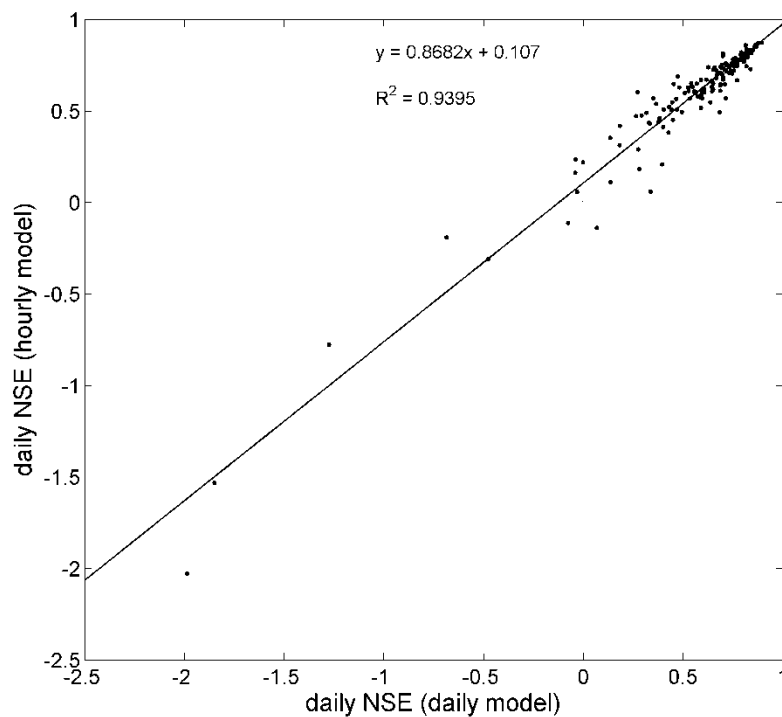


Figure A3: Relation between daily Nash-Suttcliffe values between the hourly model averaged over the day and daily model

## SMHIs publiceringar

- SMHI ger ut sju rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationell publik och skrivs därför oftast på engelska. I de övriga serierna används det svenska språket.

| Seriernas namn                           | Publiceras sedan |
|------------------------------------------|------------------|
| RMK (Report Meteorology and Climatology) | 1974             |
| RH (Report Hydrology)                    | 1990             |
| RO (Report Oceanography)                 | 1986             |
| METEOROLOGI                              | 1985             |
| HYDROLOGI                                | 1985             |
| OCEANOGRAFI                              | 1985             |
| KLIMATOLOGI                              | 2009             |

### I serien KLIMATOLOGI har tidigare utgivits:

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1 Lotta Andersson, Julie Wilk, Phil Graham, Michele Warburton (University KwaZulu Natal) (2009)<br/>Local Assessment of Vulnerability to Climate Change Impacts on Water Resources in the Upper Thukela River Basin, South Africa – Recommendations for Adaptation</p> <p>2 Gunn Persson, Markku Rummukainen (2010)<br/>Klimatförändringarnas effekter på svenskt miljömålsarbete</p> <p>3 Jonas Olsson, Joel Dahné, Jonas German, Bo Westergren, Mathias von Scherling, Lena Kjellson, Fredrik Ohls, Alf Olsson (2010)<br/>En studie av framtida flödesbelastning på Stockholms huvudavloppssystem</p> <p>4 Markku Rummukainen, Daniel J. A. Johansson, Christian Azar, Joakim Langner, Ralf Döscher, Henrik Smith (2011)<br/>Uppdatering av den vetenskapliga grunden för klimatarbetet. En översyn av natur-vetenskapliga aspekter</p> <p>5 Sten Bergström (2012)<br/>Framtidens havsnivåer i ett hundraårsperspektiv – kunskapssammanställning 2012</p> | <p>6 Jonas Olsson och Kean Foster (2013)<br/>Extrem korttidsnederbörd i klimatprojektioner för Sverige</p> <p>7 FNs klimatpanel – Sammanfattning för beslutsfattare. Effekter, anpassning och sårbarhet. Bidrag från arbetsgrupp 2 (WG 2) till den femte utvärderingen (AR 5) från Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2014)</p> <p>8 Att begränsa klimatförändringar (2014) (Ej publicerad)</p> <p>9. Erik Kjellström SMHI. Reino Abrahamsson, Pelle Boberg, Eva Jernbäcker Naturvårdsverket. Marie Karlberg, Julien Morel<br/>Energimyndigheten och Åsa Sjöström SMHI (2014)<br/>Uppdatering av det klimatvetenskapliga kunskapsläget</p> <p>10. Risker och konsekvenser för samhället av förändrat klimat – en kunskapsöversikt (2014)</p> <p>11. Gunn Persson (2015)<br/>Vägledning för användande av klimatscenarier</p> <p>12 Lotta Andersson, Anna Bohman, Lisa van Well, Anna Jonsson, Gunn Persson och Johanna Farelus (2015)<br/>Underlag till kontrollstation 2015 för anpassning till ett förändrat klimat</p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

13. Gunn Persson (2015)  
Sveriges klimat 1860-2014. Underlag till Dricksvattenutredningen.
14. Anna Eklund (2015)  
Sveriges framtida klimat. Underlag till Dricksvattensutredningen.
15. Elin Sjökvist, Jenny Axén Mårtensson, Joel Dahné, Nina Köplin, Emil Björck, Linda Nylén, Gitte Berglöv, Johanna Tengdelius Brunell, Daniel Nordborg, Kristoffer Hallberg, Johan Södling, Steve Berggreen-Clausen (2015)  
Klimatscenarier för Sverige - Bearbetning av RCP-scenarier för meteorologiska och hydrologiska effektstudier
16. Elin Sjökvist, Gunn Persson, Jenny Axén Mårtensson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson och Håkan Persson (2015)  
Framtidsklimat i Dalarnas län – enligt RCP-scenarier.
17. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)  
Framtidsklimat i Värmlands län – enligt RCP-scenarier.
18. Gunn Persson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)  
Framtidsklimat i Örebro län – enligt RCP-scenarier.
19. Alexandra Ohlsson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)  
Framtidsklimat i Västmanlands län – enligt RCP-scenarier.
20. Elin Sjökvist, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson (2015)  
Framtidsklimat i Uppsala län – enligt RCP-scenarier.
21. Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)  
Framtidsklimat i Stockholms län – enligt RCP-scenarier.
22. Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)  
Framtidsklimat i Södermanlands län – enligt RCP-scenarier.
23. Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)  
Framtidsklimat i Östergötlands län – enligt RCP-scenarier.
24. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)  
Framtidsklimat i Västra Götalands län – enligt RCP-scenarier.
25. Alexandra Ohlsson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)  
Framtidsklimat i Jönköpings län – enligt RCP-scenarier.
26. Gunn Persson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)  
Framtidsklimat i Kalmar län – enligt RCP-scenarier.
27. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)  
Framtidsklimat i Kronobergs län – Enligt RCP-scenarier.
28. Gunn Persson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)  
Framtidsklimat i Hallands län – enligt RCP-scenarier.

29. Alexandra Ohlsson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)  
Framtidsklimat i Skåne län – enligt RCP-scenarier.
30. Alexandra Ohlsson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)  
Framtidsklimat i Blekinge län – enligt RCP-scenarier.
31. Gunn Persson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)  
Framtidsklimat i Gotlands län – enligt RCP-scenarier.
32. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)  
Framtidsklimat i Norrbottens län – enligt RCP-scenarier.
33. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)  
Framtidsklimat i Västerbottens län – enligt RCP-scenarier.
34. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)  
Framtidsklimat i Jämtlands län – enligt RCP-scenarier.
35. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)  
Framtidsklimat i Västernorrlands län – enligt RCP-scenarier.
36. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)  
Framtidsklimat i Gävleborgs län – enligt RCP-scenarier.





Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut  
601 76 NORRKÖPING  
Tel 011-495 80 00 Fax 011-495 80 01

ISSN 1654-2258