



Myndigheten för  
samhällsskydd  
och beredskap

# Nederbörd och översvämningar i framtidens Sverige

**FORSKNING**

MSB:s kontaktpersoner:

Cecilia Alfredsson, 010-240 50 82

Ulrika Postgård, 010-240 50 33

Publikationsnummer MSB 973- februari 2016

ISBN 978-91-7383-641-8

# Förord

Den här rapporten ger en sammanfattning av ett fyraårigt (2012-2015) forskningsprojekt finansierat av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). Klimatförändringarna påverkar Sverige och risken för översvämningar och skyfall väntas öka i framtidens klimat. Tanken med projektet är att stödja kommuner och länsstyrelser i det pågående klimatanpassningsarbetet med fokus på hantering av skyfall och översvämning från vattendrag och sjöar. Projektet handlar om regnmängder, flöden, sårbarheter och ekonomisk värdering. Arbetet spänner över hela riskhanteringsprocessen från hotbild med stora regnmängder och höga flöden i vattendrag, via kartering av skador och skadekostnader till åtgärdsplan. Ett viktigt syfte med projektet är att illustrera hur kedjan från den konkreta hotbilden till underlag för potentiella skyddsåtgärder kan se ut. Under arbetets gång har vi koncentrerat oss på några utvalda pilotområden som karakteriseras av varierande översvämningshot. Vår förhoppning är att projektets resultat bidrar med användbara metoder och ny kunskap till stöd för klimatanpassningen.

Rapporten har tagits fram i samarbete mellan forskargrupper på Karlstads universitet, SMHI, och Göteborgs universitet. Huvudredaktör är Christine Achberger, som tillsammans med Lars Nyberg, Gunn Persson och David Rayner svarat för sammanställning av informationen och för en stor del i framställningen av rapporten. Det är många som har varit delaktiga och involverade i projektet på olika sätt, eller har medverkat med underlag till rapporten: Johan Andréasson, Tinghai Ou, Alexander Walther, Linda Nylén, Steve Berggreen-Clausen, Peter Berg, Elin Sjökvist, Ulrika Harbman, Jörgen Jones, Johan Södling, Kristoffer Hallberg, Kristin Gustafsson, Tonje Grahn, Barbara Blumenthal, Rolf Nyberg och Jan-Olov Moberg. Sofia Hedberg Broberg, Daniel Knös, Mino Ashkan, och Göran Wigren har varit med i projektets referensgrupp och har bidragit till utvecklingen av projektet. Cecilia Alfredsson och Ulrika Postgård från MSB har varit med i projektets olika skeden och gett många råd för genomförande och rapportering. Till alla dessa riktas härmed ett varmt tack.

Till sist vill jag rikta ett speciellt tack till Christine Achberger som har spelat en viktig roll i projektet. Hon har nämligen jobbat med alla delar av projekt, från koordinering av forskning till kontakt med referensgruppen och annan kommunikation utåt.

Deliang Chen  
Projektledare  
Göteborg, december 2015.

# Innehållsförteckning

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Förord .....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>Innehållsförteckning .....</b>                           | <b>4</b>  |
| <b>Sammanfattning .....</b>                                 | <b>5</b>  |
| <b>1. Inledning.....</b>                                    | <b>7</b>  |
| <b>1.1 Bakgrund.....</b>                                    | <b>7</b>  |
| <b>1.2 Projektets koncept.....</b>                          | <b>10</b> |
| <b>1.3 Syfte och mål .....</b>                              | <b>11</b> |
| <b>2. Pilotområden .....</b>                                | <b>12</b> |
| <b>2.1 Falkenberg.....</b>                                  | <b>12</b> |
| <b>2.2 Haparanda .....</b>                                  | <b>12</b> |
| <b>2.3 Karlstad.....</b>                                    | <b>13</b> |
| <b>3. Tillvägagångssätt.....</b>                            | <b>14</b> |
| <b>3.1 Regionala klimatscenarier.....</b>                   | <b>14</b> |
| 3.1.1 Nedskalning med DBS-metoden.....                      | 14        |
| 3.1.2 Statistisk nedskalning.....                           | 16        |
| 3.1.3 Intensiv nederbörd .....                              | 19        |
| <b>3.2 Flöden, vattennivåer och översvämningsskikt.....</b> | <b>20</b> |
| 3.2.1 Hydrologisk modellering.....                          | 20        |
| 3.2.2 Hydraulisk modellering .....                          | 21        |
| 3.2.3 Översvämningsskikt.....                               | 23        |
| <b>3.3 Riskanalyser.....</b>                                | <b>23</b> |
| <b>3.4 Åtgärder och strategier på lokal nivå .....</b>      | <b>26</b> |
| <b>4. Resultat .....</b>                                    | <b>27</b> |
| <b>4.1 Regionala klimatscenarier.....</b>                   | <b>27</b> |
| 4.1.1 Resultat DBS-nedskalning.....                         | 27        |
| 4.1.2 Resultat statistisk nedskalning .....                 | 30        |
| 4.1.3 Jämförelse av metoderna.....                          | 33        |
| <b>4.2 Framtida intensiv nederbörd.....</b>                 | <b>34</b> |
| <b>4.3 Flöden, vattennivåer och översvämningsskikt.....</b> | <b>39</b> |
| 4.3.1 Flöden.....   | 39        |
| 4.3.2 Vattennivåer .....                                    | 43        |
| 4.3.3 Översvämningsskikt.....                               | 46        |
| <b>4.4 Riskanalys.....</b>                                  | <b>50</b> |
| <b>4.5 Från hot till åtgärd .....</b>                       | <b>68</b> |
| <b>5. Slutsatser.....</b>                                   | <b>73</b> |

# Sammanfattning

Risken för översvämning och skyfall väntas öka i framtidens klimat. I Sverige pågår arbetet med klimatanpassning bland annat i kommuner och på länsstyrelser. Projektets övergripande syfte har varit att stödja klimatanpassningsarbetet med avseende på risken för översvämningar i det framtida klimatet. Beroende på de lokala förutsättningarna varierar översvämningensrisker och sårbarhet för kraftiga skyfall, vilket kräver lokalt anpassade riskutredningar. Vi har arbetat med tre olika avrinningsområden där översvämningensriskerna är stora redan idag, Torneälven, Ätran och Klarälven. Dessa pilotområden är valda utifrån de olika förutsättningar som skapar risk för översvämning.

Ett viktigt mål i projektet har varit att illustrera hur kedjan från den konkreta hotbilden – t ex framtida extrema regn – till underlag för potentiella skyddsåtgärder kan se ut. Vi började med att utgå från resultat från globala och regionala klimatmodeller, som blev nedskalade för att ta fram lokala klimatscenarier. Den lokala klimatinformationen har blivit indata till flödesberäkningar och vattenståndssimuleringar, vilka lade grunden till översvämningsskarteringar för 100 år, 200 års och beräknat högsta flöde (BHF). Med en översiktsanalys kunde vi identifiera sårbarheter i närheten av kust och vattendrag. Slutligen kombinerade vi sårbarhetsanalyser med översvämningsskarter, identifierade risker och beskrev kvantitativt hur hotbilden kan förändras i framtiden under några valda klimatförändringsscenarier. Vi gav även förslag på åtgärder.

Kanske det största lärandet från projektet har varit att den ganska linjära kedjan – trots att det kan ses som ett logiskt sätt att angripa uppgiften – inte är optimal för tillämpning inom ett projekts ram. Som ett resultat föreslår vi att framtida forskning fokuserar på att ta fram analysmetoder som tillåter att arbetspaket med modellering och kartläggning körs parallellt. Lösningen som vi kom fram till – att simulera en spridning av flöden i de hydrauliska modellerna – kunde vara utgångspunkten. Med en sådan projektkonfiguration kan de arbetspaket med klimatnedskalning och hydrologiska modelleringar köras parallellt med arbetspaket med hydraulisk modellering och sårbarhetsanalys. Avsikten är att först kartlägga sårbarheten vid olika vattennivåer och sedan kartlägga framtidsrisken genom att beräkna vattennivåer i vattendragen för olika flöden under klimatscenerierna i samverkan med olika havsnivåer. I första skedet är det viktigt att identifiera om det finns tröskelvärden (vattennivåer) då översvämningensriskerna ökar kraftigt, t.ex. då skyddsvallar överflödas eller vägar blir okörbara.

Sårbarhetsanalyserna för sig visade ett komplext mönster där lokala förutsättningar, som varierar mycket mellan de valda orterna, har stor betydelse. Klimatscenerierna visar att nederbörden och skyfallen kommer att öka i samtliga pilotområden, medan en ökning i maxtillrinning är mest sannolikt för Ätran men en minskning mest sannolikt för Torne älv. Havsvattenståndet spelar en avgörande roll för den faktiska

---

översvämningensrisken i Falkenbergs centrala delar, men för Haparanda-Tornio är flödet i Torneälven avgörande för översvämningensriskerna.

Havsvattenståndet påverkar Torneälvens vattennivå betydligt mindre, med undantag för mynningen. Förändringen varierar något beroende på valt klimatscenario.

Det finns ett stort behov av lokalt anpassad klimatologisk och hydrologisk information samt att integrera denna med andra relevanta faktorer som t.ex. havsvattenståndet, risk för urbana översvämningar, överbelastning av dagvattensystem, etc. Risken för bildning av isproppar i Torneälven vid Haparanda är ett tydligt exempel.

Slutligen är det viktigt att ta hänsyn till att det finns många olika intressen, kunskaper, och sårbara grupper i riskhanteringsprocessen. Deltagande från de politiska nivåerna är mycket viktigt och kan förbättras i Sverige. De frågor vi talar om - klimatförändringar i förhållande till långsiktigt byggande och utveckling i kommuner - handlar om tidsperspektiv på minst 50-100 år. De avvägningar mellan olika intressen som måste göras kan endast ske genom en demokratisk process.

# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

Ett förändrat klimat påverkar våra liv på många sätt. För Sveriges del betyder klimatförändringar att det både blir varmare och blötare. Som i många andra delar av världen ökar risken för extremväder. Skador på bebyggelse och infrastruktur samt störningar av samhällsviktiga funktioner och påverkan på människans hälsa kan förväntas till följd av skyfall, översvämningar och stormar men även värmeböljor<sup>1</sup>.

Väderobservationer i Sverige visar att temperaturer, regnmängder och antalet dagar med extremt kraftig nederbörd redan har ökat<sup>2,3</sup> och trenden kommer fortsätta i framtiden<sup>4</sup>. Under de senaste 20 åren har en rad kraftiga och ihållande nederbördshändelser drabbat Sverige med översvämningar, ras och skred som följd<sup>5,6</sup>. I många delar av landet är översvämningsrisken redan hög i dag och kan även försämrats om den fysiska planeringen inte aktivt tar hänsyn till klimatrelaterade risker<sup>5</sup>.

Det kanske mest kända händelsen under de senaste åren inträffade i november 2000<sup>6</sup>. Arvika i västra Värmland fick över 300% av den normala oktober/november nederbörden, och som följd steg vattennivån i Glafs fjorden till 3m över normalnivån. Strandnära områden i Arvika var översvämmade, vägnätet hotades, många mindre vägar var avstängda och järnvägstrafiken ställdes in i över tre veckor.

Att anpassa samhället till nuvarande och framtida översvämningsrisker är en komplex och utmanande process. Vägen från simuleringen av det framtida klimatet till beslutet för en klimatanpassningsåtgärd på lokal nivå involverar ansvarstagande och beslutsfattande på olika nivåer och av olika aktörer. Många

---

<sup>1</sup> SMHI 2015: Underlag för Underlag till kontrollstation 2015 för anpassning till ett förändrat klimat; SMHI Klimatologi Nr 12.

<sup>2</sup> Moberg et al., 2006: Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analysed for the period 1901-2000. *Journal of Geophysical Research*, 111, D22106, DOI: 10.1029/2006JD007103.

<sup>3</sup> Chen et al., 2015: *European Trend Atlas of Extreme Temperature and precipitation*. Springer, Dordrecht Heidelberg New York London, DOI 10.1007/978-94-017-9312-4, pp 178.

<sup>4</sup> Nikulin et al., 2010: Evaluation and future projections of temperature, precipitation and wind extremes over Europe in an ensemble of regional climate simulations. *Tellus* 63(1), 41-55.

<sup>5</sup> Carlsson et al., 2006: *Framtidens översvämningsrisker*. SMHI Hydrologi Nr 19.

<sup>6</sup> Blumenthal et al., 2010: *10 år efter Arvikaöversvämningen*. Karlstad University Press.

gångar måste beslut tas under osäkerhet. Samhället måste ändå anpassa sig och vidta åtgärder för att minska sårbarheten från t ex skyfall och översvämningar.

### *Klimatanpassning i Sverige – kort återblick*

Hur sårbart är det svenska samhället för globala klimatförändringar och vilka konsekvenser skulle dessa medföra på regional och lokal nivå? Med dessa övergripande frågor påbörjades arbetet med Klimat- och sårbarhetsutredningen 2005. Två år senare presenterades rapporten Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter (SOU 2007:60)<sup>7</sup>. Därmed tog den svenska regeringen ett viktigt steg mot att medvetandegöra sårbarheten för klimatrelaterade risker i Sverige. Utredningen kartlägger samhällets sårbarhet för extrema väderhändelser och successiva klimatförändringar på kort, medellång och lång sikt och drar den viktiga slutsatsen att klimatscenerierna nu är tillräckligt robusta för att kunna användas som underlag i samhällsprocessen. Vidare föreslog utredningen åtgärder för att minska sårbarheten och att länsstyrelserna och kommunerna får ökat ansvar. Därmed var grunden lagd för ett mer systematiskt klimatarbete i Sverige.

Ett år efter Klimat- och sårbarhetsutredningen framlagt sin rapport antog den svenska riksdagen en sammanhållen politik för klimat och energi (Prop 2008/09: 162), som innefattar de första stegen för det svenska samhället att anpassa sig till ett förändrat klimat. Därefter påbörjades arbetet att successivt identifiera effekterna av klimatförändringarna, bedöma riskerna och utveckla och genomföra anpassningsåtgärder, såväl inom olika näringsområden som på regional och kommunal nivå. I framtiden skulle de möjliga effekterna av klimatförändringarna och klimatanpassningen bli en integrerad del i samhällsplaneringen med det uttalade målet att öka det politiska samspelet mellan sektorer och regionala verksamheter i klimatrelaterade frågor. Som en konsekvens av denna strategi fick ett 30-tal myndigheter genom sina respektive sektorsansvar en mycket viktig roll i klimatanpassningsarbetet på nationell nivå.<sup>8</sup> Bland dessa har tre myndigheter en särskilt framträdande roll; MSB som har det övergripande ansvaret för arbetet med att förebygga och mildra effekterna av naturolyckor, SMHI som tillhandahåller planerings- och beslutsunderlag för väder- och vattenberoende verksamheter samt driver Nationellt kunskapscentrum för klimatanpassning samt Naturvårdsverket, som är ansvarig myndighet för miljökvalitetsmålet ”Begränsad klimatpåverkan” och vars arbete syftar till att främja hållbar utveckling.

På regional nivå har länsstyrelserna fått regeringens uppdrag att samordna och driva klimatanpassningsarbetet. Förutom rollen att tillhandahålla planeringsunderlag till den kommunala fysiska planeringen sammanställer

---

<sup>7</sup> <http://www.klimatanpassning.se/roller-och-ansvar/klimat-och-sarbarhetsutredningen/klimat-och-sarbarhetsutredningen-roller-och-ansvar-1.25845>

<sup>8</sup> <http://klimatanpassning.se/roller-och-ansvar/vem-har-ansvaret/nationellt-1.26917>



länsstyrelserna också regionala faktaunderlag om de förväntade klimateffekterna. Som en följd av länsstyrelsernas utökade roll finns numera klimatanpassningssamordnare på samtliga länsstyrelser. Vidare har SMHI tagit fram länsvisa klimatanalyser för alla län vilka utgör ett mycket viktigt underlag för det regionala arbetet. Klimatanalyserna har nyligen kompletterats med nya analyser enligt RCP-scenarierna<sup>9</sup>.

I spåren av Klimat- och sårbarhetsutredningen följde ett antal olika regeringsuppdrag med det övergripande syfte att kartlägga behoven och vidta åtgärder för att driva klimatanpassningsarbete inom en rad olika sektorer. Som ett av uppdragen inrättades till exempel Nationellt kunskapscentrum för klimatanpassning vid SMHI vars främsta mål är att tillgängliggöra beslutsunderlag för klimatanpassning. Under våren 2015 avslutade SMHI regeringsuppdraget ”Underlag till kontrollstation 2015 för anpassning till ett förändrat klimat” som visar på stort behov av fortsatta insatser och ger förslag för det fortsatta klimatanpassningsarbetet i Sverige.

Genom att MSB implementerade översvämningsdirektivet utvecklades hanteringen av översvämningsrisker i Sverige. Direktivet ledde till en systematisk kartläggning av översvämningshot och översvämningsrisker samt framtagning av riskhanteringsplaner för översvämningshotade områden. För arbetet var uppdraget till Lantmäteriet att ta fram en noggrannare höjdmödel än den befintliga med 50 m rumslig upplösning av särskild betydelse.

Det finns en stor spridning i kunskapen hos kommunerna och i de existerande verktygen i hur klimatanpassning skall bedrivas och hur det effektivt kan integreras i den allmänna samhällsplaneringen. Skillnader i klimatet, geologiska och hydrologiska skillnader samt socioekonomiska förhållanden påverkar sårbarheten och skapar olika förutsättningar för anpassningen vilket gör att det krävs lokalt anpassade verktyg och lösningar. Samtidigt poängterar SMHI<sup>10</sup> att det inte är kostnadseffektivt att alla kommuner utvecklar egna modeller och verktyg. Det finns till exempel ett behov av nationell vägledning för skyfallskartering i bebyggda områden samt att standardiserade verktyg underlättar kvantitativa och kvalitativa jämförelser av var behov av åtgärder är störst.

Projektet *Nederbörd och översvämningar i framtidens Sverige* startades 2011 och har pågått under fyra år. Den övergripande tanken med projektet har varit att bidra till vidareutvecklingen och tillämpning av verktyg för anpassning och hantering av översvämningsrisker och hot som med stor sannolikhet kommer att öka i det framtida klimatet. Projektet har varit fokuserat kring tre utvalda pilotområden med var sin specifika översvämningskaraktäristik: Falkenberg, Haparanda och Karlstad och som beskrivs i mer detalj i kapitel 2. Projektet

---

<sup>9</sup> <http://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/framtidsklimat-i-sveriges-lan-enligt-rcp-scenarier-1.95384>

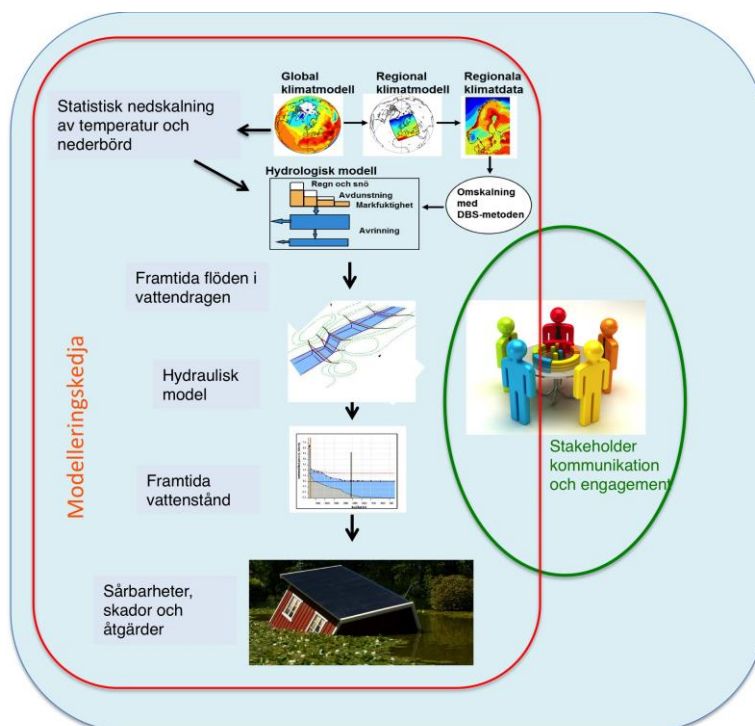
<sup>10</sup> Andersson et al., 2015: Underlag till kontrollstation 2015 för anpassning till ett förändrat klimat. SMHI Klimatologi Nr 12.

involverade forskare från SMHI; Karlstads universitet (KAU) och Göteborgs universitet (GU) med bakgrund inom meteorologi, klimatologi, hydrologi, geovetenskap och riskhantering.

## 1.2 Projektets koncept

Klimatanpassningen bygger i stor utsträckning på olika modellberäkningar, uppskattningar och antaganden där resultaten från ett steg blir indata till beräkningar i nästkommande steg. Mycket av projektet handlar om att vidareutveckla och sammanlänka befintliga metoder i en kedja från hotbild till åtgärd samt att få projektets referensgrupp involverat under hela processen. Den första länken är framtidens klimat med fler och kraftigare nederbördsextremer. Nästa länk i kedjan fokuserar på att göra resultat från globala och regionala klimatmodelleringar tillgängliga för hydrologisk modellering genom statistisk bearbetning. I den tredje länken tar vi fram framtidens flöden och vattenstånd för att kunna uppskatta vilka skaderisker och eventuella åtgärder dessa innebär för pilotområdena i kedjans sista länk.

**Figur 1-1** nedan illustrerar vårt generella tillvägagångssätt. Utgångspunkten i projektet har varit resultat från redan befintliga klimatmodelleringar (globala och regionala klimatmodeller) som ger en bild över vilket hot ett blötare klimat med mer extrema regn utgör. Inom projektet har vi vidareutvecklat statistiska metoder för att ta fram lokala klimatscenarioer för framtida regn från globala klimatmodelleringar (statistisk nedskalning), justerat data från regionala klimatmodelleringar (omskalning med DBS-metoden) och använt dessa resultat som ingångsdata för beräkning av framtida flöden (hydrologisk modellering) och vattenstånd (hydraulisk modellering) i vattendragen. Med framtidens vattenstånd har vi sedan analyserat vilka områden som hotas av översvämningar, analyserat risker och kartlagt potentiella skador.



Figur 1-1: Projektets generella tillvägagångssätt. Skissen illustrerar hur de olika modellstegen följer på varandra.

### 1.3 Syfte och mål

Projektets övergripande syfte har varit att stödja kommuner och länsstyrelser i deras klimatanpassningsarbete med avseende på risken för översvämningar i det framtida klimatet. Då det inte finns en standard för hur klimatanpassning ska bedrivas med tydliga riktlinjer, har ett viktigt syfte med projektet varit att illustrera hur kedjan från den konkreta hotbilden – t ex framtida extrema regn i Falkenberg – till underlag för potentiella skyddsåtgärder kan se ut.

Mot denna bakgrund har projektet följt ett antal specifika syften:

- Vidareutveckla en befintlig statistisk nedskalningsmodell för uppskattning av framtida lokala temperatur- och nederbördserier baserade på GCM (Global Climate Model)-resultat. Fokus har särskilt lagts på att förbättra uppskattning av nederbördsextremer och att skapa tidsserier med realistiska korrelationer i tid och rum
- Vidareutveckla och tillämpa metoder för dimensionerande flöden i ett förändrat klimat.
- Utveckla metoder för att kvantifiera och karakterisera osäkerheten i projektets modelleringsresultat och sammanställa information på ett användarvänligt sätt.
- Utveckla metoder för att bedöma framtida översvämningrisker och eventuella skador som bygger på resultaten från den hydrologiska och hydrauliska modelleringen i kombination den nya högupplösta höjddatabasen.
- Utveckla stöd för skydd och anpassningsstrategier för kommuner inklusive olika tänkbara strukturella och icke-strukturella åtgärder.
- Utveckla en webbaserad informationsplats som vänder sig till kommunens klimatanpassningsarbete för att sprida information och kommunicera kunskap om framtida klimat och hydrologiska förändringar, potentiella skador och eventuella skyddsåtgärder på ett användarvänligt och lättillgängligt sätt.

## 2. Pilotområden

I kapitel 2 ges en kort beskrivning av översvämningsproblematiken i de tre studieområdena Falkenberg, Haparanda och Karlstad.

### 2.1 Falkenberg

Falkenbergs kommun har 43 000 invånare på en yta av 1 160 km<sup>2</sup>. Staden ligger vid Ätrans mynning i Kattegatt. Översvämningshot kommer såväl från Ätran och havet som från intensiv nederbörd. Ätran drabbas relativt ofta av högflöden och det är vanligt att varning utfärdas från SMHI. Det senaste större högflödet var 2006.

Havsnivåerna stiger på grund av klimatförändringarna och påverkas därutöver under kortare perioder av lågt atmosfärstryck och starka vindar, vilket ger extrema nivåer. Den högsta nivån som inträffat under de senaste 50 åren var under stormen Gudrun 2005 då havsnivån låg på +1,67 m. Falkenbergs läge på västkusten innebär relativt stora nederbördsmängder. För staden och för Ätrans avrinningsområde är 1000-1100 mm/år normalt.

Falkenberg har deltagit i olika projekt och studier där översvämningsfrågorna har uppmärksamats. Ett exempel på det var projektet *Hav möter land*, där kommunen bland annat testade handboken *Stigande vatten*<sup>11</sup>. Falkenbergs översvämningsfrågor har också analyserats i andra projekt och rapporteringar som t ex *Klimatanalys för stigande hav och åmynningar i Hallands län*<sup>12</sup>, *Regional handlingsplan för klimatanpassning*<sup>13</sup>, *Regional risk- och sårbarhetsanalys*<sup>14</sup> och en uppdaterad översiktlig översvämningskartering från MSB. Kommunen har också lyft fram klimatfrågor och översvämningsrisker i sin översiktsplan från 2014.

### 2.2 Haparanda

Haparanda kommun har 9 800 invånare och en areal på 960 km<sup>2</sup>. Staden ligger längs Torne älv, vid utflödet i Bottenviken. Älven utgör landsgräns mellan Sverige och Finland, och är sammanväxt med Torneå på finska sidan. Torne älv utgör ett påtagligt översvämningshot, särskilt under islossningen i april-maj då det kan bildas isproppar som dämmer älven och snabbt ger

---

<sup>11</sup> Stigande vatten - En handbok för fysisk planering i översvämningshotade områden. Länsstyrelserna i Västra Götaland och Värmland.

<sup>12</sup> Klimatanalys för stigande hav och åmynningar i Hallands län, WSP, 2012.

<sup>13</sup> Regional handlingsplan för klimatanpassning i Hallands län, Meddelande 2014:5, Länsstyrelsen Halland.

<sup>14</sup> Regional risk- och sårbarhetsanalys för Hallands län 2014, Länsstyrelsen Halland.

upphov till nivåhöjningar. Torne älv är en av få oreglerade älvar i Sverige vilket gör att vattenståndsvariationerna följer den naturliga avrinningsregimen, med särskilt höga flöden under vårfloden.

Bottenviken påverkas av den globala havsytehöjningen, men denna faktor motverkas av en kraftig landhöjning på ca 9 mm/år (90 cm på 100 år). Den sammanlagda effekten gör att höga nivåer i Bottenviken kommer att vara ett minskande problem under de kommande decennierna. Den framtida takten av havsytehöjningen kommer att avgöra om havsnivån kommer att bli ett problem för Haparanda. Vid kortvariga stormar och lågtryckssituationer kan vattennivån stiga kraftigt. Den högsta havsnivå som uppmätts var vid ett tillfälle 1984 då nivån kom upp till +1,77 m i en näraliggande mätstation i Kalix.

Haparanda blev identifierad som ett av 18 områden i Sverige med betydande översvämningsrisk och därmed gjordes en riskkartering 2013 av länsstyrelsen. Haparanda och Torne älv var också med i det sk Torne älvprojektet som drevs av finska och svenska parter (MSB, SMHI m fl)<sup>15</sup>, där bland annat en översvämningskartering gjordes.

## 2.3 Karlstad

Karlstads kommun har ca 89 000 invånare och en yta på 1 240 km<sup>2</sup>. Staden ligger där Klarälven rinner ut i Vänern, och en större del av innerstaden ligger på ett stort delta. Detta gör staden känslig för översvämningar, i och med att både älv- och sjööversvämningar utgör hot. Klarälven hade flera större översvämningar under 1900-talet, bland annat 1916, 1959 och 1995<sup>16</sup>. Vänern översvämmades under ett drygt halvår 2000-2001 och nådde en nivå ca 1,3 m över det normala. Denna nivå var den högsta sedan 1927.

En typ av älvöversvämning kan ske vid ett eventuellt dammbrott i någon av dammarna i avrinningsområdet, där Höljesdammen är den största. Även intensiv nederbörd leder till lokala översvämningar i staden.

Karlstad är ett av 18 områden med betydande översvämningsrisk enligt förordningen om översvämningsrisker, vilket har inneburit att länsstyrelsen gjort en riskkartering av riskutsatta delar av staden. Karlstad var också den första kommunen i Sverige som tog fram ett översvämningsprogram<sup>6</sup>. I programmet från 2010 beskrivs dels risker från älven och Vänern, dels olika åtgärdsförslag. I den senaste översiktsplanen från 2012 tas översvämningsriskerna upp i ett separat kapitel. Översvämningsriskerna från Vänern har även studerats i en rapport från 2013<sup>17</sup>.

---

<sup>15</sup> Bengtsson et al., 2012. Detaljerad översvämningskartering i nedre delen av Torneälven. Rapport 58, Närings-, trafik- och miljöcentralen, Finland.

<sup>16</sup> Översvämningsprogram Karlstads kommun, 2010.

<sup>17</sup> Andersson et al., 2013: Kartering av översvämningsrisker vid Vänern. Rapport 2013:1, Centrum för klimat och säkerhet, Karlstads universitet.

## 3. Tillvägagångssätt

### 3.1 Regionala klimatscenarier

Dagens globala och regionala klimatmodeller ger systematiska avvikelser från observerade data av till exempel temperatur och nederbörd. Hydrologisk modellering är känslig för dessa avvikelser. För att kunna använda klimatmodellernas utdata till att studera hydrologiska effekter, krävs därför ytterligare bearbetning.

Två olika metoder har använts för att bearbeta utdata från klimatmodelleringar och korrigera dessa för hydrologisk modellering. Distribution Based Scaling (kap. 3.1.1), utgår från dynamiskt nedskalade regionala klimatmodelldata. Den andra metoden (kap. 3.1.2) är en statistisk nedskalning direkt från globala klimatmodelldata.

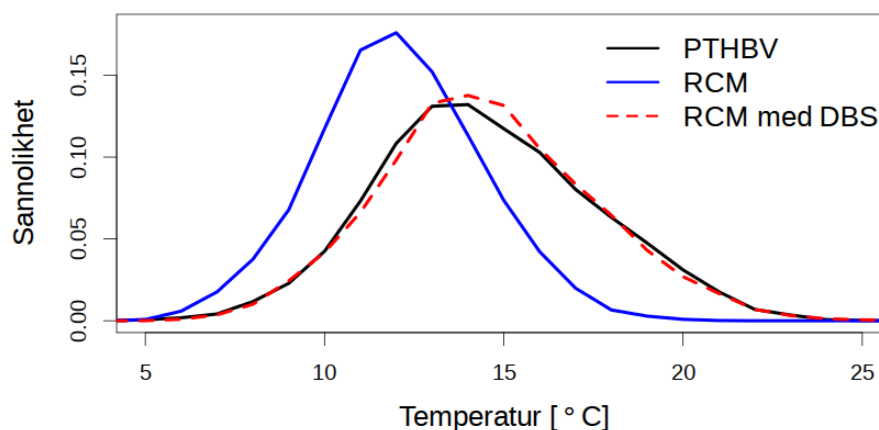
I projektet har ett stort antal simuleringar från olika globala klimatmodeller och med tre olika utsläppsscenarioer använts. Tabell B1 och Tabell B2 i Bilaga 1 ger en överblick över GCM-körningar och utsläppscenarierna. I projektet har vi använt två olika generationer av scenarier, ”gamla” SRES scenarierna och de nya RCP-scenarierna. RCP:er är möjliga utvecklingsvägar för strålningsdrivningen och förkortningen står för ”Representative Concentration Pathways”. RCP<sub>4,5</sub> betyder att koncentrationen av växthusgaser i atmosfären genererar en strålningsdrivning på 4,5W/m<sup>2</sup> år 2100, jämfört med förindustriell nivå.

#### 3.1.1 Nedskalning med DBS-metoden

De regionala klimatmodellernas utdata är, i dagsläget, inte tillräckligt bra för att direkt användas till hydrologisk modellering. Om utdata från regionala klimatmodeller används direkt som indata till en hydrologisk modell, erhålls ingen trovärdig hydrologisk respons. SMHI har därför utvecklat en metod (DBS = distributionsbaserad skalering) som använder data från meteorologiska observationer till att justera klimatmodellens resultat för att ta bort de systematiska felen.

De korrigeringsfaktorer som då införs används vid beräkningen av framtidens klimat. De beräknade data blir då statistiskt jämförbara med observationer och kan användas direkt som indata till en hydrologisk modell. Med DBS-metoden behålls både förändringar i medelvärden och förändringar i klimatets variabilitet som ges av klimatmodellen.

I **Figur 3-1** visas exempel på en anpassning med DBS-metoden. Efter anpassningen stämmer data väl överens med observerade data. Särskilt viktigt att korrigera är klimatmodellens överskattning av antal dagar med nederbörd med en viss intensitet.



Figur 3-1: Exempel på biaskorrigering med DBS-metoden för en regional klimatmodell med stor temperaturbias för sommarmånaderna. Observationer (PTHBV), rådata från klimatmodell (RCM) och data som anpassats med DBS-metoden (RCM med DBS).

En förutsättning är att resultaten för framtida tidsperioder jämförs med historiskt klimat såsom det beskrivs av klimatmodellen och inte av meteorologiska observationer. Det är inte heller möjligt att jämföra individuella dagar eller år med observationsdata.

Anpassning av data från klimatmodellen görs för nederbörd och temperatur, vilka är drivvariablerna för den hydrologiska modellen. Den observerade nederbörd och temperatur som klimatmodellen anpassas mot hämtas i PTHBV-databasen, som SMHI byggt upp med särskild inriktning på hydrologisk modellering.

Databasen innehåller interpolerade värden på nederbörd och temperatur, vilka anges i ett rikstäckande rutnät (gridrutor) med upplösningen 4 km × 4 km. Data från SMHIs meteorologiska stationer interpoleras till gridrutor med hjälp av en geostatistisk interpolation. Det innebär att hänsyn tas till stationernas avstånd från beräkningsrutan och till deras inbördes korrelation. Den rumsliga variationen beskrivs med hjälp av höjddata. För nederbörd används även information om typisk vindriktning och vindstyrka under olika delar av året och i olika delar av landet. Nederbörden korrigeras även för mätförluster. Utifrån temperatur avgörs om nederbörden är i form av regn eller snö.

Den statistiska nedskalningen av klimatmodelldata sker genom interpolering av modelldata till PTHBVs upplösning. Modelldata har då utsmetade horisontella fält jämfört med PTHBV, men när DBS appliceras tolkar den utsmetningen som en systematisk avvikelse vilken korrigeras tillsammans med andra avvikelser i modellen.

### 3.1.2 Statistisk nedskalning

Som ett alternativ till den kostsamma regionala klimatmodelleringen kan man ta fram regionala klimatscenarier med hjälp av statistisk nedskalning.<sup>18</sup> Även för den statistiska nedskalningen kommer indata från GCM.

I detta projekt har vi använt en stokastisk vädergeneratormodell, som skapar ”syntetiska tidsserier” för nederbörd och temperatur men vars statistiska egenskaper, t ex medelvärdet och variabilitet liknar observerade tidsserier. För att utveckla modellen måste man därför först kalibrera den mot historiska tidsserier, d v s ta fram modellparametrar som statistisk beskriver den observerade temperatur- och nederbördsutvecklingen över tiden. När dessa parametrar är framtagna blir nästa steg att modifiera dem med hjälp av information som GCM:en ger om den framtida klimatutvecklingen. På så vis återspeglar de modifierade modellparametrarna de ändrade klimatförhållandena för framtiden.

Inom projektet har vi vidareutvecklat en befintlig vädergeneratormodell som ursprungligen var framtagen vid Göteborgs universitet.<sup>19</sup> Den tidigare modellen kunde skapa scenarier för enskilda nederbördsstationer var för sig, vilket innebär att den inte kunde återskapa nederbördens samvariation i tid och rum. Samvariation uppstår p g a att vädersystem har en viss rumslig utbredning samt att de rör sig i en viss hastighet över området. Observationer från stationer som berörs av samma vädersystem är därför högt korrelerade med varandra, vilket är typisk för många meteorologiska parametrar. Utan denna korrelation stationerna emellan kan man inte skapa realistiska rumsliga (nederbörds)mönster.

Till skillnad från den befintliga modellen för individuella väderstationer, krävde detta projekt en modell för ett sammanhängande avrinningsområde. Utmaningen var därför att utveckla vädergeneratormodellen så att lokala nederbörds- och temperaturscenarier för hela avrinningsområden kunde skapas. Eftersom de statistiskt nedskalade regionala klimatscenierna skulle användas i hydrologisk modellering var det viktigt att korrelationen i tid och rum var realistisk och motsvarade dagens observationer. Det är förutsättningen för att kunna uppnå realistiska hydrologiska simuleringar. Inom projektet har stokastiska nedskalningsmodeller utvecklats för två pilotområden, Haparanda, dvs Torneälvens avrinningsområde samt Falkenberg (Ätran). Vidareutvecklingen innebar två stora förändringar, nämligen att utöka antal ”interna tillstånd” och att behålla korrelationen i tid och rum mellan delavrinningsområden.

---

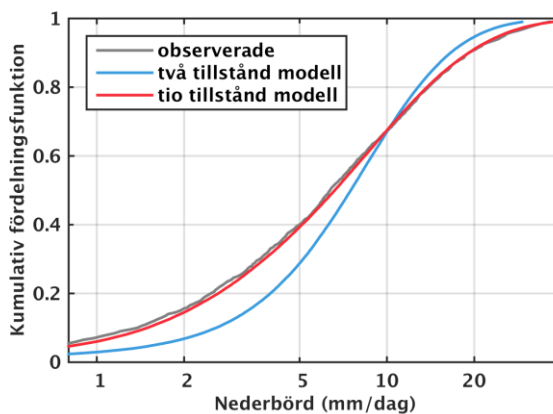
<sup>18</sup> Winkler et al., 2011: Climate Scenario Development and Applications for Local/Regional Climate Change Impact Assessments: An Overview for the Non-Climate Scientist. *Geography Compass* 5/6, 275-300.

<sup>19</sup> Chen et al., 2014: Projecting future local precipitation and its extremes for Sweden. *Geografiska annaler*, 97 (1), DOI:10.1111/geoa.12084.



Den befintliga vädergeneratormodellen, en så kallad Markov Chain modell bygger bara på två interna tillstånd, det kan antingen vara våt (dagar med nederbörd) eller torrt (dagar utan nederbörd). Om modellen simulerar en dag som våt (eller torr) beror på tillståndet dagen innan. Hur sannolikt det är att en våt dag följer en våt dag styrs av övergångssannolikheter mellan att dagen innan har varit torrt respektive våt. Men när det regnar en dag kan det antingen regna mycket eller lite, beroende på väderförhållandena. Ofta är nederbördsintensiteten för ett antal sammanhängande dagar inte oberoende av varandra, d v s det finns en viss sannolikhet att dagar med t ex mycket (lite) nederbörd är sammanhängande. Genom att skapa en modell med fler tillstånd för "våt" vilka tar hänsyn till hur mycket det har regnat kan man ta fram så kallade övergångssannolikheter som beskriver hur sannolikt det är att en dag med t ex mycket nederbörd följer en dag med lite nederbörd. Tack vare dessa övergångssannolikheter kan man på ett mycket mer realistisk sätt simulera nederbördens utveckling över tiden jämfört med en två-steps modell som bara tar hänsyn till regn/icke-regn. Den vidareutvecklade modellen kan ta hänsyn till 10 olika "våta" tillstånd, som täcker in hela spannet från endast lite regn till kraftiga skyfall.

För att utvärdera om det större antal interna tillstånd har förbättrat resultaten har vi jämfört observationer med resultat från modellen som har två tillstånd och med den nya modellen som har tio tillstånd. **Figur 3-2** visar fördelningen av kumulativ 5-dygnsmedelnederbörd för Torneälvens avrinningsområde. Modellen med två interna tillstånd (blå kurva) underskattar antalet dagar med både lätt regn och antalet dagar med kraftigt regn. Den nya modellen med tio tillstånd (röd kurva) ger tidsserier som mycket bättre överensstämmer med observationerna.

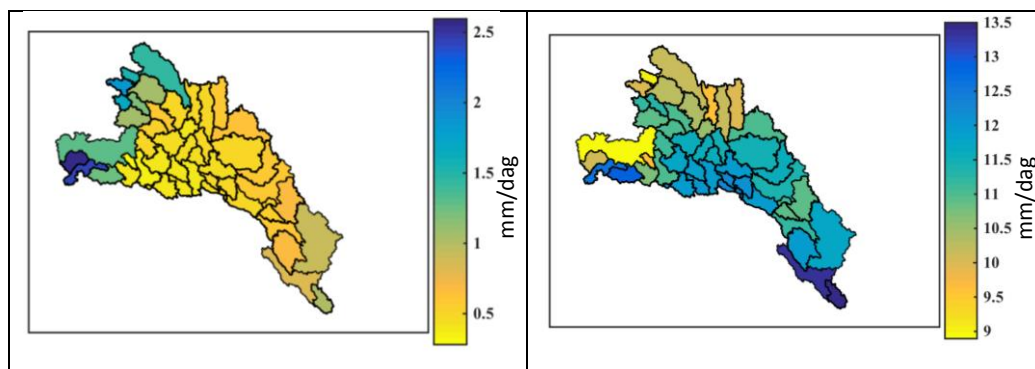


Figur 3-2. Kumulativ frekvensfördelning av 5-dagars ackumulerad nederbörd för Torneälvens avrinningsområde.

Den andra förändringen av den befintliga modellen syftade till att dela in avrinningsområdet i mindre delavrinningsområden, d v s en disaggregering. Den geografiska variationen i nederbörd och temperatur mellan de olika delområdena måste simuleras innan scenarier kan användas i hydrologisk modellering. Den nya modellen kompletterades därför med ytterligare

beräkningssteg för att fördela hela avrinningsområdets nederbörd på de olika delavrinningsområdena på ett sådant sätt att nederbörden behåller en realistisk korrelation över tiden och i rummet.

**Figur 3-3** visar effekten som disaggregeringen ger. För dagar med lite nederbörd brukar de västra delområdena, nära fjällregionen, få mest nederbörd. De dagar då den totala nederbörden är hög finns den högsta nederbörden i de mellersta delområdena och i södra delen av avrinningsområdet.



Figur 3-3. Medelfördelning av delområdenas nederbörd för 30 dagar med lite nederbörd (vänster) respektive 30 dagar med kraftig nederbörd (höger) för Torneälvens avrinningsområde vintertid.

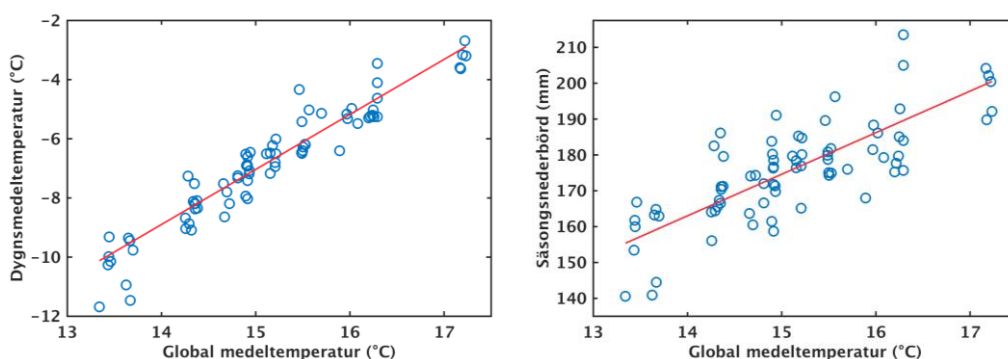
I en efterföljande algoritm simulerades dygnsmedeltemperaturen som villkorad av nederbörden. För varje månad och nederbördstillstånd har vi approximerat fördelningen hos dygnsmedeltemperaturen med en sk Pearson familj av fördelningsfunktioner. Denna enkla modell beaktar de viktigaste kovariansegenskaper mellan nederbörd och temperatur, det vill säga att varmare väder följer nederbörd under vintersäsongen, medan det är förenat med klara dagar under sommaren, och omvänt att temperaturvariationen är störst för torra dagar på vintern och varma dagar under sommaren.

När den globala temperaturen ökar med t ex 1 °C ger detta en viss temperaturändring lokalt, som inte nödvändigtvis behöver vara 1°C. Med hjälp av en klimatförändringsfaktor kan man beskriva förhållandet mellan den globala temperaturökningen och den lokala ändringen. Den nya aspekten av vår studie var hur dessa förändringsfaktorer beräknades. Om man enbart beräknar medeltalet av de data som produceras av klimatmodellerna jämnas alla väder och klimatvariationer ut.

Klimatförändringsfaktorer för stokastisk nedskalning brukar beräknas som skillnad i klimatet mellan en referensperiod och en framtidsperiod. När tidsserier för ett visst GCM och utsläppsscenario behövs, brukar man först beräkna en tidsserie för klimatförändringsfaktor med hjälp av en glidande framtidsperiod. I denna studie har vi istället beräknat klimatförändringsparametrar för 20-årsperioder för alla lämpliga GCM-körningar, och därefter har en linjär funktion anpassats för den globala temperaturen. Därefter har tidsserien för globaltemperaturen för de önskade modellkörningarna och utsläppscenarierna tagits fram, och använts med den

linjära funktionen för att skapa tidsserier med klimatförändringsfaktorer. Denna metod tillåter att föra samman klimatförändringssignaler från simuleringar med olika längd och med olika utsläppsscenarioer. Metoden reducerar dramatiskt osäkerheten i förändringsfaktorer för en viss global klimatmodell om det finns ett flertal modellkörningar.

Som ett exempel visar **Figur 3-4** sambandet mellan Torneälvens avrinningsområdes dec-jan-feb temperatur (till vänster) och dec-jan-feb nederbörden (till höger) och den globala medeltemperaturen. Temperaturen i området ökar med 1.9 grader och nederbörden ökar med ca 7% för varje grads global temperaturhöjning.



Figur 3-4. Relationen mellan beräknad global temperatur och temperatur respektive nederbörd för Torneälvens avrinningsområde vintertid. Beräknad dygnsmiddeltemperatur till vänster och säsong genomsnittlig nederbörd till höger som funktion av global temperatur beräknad med den globala klimatmodellen NCAR CCSM3. Varje symbol representerar ett 20-årsvärde från perioden 1961-2100 för en unik utsläppsscenario och beräkning.

### 3.1.3 Intensiv nederbörd

SMHI har inom projektet studerat den intensiva nederbörden för objekten: Haparanda, Uppsala och Falkenberg.

För dagens klimat har nederbördsmätningar från mätstationer med 15-minuters data använts och nederbördsmängder för olika återkomsttider beräknats. För att bedöma hur den intensiva nederbörden kan tänkas förändras i framtiden har data från regionala modellberäkningar med SRES-scenarioer använts. Detta har kompletterats med beräkningar baserade på de, av IPCC senare framtagna scenarierna RCP 4.5 och RCP 8.5. Den modellberäknade framtidsnederbörden för perioden 2071-2100 jämförs med modellberäknade data för 1961-1990.

Metoden finns beskriven av Olsson och Foster (2013). Beräkningarna för RCP-scenarier baseras på arbetet inom projektet *Återkomsttider på RCP-scenarier*, rapporterat i Eklund et. al. (2015)<sup>20</sup>.

De stationer som valts att representera Falkenberg är Hallands Väderö, Torup, Nidingen och Ullared. För Uppsala är det Sala, Adelsö, Svanberga, Kerstinbo, Films kyrkby och Örskär. För Haparanda finns endast stationerna Storön och Överkalix-Svartbyn.

## 3.2 Flöden, vattennivåer och översvämningsskikt

Modellering sker i två steg; hydrologisk modellering ger oss flöden och den hydrauliska modelleringen omsätter flöden till vattennivåer.

För flödesberäkningar sätts en modell upp som beskriver avrinningsområdet med dess delområden. Modellen kalibreras mot mätdata och används för att beräkna flöden utifrån meteorologiska indata dvs. temperatur och nederbörd. Beräkningarna har gjorts för dagens och framtidens klimat för Torneälven och Ätran.

Den hydrauliska modelleringen innebär att vattendraget beskrivs så att de beräknade flödena kan omsättas till vattennivåer. Därefter tas översvämningsskikt fram med hjälp av höjddata för området. De studerade områdena är Haparanda vid Torneälven och Falkenberg vid Ätran.

### 3.2.1 Hydrologisk modellering

Den hydrologiska avrinningsmodellen HBV har använts för beräkningarna av flöden <sup>21,22</sup>. Modellen bygger på en förenklad fysikalisk beskrivning och kalibreras till specifika vattendrag (**Figur 3-5**).

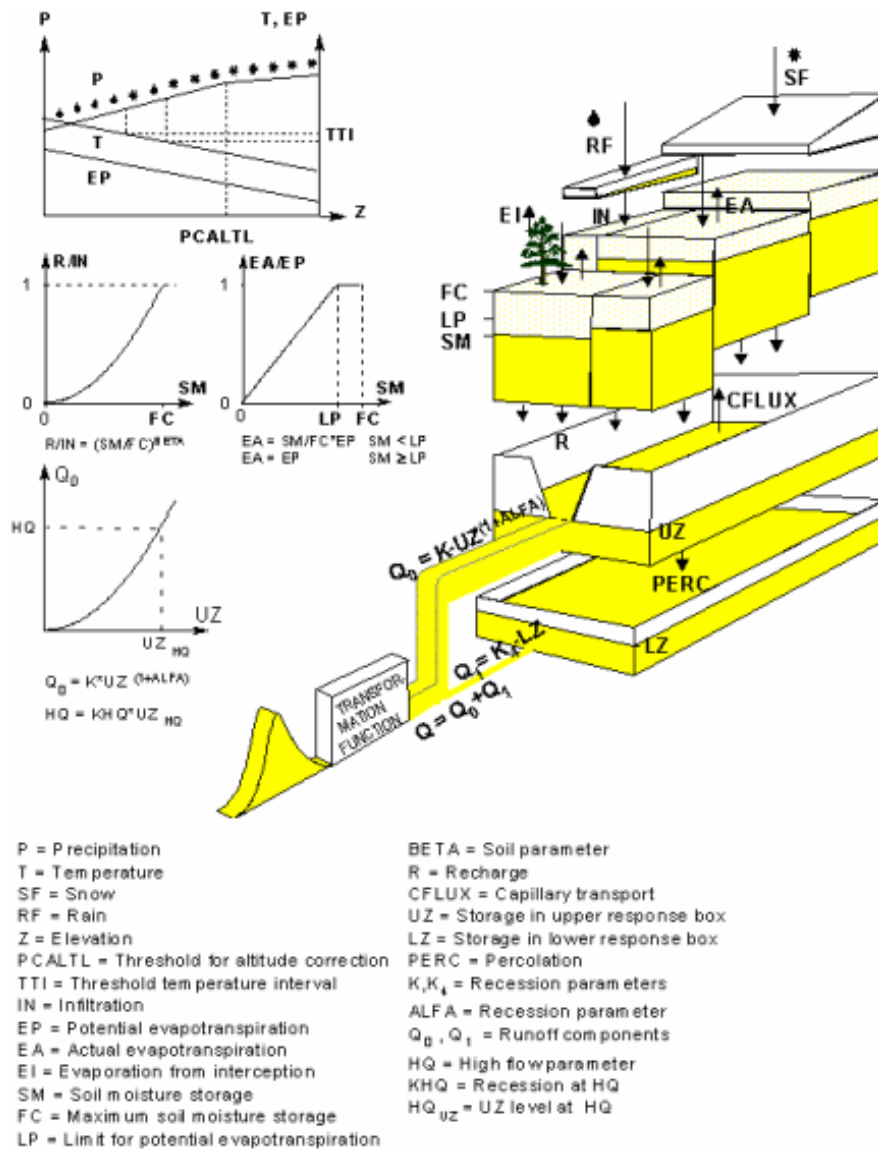
HBV-modellen är uppbyggd av tre huvudmoduler, en för beräkning av snöns ackumulation och avsmältning, en för beräkning av avdunstning och markfuktighet och en för beräkning av hur flödesförloppet påverkas av yttre faktorer som sjöar och dammanläggningar. Avrinningsområdet delas in i delområden inom vilka höjder och vegetationszoner (skog, öppet landskap, glaciär och sjöar) klassificeras. Modellen har speciella funktioner för att hantera sjöar och regleringsrutiner. Indata till modellen är nederbörd och temperatur.

---

<sup>20</sup> Eklund et al., 2015: Sveriges framtida klimat. Underlag till Dricksvattenutredningen. SMHI Klimatologi Nr 14.

<sup>21</sup> Bergström, 1995: The HBV model. Contribution to: Computer Models of Watershed Hydrology, Water Resources Publications.

<sup>22</sup> Lindström et al., 1997: Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model. Journal of Hydrology 201, 272–288.



Figur 3-5. Beskrivning av HBV-modellen.

För beräkningarna av framtida flöden har indata tagits fram i enlighet med beskrivningarna av metodik för nedskalning i kapitel 3.1. Hydrologiska beräkningar har gjorts för flöden med återkomsttiderna 100 år, 200 år och av beräknat högsta flöde (BHF). Beräkningarna har gjorts för dagens klimat och framtida klimat.

### 3.2.2 Hydraulisk modellering

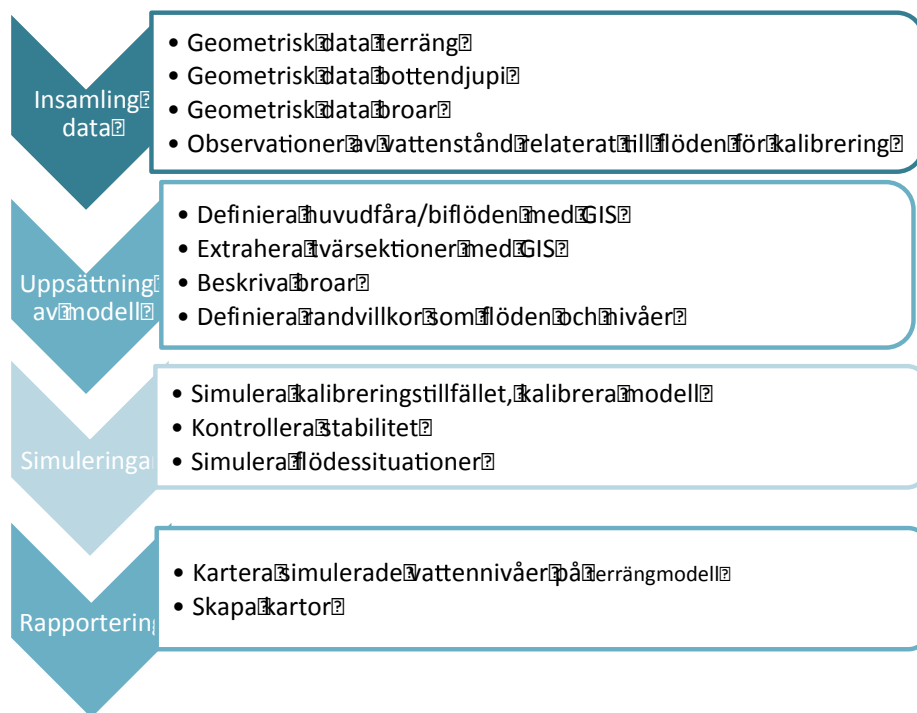
De hydrauliska beräkningarna består av flera delmoment; fältbesök och inmätning av vattendragets geometri, uppsättning och kalibrering av den hydrauliska modellen, hydrauliska modellberäkningar och GIS-bearbetning.

För att sätta upp och kalibrera en hydraulisk modell behövs:

- Beskrivning av vattendraget med sektioner (underlag: kartor, bilder, fältbesök, mm)
- Friktionsparametrar
- Broritningar

- Höjddatabas
- Vattenflöden
- Vattenstånd relaterade till vattenflöden

Modellens randvillkor behöver också beskrivas dvs. förhållandet där modellen börjar och slutar. I dessa beräkningsfall har ett startflöde ansats där modellen börjar och där modellen slutar har en havsvattennivå angetts. De olika arbetsmomenten är översiktligt beskriva i **Figur 3-6**.



Figur 3-6. Översiktlig beskrivning av metodiken för de hydrauliska beräkningarna.

De hydrauliska beräkningarna är genomförda med modellpaketet Hec-Ras som löser energi ekvationen och beräknar friktionsförluster och tilläggförluster som kommer av t.ex. avsmalning och vidgning av ett vattendrag. Topografin i vattendraget beskrivs av ett antal tvärsektioner. Tvärsektionerna har hämtats från databasen NNH (Nya Nationella Höjddatabasen).

Vid ett besök i Falkenberg i maj 2014 gjordes mätningar och iakttagelser av bottendjup och vattennivåer, samt en flödesmätning. Dessa uppgifter har legat till grund för kalibrering och verifiering av Ätrans beräkningsmodell.

Tvärsektioner och djupdata för Torneälven är hämtade från den hydrauliska modellen som användes i Interreg-projektet ”Detaljerad översvämningskartering av nedre Torneälven, 2011”. Finska mätdata av vattennivåer och flöden, från 2013, har använts vid kalibreringen av denna modell.

Modellerna räknar ut vattennivån i alla tvärsektionerna, utgående från angivna konstanta vattenstånd i havet och flöden i vattendraget.

### 3.2.3 Översvämningsskikt

Utifrån beräkningarna av vattennivåer och data från Lantmäteriets Nationella Höjdmodell (NNH) tas skikt fram som beskriver den utbredning respektive vattennivå innebär. Översvämningsskikten appliceras med Lantmäteriets topografiska webbkarta som bakgrund.

I de hydrauliska beräkningarna används olika kombinationer av flöden och havsnivåer. En karta har tagits fram för respektive havsnivå, och visar hur översvämmad yta varierar med flödets storlek.

## 3.3 Riskanalyser

Som en tredje länk i kedjan med modellering och analyser kommer hot och sårbarheter i de studerade kommunerna i form av drabbade människor, påverkade fastigheter och vägnät, viktiga samhällsfunktioner, etc. De tre orterna representerar olika typer av översvämningssrisker i tre olika delar av Sverige och presenteras i **Tabell A**.

Tabell A: Översvämningssrisk i de tre studerade kommunerna.

| Ort        | Karakteristik på vattensystem        | Region   |
|------------|--------------------------------------|----------|
| Falkenberg | Reglerad å möter hav                 | Götaland |
| Haparanda  | Oreglerad älv möter Bottenviken      | Norrland |
| Karlstad   | Reglerad älv möter stor reglerad sjö | Svealand |

De tre orterna har studerats på olika sätt:

#### Falkenberg

De modelleringar av hydrologi och hydraulik som gjorts i WP2-4 användes för att göra en bedömning av översvämningssrisken längs Ätran i de centrala delarna av Falkenberg. Som underlag för denna bedömning skapades 123 kartor som visade beräknat vattendjup vid olika scenarier:

1. De av SMHI beräknade vattennivåerna interpolerades linjärt till aktuellt flöde för alla tvärsektioner.
2. Mellan tvärsektionerna skapades en lutande 3D-yta som ska avspegla beräknad vattennivå.
3. Beräknad vattenyta jämfördes med Lantmäteriets höjddataproduct Grid2+ för att därigenom få fram vattendjup.

Med detta material har det sedan gått att jämföra hotet vid 100-årsflöde, 200-årsflöde och BHF i dagens klimat, med samma flöden för fyra olika klimatscenarier vid två olika framtida tidpunkter (2050 och 2100).

För att få en uppfattning om vilka typer av konsekvenser som kan inträffa och vilka värden som står på spel vid olika scenarier, studerades underlag från Falkenbergs kommun (byggnader, befolkningsdata, vägnät och ortfoton). Dessutom genomfördes ett kompletterande fältbesök.

Analys av risker gjordes i två delar: 1) En detaljerad del för Ätran, sträckan uppströms Tullbron 2) En översiktlig del som omfattar Ätran nedanför Tullbron samt de delar av havskusten som ligger inom den centrala staden.

På grund av ett relativt begränsat skadeutfall och hur skadeutfallet utvecklas med stigande flöde/nivå, användes exemplet Ätran i Falkenberg främst för idéutveckling kring beräkningar och visualisering av skadeutfall, som skulle kunna tillämpas på andra geografiska områden.

Datansamling och GIS-analys har kompletterats med en fokusgruppsdiskussion och ett möte med företrädare från flera kommunala förvaltningar och bolag. Dessutom genomfördes ett examensarbete med inriktning mot intensiv nederbörd och dagvattenhantering<sup>23</sup>.

Översiktliga bedömningar har också gjorts av översvämningsshot från intensiv nederbörd och från höga havsnivåer, för att kunna göra en samlad bedömning av översvämningssrisker och tänkbara åtgärder (kap 4).

### Haparanda

I Haparanda gjordes 2013 en översvämningsskartering och en riskskartering, eftersom orten pekats ut som ett område med betydande översvämningssrisk enligt förordningen om översvämningssrisker.. I denna studie har dessa skarteringar använts för att bedöma behovet av åtgärder och strategier. Ett kompletterande möte hölls med företrädare för planavdelning och räddningstjänst, samt med en representant för Torneå kommun, där grundläggande frågor kring klimatförändringar, risker och åtgärder togs upp. Vidare har tidigare studier och analyser, t ex av isproppsproblem, använts för att fånga in översvämningssituationer som inte har inkluderats inom ramen för förordningen om översvämningssrisker..

### Karlstad

Karlstad är liksom Haparanda en av de 18 utpekade områdena med betydande översvämningssrisk och genomgick således också en riskskartering 2013 på initiativ av MSB. Därutöver har Karlstad genomfört ett flertal analyser på eget initiativ, t ex av översvämningssrisker i områden som ska bebyggas. I anslutning till dessa byggnadsplaner har två studier gjorts inom detta projekt av utvecklingen av vattennära byggande. En studie var inriktad mot utvecklingen av riskhänsyn i översikts- och detaljplanering med koppling till städernas attraktivitet<sup>24 25</sup>, och en annan mot det vattennära byggandet sett i ett hållbarhetsperspektiv<sup>26</sup>.

---

<sup>23</sup> Noreen A. 2015: Sustainability in stormwater management in a changing climate – A case study in Falkenberg, Sweden. Masteruppsats i Miljövetenskap, Göteborgs universitet.

<sup>24</sup> Granberg M och Nyberg L., 2015: Understanding the local policy context of risk management: Competitiveness and adaptation to climate risks in the city of Karlstad, Sweden. Accepterad för publicering i tidskriften Risk Management.



I detta projekt har även en konsekvensbeskrivning gjorts för vägtrafiksystemet vilket kan betecknas som en central och indirekt effekt. Analysen har gjorts i tre steg: 1) En konsekvensanalys för vägtrafiken utifrån olika översvämningsscenarier i Klarälven och Vänern. 2) En nätverksanalys för Karlstad med omnejd baserad på översvämmade vägsträckor (minst 2 dm vattennivå), som visar potentiella omledningsgator och -vägar. 3) En ekonomisk analys av den samhällsekonomiska kostnaden för omledningen, baserad bland annat på data över trafikflöden på de översvämmade vägarna.

Trafikstudien baseras på ett antal översvämningsskarteringar som är framtagna för olika återkomsttider. För Klarälven användes skarteringar som MSB tog fram inom ramen för förordningen om översvämningsskarteringar<sup>27</sup>. Skarteringarna för Vänern utvecklades i samband med projektet Skartering av översvämningsskarteringar vid Vänern<sup>28</sup>.

Skarteringarna överlagrades med vägnätet och med hjälp av nätverksanalyser i GIS undersöktes påverkan på trafikflöden och fordonstransporter vid olika scenarier. Genom jämförelser med data för trafikflöden identifierades möjliga alternativa vägar för genomfartstrafik som skall passera Karlstad.

Vid analys av möjliga vägomledningar vid översvämning har begränsning i körbarhet räknats inträffa först vid vattendjup överstigande 20 cm på vägbanan. Instängda översvämningsskarteringar som inte har direkt kontakt med Klarälven eller Vänern har tagits med som sårbara för översvämning i trafikanalysen.

Vid omledning av tung trafik norr om Karlstad har enbart större vägar (>5 m bredd) beaktats som möjliga. Hänsyn har då även tagits till hinder i framkomlighet beroende på begränsning i fri höjd vid vägunderfarter och vid broar. För de senare har även uppgifter från översvämningsskarteringarna om scenarier då broar beräknas bli överströmmade inräknats i nätverksanalyserna. Eftersom trafik i väst-östlig riktning genom Värmland måste passera Klarälven på någon plats och antalet broar är begränsat kan betydande omvägar bli nödvändiga om en viss bro blivit oframkomlig på grund av höga flöden i älven.

---

<sup>25</sup> Modh L-E., 2012: Hanteringen av översvämningsskarteringar i den fysiska planeringen - En analys av utvecklingen i Karlstad 1997 - 2012. Kandidatuppsats i Miljövetenskap, Karlstads universitet.

<sup>26</sup> Hakkarainen H., 2013: Hållbar utveckling och översvämningsskarteringar – En analys av kommunala bedömningsgrunder vid stadsutveckling i vattennära områden. Magisteruppsats i Samhällelig riskhantering, Karlstads universitet.

<sup>27</sup> Den version av hotskarteringen för Karlstad som är använd i denna studie är under revision. Vår bedömning är att de resultat och slutsatser som redovisas här inte påverkas väsentligt av denna revision.

<sup>28</sup> Andersson et al., 2013: Skartering av översvämningsskarteringar vid Vänern. Rapport 2013:1, Centrum för klimat och säkerhet, Karlstads universitet.

### **3.4 Åtgärder och strategier på lokal nivå**

För att kunna göra en bedömning av tänkbara åtgärder och strategier för att minska översvämningsriskerna på de tre orterna har studier av olika klimatförändringsscenarier, riskanalyser och planeringsdokument genomförts. Dokumenten har primärt varit från kommunen men även t ex från länsstyrelsen eller olika projekt. Denna datainsamling har kompletterats med fokusgruppdiskussioner och möten med kommunala företrädare från planering, teknisk försörjning och räddningstjänst, där redan genomförda samt planerade åtgärder behandlats. Dessutom har diskussioner förts om hur kommunerna bedömer framtidens risker.

Våra tre fallstudieorter har även använts som goda exempel för sådana åtgärder och strategier som kan överföras till andra kommuner.

## 4. Resultat

Projektet har gett en mängd olika resultat och i detta kapitel lyfter vi fram de viktigaste som har kommit fram under de olika stegen i projektets gång. Redovisningen återspeglar den ordning som arbetet har skridit fram, d v s där resultaten från framtagningen av regionala klimatscenarier (kap 4.1) är utgångspunkten för att få information om framtida flöden och vattenstånd (kap 4.3) vilka i sin tur utgör underlaget för riskanalysen in kap 4.4. Då översvämningsrisken i stor grad är kopplat till förekomsten av nederbördsextremer ägnas kapitel 4.2 åt deras framtida utveckling. Slutligen reflekterar vi i kap 4.5 över åtgärder och tänkbara strategier utifrån de olika lokala förutsättningarna samt mer generellt för Sveriges kommuner.

### 4.1 Regionala klimatscenarier

Detta kapitel redovisar de viktigaste resultaten från arbetet med att ta fram lokala klimatscenarier med DBS-metoden och statistisk nedskalning. Eftersom resultaten från båda metoderna också blir indata till modelleringen av vattenflöden och vattenstånd ägnas ett separat stycke åt att jämföra resultaten. Mer detaljerad information om metoderna och resultaten finns i Persson, m fl. 2015<sup>29</sup>.

#### 4.1.1 Resultat DBS-nedskalning

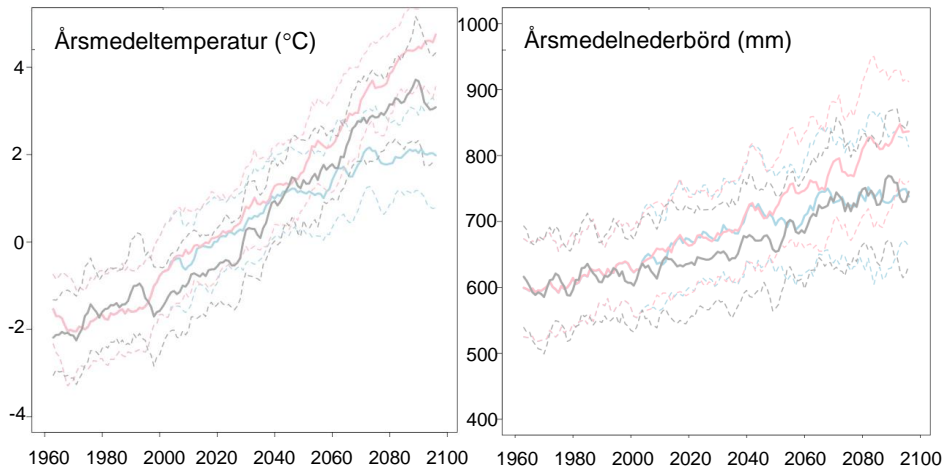
Här nedan ges en överblick över den lokala klimatutvecklingen för Torneälvens och Ätråns avrinningsområde för RCP4.5 och 8.5 samt SRES scenarierna.

RCP4.5 och RCP8.5 för Torneälvens avrinningsområde visar lika utveckling fram till ca 2050. Därefter ökar RCP8.5 mer än RCP4.5 både för temperatur och nederbörd (**Figur 4-1**).

SRES-ensemblen ger lägre förändringar i både nederbörd och temperatur under första halvan av 21-århundradet i jämförelse med RCP-erna. Vid andra halvan av århundradet liknar SRES RCP4.5 för nederbörd, men hamnar mitt emellan RCP4.5 och RCP8.5 för temperatur.

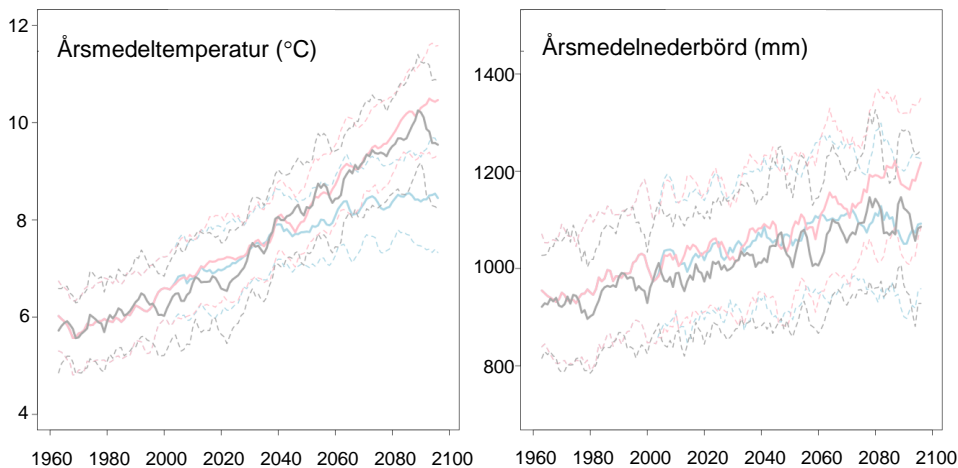
---

<sup>29</sup> Persson et al., 2015: Från utsläppsscenarioer till lokal nederbörd och översvämningsrisker. SMHI Klimatologi Nr 38.



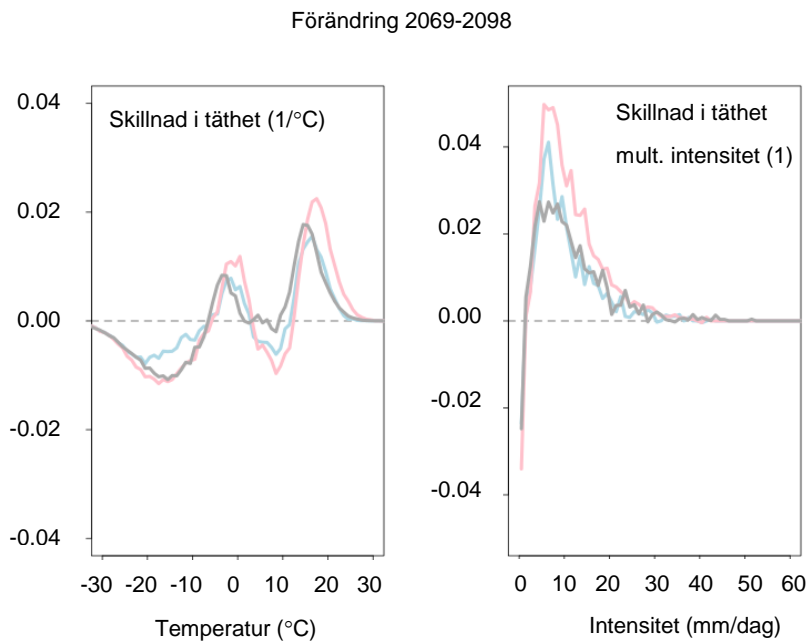
Figur 4-1. Utveckling av årsmedeltemperatur (vänster) och årsmedelnederbörd (höger) för Torneälvens avrinningsområde enligt de olika scenarierna. SRES-scenarier (16st grå), RCP4.5 (9st blå) och RCP8.5 (9st röd). De streckade linjerna avser en standaravvikelse.

För Ätråns avrinningsområde, liksom för Torneälvens, ligger SRES lägre än RCP-erna för temperatur och nederbörd under första halvan av perioden. Därefter ökar SRES för temperatur ungefär som RCP8.5. Nederbörden hamnar i nivå med RCP4.5 mot slutet av seklet (**Figur 4-2**).



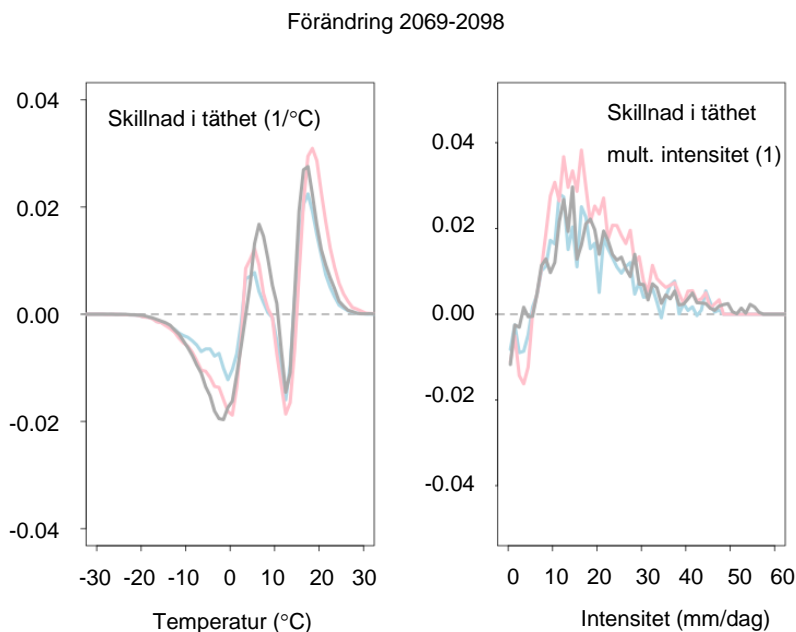
Figur 4-2. Utveckling av årsmedeltemperatur (vänster) och årsmedelnederbörd (höger) för Ätråns avrinningsområde enligt de olika scenarierna. SRES-scenarier (16st grå), RCP4.5 (9st blå) och RCP8.5 (9st röd). De streckade linjerna avser en standaravvikelse.

Framtida förändringar för Torneälvens avrinningsområde, avseende fördelning av temperaturer och nederbördsintensiteter, visar liknande mönster för scenarierna (**Figur 4-3**). Skifte mot varmare temperaturer syns tydligt. Kalla dagar under  $-10$  grader minskar och antalet dagar med några minusgrader ökar. Varma dagar med  $15-20$  grader ökar också. Intensiteten i nederbörden ökar. SRES visar svagare ändringar avseende nederbörd än RCP-erna. Det går inte att urskilja huruvida detta beror på utsläppsscenarierna eller de modellskillnader som finns.



Figur 4-3. Fördelning av dygnstemperatur (vänster) och dygnsnederbördsintensitet (höger) för Torneälvens avrinningsområde i slutet av seklet (2069-2098)beräknad med SRES (grå), RCP4.5 (blå) respektive RCP8.5 (röd).

Framtida förändringar för Ätrans avrinningsområde, avseende fördelning av temperaturer och nederbördsintensiteter, visar mycket lika mönster för scenarierna (**Figur 4-4**). Temperaturer strax under noll grader minskar i förekomst till förmån för temperaturer runt  $+5$  grader och det blir vanligare med temperaturer runt  $+20$  grader. Dygnsnederbörd med ca  $10-30$  mm blir vanligare.



Figur 4-4. Fördelning av dygnstemperatur (vänster) och dygnsnederbördsintensitet (höger) för Ätrans avrinningsområde i slutet av seklet (2069-2098) beräknad med SRES (grå), RCP4.5 (blå) respektive RCP8.5 (röd).

Andelen torra dagar minskar enligt beräkningarna dvs. antalet dagar med nederbörd ökar, se **Tabell B**.

Tabell B. Beräknad andel torra dagar (< 1mm nederbörd per dygn) för Torneälvens respektive Ätrans avrinningsområden, uttryckt i procent.

|        | Torneälven |           | Ätran     |           |
|--------|------------|-----------|-----------|-----------|
|        | 1961-1990  | 2069-2098 | 1961-1990 | 2069-2098 |
| RCP4.5 | 55.8       | 51.7      | 56.5      | 54.9      |
| RCP8.5 | 55.8       | 49.0      | 56.5      | 54.3      |
| SRES   | 57.7       | 52.8      | 57.6      | 55.3      |

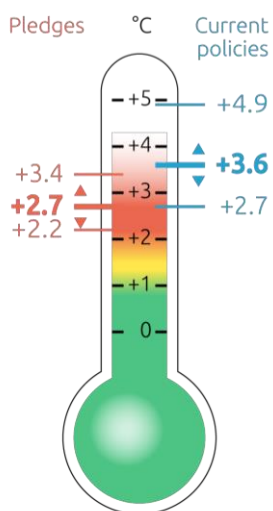
#### 4.1.2 Resultat statistisk nedskalning

Till skillnad från DBS-nedskalningen representerar den statistiska nedskalningsmodellen lokala temperatur- och nederbördsförändringar som en effekt av den globala temperaturen, snarare än som en effekt av ett specifikt utsläppsscenario. Man kan alltså ställa frågan: Hur mycket ändras temperaturen eller nederbörden när det råder en viss global medeltemperatur?

Kombinationen av den tekniska och sociala utvecklingen samt policybeslut bestämmer storleken på framtida förändringar i den globala temperaturen. Även om den framtida utvecklingen inte kan förutsägas, så kan analysen av den

nuvarande politiken och de internationella avsikterna att begränsa växthusgasernas utsläpp ge en vink för ett antal möjliga framtidsscenarioer.

Vid senaste klimatkonferensen i Paris (COP21) i december 2015 kom ledare från 195 länder överens om att sträva efter att begränsa den globala medeltemperaturen till 1,5 °C över den förindustriella nivån. Dock har hittills nästan ingen av de berörda länderna föreslagit att genomföra en politik som överensstämmer med detta syfte, utan att tala om att faktiskt genomföra sådan. En analys av nuvarande utsläpp och politik av Climate Action Tracker (CAT)<sup>30</sup>, ett oberoende konsortium av forskningsorganisationer, kom fram till att om alla länder genomför de åtaganden de tänker göra för att minska klimatförändringen, den så kallade Intended Nationally Determined Contributions, och liknande politik styr efter 2030, skulle det leda till en genomsnittlig uppvärmning på cirka 2,7 °C över den förindustriella nivån (se **Figur 4-5**).



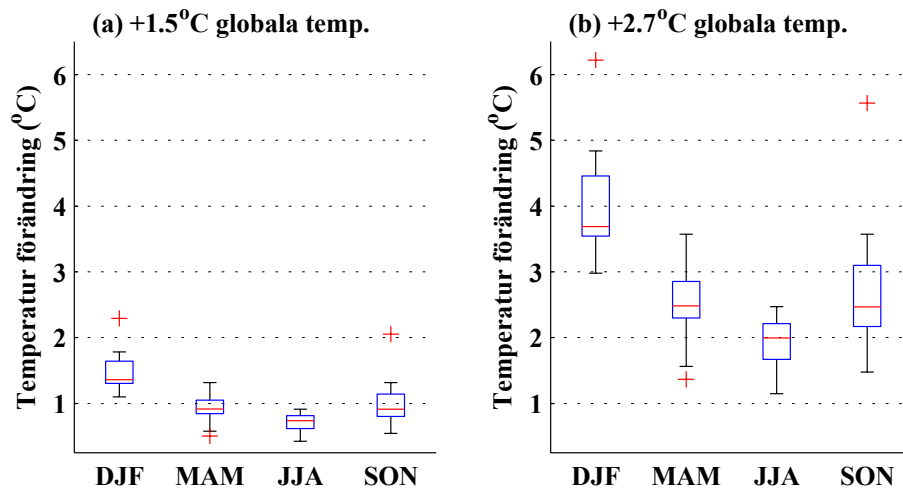
Figur 4-5. Sammanfattande bild som visar median globala uppvärmningen samt konfidensintervallen som skulle bli följden (röda) om den Intended Nationally Determined Contributions som lämnats in för COP21 genomförs fullt ut och liknande politik styr efter 2030 eller (blå) om nuvarande politik fortsatte. Källa: Climate Action Tracker.

**Figur 4-6 och Figur 4-7 visar framtida förändringar i 3-månadersmedeltemperatur och nederbörd i Torneälvs avrinningsområde för där den globala temperaturen ökar till +1,5 °C och +2,7 °C över den förindustriella nivån. Observera att eftersom den globala temperaturen redan ~ 0,8 °C över den förindustriella nivån, de framtida temperaturförändringar som ske i den +2,7 °C scenario är betydligt för den +1,5 °C scenario. Trots spridning i resultaten bland de olika GCMer,**

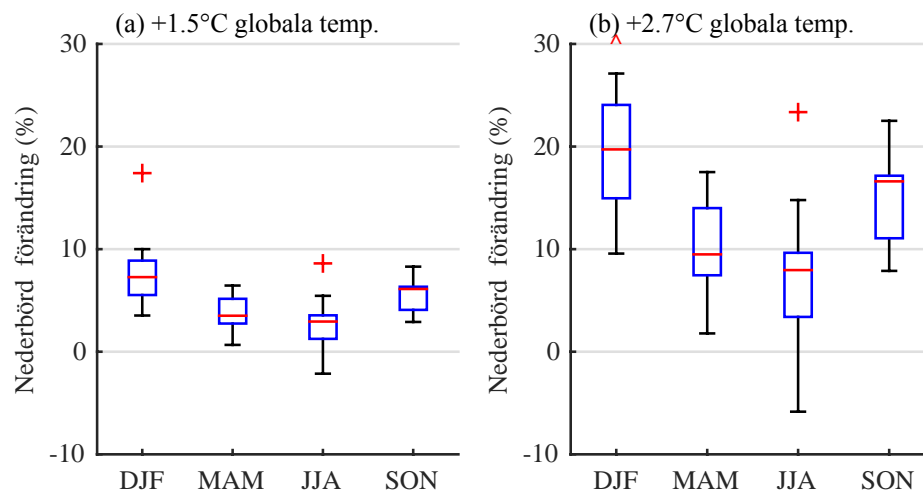
**Figur 4-6** visar tydligt att temperaturökningar är högst för dec-jan-feb och lägst för jun-jul-aug. De extremvärden med mycket stora ökningar (dvs. för DJF och SON) var båda från den IAP\_FGOALS GCM, och vi anser inte att dessa kan vara realistiskt. Nederbörden i Torne Älv avrinningsområden ökar i

<sup>30</sup> Jeffery et al., 2015: [2.7°C is not enough – we can get lower](#), Climate Action Tracker.

nästan alla modeller och årstider, med större förändringar i dec-jan-feb och sep-okt-nov.



Figur 4-6: Framtida förändringar i 3-månaders-medeltemperatur i Torneälvsavrinningsområde i samband med globala uppvärmning av (a) 1,5 °C och (b) 2,7 °C över den förindustriella nivån. Varje "box-och-whisker" ruta visar förändringar som beräknats med hjälp av 11 GCM: röda linjen markerar median förändringen, blå rutan betecknar kvartilavståndet [ $Q_1$ ,  $Q_3$ ], värden mer än  $1,5 \times (Q_3 - Q_1)$  från kvartilavståndet visas som extremvärden (röda "+" symboler), och den "whiskers" visar spännvidden av de återstående värdena.

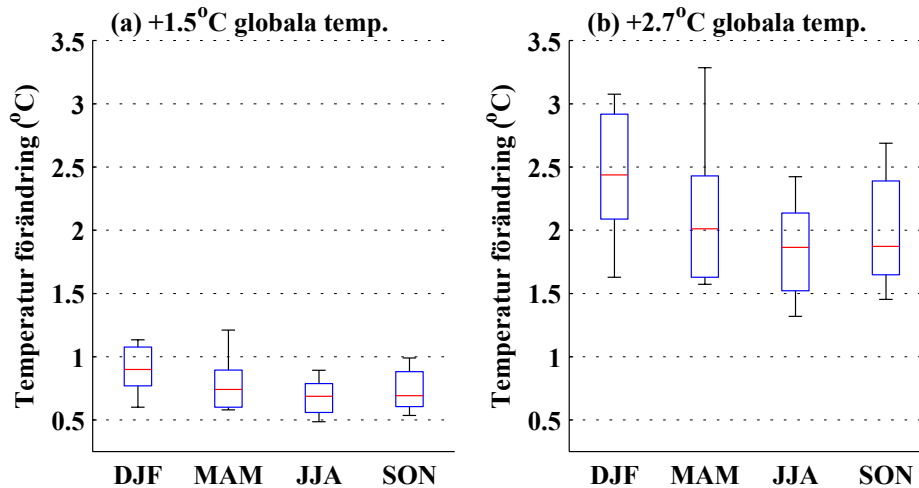


Figur 4-7. Framtida förändringar i 3-månaders-nederbörd i Torneälvsavrinningsområde i samband med globala uppvärmning av (a) 1,5 °C och (b) 2,7 °C över den förindustriella nivån. Se

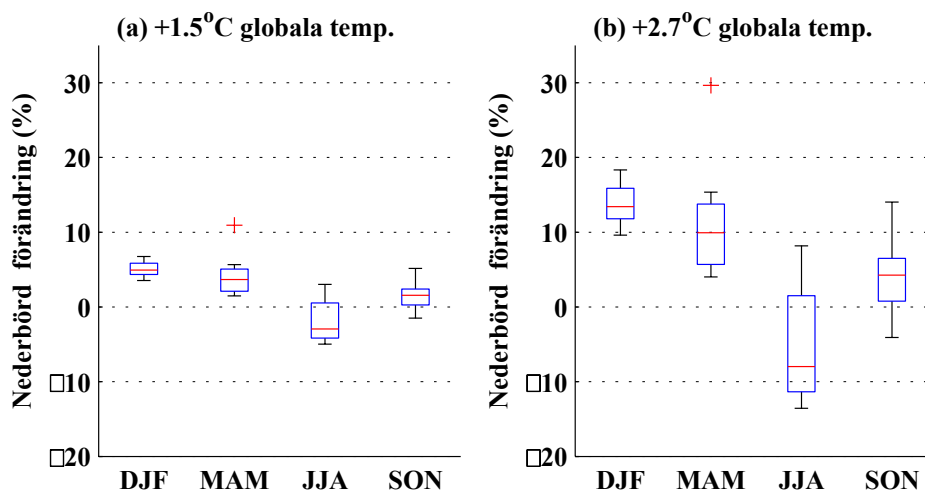
Figur 4-6 för figurbeskrivning. Den stora förändringen i DJF nederbörd för IAP\_FGOALS modellen (+ 47%) i (b) indikeras med en röd "^" -symbol.



**Figur 4-8** och **Figur 4-9** visar förändringar för Ätran avrinningsområde för de två scenarierna. Temperaturökningen för dec-jan-feb är återigen högsta och lägsta för jun-jul-aug, men temperaturförändringen är jämnare över året – och generellt lägre – än för Torneälv avrinningsområde. Alla modellerna visar ökad nederbörd för dec-jan-feb och mar-apr-maj, men 6 av de 8 GCMs visar nedgångar i nederbörd för jun-jun-aug.



Figur 4-8. Framtida förändringar i 3-månaders-temperatur i Ätran avrinningsområde i samband med globala uppvärmning av (a) 1,5 °C och (b) 2,7 °C över den förindustriella nivån. Se Figur 4-6 för figurbeskrivning.



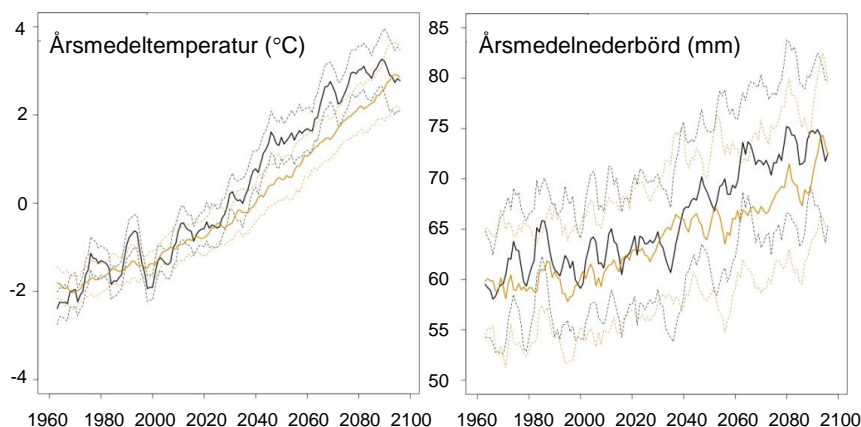
Figur 4-9. Framtida förändringar i 3-månaders-nederbörd i Ätran avrinningsområde i samband med globala uppvärmning av (a) 1,5 °C och (b) 2,7 °C över den förindustriella nivån. Se Figur 4-6 för figurbeskrivning.

#### 4.1.3 Jämförelse av metoderna

På grund av det stora antalet scenarier som finns har inte DBS-metoden och den statistiska nedskalingen kunnat tillämpas på alla. Det finns dock sex av

SRES-scenarierna för vilka nedskalning gjorts med bägge metoderna, vilka jämförs här.

Nedskalning enligt GU:s statistiska metod underskattar variansen mellan år något för nederbörd, och mycket för temperatur (**Figur 4-10**). Klimatförändringen blir också något mindre enligt den metoden jämfört med SMHI:s DBS-nedskalning. Detta mönster gäller även för Ätrans avrinningsområde.



Figur 4-10. Temperatur (vänster)- och nederbördsutveckling (höger) för Torneälvens avrinningsområde enligt sex SRES-scenarier nedskalade enligt de två metoderna (SMHI (svart) respektive GU(gult)). Heldragna linjer visar ensemblemedelvärden och de streckade linjerna avser en standaravvikelse.

Beräkningar med DBS-metoden visar att andelen torra dagar minskar för bägge avrinningsområdena (**Tabell C**). Enligt GU:s statistiska metod minskar antalet torra dagar för Torneälven men för Ätran påvisas en ökning. Med GU-metoden erhålls lägre ändring i medelnederbörd, men högre för extrem nederbörd, i jämförelse med DBS-metoden.

Tabell C. Beräknad andel torra dagar (< 1mm nederbörd per dygn) för Torneälvens respektive Ätrans avrinningsområden, uttryckt i procent, enligt medelvärde för sex SRES-scenarier.

|      | Torneälven |           | Ätran     |           |
|------|------------|-----------|-----------|-----------|
|      | 1961-1990  | 2069-2098 | 1961-1990 | 2069-2098 |
| SMHI | 57.5       | 52.6      | 57.8      | 55.0      |
| GU   | 60.1       | 56.4      | 56.5      | 57.5      |

## 4.2 Framtida intensiv nederbörd

I de följande figurerna (**Figur 4-11** till **Figur 4-13**) visas några resultat för de valda orterna Haparanda, Uppsala och Falkenberg. Samtliga beräkningar pekar på ökad intensiv nederbörd. Haparanda uppvisar den största ökningen, med

uppemot 30%. Samma procentuella ökning för nederbörd med längre varaktighet och återkomsttid ger betydligt större utslag i mängd nederbörd, jämfört med nederbörd med kortare varaktighetstid och återkomsttid. Dock innebär det en liten mängd nederbörd (några mm) eftersom varaktigheten är låg. Motsvarande procentuella ökning för de längre varaktigheterna innebär oftast 2-siffriga belopp.

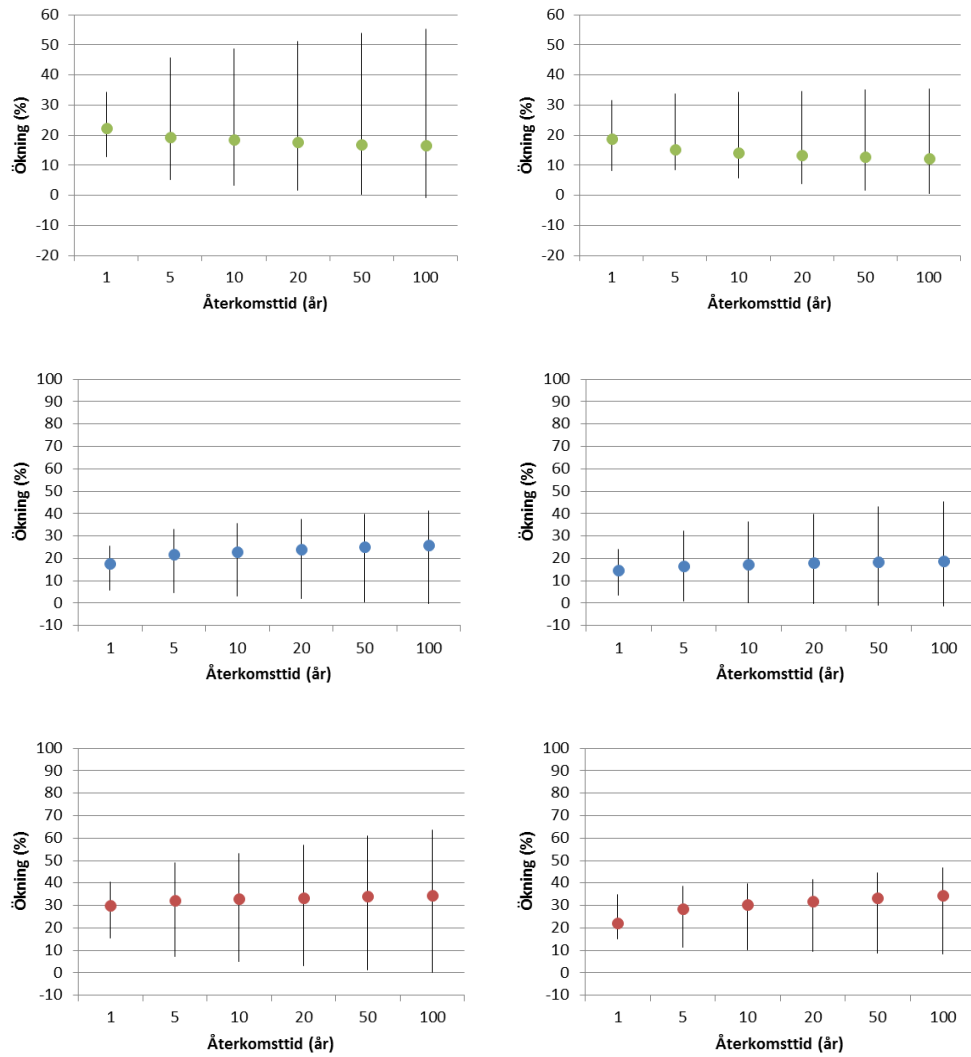
I **Tabell D** visas exempel på hur stora nederbördsmängder som avses om medelvärden för SRES-scenarierna tillämpas på några nederbördsstationer.

Tabell D: Ändringar i nederbörd enligt SRES-framtidsscenario.

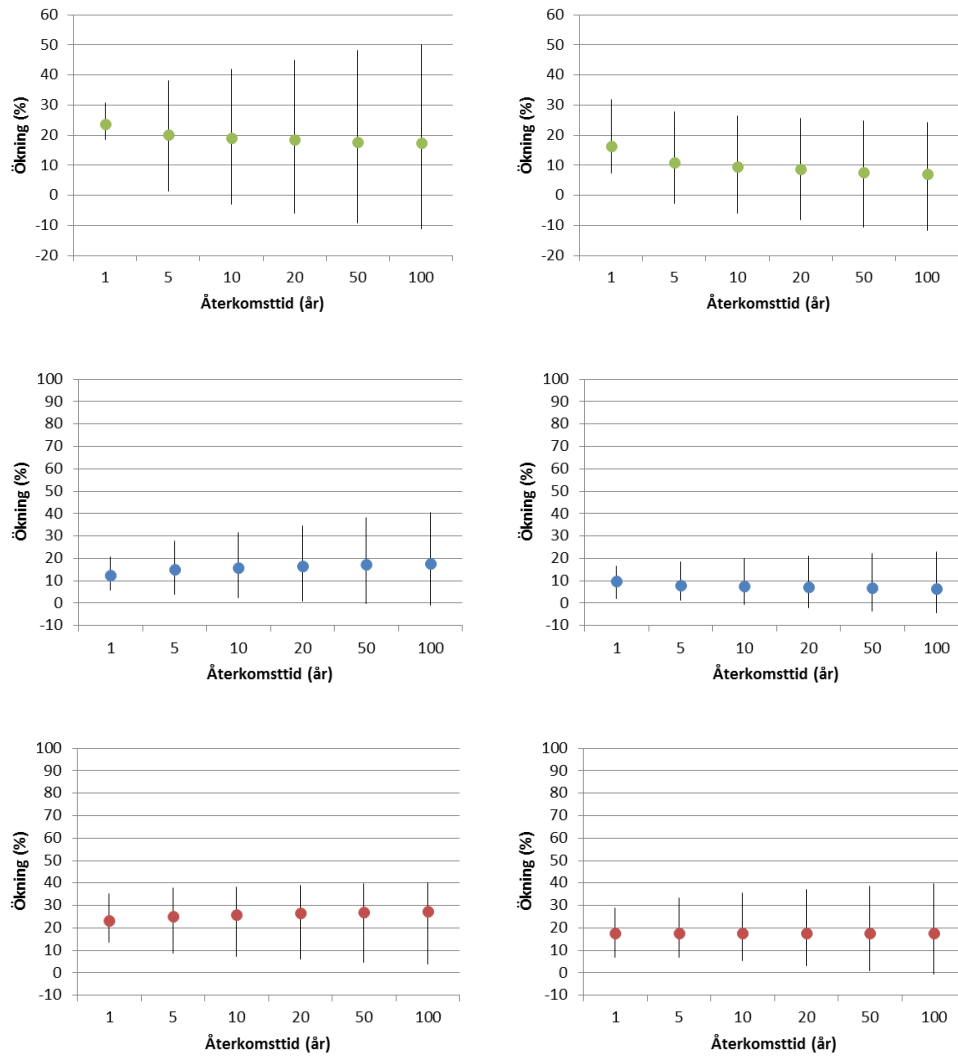
|  | Storön<br>(Haparanda) | Kerstinbo<br>(Uppsala) | Ullared<br>(Falkenberg) |
|--|-----------------------|------------------------|-------------------------|
| 1-timmens regn<br>med återkomsttid<br>1 år   | 10 → 12 mm            | 13 → 16 mm             | 12 → 16 mm              |
| 24-timmars regn<br>med återkomsttid<br>10 år | 42 → 48 mm            | 70 → 77 mm             | 65 → 79 mm              |

Med 1-årsregn avses mängden nederbörd som uppnås eller överskrids i genomsnitt en gång om året. Ett ettårsregn kan alltså förekomma flera gånger ett år och inte någon gång ett annat år.

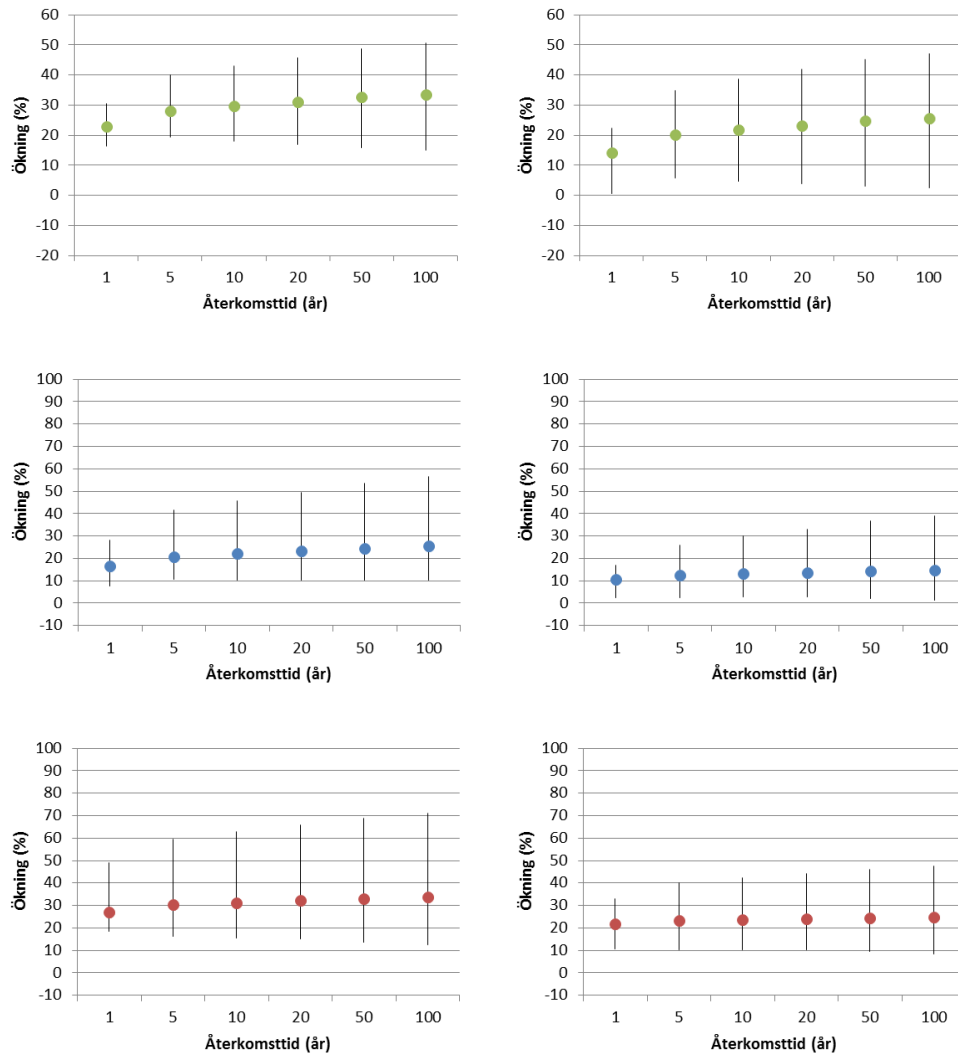
Sannolikheten att ett regn med 10-års återkomsttid inträffar nästa år, eller vilket enskilt år som helst, är 10 %. Sannolikheten att ett sådant regn inträffar någon gång under de närmaste 10 åren är 63 %. Det är alltså större sannolikhet att ett 10-årsregn överskrids än underskrids någon gång de närmaste 10 åren.



Figur 4-11. Den beräknade procentuella förändringen av korttidsnederbörd i Haparanda från perioden 1961-1990 till 2071-2100 för återkomsttiderna 1, 5, 10, 20, 50 och 100 år. Punkterna avser medelvärden och linjerna visar spridningen mellan scenarierna. Nederbördens varaktighet är 1 timme (vänster spalt) respektive 24 timmar (höger spalt). Övre raden avser SRES-scenarier, mellanraden avser RCP4.5 och nedre raden avser RCP8.5.



Figur 4-12. Den beräknade procentuella förändringen av korttidsnederbörd i Uppsala från perioden 1961-1990 till 2071-2100 för återkomsttiderna 1, 5, 10, 20, 50 och 100 år. Punkterna avser medelvärden och linjerna visar spridningen mellan scenarierna. Nederbördens varaktighet är 1 timme (vänster spalt) respektive 24 timmar (höger spalt). Övre raden avser SRES-scenarier, mellanraden avser RCP4.5 och nedre raden avser RCP8.5.



Figur 4-13. Den beräknade procentuella förändringen av korttidsnederbörd i Falkenberg från perioden 1961-1990 till 2071-2100 för återkomsttiderna 1, 5, 10, 20, 50 och 100 år. Punkterna avser medelvärden och linjerna visar spridningen mellan scenarierna. Nederbördens varaktighet är 1 timme (vänster spalt) respektive 24 timmar (höger spalt). Övre raden avser SRES-scenarier, mellanraden avser RCP4.5 och nedre raden avser RCP8.5.

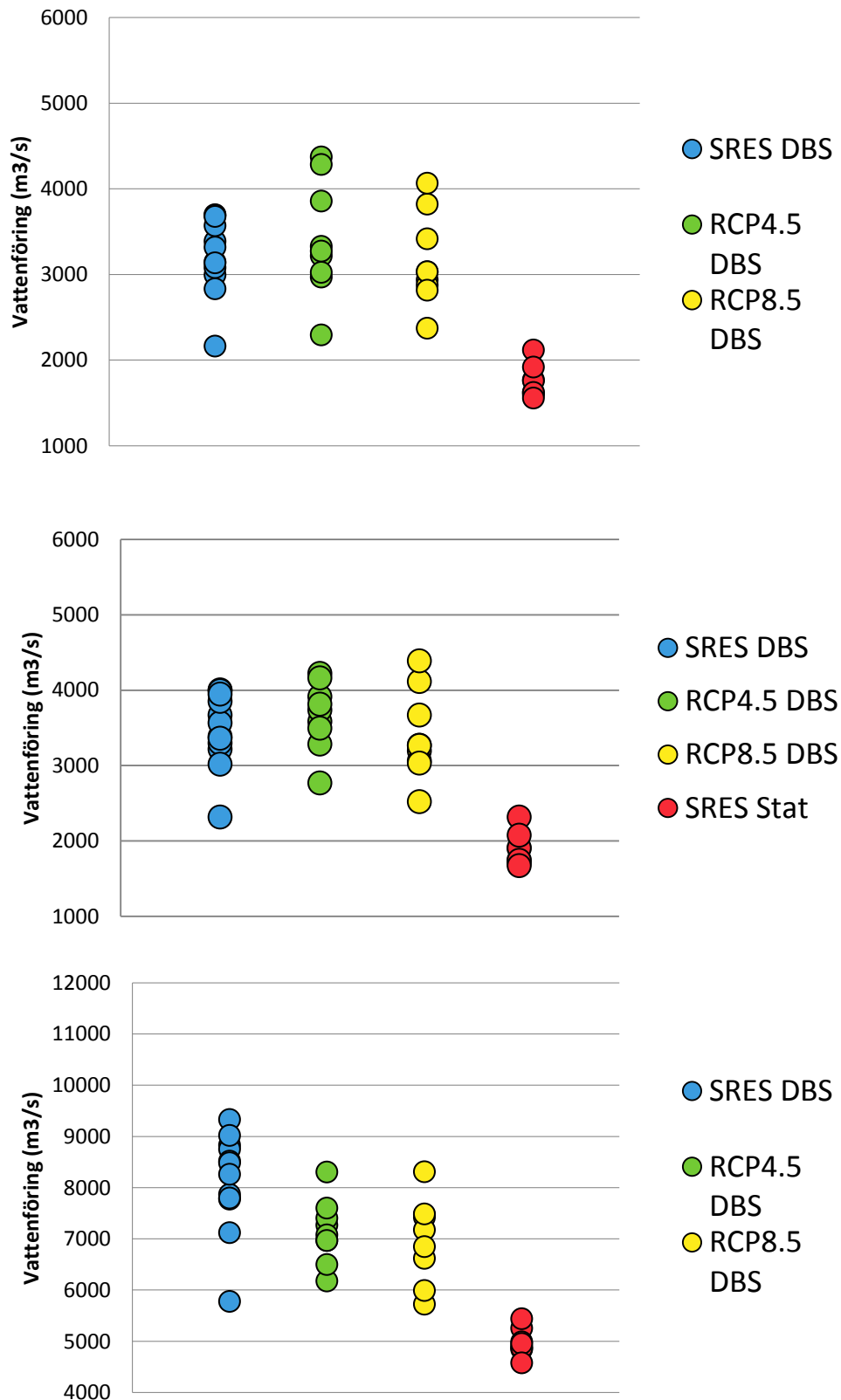
## 4.3 Flöden, vattennivåer och översvämningsskikt

### 4.3.1 Flöden

Beräkningar av dagens och framtidens flöden har gjorts för alla nedskalade klimatscenarier. Flöden har beräknats för mitten av seklet, år 2050 samt slutet av seklet år 2100. I **Figur 4-14** till **Figur 4-16** visas beräknade vattenföringar med återkomsttiderna 100 år och 200 år respektive Beräknat högsta flöde vid seklets slut för Torneälven och Ätran.

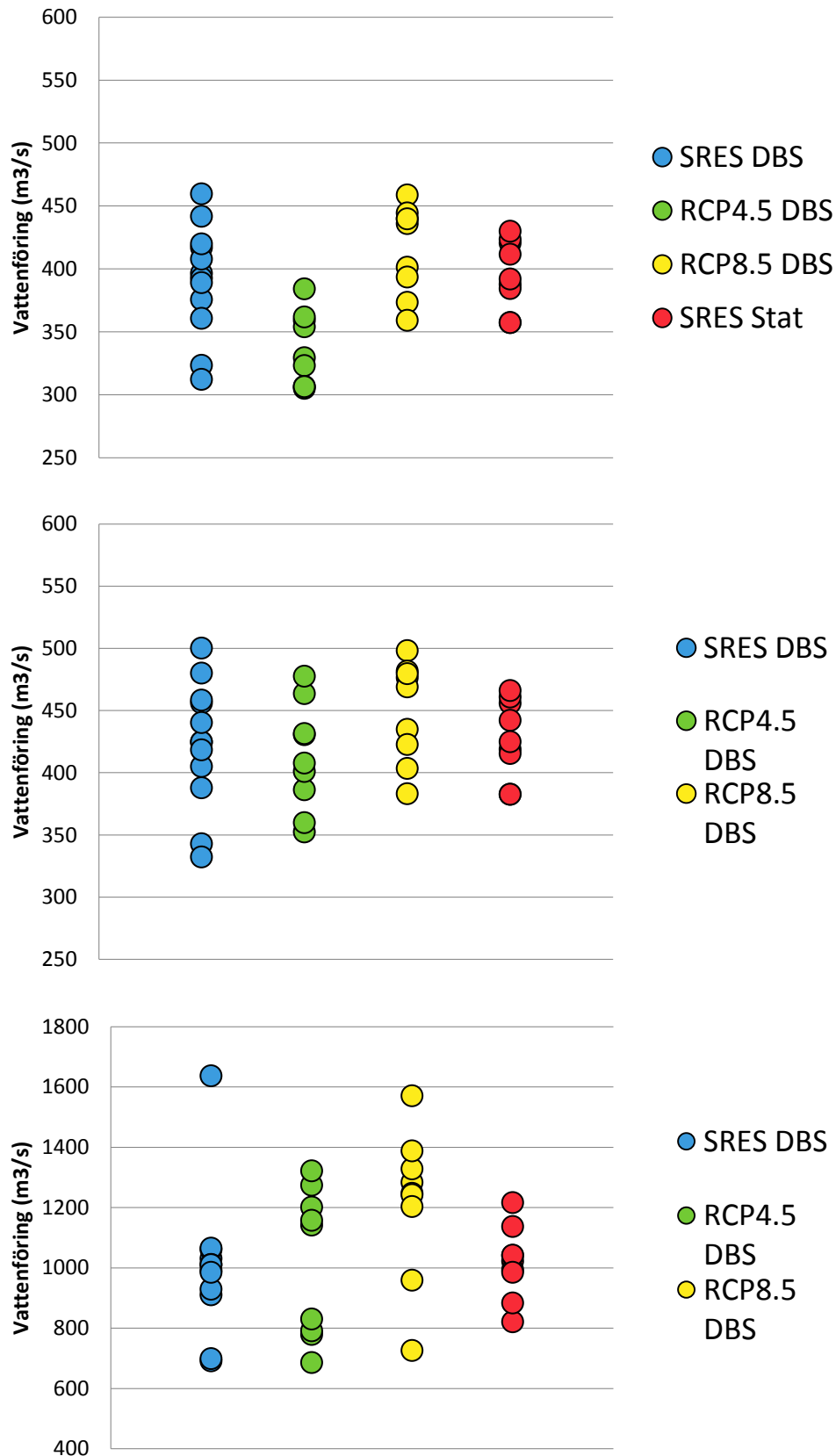
För Torneälven (**Figur 4-14**) ses att SRES, RCP 4.5 och RCP 8.5 hamnar väldigt nära varandra. Flödena beräknade med de statistisk nedskalade SRES-scenarier blir däremot konsekvent lägre än övriga scenarier.

För Ätran (**Figur 4-15**) ses att RCP 8.5 hamnar något högre än RCP 4.5. SRES-scenarierna spänner över både RCP 4.5 och RCP 8.5. De scenarier som Göteborgs Universitet har skalerat representerar endast SRES-scenarier och resultatet för dessa hamnar inom samma spann som SMHI: s SRES-scenarier.



Figur 4-14. Vattenföring med återkomsttid 100 år (överst), 200 år (mitten) och Beräknat högsta flöde (nederst) för Torneälv vid slutet av seklet. Blått, grönt och gult avser resultat med DBS-nedskalade beräkningar av SRES- och RCP-scenarier. Rött är resultat med statistiskt nedskalade SRES-scenarier.



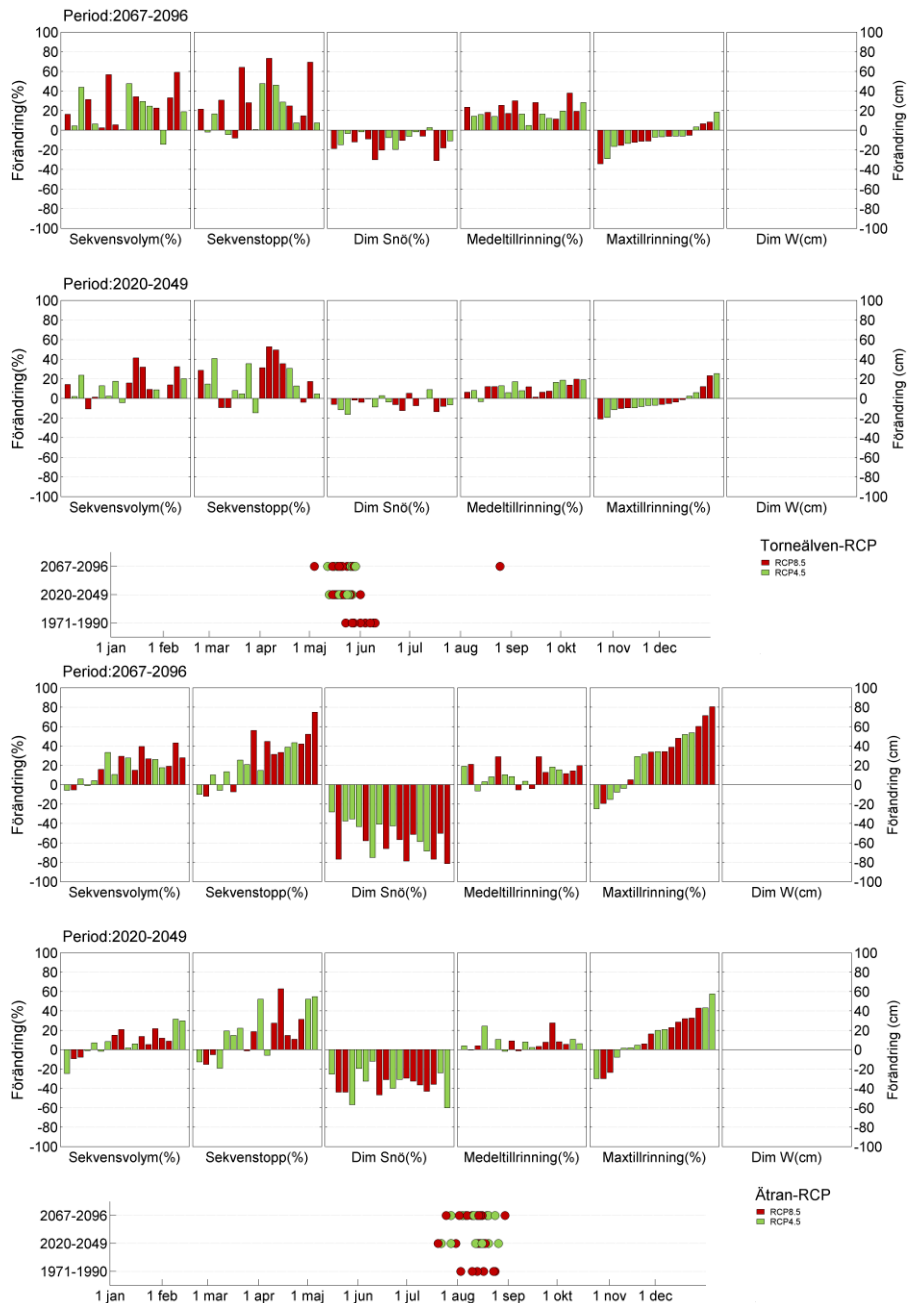


Figur 4-15. Vattenföring med återkomsttid 100 år (överst), 200 år (mitten) och Beräknat högsta flöde (nederst) för Ätran vid slutet av seklet. Blått, grönt och gult avser resultat med DBS-nedskalade beräkningar av SRES- och RCP-scenarier. Rött är resultat med statistiskt nedskalade SRES-scenarier..

**Figur 4-16** visar relevanta parametrar för uppkomsten av BHF och deras förändring i framtiden. Varje stapel är ett enskilt scenario där röda staplar representerar RCP8.5 och gröna RCP4.5 scenarierna. Scenarierna är rangordnade på så vis att den som ger störst negativ förändring avseende maxtillrinning är längst till vänster, längst till höger är scenariot som ger största ökning avseende maxtillrinning. Det framgår att snömagasinet<sup>31</sup> minskar kraftigt för Ätrons avrinningsområde (parameter *Dim Snö*(%)). Perioden 2020-2049 pekar på ca 20-40% minskning och för perioden 2067-2096 ser minskningen ut att bli uppemot 40-80%. För Torneälven sker mindre förändringar avseende snömagasinet och därmed också den maximala tillrinningen. Intressant är också att i denna detaljerade analys ges inte alltid största förändringen av RCP8.5. Valet av global klimatmodell har också stor betydelse.

---

<sup>31</sup> Snömagasinet avser den maximala mängden snö uttryckt som vattenmängden snön motsvarar. Det är mycket viktigt ur hydrologisk synpunkt d v s för vårfloden.



Figur 4-16. Resultat från underlag till Beräknade högsta flöden (BHF) för Torneälven (överst) och Ätran (nederst). Figureerna avser RCP4.5 och RCP8.5. Scenarierna är rangordnade enligt Maxtillrinning. Figuren med punkter indikerar när flödestoppen kommer.

### 4.3.2 Vattennivåer

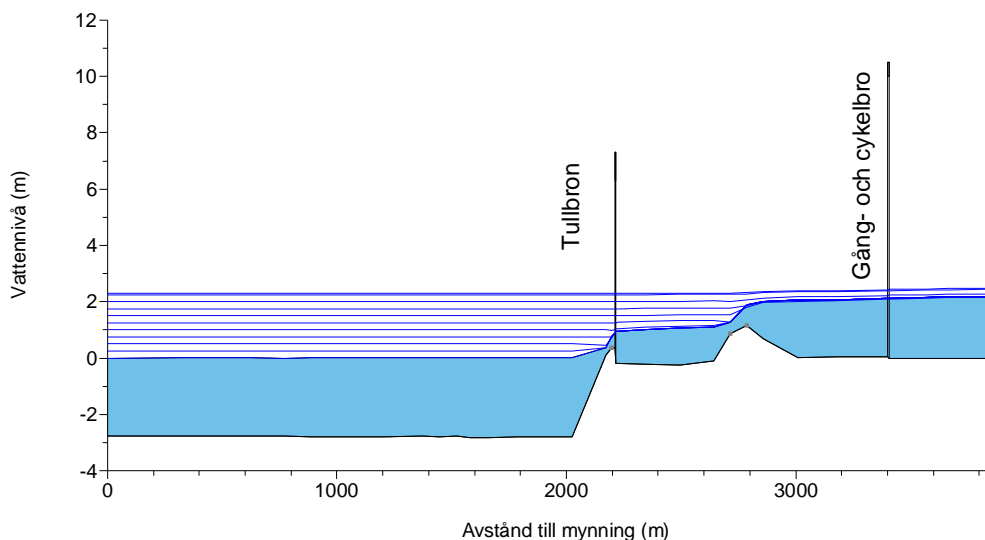
För att simulera vattennivåer i ett framtida klimat har olika flöden använts i de hydrauliska modellerna i kombination med olika havsnivåer. Eftersom spridningen av de beräknade framtida flödena är stor använts istället flödesintervall.

Intervallet för Ätran spänner från 300 m<sup>3</sup>/s upp till 1600 m<sup>3</sup>/s, för Torneälven har intervallet 1500 m<sup>3</sup>/s upp till 11 000 m<sup>3</sup>/s använts. Flödena i intervallen representerar olika återkomsttider och olika klimatscenarier.

För Ätran har tre olika havsvattenstånd använts; dagens medelvattenstånd (4,5 cm, mätstation Ringhals), dagens 100-års vattenstånd (152 cm) och framtida 100-års vattenstånd vid seklets slut (232 cm).

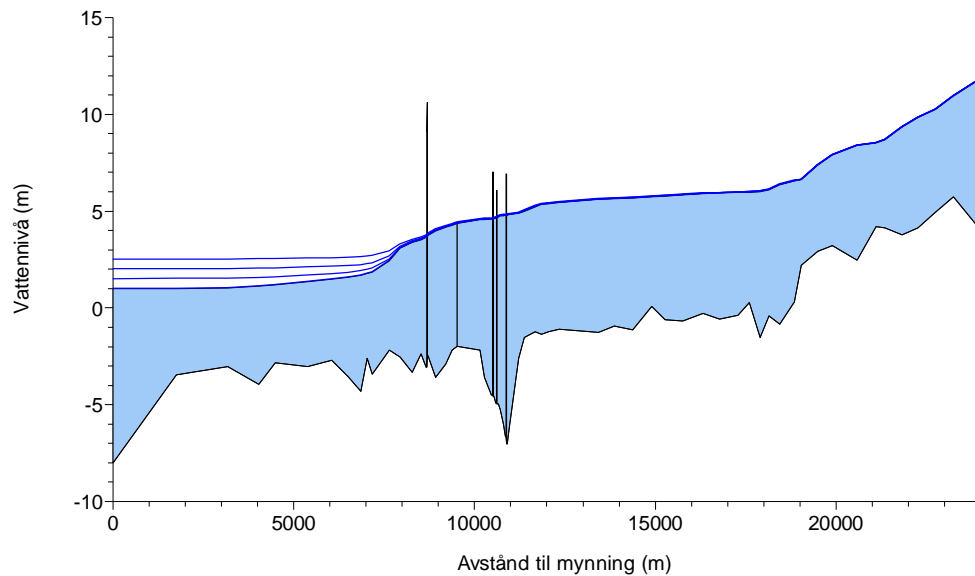
För Torneälven antas att 100-års havsvattenståndet i mynningen inte ändras nämnvärt i framtiden. Därför har beräkningar gjorts utifrån dagens medelvattenstånd (9,6 cm, mätstation Haparanda) samt dagens 100-års vattenstånd (177 cm).

En analys för hur känslig modellerna är vid olika havsvattenstånd har gjorts. I **Figur 4-17** illustreras beräkningar för Ätran med medelvattenföringen  $52 \text{ m}^3/\text{s}$  och med olika havsvattenstånd i mynningen (4,5 cm-232 cm). Det framgår att vattennivåerna i Ätran är mycket känsliga för havsvattenståndet. Några av beräkningarna med de högsta havsvattenstånden dämmer vid medelvattenföringen förbi båda forsarna.



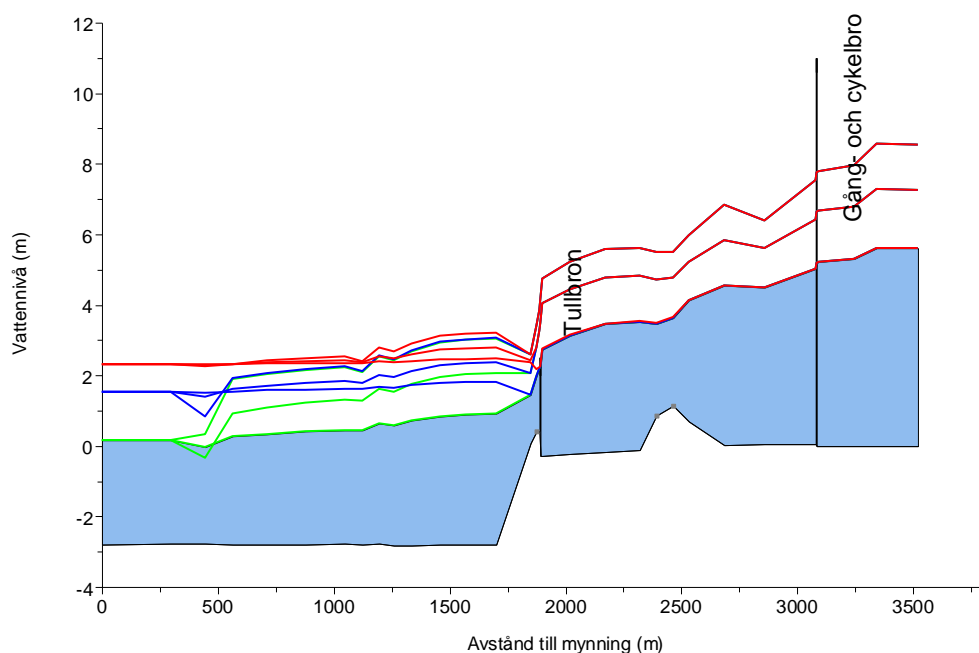
Figur 4-17. Sektion längs med Ätran som visar hur vattennivån i vattendraget varierar för olika havsvattenstånd i mynningen. Samtliga beräkningar är gjorda med medelvattenföringen ( $52 \text{ m}^3/\text{s}$ ) framkörd med varierande havsvattenstånd i mynningen, från dagens medelvattenstånd upp till beräknat framtida högvatten med 100-års återkomsttid (HW100). De lodräta strecken markerar broar.

För Torneälven (Figur 4-18) har på motsvarande sätt beräkningar gjorts med medelvattenföringen  $420 \text{ m}^3/\text{s}$  och havsvattenstånd i mynningen motsvarande medelvattenståndet 9,6 cm upp till dagens HW100, 177 cm. Havsvattenståndet har här inte lika stor betydelse för vattennivåerna vid Haparanda som det har i Falkenberg. Havet dämmer en bit i mynningen i Torneälven men inte så långt upp i vattendraget så att Haparanda berörs nämnvärt.

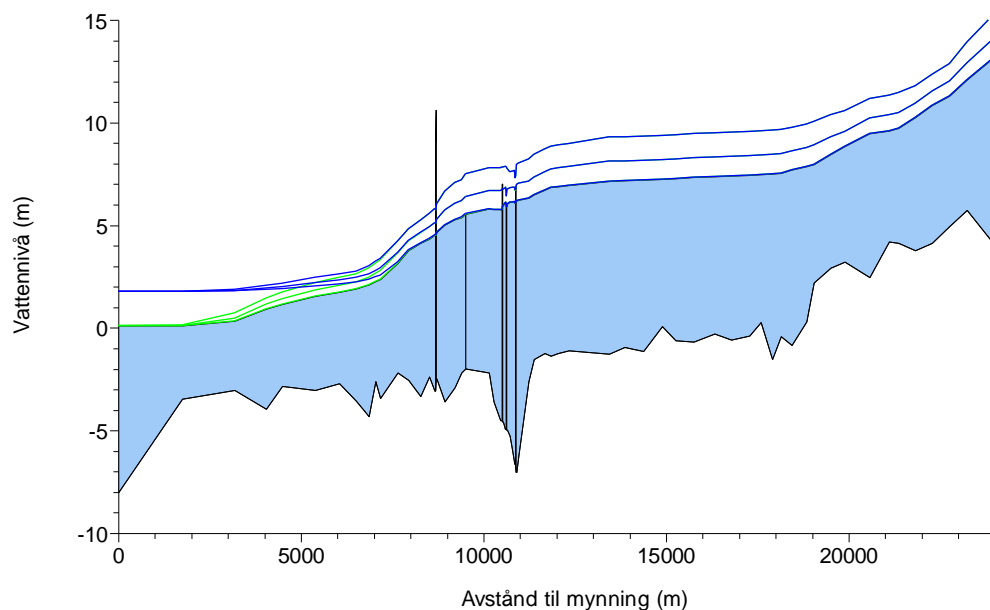


Figur 4-18. Sektion längs Torneälven som illustrerar hur vattennivån i vattendraget varierar för olika havsvattenstånd i mynningen. Samtliga beräkningar avser ett vattenflöde motsvarande medelvattenföringen ( $420 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Havsvattenståndet varierar från medelvattenståndet 4,5 cm upp till dagens högvattennivå med 100-års återkomsttid HW100 (177 cm). De lodräta strecken markerar broar.

I **Figur 4-19** visas vattennivåer för Ätran beräknade med flöden som representerar ett intervall för framtida BHF- flöden. Även här har tre stycken olika havsvattenstånd använts för flödesintervallet  $600\text{-}1600 \text{ m}^3/\text{s}$ . Man kan se i figuren att även här har havsvattenståndet stor betydelse för vattennivåerna i Ätran ända upp till Tullbron. Uppströms Tullbron är det storleksordningen på flödet som styr hur hög vattennivån blir.



Figur 4-19. Figuren illustrerar beräknade vattennivåer för Ätran. Flödesintervallet för BHF- flöden ( $600\text{-}1600 \text{ m}^3/\text{s}$ ) är kört med tre olika havsvattenstånd; dagens medelvattenstånd (4,5 cm, grönt), dagens 100-års vattenstånd (152 cm, blått) och ett framtida 100 års vattenstånd (232 cm, rött).

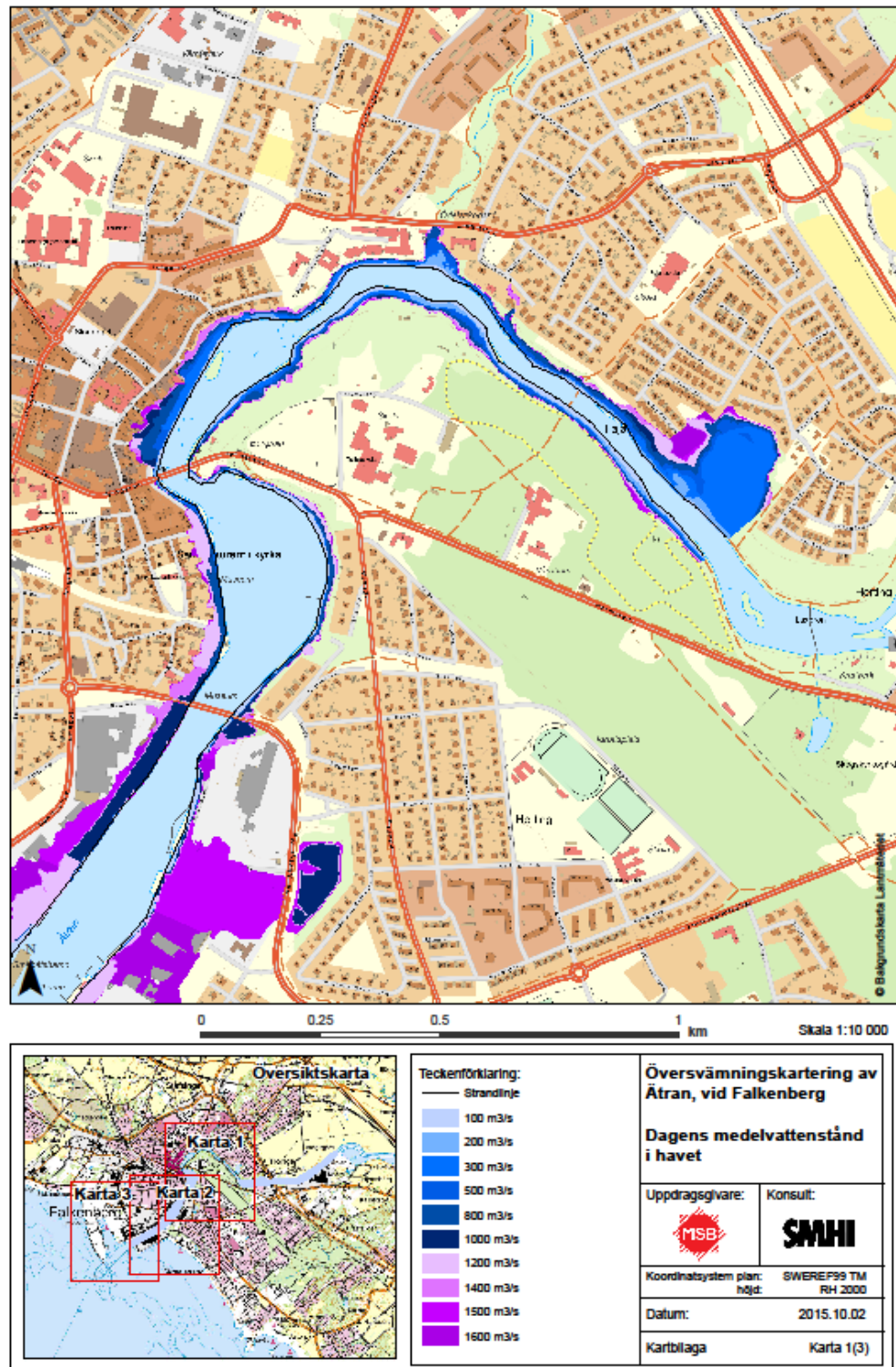


Figur 4-20. Figuren illustrerar beräknade vattennivåer för Torneälven. Flödesintervallet för BHF- flöden (6000-11 000 m<sup>3</sup>/s) är kört med två olika havsvattenstånd; dagens medelvattenstånd (9,6 cm, grönt), dagens 100-års vattenstånd (177 cm, blått).

I **Figur 4-20** visas Torneälvens vattennivåer som är beräknade med flöden som representerar ett intervall för framtida BHF- flöden. Två olika havsvattenstånd har använts för flödesintervallet 6000- 11 000 m<sup>3</sup>/s. Även i detta fall har havsvattenståndet liten betydelse för vattennivåerna i Torneälven och havet påverkar endast vattennivåerna i mynningen. Längre uppströms är det storleksordningen på flödet som styr vad vattennivåerna blir i Torneälven.

### 4.3.3 Översvämningsskikt

Falkenberg är redan idag i ett utsatt läge avseende havets stigning (

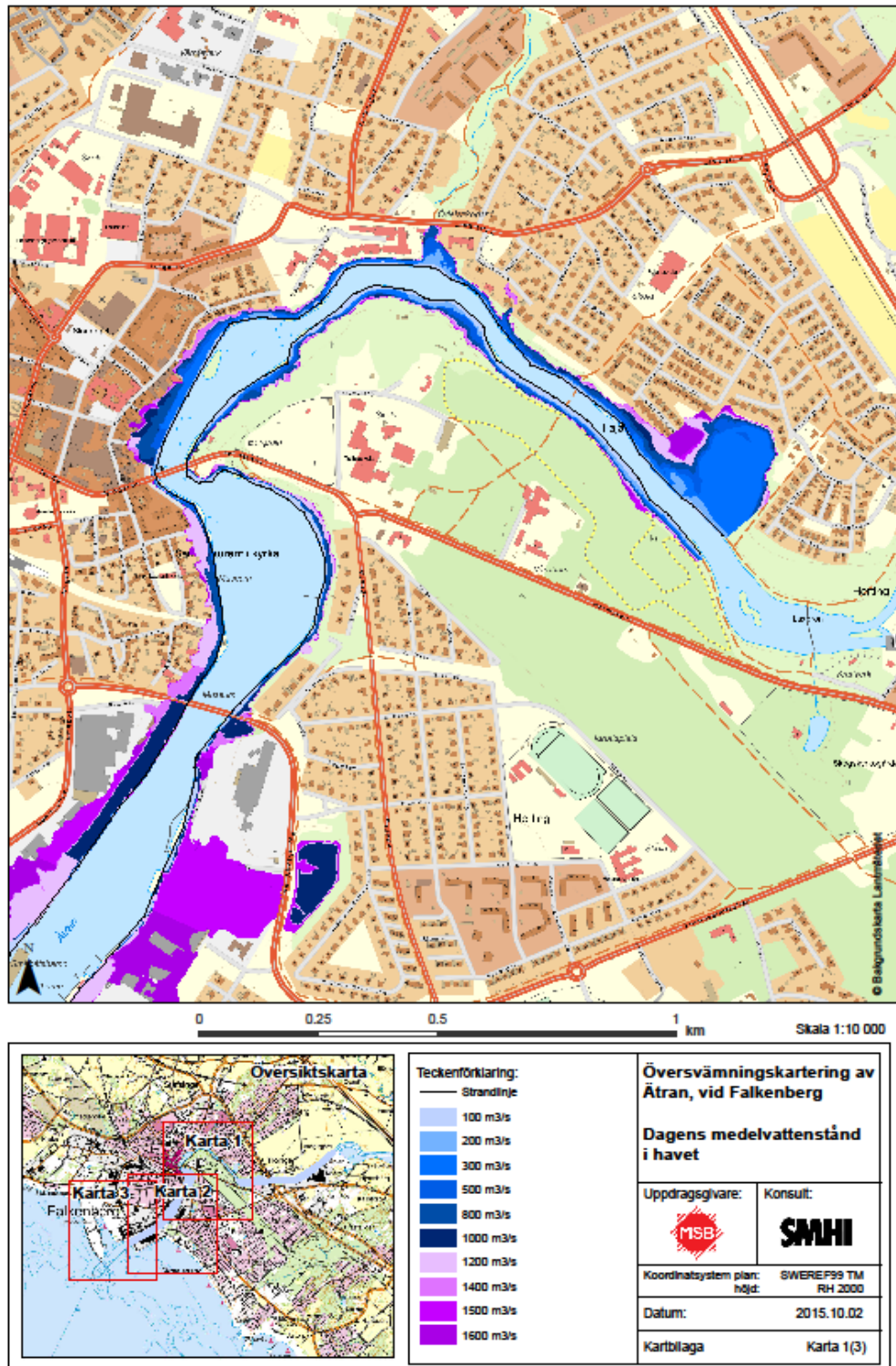


**Figur 4-21).** I **Figur 4-22** ses att då havet uppnått högvattennivå i framtidens klimat riskerar stora delar av hamnområdet att översvämmas. Detta är oberoende av flödet i Ätran.

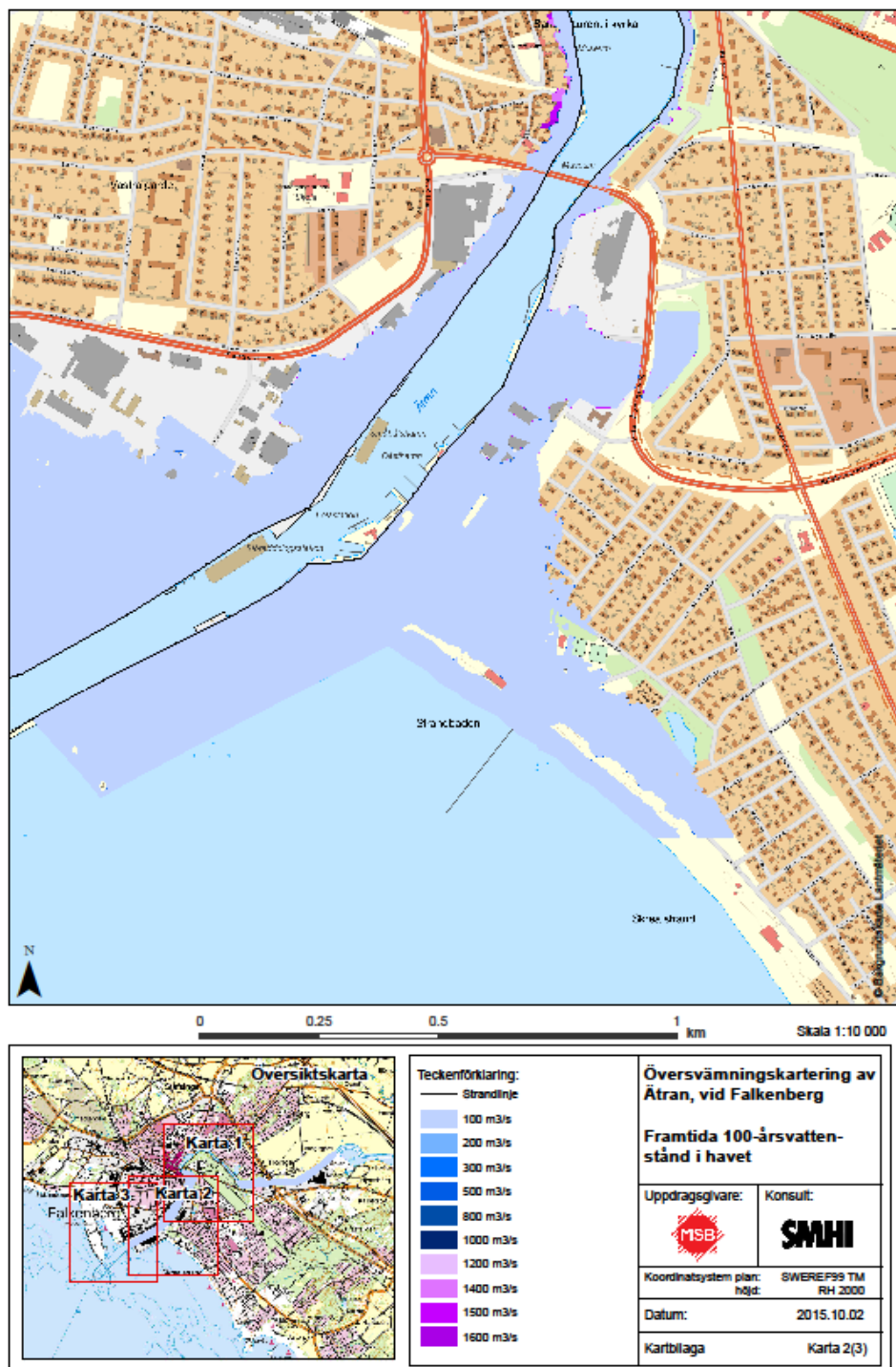
Haparanda påverkas mer av flödet i älven. Det är enbart kustlinjen och de allra nedersta delarna av utloppet som påverkas av havsnivån. Eftersom landhöjningen i denna region är stor förväntas inte havsnivån påverkas nämnvärt av havets allmänna höjning i samband med klimatets uppvärmning.



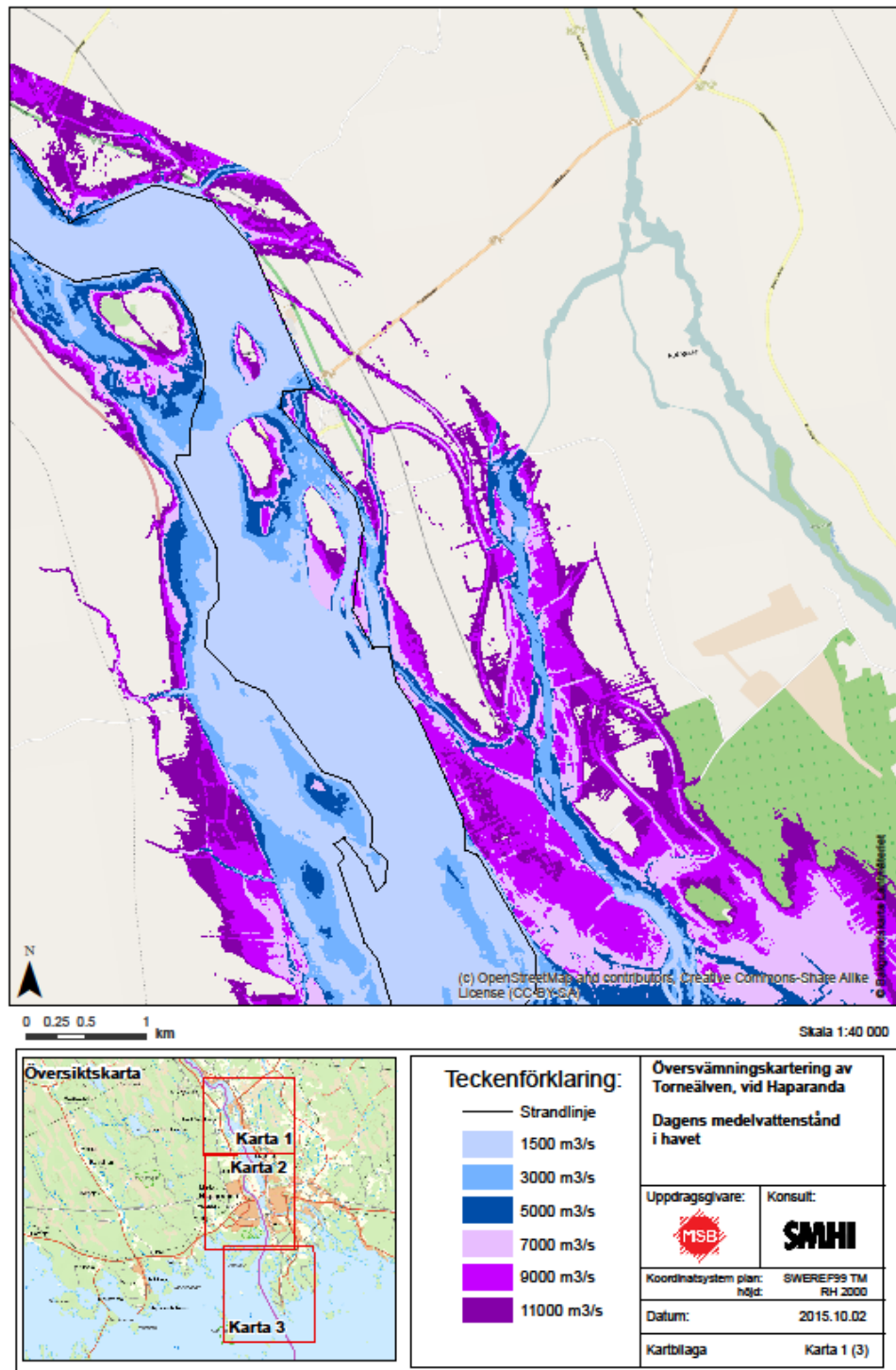




Figur 4-21. Översvämningsskartering för Ätran vid Falkenberg. Detta exempel avser karta 1 i enlighet med översiktskartan. Kartan visar vilka områden som riskerar att översvämmas vid olika flödesnivåer då havets nivå är enligt dagens medelvattenstånd.

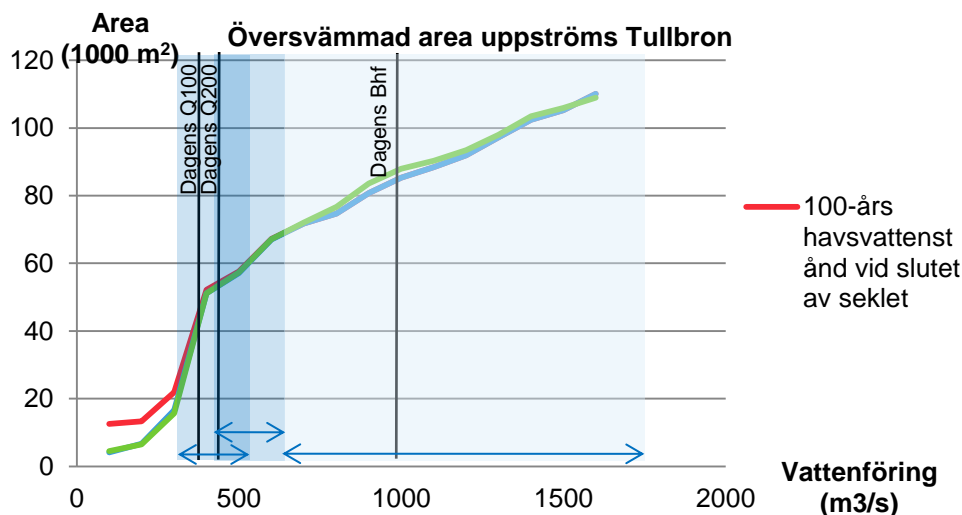


Figur 4-22. Översvämningsskartering för Ätran vid Falkenberg i enlighet för antaget framtida 100-årsvattenstånd i havet. Detta exempel avser karta 1 i enlighet med översiktsskarta.



Figur 4-23. Översvämningskartering för Torneälven vid Haparanda. Kartan visar vilka områden som översvämmas vid olika flödesnivåer då havets nivå är enligt dagens medelvattenstånd. Detta exempel avser karta 1 i enlighet med översiktskartan.

En studie gjordes även av hur stor area som kan bli översvämmad vid de olika flödes-/havsvattensituationerna. I Figur 4-24 illustreras den översvämmade arean för området uppströms Tullbron i Falkenberg. Linjerna är närmast identiska eftersom havsvattenståndet har väldigt liten betydelse för hur stor den översvämmade arean blir i detta fall. Däremot har linjerna en brant lutning eftersom den översvämmade arean ökar snabbt då flödet ökar.



Figur 4-24. Illustrerar översvämmad area i centrala Falkenberg för olika vattenföringar och havsvattenstånd. Den gröna, blå och röda linjen illustrerar hur stor area som översvämmas för olika flöden vid olika havsvattenstånd i mynningen. Den röda linjen anger ett framtida 100 års-vattenstånd i havet (232 cm). Den blå linjen motsvarar dagens 100 års havsvattenstånd (152 cm). Den gröna linjen avser dagens medelvattenstånd (15 cm). Beräkningarna har gjorts för ett intervall av flöden från 300 m³/s till 1600 m³/s, de tre blå fälten med pilar markerar intervallet för framtida HQ100, HQ200 och BHF-flöden. De svarta horisontella strecken markerar värdet på dagens HQ100, HQ200 och BHF-flöde.

## 4.4 Riskanalys

I detta delkapitel redovisas resultaten från sårbarhetsanalyser för de tre fallkommunerna.

### Falkenberg

Den kedja av modellberäkningar och analyser som är kärnan i detta projekt har skapat en möjlighet att på ett utvecklat sätt redovisa variationen i de konsekvenser som kan uppstå vid olika översvämningsscenarioer. För fallstudien Falkenberg har detta gjorts på ett detaljerat sätt för en översvämningsshotad sträcka av Ätran uppströms Tullbron i de centrala delarna av staden. Riskanalyserna baseras på en kombination av scenarier för Ätran och för havet, och nedströms Tullbron har havets nivå stor inverkan på utbredningen av översvämningar.

De flödesscenarier för Ätran som redovisats i kapitel 4.2 användes för att beräkna olika typer av potentiella konsekvenser för sträckan uppströms Tullbron. I korthet kan sägas att det framför allt är ett område runt Ågatan som berörs, bland annat byggnader, boende, vägar och vissa samhällsfunktioner. I

**Figur 4-25** redovisas variationen i vattenflöden och vattennivå utifrån fyra olika dimensioner:

1. Klimatscenarier (GU, SMHI RCP8.5)
2. Modellensembler (representerade av minvärde, 25%-percentil, median, 75%-percentil, maxvärde)
3. Återkomsttider (100 år och BHF<sup>32</sup>)
4. Tidpunkt (nutid, år 2100)

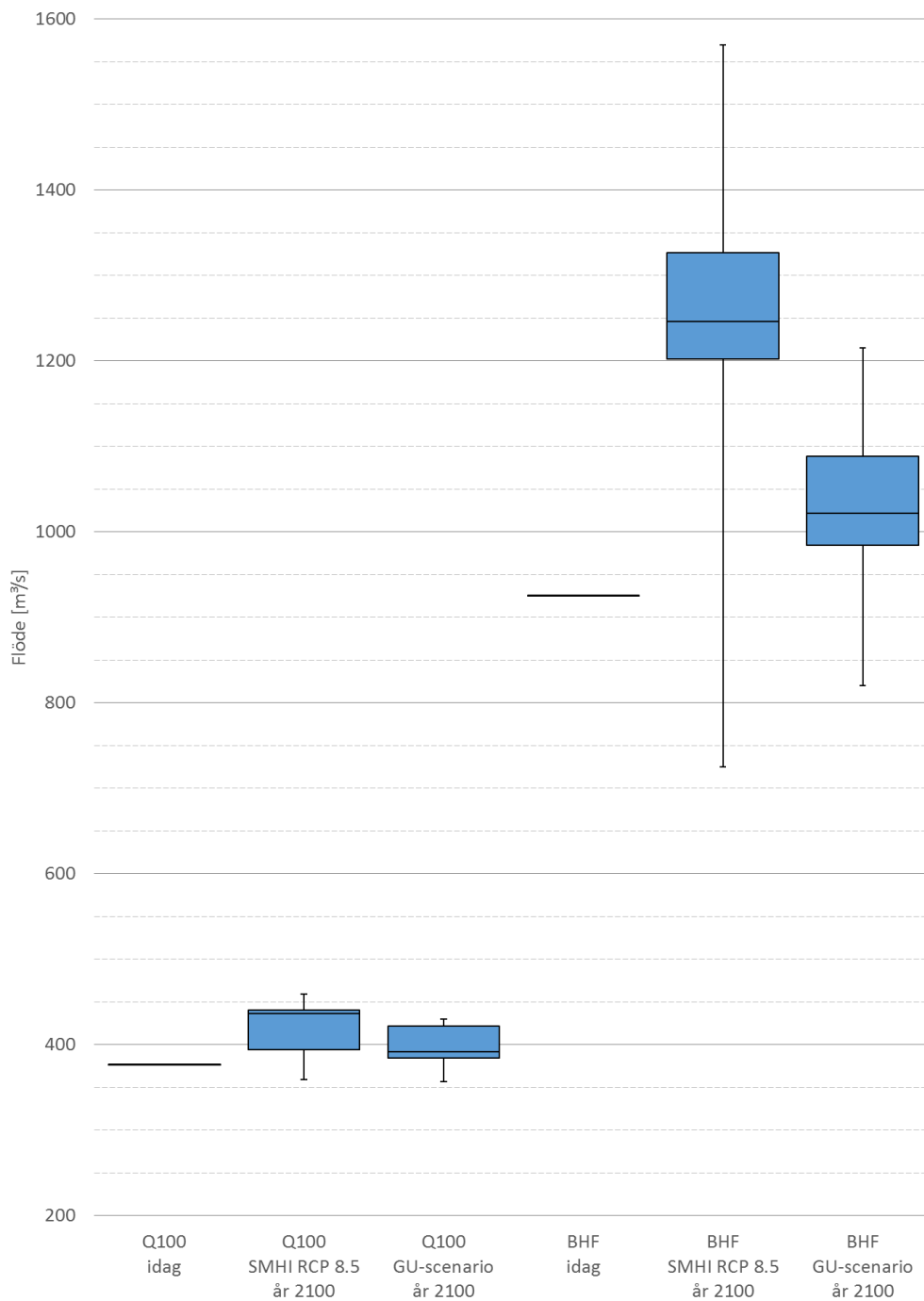
Modelleringen av flödet i Ätran (**Figur 4-25a**) visade en mindre ökning för 100-årsflödet både för SMHI:s (RCP8.5) och GU:s modellansats, medan det för BHF var betydligt större ökning för båda ansatserna. Variationen inom respektive modellensembler var betydligt större för BHF.

Variationen av vattennivåer (**Figur 4-25b**) visade samma mönster som för vattenflödet. Medan dagens hundraårsflöde inte påverkar Ågatan nämnvärt innebär ett 100-årsflöde år 2100 att vattennivån täcker Ågatan och börjar påverka omgivningen. För BHF blir effekten betydligt större. I dagens klimat ligger BHF<sup>33</sup> ca 1,5 m över 100-årsnivån, medan det i de båda klimatscenarierna för år 2100 ligger 1,7–2,1 m över 100-årsnivån. Den totala spridningen inom respektive ensemble för BHF var relativt stor (skillnad mellan min och max) medan 25- och 75-percentilen låg inom 1–2 dm från medianen.

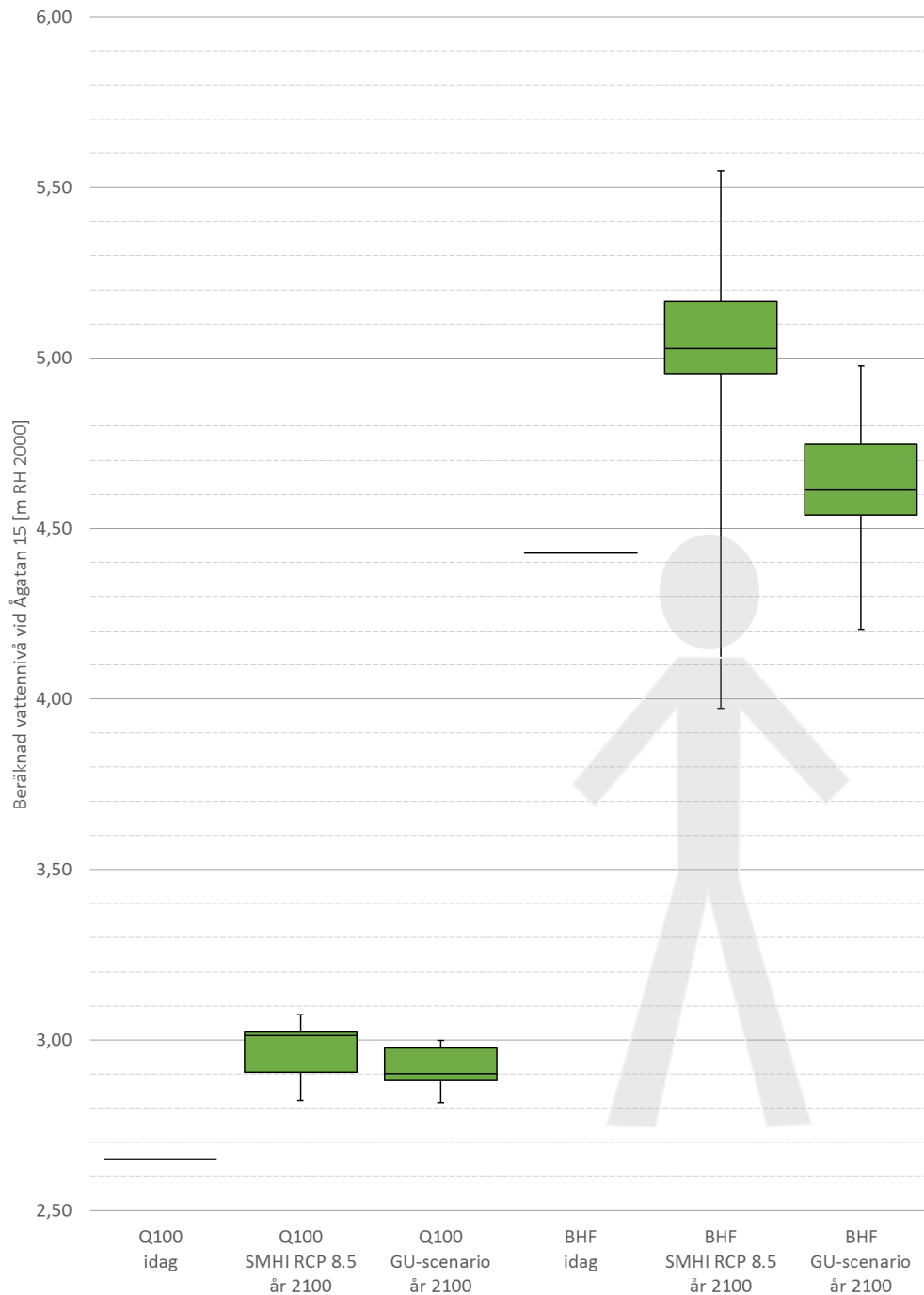
---

<sup>32</sup> BHF=beräknat högsta flöde är egentligen ingen återkomsttid. Detta flöde motsvarar enligt SMHI en återkomsttid på mer än 10 000 år.

<sup>33</sup> Det förekommer olika uppgifter om BHF för Ätran. I denna studie har BHF=925 m<sup>3</sup>/s använts.

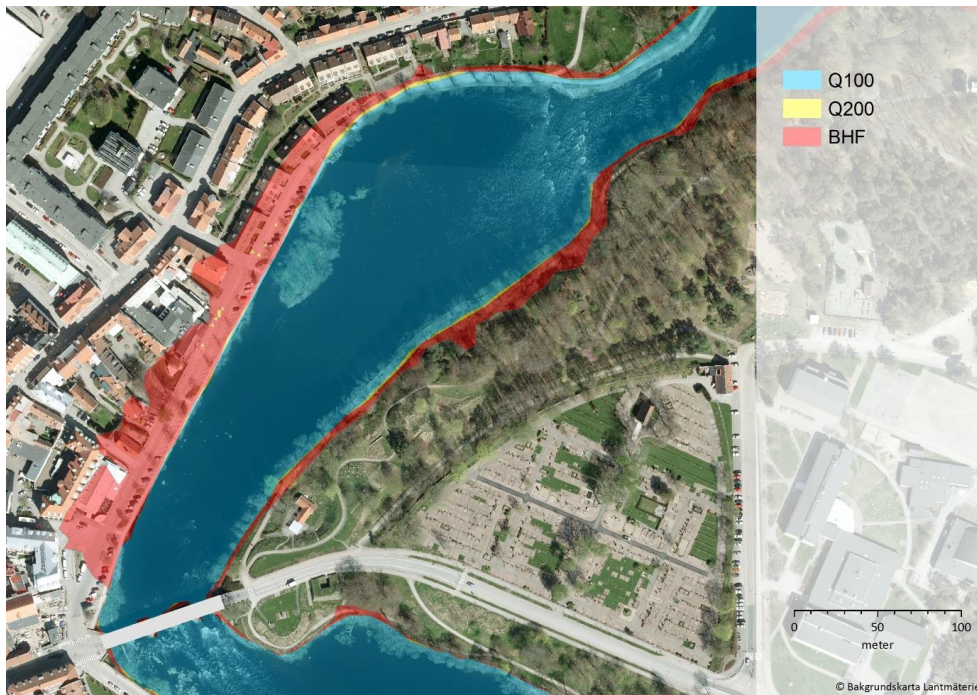


Figur 4-25a. Variation i vattenflöde i Ätran utifrån olika återkomsttider (Q100=100 år, respektive BHF), tidpunkter (nutid, respektive år 2100), modellansatser och klimatscenarier (SMHI RCP8.5 respektive GU) och modellensembler (i boxdiagrammet: min, 25-percentil, median, 75-percentil, max).

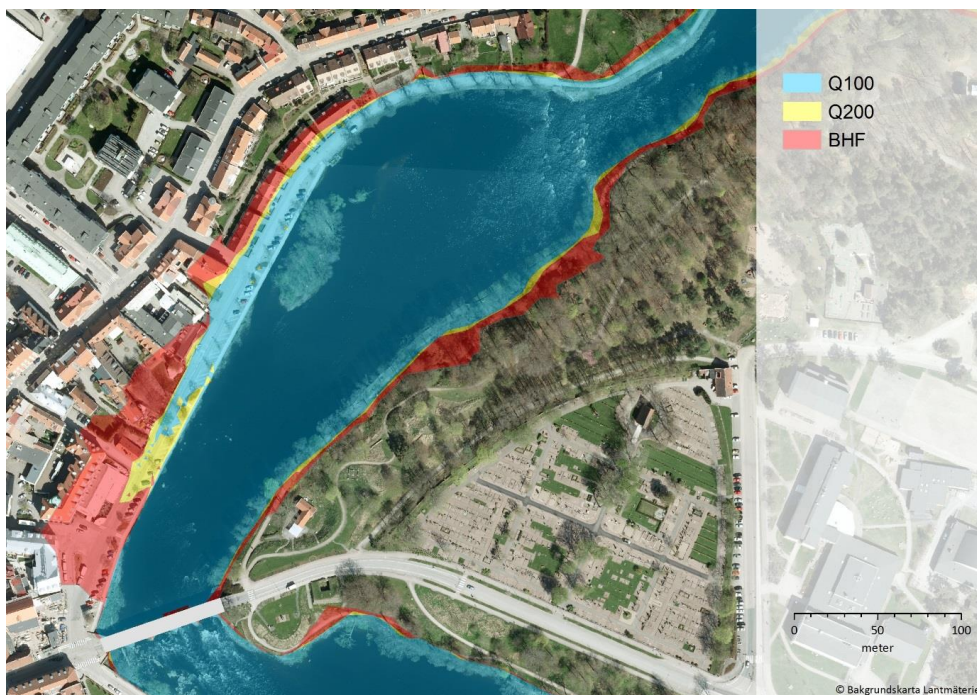


Figur 4-25b. Variation i vattennivå strax uppströms Tullbron utifrån olika återkomsttider (100 år respektive BHF), tidpunkter (nutid, respektive år 2100), modellansatser och klimatscenarier (SMHI RCP8.5 respektive GU) och modellensembler (i boxdiagrammet: min, 25-percentil, median, 75-percentil, max). Markeringen av en människa i figuren visar ungefärligt höjden på en person av normallängd som står vid Ågatan 15.

Utbredningen av översvämningar i dagens klimat visar att det krävs mer än 200-årsnivå för att få en betydande påverkan (**Figur 4-26**). I framtidens klimat blir det betydande utbredning redan vid en 100-årsnivå (**Figur 4-27**).



Figur 4-26. Översvämningsytor för tre återkomsttider (100 år, 200 år och BHF) i dagens klimat med en 100-årsnivå i havet som randvillkor.



Figur 4-27. Översvämningsytor för tre olika återkomsttider vid år 2100, utifrån ett kraftigt utsläppsscenario (RCP8.5) och med en framtida 100-årsnivå i havet som randvillkor.

Konsekvenserna vid en översvämmning utmed Ätran i centrala Falkenberg är relativt begränsade. De utgörs främst av påverkan utmed Ågatan uppström Tullhusbron. För studerade scenarier gällande dagens klimat är det först vid i storleksordningen ett 100-årsflöde som vatten når upp på gatan.



Med ytterligare flödesökning börjar sedan radhusbebyggelse påverkas. De fyra radhusen (**Figur 4-28**) med totalt tolv bostäder bedöms vara de byggnader för bostadsändamål som påverkas direkt genom att vatten når bostadsyta (i husens suterrängplan). I radhusen bor ett tjugotal personer. Värt att notera är att dessa byggnader till följd av tidigare översvämningshändelser har anlagt ett översvämningsskydd i form av en mur som i kombination med igensättning av infarterna ger ett visst skydd.

Ågatan blir med stigande flöden svårframkomlig och senare oframkomlig, men det bedöms i sig inte utgöra någon allvarlig risk. Däremot bedöms, vid extremt höga flöden, vattendjup i kombination med vattenhastighet medföra att sannolikheten för förlust av människoliv eller allvarlig personskada inte är försumbar. Källare i flerfamiljshus och byggnader för näringsverksamhet riskerar skador.

En nätstation vid Ågatans norra ände kan komma att påverkas, men det krävs högre nivåer än en 100-årsnivå. Påverkan vid enstaka kabelskåp (och/eller elcentral i byggnad) kan ge strömavbrott begränsat till närliggande byggnader. Det finns erosions- och rasrisk vid vårdcentralen strax uppströms Ågatan, men dessa risker reducerades genom åtgärder på 90-talet.

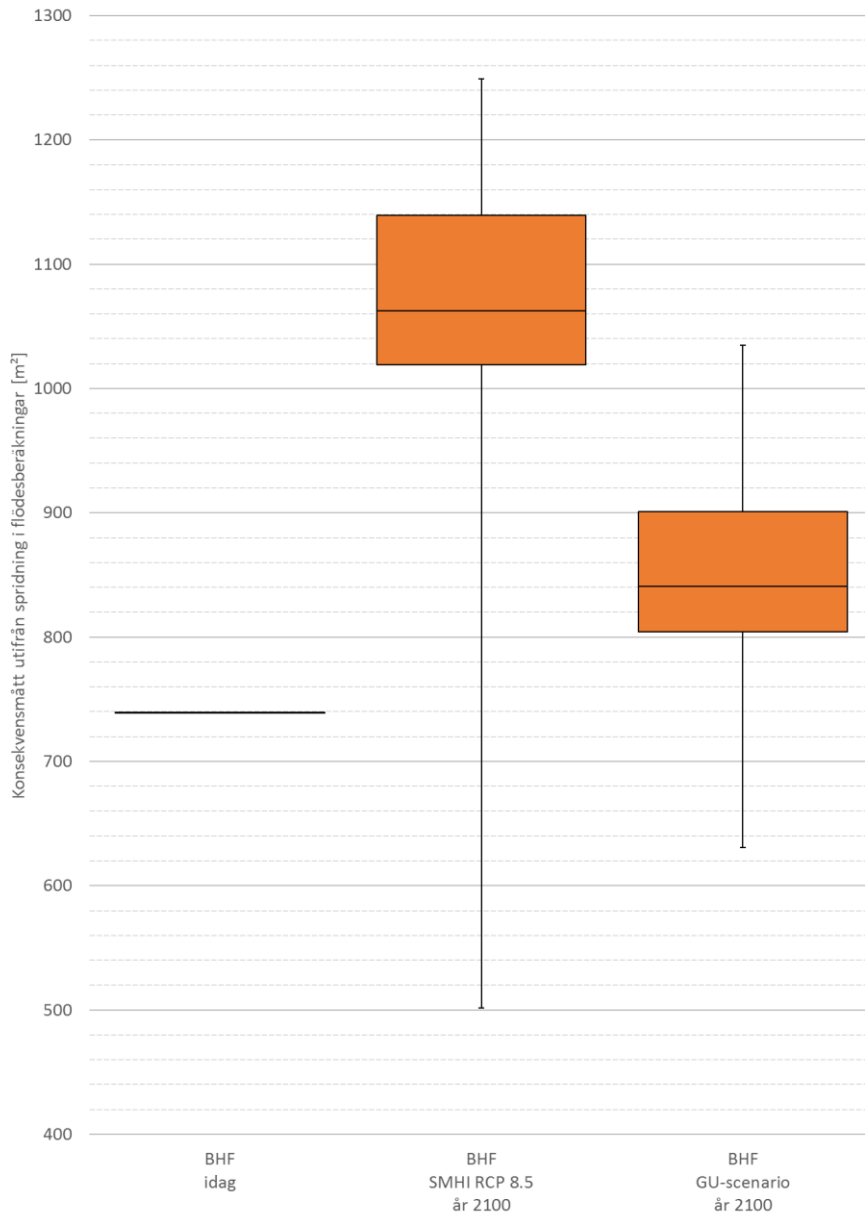
Ett förändrat klimat väntas ge högre sannolikhet för skador utmed Ätran i centrala Falkenberg, men skadeutfallet bedöms fortfarande vara begränsat vid flöden med återkomsttider i storleksordningen 100 år.



Figur 4-28. Ågatan i Falkenberg.

För att kunna illustrera styrkan i att ha mått på spridningen från olika klimatmodeller visas en specifik konsekvens nedan i **Figur 4-29**. Med stigande nivåer berörs en allt större yta av radhusbebyggelsen på Ågatan. Diagrammet visar mer specifikt den area på bostadsbyggnader som ”står under vatten” vid

olika vattennivåer (intersektion mellan byggnadsyta enligt fastighetskartan och översvämmad yta enligt NNH). Det ska betonas att detta diagram inte ska tolkas alltför precist (det finns en rad osäkerhet bakom de olika beräkningsstegen), utan ska ses som ett exempel på hur ensemblemodellering kan omsättas i en variation även på konsekvenssidan.



Figur 4-29. Översvämmad yta av radhusbebyggelse längs Ågatan vid ensemblemodellering av BHF i Ätran. Ytmåttet (y-axeln) representerar en intersektion mellan byggnadsyta enligt fastighetskartan och framtagna översvämningsscenarier.

Ett test för att jämföra modellansatser från GU respektive SMHI (**Figur 4-30** och **Figur 4-31**) visade på relativt begränsade effekter i utbredning och konsekvens. SMHI/RCP8.5 (scenario 2) har ett väsentligt högre BHF-flöde men på grund av topografin i närområdet blir utbredningen endast marginellt större.

För att visa variationen av utbredning inom en ensemble valdes SMHI/8.5, 100-årsflöde år 2100 (**Figur 4-32**). Spridningen inom ensemblen åskådliggörs tydligt i variationen i utbredning, men redan det lägsta flödet leder till en påtaglig översvämning vid Ågatan.



Figur 4-30. Jämförelse av översvämningsutbredning beräknad med metod från GU (scenario 1) respektive från SMHI/RCP8.5. Figuren visar utbredningen år 2100 vid ett 100-årsflöde i Ätran och med en framtida 100-årsnivå i havet som randvillkor.



Figur 4-31. Jämförelse av översvämningsutbredning beräknad med metod från GU (scenario 1) respektive från SMHI/RCP8.5. Figuren visar utbredningen år 2100 vid BHF i Ätran och med en framtida 100-årsnivå i havet som randvillkor.

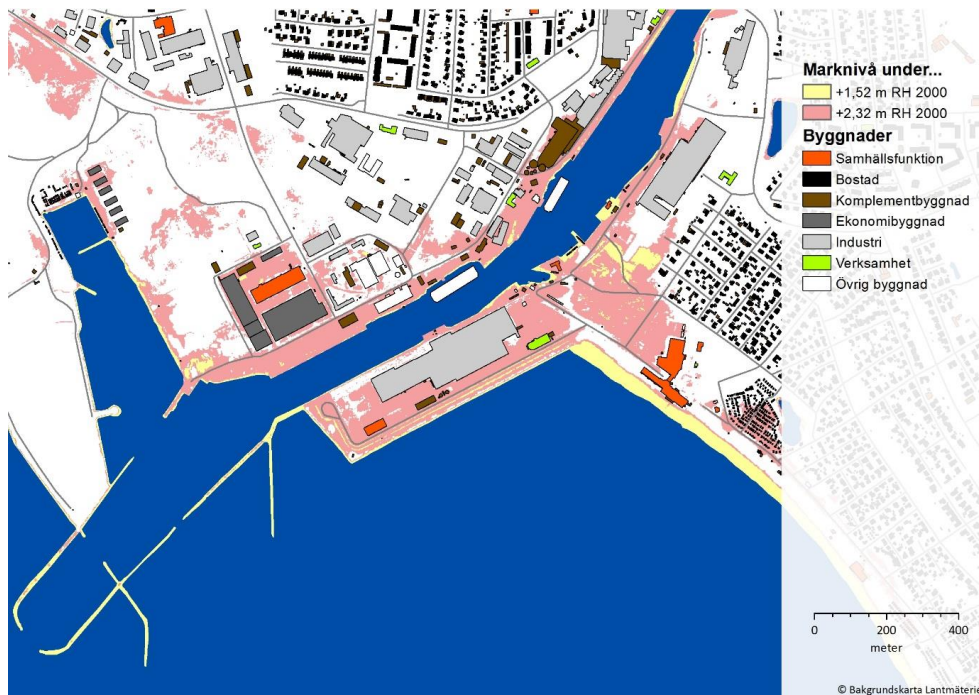


Figur 4-32. Översvämningsutbredning för minvärde, median och maxvärde i modellensembeln SMHI/RCP8.5. Figuren visar utbredningen för år 2100 vid ett 100-årsflöde i Ätran och med en 100-årsnivå i havet som randvillkor.

Utmed sträckan av Ätran nedströms Tullbron blir havets nivå viktigt för utbredningen av en översvämning. I **Figur 4-22** visas utbredning vid olika flöden längs denna sträcka. Konsekvenserna vid ett 100-årsflöde i älven med en

medelhavsnivå i dagens klimat blir relativt begränsade längs Hamngatan. Där kommer gatan, ett antal bostäder (tillfarter/garage), företag och Falkenbergs museum att påverkas.

För att få väsentliga konsekvenser mellan den nedre bron (Peter Åbergs väg) och Ätrans mynning i havet krävs extremt höga flöden i Ätran (motsvarande BHF), såvida inte havet samtidigt har en hög nivå. Vid en hög havsnivå, t ex motsvarande framtidens 100-årsnivå, eller en relativt hög havsnivå i kombination med ett högt flöde i älven blir konsekvenserna avsevärda både på norra och södra sidan av Ätran (**Figur 4-33**). De områden som ställs under vatten är framför allt industriområden. Mark, fastigheter och väg/industrijärnväg påverkas. Hamnterminalen blir översvämmad liksom området i hamnen söder om Ätrans utlopp som benämns kvarteret Bacchus. En annan del av centrala Falkenberg som blir påverkad av en hög framtida havsnivå är bostadsområdet Sommarlust beläget nordväst om hamnområdet.



Figur 4-33. Översvämningsutbredning vid två olika höga nivåer på havet: en hundraårshändelse i dagens klimat (gula ytor) och år 2100 (gula + röda ytor). Olika typer av byggnader är markerade.

Resultaten från en fördjupad riskanalys av Ätran visar bland annat att:

1. Konsekvenserna vid en översvämning i Ätran i området uppströms Tullbron blir större i ett framtida klimat och vid ett kraftigare utsläppsscenario. På grund av topografin längs ån uppströms Tullbron finns det dock en tydlig gräns för hur stora konsekvenserna kan bli.
2. Det är ingen stor skillnad på effekter av återkomsttiderna 100 respektive 200 år i detta område.
3. Konsekvenser av översvämning från havet kommer att öka väsentligt i ett framtida klimat genom att större ytor och fler funktioner blir översvämmade. Detta kräver en förändrad hantering av riskerna i anslutning till åmynningen.
4. Den variation i vattenflöden och -nivåer som olika klimatmodelleringar ger upphov till kan översättas till en variation i konsekvenser som tydligt kan åskådliggöras i kartor och så kallade boxdiagram.

### Haparanda

Konsekvenser av översvämningar i Haparanda har nyligen analyserats av länsstyrelsen inom ramen för förordningen om översvämningsrisker<sup>34</sup>. Såsom ett underlag för bedömningar av lämpliga åtgärder sammanfattas nedan de sårbarheter som identifierats av länsstyrelsen.

Därutöver har en bedömning gjorts av eventuella klimateffekter som kan uppstå, som inte beskrivs i det scenario som använts av länsstyrelsen. Exempel på detta är resultat av klimatförändringar på flöden och nivåer, förekomst av isproppar, eller extrema flödessituationer som representeras i en spridning inom modellensembler.

I den riskanalys som gjordes av länsstyrelsen framgick att det blir begränsade effekter av ett 50- respektive 100-årsflöde i Torne älv. Dock finns två viktiga undantag: vattenverket norr om staden som försörjer 7 000 personer med dricksvatten och avloppsreningsverket (ARV) söder om staden som hanterar avloppet för 21 000 personer. Det är osäkert om dessa mycket viktiga funktioner kan upprätthållas på grund av effekter på elförsörjning, tillfartsvägar etc. Störningar på dessa funktioner ger stora spridningseffekter för boende och olika samhällsfunktioner. En intressant aspekt på ARV är att det är gemensamt för Haparanda och Torneå. Översvämningsriskerna för ARV och hanteringen av dessa risker är därmed ett gemensamt ansvar för de båda städerna belägna i två olika länder.

Ett 50-tal bostäder i ett nytt bostadsområde norr om centrum påverkas vid 50- och 100-årsflöden.

Vid BHF inträder fler typer av konsekvenser, t ex:

---

<sup>34</sup> Länsstyrelsen Norrbotten. 2015: Riskhanteringsplan gällande översvämningsrisk i Haparanda. Rapport nr 1/2015.

1. Påverkan på Landstingets verksamhet på grund av brist på rent vatten, el och svårframkomliga vägar.
2. Problem vid Marielundsskolan där förskola och grundskola bedrivs.
3. E4 som förbinder Haparanda och Torneå översvämmas och troligen hindras trafiken. Även polisstationen och tullstationen som ligger i anslutning till E4:an påverkas.
4. Ett centralt placerat ställverk för elnätet blir påverkat.
5. Påverkan på många privata och offentliga fastigheter och verksamheter i centrala staden samt på bostadsområden strax utanför centrum. Totalt bedöms ca 1300 personer påverkas.
6. Handelsområdet vid gränsen till Finland översvämmas.
7. Förorenade marker, naturvärden och kulturvärden påverkas i viss grad.

Riskkarteringen enligt förordningen om översvämningsrisker har genomförts utifrån dagens klimat<sup>35</sup>, och inkluderar inte översvämningsrisker till följd av intensiv nederbörd eller speciella effekter såsom isproppar. För att kunna planera för framtidens samhälle behöver också scenarier för framtida vattenflöden och nivåer inkluderas i beslutsunderlag. Som har kunnat konstateras i kap 4.1-4.3 kommer ett varmare klimat i framtiden att i medeltal leda till lägre högflöden (100-årsflöde respektive BHF), medan den intensiva nederbörden kommer att öka väsentligt. Även antalet dagar med många respektive några få minusgrader kommer att förändras vilket kan påverka förekomsten av isproppar. Dessa klimatförändringar påverkar den totala riskbilden och vilka typer av åtgärder som behöver genomföras.

### Karlstad

Transport och kommunikation är viktiga delar i samhällets grundfunktioner. För individen sammanbinder möjligheten till transporter andra grundfunktioner som bostad, arbete, utbildningsplats, service, inköp och rekreation som ofta ligger geografiskt skilda från varandra. I Sverige reser privatpersoner i genomsnitt 45 km per dag, varav 29 km i bil. Antalet dagliga resor per person ligger i Sverige på 1,65, och till hälften av dessa används bil<sup>36</sup>. Vid analys och bedömning av sårbarheten för översvämningsrisken riktas huvudfokus vanligtvis på bostäder och arbetsplatser. Ofta bortser man då från

---

<sup>35</sup> Detta är ett specialfall för Haparanda eftersom data för 50- och 100-årsflöde har hämtats från Finland. För övriga svenska orter som omfattas av översvämningsdirektivet används klimatjusterade 50- och 100-årsflöden (år 2100).

<sup>36</sup> Källa för uppgifter i detta kapitel är Trafikanalys ([www.trafa.se](http://www.trafa.se)) respektive Karlstads kommun.

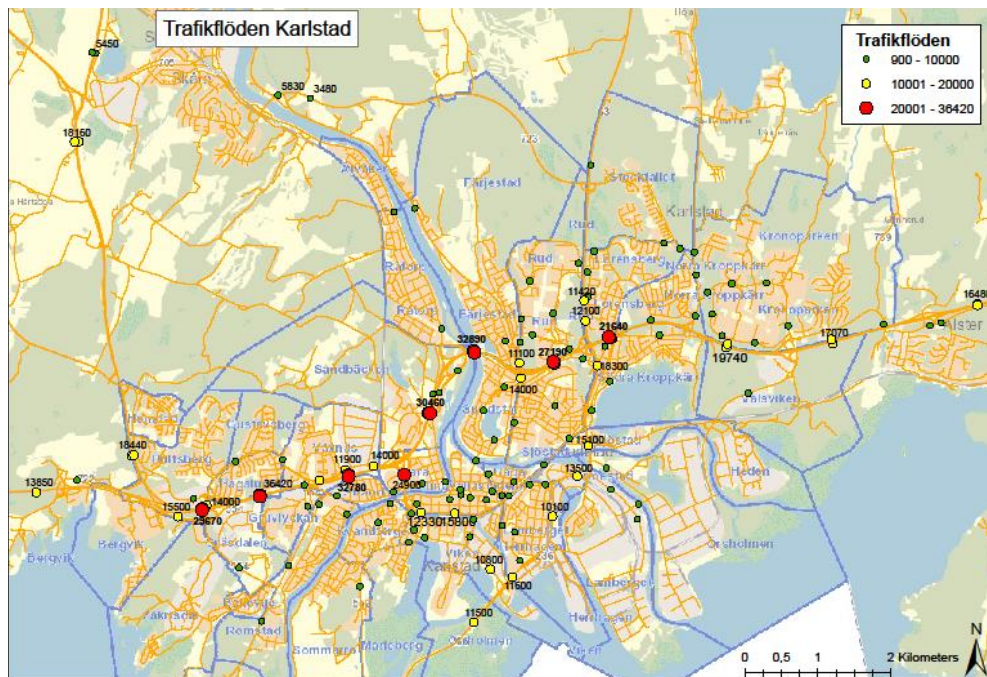
att dessa funktioner helt eller delvis faller bort om de inte är nåbara för trafiken.

Översvämningshotet i Karlstad och Karlstadsregionen utgår både från höga flöden i Klarälven och från hög vattennivå i Vänern. Stadens geografiska läge på ett älvdelta är speciellt och tillgängligheten till stadens olika funktioner riskerar bli mycket begränsad vid en översvämning (**Figur 4-34**). Dessa två översvämningstypers påverkan på transportsystemet förväntas framför allt skilja sig på grund av översvämningsars olika varaktighet, som ligger på 1-2 veckor för en översvämning som orsakas av höga flöden i Klarälven och flera månader för en översvämning i Vänern.

Flera riksvägar av stor regional betydelse sträcker sig genom översvämningshotade områden, och staden korsas av E18 som förbinder Osloregionen och Västra Götaland och Svealand med Mälardalen och Stockholmsregionen. Karlstad är Värmlands residensstad och många samhällsviktiga funktioner är koncentrerade dit. Karlstad har ca 89 000 invånare, och man kan normalt räkna med ungefär 70 000 bilresor dagligen i staden (**Figur 4-34**). 46 000 av dem faller i kategorin arbete, skola, tjänsteresa, inköp och service och kan anses som nödvändiga även under en pågående översvämning.

Utöver denna generella statistik finns det även data över yrkespendlare för Karlstad. 2011 reste dagligen i genomsnitt 15 200 yrkespendlare till Karlstad. Samtidigt pendlade 7 600 personer från Karlstad till kringliggande kommuner varje dag. Antalet yrkesverksamma som bor och arbetar i Karlstad var 33 500, vilket motsvarar 82% av alla arbetstillfällen i Karlstad. Detta pekar på att det är viktigt att upprätthålla trafikflödet inom Karlstad i händelse av en översvämning.





Figur 4-34. Trafikflöden under en genomsnittlig dag i Karlstad. De högsta flödena (röda prickar) är på motorvägen E18 som går i öst-västlig riktning genom staden. Källa: NVDB och Karlstads kommun.

Det högsta trafikflödet uppvisar inte oväntat E18. I riktning mot Karlstad ökar trafikflödet från båda riktningar. Detta betyder att motorvägen inte enbart används av in- och utpendlare och genomfartstrafik, utan även av trafikanter inom staden. Av detta kan slutsatsen dras att E18 utöver den överregionala och regionala betydelsen även har en viktig roll på den lokala nivån. Det högsta trafikflödet inom staden har uppmätts på motorvägbron över Klarälven som passeras av i genomsnitt 32 900 fordon per dygn. Bron är den enda vägen över Klarälven som inte leder genom stadens mest centrala delar och genom Klarälvsdeltat där älven förgrenar sig i två huvudarmar. De mest trafikerade lederna och gatorna inom Karlstad är väg 236 till Hammarö och Hamngatan som båda har över 15 000 fordon per dygn.

En 100-årsnivå i Vänern (+45,84 RH2000) som ligger till grund för GIS-analysen är framtagen av SMHI. I beräkningarna har tagits hänsyn till klimatförändringarnas påverkan. Vidare har hänsyn tagits till den nya regleringsstrategin för Vänern. Effekt av kortvarig vindpåverkan har tillkommit med 49 cm.

Utbredningskarteringar har använts med följande återkomsttider för Klarälven: 50 år, 100 år, 200 år och dimensionerande flöde. Nedan redovisas de effekter på gator och vägar som orsakas av olika översvämningsscenarier. Framför allt är det översvämmade gator med höga trafikflöden som påverkas av minst 0,2 m vattendjup.

#### 50-årsscenario Klarälven:

1. Inga broar överströmmas vid detta scenario

2. I Karlstads tätort uppstår framkomlighetsproblem vid ett antal platser, framför allt vid Hagalundsvägen, E18 parallellt med Hagalundsvägen, Klaraborgsgatan (viadukt under Hamngatan), Hamngatan-Tullhusgatan (viadukt), Sjömansgatan (vid Mariebergsviken), Åttkantsgatan (mot Magasinsgatan (viadukt) samt underfarten Östra Kanalgränd – Strandvägen
3. I Skåre drabbas ett antal mindre vägar och potentiellt också förbifarten mot Karlstad söderut (väg 61-62)

#### 100-årsscenario Klarälven:

1. För Karlstad ökar problemen från 50-årsfallet med översvämning också vid Sandbäcksgatan nära Teatern, Skårevägen N om Råtorp, Norra infarten vid Stallplatsvägen och längre norrut, samt Östra Torggatan/Norra Strandgatan
2. Vid detta scenario är Skåre tätort kraftigt utsatt med många översvämmade gator

#### Vägomledning vid 50- och 100-årsscenarierna:

För genomfartstrafiken på E18 kan problem uppstå i närheten av Våxnäs. En möjlig omledning är via Våxnäsgatan söder om E18, med påfart på E18 igen vid Karl IX:s gata, vilket ger en omväg om drygt 400 m. Möjligheterna är dock begränsade att ta emot väsentliga delar av E18:s trafikflöde, varför stora störningar kan förväntas.

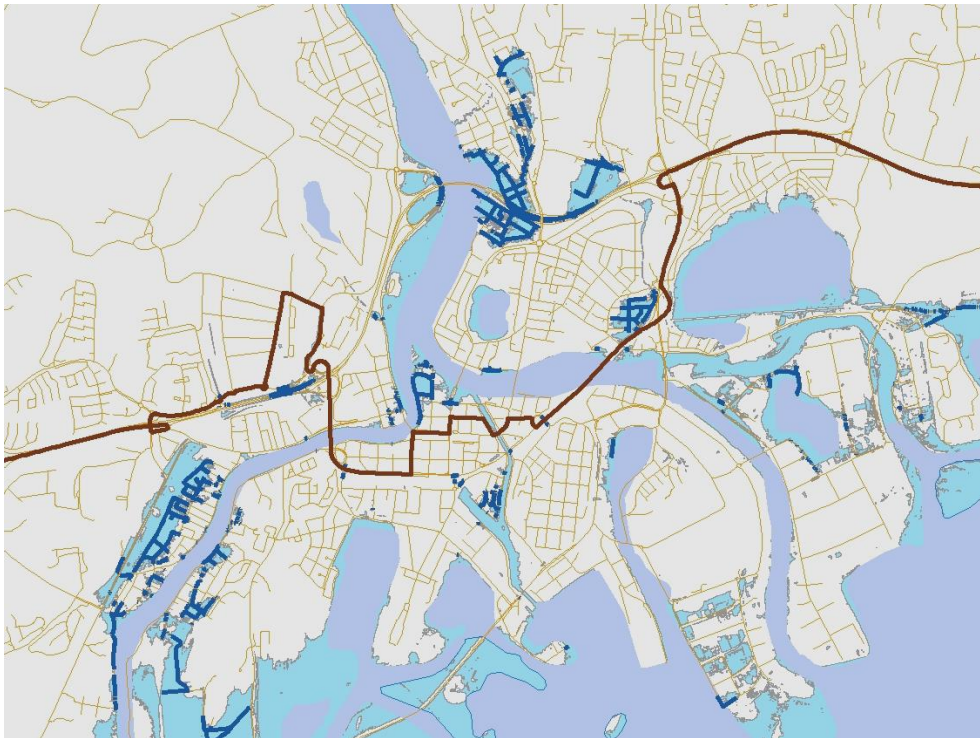
#### 200-årsscenario Klarälven (översvämmade vägar visas i **Figur 4-35**):

Omfattande översvämning vid framför allt två områden i Karlstad:

1. Vid E18:s omgivning och vägbanor öster om bron över Klarälven
2. I villaområdet vid Romstad på västra sidan av Klarälvens västra gren
3. Gator som drabbas med begränsad eller ingen framkomlighet för trafik är utöver tidigare uppräknade framför allt Skoghallsleden nära Ullebergsleden, Romstadsvägen vid Älviksgatan, Våxnäsgatan under järnvägen och vid Sandbäcksgatan, Älvgatan under järnvägen, Sandbäcksgatan även under E18, Gravaleden nära bron vid skåre, Norra infarten även nära E18, Mossgränd/Nokiagränd nära Blomsterlandet, samt Västanvindsgatan som eventuellt är körbar

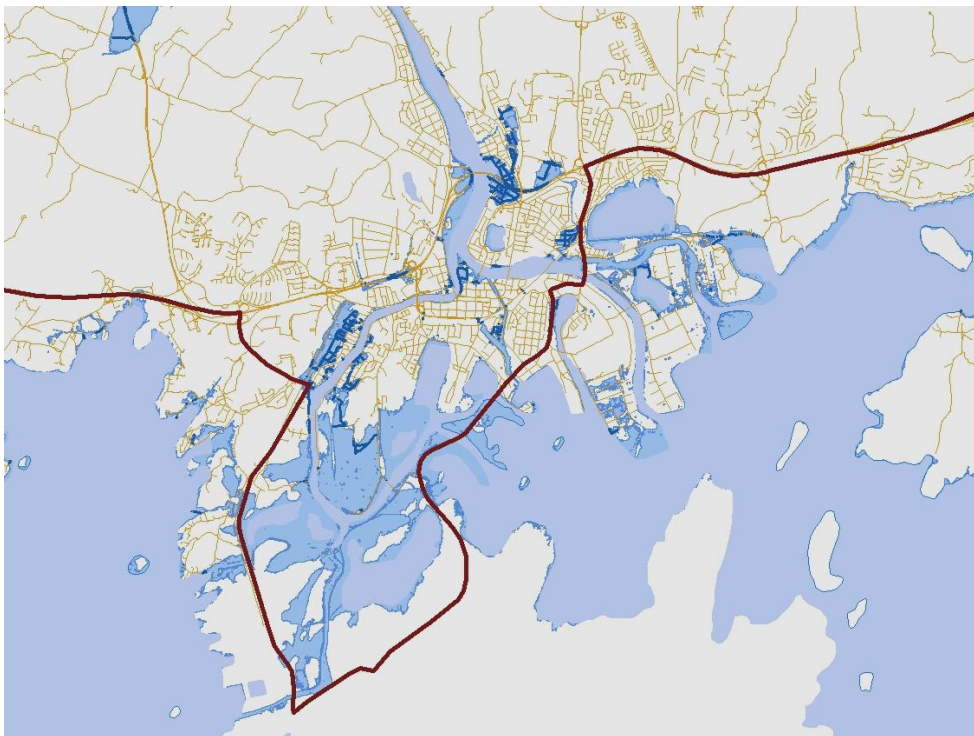
#### Vägomledning vid 200-årsscenario:

Omvägen via Våxnäsgatan (50-100-årsscenarierna) är i detta scenario inte körbar med dess älvnära läge, varför två alternativa omvägar är möjliga. I första fallet leds trafiken in i centrala Karlstad, över Klarälven och ut mot E18 på östra sidan av staden (**Figur 4-35**). Omvägen blir cirka 3,7 km. Kapaciteten i denna omväg är dock låg på grund av att de gator i centrala staden som används är smala.



Figur 4-35. Omväg genom centrala Karlstad då genomfartsvägen E18 översvämmas vid ett 200-årsscenario. Översvämmade ytor är ljusblå och översvämmade gator med minst 2 dm vattendjup är markerade i mörkblått. Gatunät i orange.

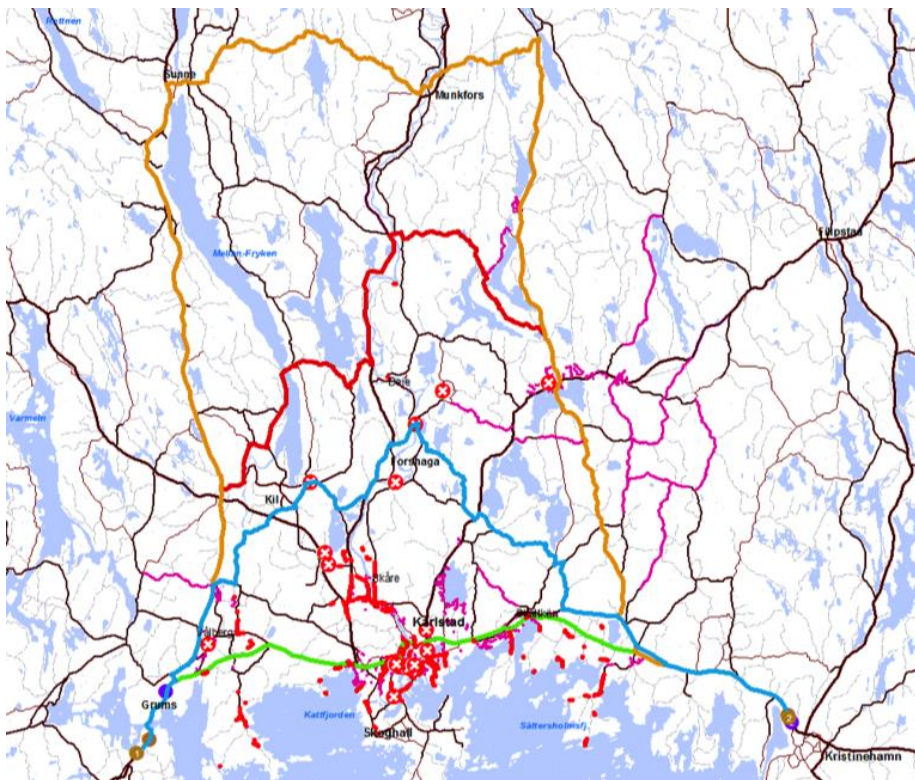
Som ett andra alternativ leds trafiken ner mot Hammarö från avfart vid Bergvik och passerar söder om Karlstad via Hammaröleden (**Figur 4-36**). Omvägen som går via Ullebergsleden – Dingelsundsvägen – Skoghäll – Hammaröleden blir cirka 12 km längre, men är mer tillgänglig för tung trafik. Om Väneren samtidigt skulle nå nivåer över 46 m (RH2000) finns risk att Hammaröleden också översvämmas, särskilt vid sydliga vindar.



Figur 4-36. Omväg över Hammaröleden då genomfartsvägen E18 översvämmas vid ett 200-årsscenario. Översvämmade ytor är ljusblå och översvämmade gator med minst 2 dm vattendjup är markerade i mörkblått. Gatunät i orange.

Vid ett dimensionerande flöde i Klarälven (som har mycket låg sannolikhet) nedsätts framkomligheten dramatiskt i Karlstadsområdet. Det blir inte möjligt att passera staden vare sig via omvägar in i city eller ut mot Hammaröleden. Trafiken tvingas därför, om inga åtgärder möjliggör att översvämmade vägvagnsintervall görs körbara, att ta en längre omväg norr om Karlstad och Skåre. Den tunga trafiken kan beroende på höjdhinder och alltför smala vägar vara tvungen att ta längre omvägar än personbilar. Storleken på omväg blir beroende av om det går att ta sig fram till befintliga broar över Klarälven, och ifall dessa överströmmas av älvens flöde.

Effekterna på vägnätet vid en 100-årsnivå i Vänern uppstår främst för genomfartstrafik vid E18 vid Våxnäs. Trafiken kan, om instängda översvämningsområden bildas vid Våxnäs, ledas om på samma sätt som vid 100-årsflödet för Klarälven. Om en vindeffekt på Vänerns nivå tas i beräkning uppstår problem för förbindelser mellan Karlstad och Hammarö då bägge tillfartsvägarna översvämmas. Transporter till industriområdena i Karlstads östra delta får svårigheter att nå många företag.



Figur 4-37. Tre alternativa omledningsvägar norr om Karlstad vid ett 200 årsflöde i Klarälven och en dimensionerande nivå i Vänern. Samma typ av omledning krävs också vid ett dimensionerande flöde i Klarälven. Den kortare omledningen (blå) är lämplig för personbilar och den medellånga (röd) är möjlig att passera för lastbilar men har bitvis lägre kapacitet. Den längre omledningen (gul) fungerar bättre för tung trafik. Den gröna markeringen visar ordinarie sträckning av E18.

De omledningar som beskrivs ovan kan sättas in i ett samhällsekonomiskt perspektiv om ett pris sätts på de extra kostnader som uppstår. Dessa kostnader är t ex för förlorad tid, försenat gods, drivmedelsförbrukning och miljöbelastande utsläpp. Med uppgift om hur många fordon (personbilar, tung trafik) som berörs, hur lång omledningssträckan blir och hur mycket längre tid det tar att köra via omledningen, kan kostnader beräknas. I liknande studier framgår att den största delkostnaden är förlust av tid, varför vi i denna studie valt att enbart räkna på förlorad tid. Schabloner för kostnader för tid kommer från ASEK 5.2 – Samhällsekonomiska principer och kalkylvärden för transportsektorn. ASEK är en myndighetsgemensam grupp som arbetar fram principer för samhällsekonomisk analys. Inga indirekta kostnader är inräknade, såsom t ex att verksamheter som förlorar transportfunktioner (kan vara både privata och offentliga) får problem att upprätthålla verksamheten.

I denna studie har en avstängning av E18 till följd av översvämning varit utgångspunkten. Som visats i Figur 4-36 ovan kan en 200-årshändelse i Klarälven kräva en omledningsväg via Hammarö som blir ca 12 km längre än ordinarie sträckan. Med ordinarie hastighetsgränser för omledningssträckan skulle det innebära ca 14 min längre restid. I verkligheten skulle det sannolikt bli betydligt längre tid som krävs på grund av hög trafikbelastning.

De trafikmängder som finns angivna i **Figur 4-36** ovan säger inget om vilken sträcka som fordonen kör. Därför vet vi inte hur många som verkligen ska passera Karlstad och som drabbas av avstängningen. Å andra sidan kan man hävda att även lokal trafik påverkas om E18 stängs av. Vi har försiktigt antagit att av de 25-35 000 fordon som kommer in på E18 från väster och de 33 000 fordon som kommer österifrån via motorvägsbron ska 15 000 personbilar och 1500 tunga fordon passera Karlstad och drabbas av omledning och försening. Beroende på om omledningen leder till försening (ger högre kostnad per förlorad tidsenhet) eller ej landar dygnskostnaden för förlorad tid på 0,7-2,3 Mkr. Hur många dygn som omledningen skulle krävas är svårt att bedöma men vid en älvöversvämning kan det handla om 1-2 veckors tid. Det finns dock tänkbara motåtgärder såsom att höja upp E18:s vägbana temporärt, men en sådan åtgärd tar tid att etablera och kräver väsentligt lägre hastigheter.

Vid ett dimensionerande flöde i Klarälven, eller vid en kombination av högt flöde i älven samtidigt som Vänern har en hög nivå, krävs omledningar norr om Karlstad (**Figur 4-37**). För att hitta en väg med tillräcklig kapacitet för tung trafik kan omledning via Sunne och Munkfors krävas. Denna omledning är ca 100 km längre än ordinarie sträcka, vilket skulle kräva 110 min längre körtid. Med samma antagna trafikmängd som i förra exemplet skulle dygnskostnaden för förlorad tid bli 6-18 Mkr.

## 4.5 Från hot till åtgärd

De tre fallstudierna har uppvisat olika typer av hot, sårbarheter och planerade respektive genomförda åtgärder. I detta kapitel avser vi att reflektera över åtgärder och tänkbara strategier för de tre orterna, men också vad som generellt kan sägas för Sveriges kommuner. Förutsättningarna varierar stort med t ex Haparanda och Karlstad<sup>37</sup> där länsstyrelserna alldeles nyss antagit riskhanteringsplaner utifrån krav enligt förordningen om översvänningsrisker, jämfört med Falkenberg som inte omfattas av direktivet men där risknivåerna stiger i framtiden och där mycket intressant arbete har gjorts och planeras framåt.

Översvänningsdirektivets genomförande är ett stort steg framåt för det svenska arbetet med riskhantering kring översvämningar. Dels utvecklas metoder för riskanalys och olika typer av lämpliga åtgärder identifieras och testas, dels får de 18 orter som bedömts ha störst risk ett mycket gott underlag för att reducera riskerna. I de riskhanteringsplaner som rapporterats till EU i december 2015 finns förslag till åtgärder, men också bedömningar hur dessa åtgärder påverkar vattensystemens ekologiska och kemiska status som hanteras med EU:s ramdirektiv för vatten. Samtidigt är det viktigt att belysa att det finns aspekter som ligger utanför direktivet eller som ännu inte inkluderats,

---

<sup>37</sup> Riskhanteringsplanen för Karlstad har blivit försenad och är inte publicerad vid denna rapportens färdigställande

t ex risker idag och i framtiden kopplade till intensiv nederbörd och höga havsnivåer.

### Falkenberg

Vår riskkartering av Ätran visar att höga flöden och nivåer kommer att öka fram till år 2100. Samtidigt kommer den intensiva nederbörden att öka och havets nivå att stiga. Effekterna runt Ätran blir på grund av den lokala topografin relativt begränsade, men det finns påtagliga risker i anslutning till Ågatan/Hamngatan som kan analyseras vidare utifrån resultaten i denna studie. Ett annat skäl till djupare analys i området uppströms Tullbron är att det vid ett tillfälle förekommit en ispropp vid Tullbron, vilket är ett fenomen som snabbt kan ge stora nivåhöjningar i älven. Vidare bör kommunen ha stort fokus på nederbörd och havsnivåer framåt i sin planering och sitt åtgärdsarbete. Vid samtal med en tvärsektoriell tjänstemannagrupp framkom att man betraktade den intensiva nederbörden som sitt största problem, medan Ätran sågs som ett problem som gick att hantera. Man hade också ett stort intresse av hur klimatförändringar kommer att påverka staden och kommunen. Bland annat har kommunen deltagit i olika projekt för att skaffa mer underlag om hur man drabbas av ett förändrat klimat.

En intressant åtgärd som genomförts konsekvent sedan tidigt 90-tal var anläggandet av dagvattendammar. Detta har gjorts både i anslutning till äldre bebyggelse och vid nyproduktion. En förebild för kommunen i detta arbete hade varit Halmstads kommun. En tolkning av denna typ av åtgärd är att det representerar en lokal och regional anpassning i en region som alltid har stor nederbördsmängd. Det fanns exempel på exploatörer som använt dagvattendammarna såsom en kvalitet i sin marknadsföring av nya bostadsområden. En annan åtgärd som kommunen hade testat var att lägga ner kläna dagvattenledningar i vissa områden, och därefter kräva lokalt omhändertagande av dagvattnet. I SMHI:s analys i detta projekt av framtidens nederbörd i Falkenberg framgår att nederbördsmängderna under både 1 timme och 24 timmar kommer att öka med 10-30% fram till år 2100. Detta på en plats där det redan faller 1000-1100 mm per år. Arbetet med urbana översvämningar och dagvatten, i översiktsplaner och detaljplaner men också i redan bebyggd miljö, kommer bara att bli allt viktigare.

Även de stigande havsnivåerna kräver uppmärksamhet framöver. Området runt Ätrans mynning med hamnverksamhet, annan näringsverksamhet, etc, kommer att kräva ett skydd framöver. Det är stor skillnad på översvämningsutbredning mellan dagens 100-årsnivå och den som kommer att råda år 2100, vilket innebär att det krävs ett nytt synsätt för detta område. Samtidigt finns intresse av att exploatera dessa områden för bostäder, hotell, etc.

Falkenbergs kommun har i sin översiktsplan på ett mångfacetterat sätt tagit upp översvämningsrisker, bland annat kopplat till dagvattenhantering, val av mark för exploatering och i kustplanering. Kommunen kan överväga att ta ett samlat grepp med åtgärder mot översvämningsrisker genom att ta fram en riskhanteringsplan enligt modell från förordningen om översvämningsrisker. Detta skulle ge en bra enhetlig analys och prioritering i kommunens hantering av översvämningsrisker.

En styrka som kommunen har är ett nära informellt samarbete mellan olika förvaltningar kring frågor om översvämningar, klimatförändringar, etc. Eventuellt bör kommunen överväga att formalisera detta arbete för att säkra dess kontinuitet och för att ge frågorna den status de kräver.

### Haparanda

I och med länsstyrelsens beslut om en riskhanteringsplan enligt förordningen om översvämningssrisker har översvämningsfrågorna i Haparanda fått en tydlig ram. De risker som finns beskrivna i planen kan framför allt kopplas till mycket höga flöden i Torne älv (BHF), så när som på några viktiga undantag såsom vatten- och avloppsverksamheten som påverkas vid betydligt lägre nivåer. Åtgärder för att minska riskerna för VA-systemen och andra sårbarheter finns i riskhanteringsplanen.

I och med att älven är oreglerad - dess nivå varierar ca 4 m under ett normalår - finns det en inbyggd resiliens som innebär att strukturer sedan gammalt inte har anlagts så att de tar skada vid varje vårflod. Det finns t ex grönytor på långa sträckor längs älven som en buffertzona. Det finns få oreglerade älvar i Sverige och därför kan en stad som Haparanda användas som exempel vad gäller denna typ av resilienta strukturer. Med nyare bebyggelse och infrastruktur, t ex köpcentrat på och vid riksgränsen och bostadsområdet norr därom, ökar sårbarheten vilket i sin tur kräver skyddsåtgärder. En höjning av en vall norr om centrum, är ett exempel på åtgärd som krävs på grund av byggnation närmare älven.

På grund av den kraftiga landhöjningen är inte havsnivåhöjning någon realitet i Haparanda. Även när det gäller höga flöden i älven pekar framtiden på lägre nivåer, allt enligt de modellresultat som redovisats i kap 4.1. Men i kap 4.2 visas att den intensiva nederbörden kommer att öka framåt, varför analyser bör göras av risk för urbana översvämningar, överbelastning av dagvattensystem, etc.

En annan aspekt på framtidens klimat är de problem som ibland uppstår med isproppar. Det har flera gånger inträffat bildning av proppar vid Torneälvens utflöde i Bottenviken<sup>38</sup>, vilket kan leda till snabb vattennivåhöjning med mer än 3 m. Det finns en tydlig trend i att islossningen sker allt tidigare under säsongen. Det har gjorts ett flertal åtgärder sedan 90-talet för att minska dessa risker, bland annat genom muddring av älvfåran, årlig sågning av isen (genom finsk försorg) och modellering av bakomliggande faktorer för att förstå processen kring islossningen<sup>39</sup>. Eftersom ispropparna kan orsaka kraftiga nivåhöjningar på kort tid är detta ett påtagligt hot mot Haparanda stad och ett viktigt fenomen att analysera och åtgärda. Även om olika förebyggande åtgärder genomförs finns alltid en kvarvarande risk, vilket gör att kommunen behöver en krisberedskap som kan reagera på snabba dämningar. Det innebär

---

<sup>38</sup> Persson G. 2012: Islossning i Torneälven. SMHI rapport Hydrologi 118.

<sup>39</sup> Bengtsson et al., 2012: Detaljerad översvämningsskartering i nedre delen av Torneälven. Rapport 58, Närings-, trafik- och miljöcentralen, Finland.



också att det är svårt att bedöma effekter av klimatförändringar. Den statistik som finns pekar inte mot att det blir allt fler isproppar, men kombinationer av ogynnsamma klimatfaktorer kan fortsatt uppstå enstaka år.

En mycket intressant organisatoriskt samarbete mellan Haparanda och Torneå kommun framkom vid samtal med företrädare på båda sidor. Det sker ett utbyte av kunskap och erfarenheter till synes helt utan barriärer. Det finns också en gemensam organisation för avloppshantering. Detta arbetssätt kan tjäna som ett gott exempel på samarbete och samverkan över gränser.

### Karlstad

Karlstad har sedan mer än 10 år systematiskt arbetat med sina översvämningsrisker och har ett översvämningsprogram som håller på att genomföras. Här väljer vi att ta upp två delar som studerats i detta projekt: 1) Effekter på trafiksystem och behov av trafikomledning i samband med översvämningar från Klarälven eller Vänern 2) Riskhanterings kommunpolitiska sammanhang.

Den studie som gjorts av översvämnings påverkan på vägtrafiksystemet i Karlstad visar att det blir påverkan i det flacka deltalandskapet redan vid 50-årsflöden i Klarälven. Vid högre flöden och vid översvämningar i Vänern blir effekterna mycket omfattande. Genomfarten på E18 påverkas och den trafikmängd som går där kommer endast med svårigheter och påtagliga kostnader att kunna ledas om. Vid höga Vänernivåer är tillfartslederna till Hammarö påverkade vilket påverkar boende och godstransporter till industrin på Skoghall. Detta pekar på ett behov av analyser och förslag till åtgärder för att hantera sårbarheter inom vägtrafiksystemet. Det är både kommunala och statliga vägar som berörs, varför ett samarbete mellan dessa nivåer behövs för en gemensam strategi. Tänkbara åtgärder är att höja upp eller bygga skyddsanordningar (permanenta eller temporära) längs vissa känsliga vägsträckor, att ha planer för omledning eller att ha kapacitet och planering för att temporärt höja upp vägar under en översvämningshändelse.

Karlstad har också varit föremål för studier av hur hanteringen av översvämningsrisker kan sättas in i ett politiskt sammanhang. Olika typer av direktiv, lagstiftningar och regelverk leder fram till krav på analyser, planer och åtgärder. Men behovet av riskreduktion och klimatanpassning är en fråga och ett intresse bland många i den kommunala verkligheten<sup>40</sup>. Uttalanden från ledande politiker och tjänstemän i Karlstad, men också i Falkenberg, visar att kommunerna inte är beredda att avstå byggande i vattennära lägen eftersom intresset av att växa och utveckla kommunens attraktivitet, näringsliv, etc., är väldigt starkt. Istället satsar man på att anpassa byggnader och andra strukturer så att de kan tåla översvämningar. Detta är ingen ny strategi - den är vanligen använd i floddalar i andra länder som har regelbundna

---

<sup>40</sup> se t ex Granberg et al., 2015: Understanding the local policy context of risk management: Competitiveness and adaptation to climate risks in the city of Karlstad, Sweden. Accepterad för publicering i tidskriften Risk Management.

översvämningar. Men det saknas i stor utsträckning kunskap och erfarenhet i Sverige om hur dessa nyare byggnationer kommer att tåla översvämningar och hur stora försäkringskostnaderna kommer att bli. Rent generellt kan man se att det ofta är nyare delar i städer som drabbas av översvämningsskador. Detta kunde bland annat ses i Haparanda. Ett sätt att hantera frågan är att ställa så kallade funktionskrav, vilket t ex finns i Karlstads översvämningsprogram. Kommunen kan därigenom ställa krav på exploatörer att funktioner såsom el, tele, VA, tillfartsvägar, etc. ska tåla översvämningar upp till en viss nivå. En särskild utmaning i Karlstad är en eventuell översvämning från Vätern som har en varaktighet på många månader, vilket därför ställer extra krav på de olika funktionerna.

En viktig del av en riskhanteringsprocess handlar om att inkludera många intressen, kunskaper, nivåer i samhället, etc. Deltagande från de politiska nivåerna är mycket viktigt och kan förbättras överlag i Sverige. De frågor vi talar om - klimatförändringar i förhållande till långsiktig byggande och utveckling i kommuner - handlar om tidsperspektiv på minst 50-100 år. De avvägningar mellan olika intressen som måste göras kan endast ske i de demokratiskt valda organen.

## 5. Slutsatser

Projektet har gett detaljerad insikt i översvämningsproblematiken i de valda pilotområdena och i stor grad bidragit till att öka kunskapen om översvämningsrisken i framtiden. Följande slutsatser sammanfattar projektets viktigaste resultat:

- Orsakerna för översvämningsrisken skiljer sig åt i de olika pilotområden vilket kräver lokalt anpassade åtgärder.
- Sårbarhetsanalyserna med avseende på översvämningsrisk för Falkenberg, Haparanda och Karlstad varierar mycket mellan de valda orterna, vilket visar på betydelsen av lokala förutsättningar. Det finns därmed ett stort behov av lokalt anpassad klimatologisk och hydrologisk information samt att integrera denna med andra relevanta faktorer som t ex havsvattenståndet.
- Framtidens vattennivåer i Ätran är mycket känsliga för havsvattenståndet vilket i stor grad påverkar översvämningsrisken i Falkenbergs centrala delar. Stora delar av hamnområdet i Falkenberg riskerar att översvämmas i framtiden.
- Havsvattenståndets påverkan på Torneälvens vattennivå är betydligt mindre, med undantag för mynningen. Därmed påverkas Haparanda mer av flödet i älven. Det är enbart kustlinjen och de lägst belägna delarna av utloppet som påverkas av havsnivån.
- Haparanda, Uppsala och Falkenberg beräknas få ökad intensiv nederbörd i framtiden, och därmed ökad risk för lokala översvämningsrisker orsakade av regn.
- Både för Torneälven och Ätran ser medeltillrinningen ut att öka. Vad gäller höga flöden (100-års, 200-år och Beräknat högsta flöde) ses en ökning för Ätran och därmed ökade risker för översvämningsrisker. För Torneälven däremot minskar de höga flödena i perspektivet mot seklets slut och därmed minskar också riskerna för översvämningsrisker.
- Översvämningsrisker kan få stora indirekta effekter som studien av påverkan på vägtrafiken i Karlstad pekar på. Vid höga nivåer i Klarälven eller Väneren kan betydande trafikproblem uppstå som är viktiga att analysera och planera för.
- Trots olika tillvägagångssätt visar de två nedskalningsmetoderna, DBS och statistisk nedskalning liknande lokala klimatförändringstrender för Torneälvens och Ätrands avrinningsområden. Den lokala medeltemperaturen och nederbörden förväntas öka som också framkommit i tidigare studier.
- Det finns tydliga skillnader i det framtida lokala klimatet beroende på scenario. Beräkningarna med de två RCP-scenarierna följs åt tämligen

---

väl fram till mitten av seklet. Därefter blir det tydligt att RCP4.5 utgår ifrån kraftiga klimatåtgärder, vilket avspeglas som lägre uppvärmning.

Ett viktigt mål i projektet var att illustrera hur kedjan från den konkreta hotbilden – t ex framtida extrema regn – till underlag för potentiella skyddsåtgärder kan se ut. Vi började med att utgå från resultat från globala och regionala klimatmodeller, som blev nedskalade för att ta fram lokala klimatscenarier. Den lokala klimatinformationen har blivit indata till flödesberäkningar och vattenståndssimuleringar, vilka la grunden till översvämningskarteringar för 100 år, 200 års och Beräknat högsta flöde (BHF).

Ett lärande från projektet har varit att den ganska linjära kedjan – trots att det kan ses som ett logiskt sett att angripa uppgiften – inte är optimal för tillämpning inom ett projekts ram. Som ett resultat föreslår vi att framtida forskning fokuserar på att ta fram analysmetoder som tillåter att arbetspaket med modellering och kartläggning körs parallellt. Lösningen som vi kom fram till – simulera en spridning av flöden i de hydrauliska modellerna – kunde vara utgångspunkten. Med en sådan projektkonfiguration kunde de arbetspaket med klimatnedskalning och hydrologiska modelleringar köras parallellt med arbetspaket med hydraulisk modellering och sårbarhetsanalys. Avsikten är att först kartlägga sårbarheten vid olika vattennivåer och sedan kartlägga framtidsrisken genom att beräkna vattennivåer i vattendragen för olika flöden under klimatscenarierna i samverkan med olika havsnivåer.

## Bilaga 1: Klimatscenarier

Tabell B1. SRES-scenarier använda för DBS-nedskalning. Institut avser de som genomfört regional nedskalning (RCM). Globala modellen ECHAM kommer från Tyskland, ARPEGE från Frankrike, HadCM3 från England och BCM från Norge. CCSM3 är en nordamerikansk modell körd på SMHI. 12 av 16 klimatscenarier sträcker sig till 2100. Blåmarkerade globala klimatscenarier har också nedskalats med statistisk metod.

| Institut | SRES scenario | GCM         | RCM    | Upplösning | Period    |
|----------|---------------|-------------|--------|------------|-----------|
| SMHI     | A1B           | ECHAM5(1)   | RCA3   | 50 km      | 1961-2100 |
| SMHI     | A1B           | ECHAM5(2)   | RCA3   | 50 km      | 1961-2100 |
| SMHI     | A1B           | ECHAM5(3)   | RCA3   | 50 km      | 1961-2100 |
| SMHI     | A1B           | ECHAM5(3)   | RCA3   | 25 km      | 1961-2100 |
| SMHI     | B1            | ECHAM5(1)   | RCA3   | 50 km      | 1961-2100 |
| SMHI     | A1B           | ARPEGE      | RCA3   | 50 km      | 1961-2100 |
| SMHI     | A1B           | CCSM3       | RCA3   | 50 km      | 1961-2100 |
| CNRM     | A1B           | ARPEGE      | Aladin | 25 km      | 1961-2050 |
| KNMI     | A1B           | ECHAM5(3)   | RACMO  | 25 km      | 1961-2100 |
| MPI      | A1B           | ECHAM5(3)   | REMO   | 25 km      | 1961-2100 |
| C4I      | A2            | ECHAM5(3)   | RCA3   | 25 km      | 1961-2050 |
| HC       | A1B           | HadCM3(Q0)  | HadRM3 | 25 km      | 1961-2100 |
| C4I      | A1B           | HadCM3(Q16) | RCA3   | 25 km      | 1961-2100 |
| METNO    | A1B           | BCM         | HIRHAM | 25 km      | 1961-2050 |
| METNO    | A1B           | HadCM3(Q0)  | HIRHAM | 25 km      | 1961-2050 |
| DMI      | A1B           | ECHAM5(3)   | HIRHAM | 25 km      | 1961-2100 |

Tabell B2. RCP-scenarier använda för DBS-nedskalning. Tabellen visar institut som genomfört global klimatmodellering och globala modeller som använts. Samtliga har körts med RCP-scenarierna RCP4.5 och RCP8.5. De är alla nedskalade med den regionala klimatmodellen RCA4 från Rossby Centre, har upplösningen 50 km och avser perioden 1961-2100.

| <b>Institut</b>         | <b>GCM</b>   |
|-------------------------|--------------|
| CCCma, Kanada           | CanESM2      |
| CNRM CERFACS, Frankrike | CNRM-CM5     |
| GFDL, USA               | GFDL-ESM2M   |
| ICHEC, Europeiskt       | EC-EARTH     |
| IPSL, Frankrike         | IPSL-CM5A-MR |
| MIROC, Japan            | MIROC5       |
| MPI, Tyskland           | MPI-EMS-LR   |
| NCC, Norge              | NorESM1-M    |
| MOHC, Storbritannien    | HadGEM2-ES   |

