



Länsstyrelsen
Värmland

Klimatanalys

Värmlands län



Publ nr 2014:02
ISSN 0284-6845

Foton: Omslagsbild sjön Stor-En, Niclas Hjerdt SMHI.

Rapporten är sammanställd av Gunn Persson, Alexandra Ohlsson, Dan Eklund, Elin Sjökvist och Kristoffer Hallberg, SMHI rapport 2013-68.

Länsstyrelsen Värmland, 651 86 Karlstad
010-224 70 00, www.lansstyrelsen.se/varmland

Sammanfattning

Länsstyrelsen Värmland har av SMHI beställt en klimatanalys inriktad på meteorologiska parametrar och vattenflöden. SMHI har utfört en regional klimatanalys för perioden fram till slutet av detta sekel för Värmlands län. Syftet var att klargöra konsekvenserna av ett förändrat klimat, speciellt med avseende på temperatur, nederbörd och vattenföringsdynamik utgående från ett underlag baserat på tillgängliga nedskalade regionala klimatscenarier. Rapporten har utarbetats vid SMHIs avdelning för Affärsverksamhet.

Arbetet grundar sig på observationer och analyser från SMHI, klimatscenarier från den internationella klimatforskningen samt sammanställningar av tidigare studier över klimatförändringarnas konsekvenser. Framtidsberäkningarna avser tidsperioden fram till år 2100. För att ge en bild av de osäkerheter som råder om framtidens klimat har ett flertal klimatscenarier använts. Detta urval är betydligt mer omfattande än det begränsade antal scenarier som fanns tillgängliga när Klimat- och sårbarhetsutredningen lade fram sitt slutbetänkande hösten 2007. I studien används den internationella standardnormalperioden 1961-1990 som referensperiod. Följande huvuddrag framgår av beräkningarna för Värmlands län:

För referensperioden 1961-1990 var länets årsmedeltemperatur 4,4°C. Beräkningarna av det framtida klimatet visar en successiv och tydlig ökning av medeltemperaturen under det innevarande seklet så att vid slutet på seklet uppnås årsmedeltemperaturer på ca 9°C. Alla säsonger visar en temperaturuppgång men den är mest framträdande för vintern (i medeltal ca 6 grader över länet). Det regionala temperaturmönstret visar varmare förhållanden längs Väneren och svalare på högre liggande områden i norr. Detta mönster kvarstår i framtidsberäkningarna.

Med den allmänna temperaturhöjningen under 2000-talet ökar även den genomsnittliga högsta dygnsmedeltemperaturen för Värmland från 21°C till 24°C. Antalet sammanhängande dygn per år med dygnsmedeltemperatur över 20°C är i dagens klimat få (medeltal 2 dagar). I beräkningarna för framtiden ses en ökning, så att större delen av länet får 9 varma dagar i sträck i medeltal och längs Väneren uppemot 14 dagar.

Vegetationsperiodens längd för länet var 181 dagar (tröskelvärde 5°C) perioden 1961-1990 med stor variation mellan åren. I beräkningarna för framtiden ökar vegetationsperioden kraftigt med ca 100 dagar vid seklets slut. Förändringen är störst avseende starttidpunkten, från slutet på april för referensperioden till början på mars mot slutet på seklet.

Behovet av uppvärmning minskar i länet och når mot slutet av seklet ungefär två tredjedelar av dagens behov.

Årsmedelnederbörden ökar successivt till ca +20% vid seklets slut i relation till referensperioden 1961-1990, men med stor variation mellan åren. Den tydligaste nederbördsökningen ses för vintern. För sommaren ses ingen generell framtida nederbördsökning. De kraftiga regnen beräknas öka så att årsmedelvärdet av den största regnmängden under ett dygn, för länet som helhet, ökar från 26 mm under referensperioden till ca 30 mm mot slutet av seklet. Motsvarande för 7 dygn är 65 mm respektive ca 75 mm. Antalet dygn med kraftig nederbörd ökar också med i medeltal ca 7 dygn per år. Samtidigt ses en svag minskning av antalet sammanhängande torra dygn (< 1 mm nederbörd/dygn) i framtidsberäkningarna.

Extrem nederbörd dvs. mycket regn på kort tid (30 min, 60 min) ser också ut att öka med ca 20-30%, enligt tidigare studier som sammanställts. Ett regn med återkomsttid 10 år kan förväntas återkomma vart 5:e år, enligt förenklade beräkningar.

Vattenföringens säsongsvariation förändras mot högre vinterflöden och en längre period med låga flöden, i medeltal från april t.o.m. september, mot slutet av seklet. I dagens klimat är perioden med lågvatten vanligen från juni till september. Vad gäller flöden med 100-års återkomsttid visar vattendragen lite olika respons för klimatförändringen. För Klarälven och Norsälven ses minskande värden (10-20%), Alsterälven och Byälven verkar bli relativt oförändrade men för Borgvikeälven och Uppervudsälven syns något ökande värden. Detta gäller slutet av seklet i relation till referensperioden.

Snötäcket minskar i länet både avseende antal dagar med snötäcke (80-100 dagars minskning) och det maximala vatteninnehållet i snötäcket (minskar med 20-60%).

Ett stort antal övriga klimatberoende förhållanden kommer också att förändras efterhand som klimatet ändras. I denna rapport kommenteras tjäle som, enligt befintliga studier, ser ut att minska i Värmland med den förväntade klimatförändringen. Brandrisksäsongen ser ut att öka med 11-40 dagar över länet. För norra delen av länet kan ca vartannat år förväntas att ha en högriskperiod och för södra delen av länet infaller minst en högriskperiod under 80-90% av åren. Detta enligt tidigare studier, för slutet på seklet, som sammanställts.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
2	BAKGRUND	1
3	VÄRMLANDS LÄN.....	1
3.1	Vattenområden.....	2
3.2	Klimatet.....	3
3.2.1	Temperatur	5
3.2.2	Nederbörd	5
3.2.3	Snö och is	6
3.2.4	Avrinning	7
3.2.5	Vindar.....	8
4	METOD FÖR FRAMTIDSANALYS	9
4.1	Studerade parametrar	9
4.2	Geografiskt analysområde och tidsperioder.....	9
4.3	Variation och osäkerhet	10
4.4	Beräkningsmodeller	10
4.5	Klimatdata för effektstudier	12
4.6	Utsläppsscenarier.....	13
4.7	Klimatscenarier	14
5	VÄRMLANDS FRAMTIDSKLIMAT	17
5.1	Temperatur	17
5.1.1	Medeltemperatur för år och säsong.....	17
5.1.2	Varma perioder	19
5.1.3	Vegetationsperiod	22
5.1.4	Behov av uppvärmning och kylning	25
5.2	Nederbörd.....	27
5.2.1	Medelnederbörd för år och säsong.....	27
5.2.2	Kraftig nederbörd	30
5.2.3	Perioder utan nederbörd	33
5.3	Vattenföring.....	35
5.3.1	Vattenföringens säsongsvariation.....	37
5.3.2	Medelvattenföring	43
5.3.3	100-årsflöden.....	59
5.3.4	200-årsflöden.....	66
5.4	Snö	73
5.4.1	Snöns maximala vatteninnehåll	73
5.4.2	Antal dagar med snö	75

6	EXTREM NEDERBÖRD.....	77
7	TJÄLE	78
8	BRANDRISK	81
9	VÄNERN.....	84
9.1	Dimensionerande nivå och 100-årsnivå i dagens klimat	87
9.2	Vindens effekt på vattennivåer	88
9.3	Klimatförändringars effekt på vattennivåer.....	89
9.4	Samlad bedömning rörande Väterns nivåer.....	91
10	SLUTSATSER.....	92
11	REFERENSER	94
12	BILAGOR	97

1 Inledning

Länsstyrelsen i Värmland ser behov av ett klimatunderlag för länet utöver det som erbjuds genom SMHIs myndighetsuppdrag. SMHI har på beställning av länsstyrelsen utfört en regional klimatanalys för Värmlands län. Analysen omfattar en stor mängd data och beräkningar som syftar till att ge en översiktlig bild av klimatförhållandena i länet såväl under dagens klimatförhållanden som i framtidens klimat. Arbetet är baserat på observationer och beräkningar från SMHI samt klimatscenarier från den internationella klimatforskningen. Framtidsberäkningarna avser i första hand tidsperioden fram till år 2100. Föreliggande rapport har utarbetats vid SMHIs avdelning för affärsverksamhet.

2 Bakgrund

Planering i långa tidsperspektiv baseras med fördel på ett underlag som tar hänsyn till de osäkerheter som ofrånkomligen finns i alla förutsägelser om framtiden. Ett sätt att ta hänsyn till osäkerheterna är att arbeta med så kallade scenarier som beskriver olika möjliga framtidsutvecklingar. Inom det internationella forskningssamhället genomförs stora ansträngningar för att beräkna och tolka utvecklingen av det framtida klimatet.

Dynamiken och förekomsten av vatten kommer att förändras eftersom ett förändrat klimat innebär väsentliga skillnader i årstidernas karaktär, speciellt med avseende på temperatur och nederbörd. Säsongsvariationen i vattenföring drivs till stor del av nederbördsmönster och lagring av vatten i landskapet som snö, i mark eller i sjöar. I de områden i Sverige som har längre köldperioder lagras betydande mängder vatten under vintern i form av snö. Dessa snömagasin smälter under en relativt kort period när temperaturen stiger under vår och försommar. I ett klimat med högre temperaturer än idag kan denna säsongsvariation förändras och bli mindre tydlig, samtidigt som höga flöden kan uppträda vintertid. Intensiva skyfall uppträder idag främst sommartid och orsakar ibland översvämningar. Det gäller speciellt för vattensystem som inte dimensionerats för extrema flöden som exempelvis kombinerade dag- och spillvattensystem samt dränering i anslutning till infrastruktur. I ett framtida varmare klimat med ökad konvektiv nederbörd kan riskerna för skyfall komma att öka.

Beräkningar av framtida klimat har tidigare genomförts i bland annat den statliga Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU, 2007a). För dessa analyser användes sex klimatscenarier framtagna av SMHI (se mer beskrivning av dessa i kapitel 4.8). Ett delbetänkande berörde även översvämningssproblematiken där de faktorer som leder till höga flöden identifierades; exempelvis extrem nederbörd och intensiv snösmältning (SOU, 2006). Underlag till detta delbetänkande levererades av SMHI (Bergström m.fl., 2006). Klimat- och sårbarhetsutredningen sammanställde även riskerna för naturolyckor i ett förändrat klimat (SOU, 2007b).

Inom det EU-finansierade projektet ENSEMBLES (van der Linden and Mitchell, 2009) har ett ensemblesystem utvecklats för beräkning av klimatförändringar baserat på de bästa europeiska globala och regionala klimatmodellerna med hög upplösning. Idag finns fler klimatscenarier tillgängliga än tidigare, och för analysen av temperatur, nederbörd och klimatpåverkade flöden i denna rapport har 16 olika klimatscenarier använts. Dessa scenarier kommer både från ENSEMBLES-projektet och från Rossby Centre vid SMHIs forskningsenhet. Att analysera en samling klimatscenarier ger nya och bättre möjligheter att behandla de osäkerheter som är nära förknippade med frågeställningen.

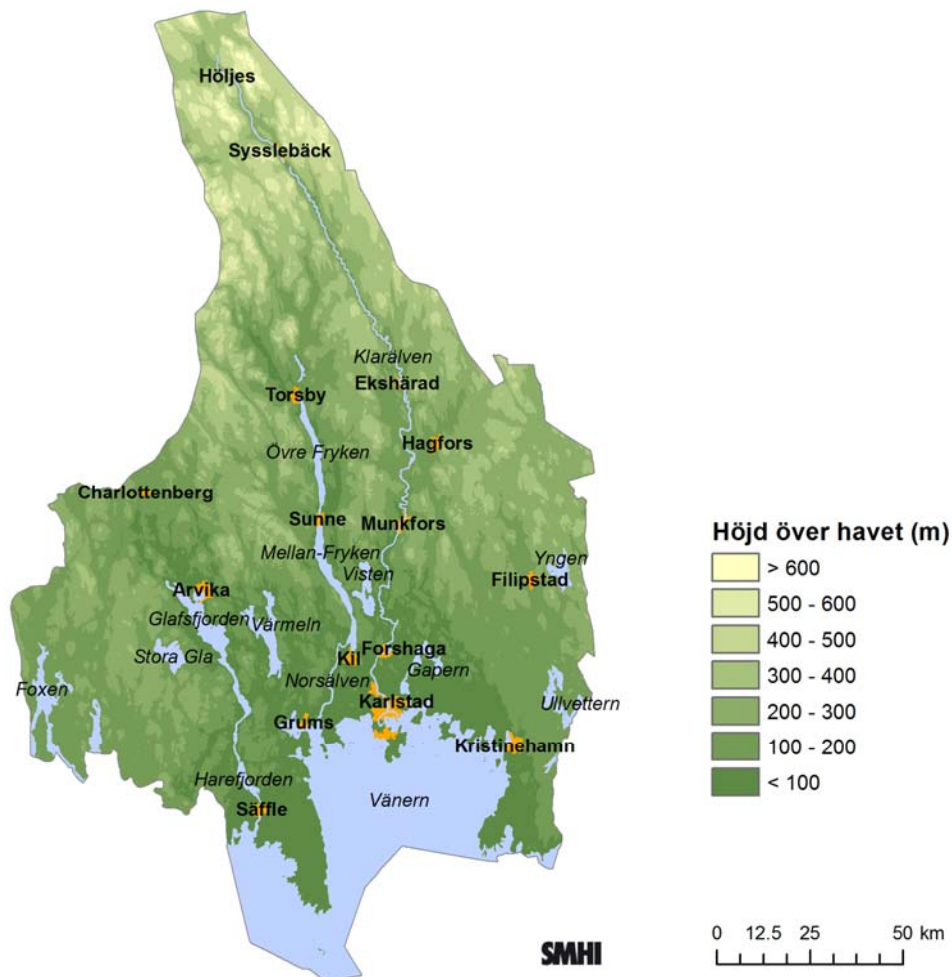
SMHI har under senare år också utvecklat tekniken att använda resultat från klimatscenarierna, vilket beskrivs i kap 4.5, och att presentera klimatdata i diagram och kartor.

3 Värmlands län

I detta kapitel beskrivs Värmlands läns landskap och klimat översiktligt. Beskrivningen baseras främst på faktablad från SMHI och de klimatkartor som tillsammans med information i Kunskapsbanken finns publicerat på www.smhi.se.

Länet är uppdelat i 16 kommuner med totalt ca 274 000 invånare. Karlstad är residensstad (och kommun). Övriga kommuner är Arvika, Eda, Filipstad, Forshaga, Grums, Hagfors, Hammarö, Kil, Kristinehamn, Munkfors, Storfors, Sunne, Säffle, Torsby och Årjäng. Uppgifterna är tagna från länsstyrelsernas GIS-tjänster.

Värmlands län (figur 3-1) sträcker sig över flera olika klimatzoner. I norr finns slalombackar och i söder Vänerns skärgård. Länet domineras av skog och närhet till vatten. Förutom Sveriges största sjö, Vänern, finns ca 6 000 mindre sjöar och 10 000 km vattendrag.



Figur 3-1. Värmlands län, dess topografi, större orter, vattendrag och sjöar. Kartan är producerad med Lantmäteriets data under Länsstyrelsens tillstånd för publicering av data och med data från SMHI.

3.1 Vattenområden

I Sverige har totalt för landet 119 huvudavrinningsområden definierats som vattendrag vilka rinner ut i havet och med avrinningsområden större än 200 km². Värmland län berörs huvudsakligen av ett av dessa, nämligen Göta älv, som har det största avrinningsområdet i Sverige med drygt 50 000 km². Värmland bidrar med drygt 40% av Göta älvs avrinningsområde. En liten del av Värmlands areal, ca 350 km², ingår i den norska älven Glommas avrinningsområde. Procentuellt uttryckt dräneras 98,4% av länets avrinningsområden till Göta älv och 1% till Glomma (SMHI, faktablad nr 44, 2010 och nr 10, 2002).

Göta älv, tillsammans med Klarälven, är det i Sverige längsta vattendraget, med 731 km. Därefter kommer Dalälven med 541 km och på tredje plats Torneälven med 513 km. Göta älvs källflöden finns i Rogenområdet i Härjedalen och rinner sedan via Trysilälva i Norge och Klarälven till Vänern. Göta älv har också Sverigerekord avseende det största medelvattenflödet vid mynningen till havet, 565 m³/s. Avseende maximalt flöde ligger dock Göta älv enbart på 7:e plats (SMHI, faktablad nr 44, 2010).

I tabell 3-1 framgår arealer för de dominerande vattendragen i Värmland. Dessa vattendrag analyserats i denna rapport avseende framtida flöden. Samtliga ingår i huvudavrinningsområdet för Göta älv.

Tabell 3-1. Avrinningsområden i Värmlands län, deras totala areal, den procentuella andelen av arealen som är i Norge och andelen sjö i avrinningsområdet (%). (SMHI, faktablad nr 20, 2004 och SMHI statistikdatabas)

Avrinningsområde	Total areal (km ²)	Areal i Norge (%)	Sjö-andel (%)
Upperudsälven	3337	11,3	17
Byälven	4785	28,5	12
Borqvikeälven	887	0	14
Norsälven	4174	11,4	7
Klarälven	11848	44,2	8
Alsterälven	357	0	12

Vad gäller sjöar så ligger Värmland inom två kategorier; de mellersta och norra skogsområdena samt de stora slättområdena norr om Vänern. Den första kategorin kännetecknas av många små sjöar och marktyperna morän och myrar. Inom slättområdena norr om Vänern är sjöarna få och stora och marktypen huvudsakligen lera (SMHI, faktablad nr 10, 2002).

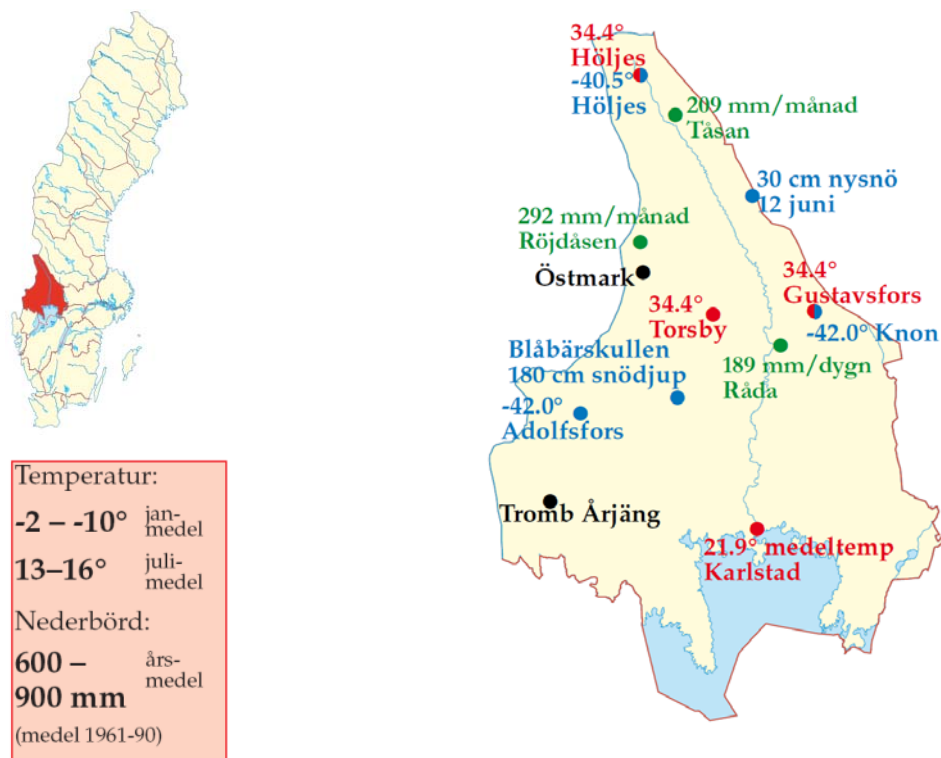
Sveriges till ytan största sjö, Vänern, ligger i södra delen av länet. Den kan betraktas som ett innanhav, och sjöns areal är 5519 km². Vänern har en volym på ca 153 000 miljoner m³, vilket är ca dubbelt så mycket som Vätterns volym (SMHI, faktablad nr 39, 2008).

3.2 Klimatet

Klimatet i Värmland påverkas av dess relativt stora höjdskillnader samt att det är ett inlandslandskap, dock med närhet till Vänern. Årsnederbörden varierar från 600 mm vid Vänern till drygt 900 mm vid norska gränsen i Östmark (SMHI faktablad nr 42, 2009).

Den högsta temperatur som uppmätts i Värmland är 34,4 °C. Det skedde under en kraftig värmebölja i augusti 1975 och värdet noterades på tre stationer i länet (se figur 3-2). Anmärkningsvärt är att medeltemperaturen juli 1901 i Karlstad var 21,9°C, vilket är den högsta månadsmedeltemperatur som uppmätts i Sverige. Den för länet lägsta temperatur som uppmätts i modern tid var i Höljes nyårsdagen 1979, då termometern visade -40,5°C. Ännu kallare var det i Adolfsfors 20 januari 1917 och i Knon 14 januari 1918 då temperaturen var -42,0°C (SMHI faktablad nr 42, 2009).

Värmland innehar rekordet för novemberregn i Sverige; november år 2000 föll 292 mm i Röjdåsen i Östmark. Hela sydvästra delen av Värmland drabbades av mycket regn hösten år 2000 vilket bl.a. ledde till översvämningar i Arvika. Ett annat månadsrekord gäller maj 1997 då 209 mm föll i Tåsan vid Syslebäck, även detta är Sverigerekord. Regnet orsakade översvämningar i Klarälvsdalen. Troligen drabbades Värmland av regn och översvämningar omkring 22 juli 1789, eftersom det är känt att sydöstra Norge vid denna tidpunkt hade svåra översvämningar som tog många människoliv (Storofsen).



Figur 3-2. Värmlands medelvärden och väderextremer. (Källa: SMHI faktablad nr 42, 2009)



I Råda noterades Värmlands största dygnsmängd nederbörd den 4 augusti 2004; 189 mm (SMHI faktablad nr 42, 2009).

Fotot visar en avskuren mindre väg strax öster om Sunnemo efter regnet den 4 augusti 2004.

”Under flera timmar kom den ena kraftiga skuren efter den andra och i Sunnemo höll regnet på klockan 16 till 02 med en maximal timnederbörd på 66 mm. I de små vattendrag som dominerar området torde maximala nivåer ha nåtts redan vid midnatt eller strax därefter” (SMHI faktablad nr 42, 2009).

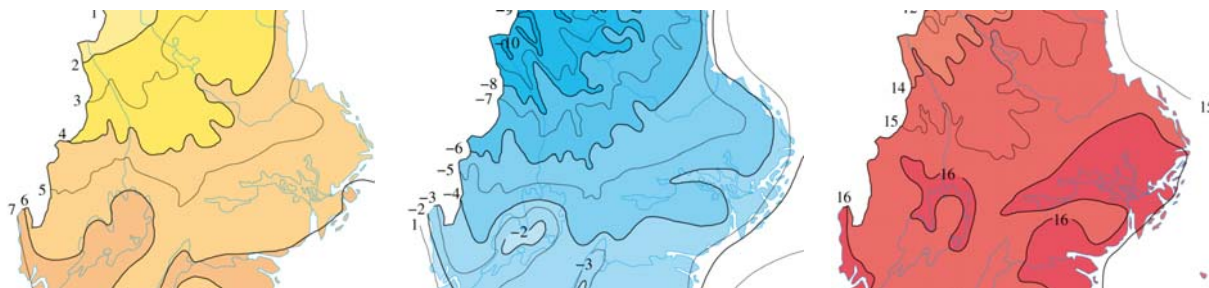
En stor mängd vägar skars av och flera mindre byar mellan Sunnemo och Råda/ Hagfors isolerades. Ovädret drabbade detta område värst, men stora regnmängder föll också på andra håll i Värmland och i västra Dalarna och lokalt även i angränsande landskap.

Ett exempel på extrem nederbörd under kort tid är 5 juli år 2000 då 40 mm föll på 15 minuter i Daglösen, Filipstad. Under två timmar föll 90 mm. I Värmlands Folkblad beskrevs händelsen 7 juli år 2000: ”Plötsligt kom flodvågen dånande genom byn; 20 meter bred och en meter hög....Det var mer än vad vägar och järnvägar klarade av. Längs Inlandsbanan gapar det stora hål på flera ställen i banvallen och en bit av länsvägen har också spolats bort av vattenmassorna.” (SMHI faktablad nr 43, 2010).

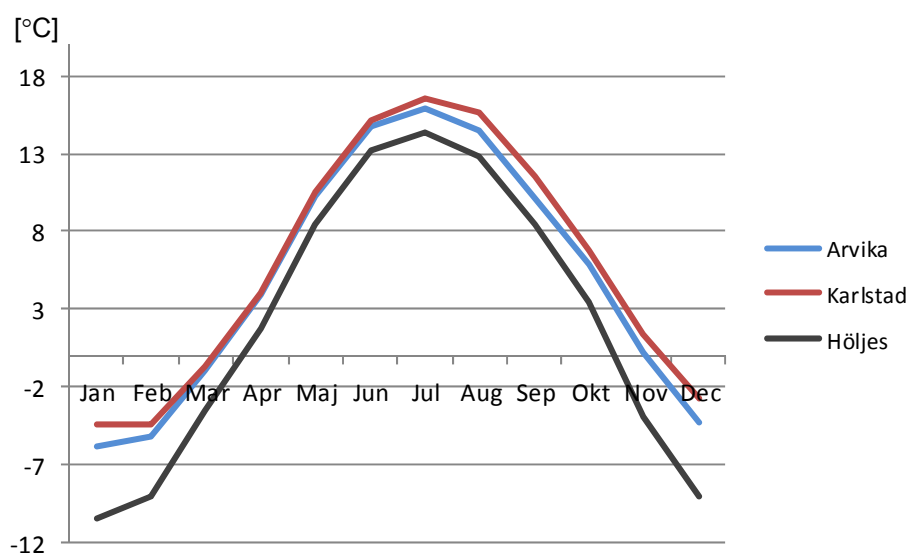
Hösten 2000 var en mycket nederbördsrik period över stora delar av Svealand och södra Norrland. I Värmland drabbades Byälven värst och vid månadsskiftet november-december var vattenståndet i Glafs fjorden tre meter högre än normalt. Det ledde till stora problem och omfattande invallningar gjordes för att skydda anläggningar och byggnader. Väterns vattenstånd fortsatte stiga och nådde kulmen först i mitten av januari 2001 (SMHI faktablad nr 21, 2004).

3.2.1 Temperatur

I Sverige är det enbart Västerbotten som har större skillnader i medeltemperatur under vintern än Värmland (SMHI faktablad nr 42, 2009). På öarna i Vänern är medelvärde för januari -2 °C och i nordligaste Klarälvsdalen -10°C. En skillnad på 8 grader alltså. I juli är skillnaderna inte lika stora över länet, 16°C vid Vänern och 13°C längst i norr (600-700 m.ö.h.) (figur 3-3).



Figur 3-3. Årsmedeltemperatur, medeltemperatur i januari respektive juli. Samtliga kartor gäller medelvärden för 1961-1990 och uttrycks i °C. Källa: www.smhi.se > Klimatdata.



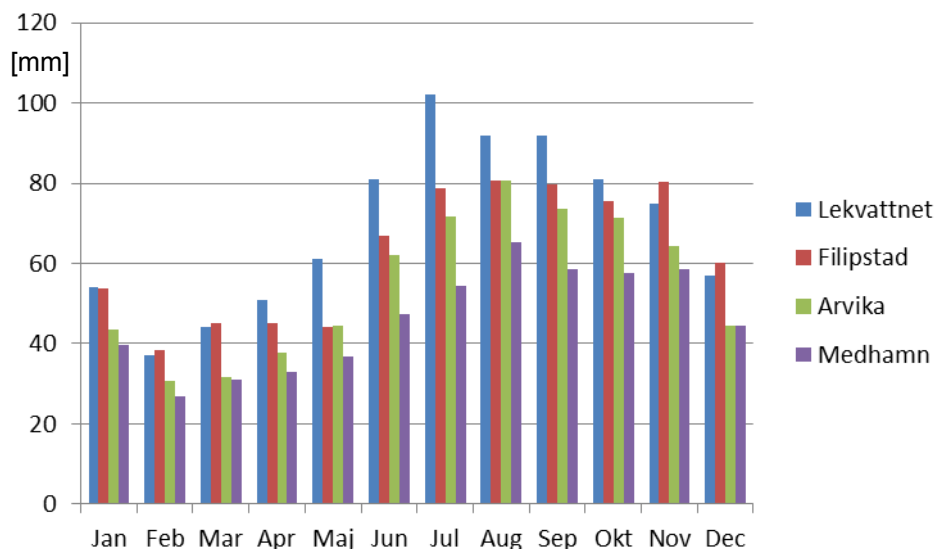
Figur 3-4. Månadsmedeltemperaturer (°C) för perioden 1961-1990 (s.k. normalperiod) för mätstationerna Arvika, Karlstad och Höljes. Källa: SMHIs Klimatarkiv.

Mätstationerna Arvika, Karlstad och Höljes är här valda att representera länets temperaturvariationer under året för perioden 1961-1990. Karlstad, med dess närhet till Vänern, har högst medeltemperatur, 5,8°C. Arvika har 4,9°C i årsmedeltemperatur och Höljes 2,2°C. Den kallaste månaden är januari och den varmaste är juli för alla tre stationerna. Skillnaden mellan månadsmedelvärdena för januari och juli är för Karlstad 21,1°C, för Arvika 21,7°C och för Höljes 24,9°C (figur 3-4)

3.2.2 Nederbörd

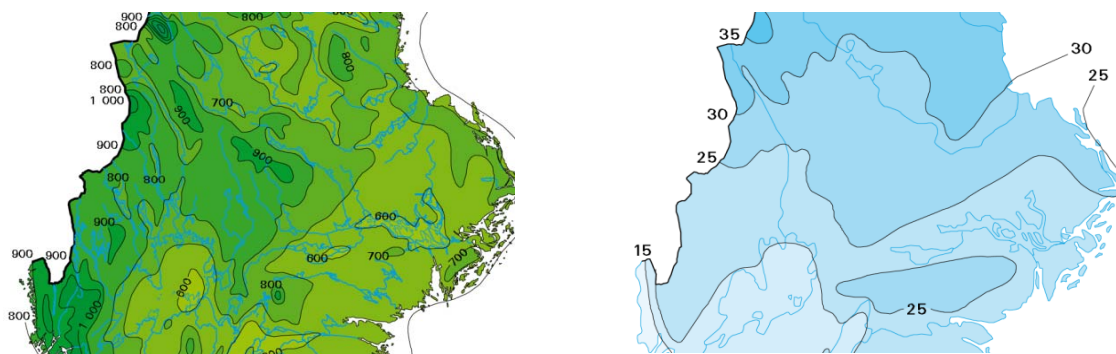
Topografin har en avgörande betydelse för hur nederbörden fördelas. I figur 3-5 visas den uppmätta månadsmedelnederbörden vid mätstationer i Värmland. Lekvattnet (nordväst om Torsby) är en av de mer nederbördsrika stationerna med årsmedelnederbörd på 828 mm och Medhamn (söder om Kristinehamn) representerar en station med för länet låg årsnederbörd, 553 mm, perioden 1961-1990.

Som för större delen av Sverige är sommarmånaderna juli och augusti den nederbördsrikaste tiden på året men även höstmånaderna visar relativt höga nederbördsmängder. Perioden februari-mars är den nederbördsfattigaste. Figuren illustrerar det generella mönstret, men det är stora variationer mellan åren.



Figur 3-5. Uppmätt månadsmedelnederbörd (mm) 1961-1990 för stationer i Värmland; Lekvattnet (10211), Filipstad (9443), Arvika (9240) och Medhamn (9308). Den uppmätta årsmedelnederbörden är 828 mm i Lekvattnet, 748 mm i Filipstad, 656 mm i Arvika och 553 mm i Medhamn. Källa: SMHI:s Klimatarkiv.

I figur 3-6 visas den uppskattade verkliga nederbörden i hela området med hänsyn taget till mätförluster och olika terrängförhållanden. Den verkliga nederbörden är högre än den uppmätta. Andelen av nederbörden som faller som snö varierar mellan 15-30% i länet (figur 3-6).

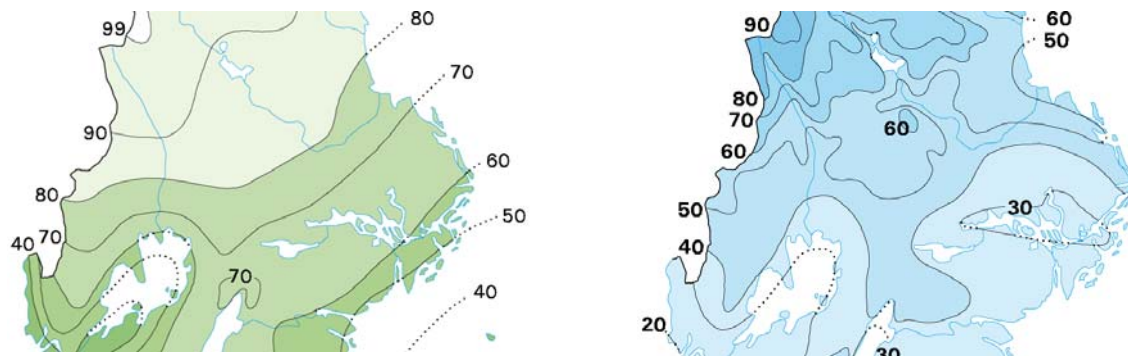


Figur 3-6. Den vänstra kartan visar den uppskattade verkliga årsmedelnederbörden (mm) 1961-1990 och den högra kartan visar andelen snö (%) av årsnederbörden, för perioden 1961-1990. Källa: Klimatdata (www.smhi.se)

3.2.3 Snö och is

Stora höjdskillnader medför stora skillnader i snötäckets varaktighet mellan olika delar av länet. Snötäcket vid Vänern, i södra delen av länet, ligger i genomsnitt tre månader (1961-1990). På höjderna i norr ligger snön cirka halva året, dvs dubbelt så länge. Vid Blåbärskullen i Gräsmark registrerades 180 cm snödjup den 28-29 mars 1951, vilket är det största snödjup som uppmätta i länet (SMHI faktablad nr 23, 2005). Ett märkligt snöfall drabbade Värmland den 12 juni 1981, och plogbilen ryckte ut för att ploga det 3 dm tjocka snötäcket (SMHI faktablad nr 42, 2009).

Frekvensen av vita jular, dvs. chansen att vakna på julafton med snötäcke på marken, var perioden 1931-1980 i Värmland från ca 60% vid Vänern till över 90% i norra Värmland. Medelvärdet av största snödjup under vintern för perioden 1961-1990 varierade från 30 cm vid Vänern till uppåt 90 cm i de nordligaste delarna av länet (figur 3-7).



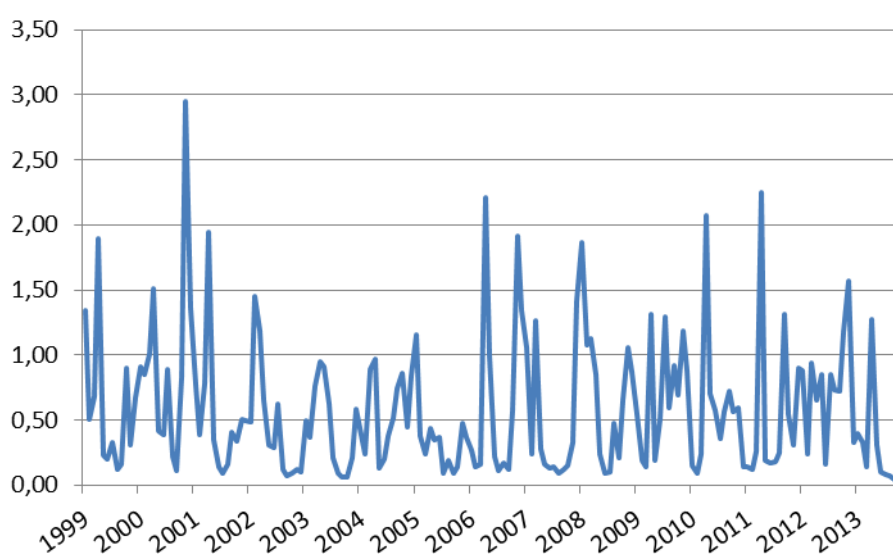
Figur 3-7. Vänstra kartan visar frekvensen (%) av vita jular 1931-1980 och högra kartan visar medelvärde av största snödjupet under vintern (cm) 1961-1990. Källa: Klimatdata > Snö (www.smhi.se).

3.2.4 Avrinning

Vattenflödet från ett område i naturen som orsakas av regn eller snösmältning kallas avrinning. Avrinningens storlek bestäms av nederbördens storlek och av hur mycket vatten som magasineras i området eller återgår till atmosfären genom avdunstning från våta ytor och genom växtlighetens transpiration. Avrinningen uttrycks ofta som specifik avrinning, dvs avrinning per ytenhet, och är ett mått på den långsiktiga vattentillgången i området.

Vattenföring är benämningen för den mängd vatten som rinner fram i ett vattendrag och mäts ofta i kubikmeter per sekund (m^3/s). Varje vattendrag har sin egen rytm och storleken på flödet varierar under året. Sjöar har en utjämnande effekt på vattenföringen i ett vattendrag, vilket beror på att en sjös utlopp på ett naturligt sätt begränsar utflödet. Under perioder med hög tillrinning kommer således vatten att magasineras i en sjö, sjöns nivå stiger, och flödet ur sjön blir mindre än det totala tillflödet. Den dämpande effekten styrs framförallt av sjöns areal och utloppets avbördningsförmåga, dvs. utformningen av utloppet och förhållandena nedströms sjön.

Vattenföringen varierar kraftigt mellan åren men har tydliga förlopp av växlingar mellan hög och låg vattenföring. I figur 3-8 visas ett exempel på vattenföringens variation under knappt 15 år. Lägsta vattenföringen uppmäts vanligen i juli-augusti då växterna är som mest aktiva och därför omhändertar nederbörden. Flödestopparna uppträder oftast i samband med snösmältningen, men höga flöden kan även uppstå till följd av rikligt regnande under andra tider på året.



Figur 3-8. Exempel på vattenföringens variation mellan olika år. Modellberäknad vattenföring (m^3/s) för delavrinningsområde10294 som mynnar i Klarälven. Området är $38,8 \text{ km}^2$ med $1,1 \%$ sjöareal. Källa: vattenweb.smhi.se

3.2.5 Vindar

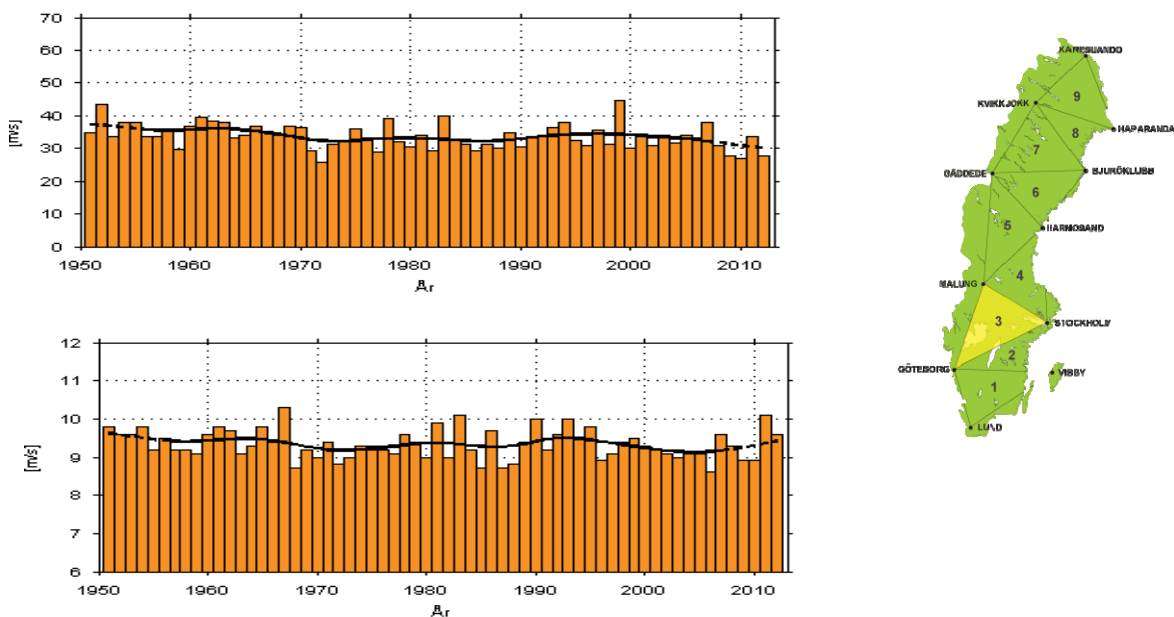
Wern och Barring (2009) har studerat hur vinden varierat i Sverige under perioden 1901-2008. Studien har kompletterats med ett faktablad som även omfattar 2009-2010 (SMHI faktablad nr 51, 2011).

Vindmätningar har i Sverige gjorts sedan 1800-talet men först på 1950-talet standardiserades mätningarna. Det saknas alltså långa homogena mätserier av vindhastighet i Sverige. Analysen baserades därför på förändring i geostrofisk vind, som utgår från tryckmätningar. Landet indelades i nio trianglar. Den geostrofiska vinden ska ses som ett regionalt medelvärde för den centrala delen av triangeln. Beräkningen tar inte hänsyn till landskapets uppbromsande effekt, vilket direkta vindmätningar gör. Därför är den geostrofiska vindhastigheten högre än den uppmätta.

På www.smhi.se finns en webbapplikation där grafer över olika vindmått kan laddas ned för de i studien använda nio trianglarna över landet. Webbapplikationen är i dagsläget uppdaterad t.o.m. 2012. SMHI påpekar att första halvan av tidsperioden innehåller osäkrare värden än den senare halvan (figur 3-9).

Värmlands län ligger delvis inom triangel 3. Linjär förändring av geostrofisk vindhastighet 1951-2010 visar för triangel 3 en minskad medelvind på -3% och minskad maxvind på -11%. Dessa värden är statistiskt signifikanta på nivån 5%. För vindhastigheter över 25 m/s ses en icke-signifikant minskning på -22% (SMHI faktablad nr 51, 2011).

Den högsta beräknade geostrofiska vindhastigheten, 66 m/s, i studien inträffade i triangel 1 (Göteborg-Lund-Visby) 13 januari 1983. Vid Landsort och Vinga uppmättes kl. 18 UTC 31 m/s respektive 30 m/s. Linjära trender i tidsserier påverkas mycket av vilken period som analyseras. Författarna (Wern och Barring, 2009) är försiktiga med slutsatsen om säkerställda förändrade vindförhållanden. Variationen mellan år är stor. De anser dock att det finns en långsiktig trend mot lugnare vindklimat sedan 1900-talets början, men att den beror på blåsigare förhållanden under de första årtiondena av 1900-talet.



Figur 3-9. Största geostrofiska vindhastigheten (överst) och geostrofisk medelvindhastighet (nederst) per år (m/s). Den svarta kurvan visar ett utjämnat förlopp motsvarande ungefär 10-årsmedelvärden. Diagrammet avser triangeln Göteborg-Malung-Stockholm (triangel 3) 1951-2012. Källa: www.smhi.se >Klimatdata>Vind>Geostrofisk vind

Ett inlandslandskap som Värmland är inte lika utsatt för stormar som ett kustlandskap, även om det ligger vid Väneren, som kan betraktas vara ett innanhav. Länet är dock inte helt förskonat från stormskador och ett exempel är den 6 december 2003 då hårda och byiga nordvindar orsakade stora skador på skogen och omfattande elavbrott. Ett exempel på lokalt oväder är den tromb som 16 augusti 1990 drog fram längs Årjängs kommun i ett 2 mil långt stråk (SMHI faktablad nr 42, 2009).

4 Metod för framtidsanalys

Analysen av klimatscenarier för Värmlands län har gjorts avseende temperatur, nederbörd, snö och vattenföring. De studerade parametrarna, inklusive de klimatindex som baseras på temperatur och nederbörd, beskrivs kortfattat i kap 4.1. Sammanställningar avseende extrem nederbörd, tjäle, brandrisk och Vänern baseras på tidigare studier.

4.1 Studerade parametrar

Beräkningar och analyser av framtida klimatscenarier har gjorts för olika meteorologiska och hydrologiska parametrar. Resultaten presenteras i Kapitel 5. I kapitlen 6-9 görs sammanställningar av andra studier.

- Kapitel 5.1 **Temperatur** (medeltemperatur för år och säsong; högsta dygnsmedeltemperatur; värmeböljor definierade som antal sammanhängande dygn med dygnsmedeltemperatur $>20^{\circ}\text{C}$; vegetationsperiodens längd och vegetationsperiodens start- och sluttidpunkt; uppvärmnings- och kylbehov uttryckt som graddagar)
- Kapitel 5.2 **Nederbörd** (medelnederbörd för år och säsong; kraftig nederbörd i form av antal dagar med > 10 mm; största 1-dygnsnederbörd och 7-dygnsnederbörd; perioder utan nederbörd dvs. maximalt antal dygn i följd med nederbörd < 1 mm/dygn).
- Kapitel 5.3 **Vattenföring** (säsongsvariation och medelvattenföring; flöden med 100 års och 200 års återkomsttid)
- Kapitel 5.4 **Snö** (uttryckt som snöns maximala vatteninnehåll och som varaktighet dvs. antal dagar med snö)

I kapitlen 6-9 presenteras sammanställningar av kunskapsläget baserat på tidigare studier.

- Kapitel 6. **Extrem nederbörd.**
- Kapitel 7. **Tjäle.**
- Kapitel 8. **Brandrisk.**
- Kapitel 9. **Vänern.**

4.2 Geografiskt analysområde och tidsperioder

Det analyserade området avser Värmlands län (figur 3-1) och resultaten presenteras främst i form av kartor för att beskriva den rumsliga variationen (ex. bilaga 1-21). I diagrammen visas resultat för hela länet. Analyser gällande vattenföring presenteras för utvalda punkter i vattendragen, men även i kartformat. Det område eller den plats som avses för respektive karta, diagram eller tabell framgår i figuren eller i figurtexterna.

De studerade tidsperioderna är 1961-1990 för dagens klimat och för analys av framtidsklimatet har två perioder valts; 2021-2050 och 2069-2098. Samtliga tidsperioder omfattar 30 år.

I klimatstudier jämförs aktuella värden med medelvärden för en längre period, en referensperiod. I enlighet med internationell praxis används i denna rapport den så kallade standardnormalperioden 1961-1990 som referensperiod. Nästa standardnormalperiod kommer att bli 1991-2020. För att ge så nutidsnära information som möjligt har även perioden 1991-2012 tagits med, då så varit möjligt. I bilagorna 1-5 och 13-18 är perioden 1991-2010 representerad.

Referensperiod och analysperiod för olika undersökta parametrar i denna utredning kan variera med ett par år beroende på datatillgång och den tid det tar för modellerna att nå ett rimligt starttillstånd.

4.3 Variation och osäkerhet

Det är viktigt vid tolkning av resultat från analyser av förändringar i ett framtida klimat att ursprunget till de variationer och osäkerheter som förekommer tydligt framgår och även hur denna variation kan bidra med information. Tolkningen av rapportens grafer bör koncentreras till långsiktiga trender snarare än till absoluta värden. Där det är tillämpligt presenteras spridningsmått i form av percentiler för att indikera spridningen i resultat mellan olika klimatmodeller. I denna rapport används 25:e respektive 75:e percentilen, vilket betyder att i princip all data förutom de fyra lägsta och de fyra högsta scenarierna innefattas i datamängden när 16 olika scenarier används. Därmed fås en uppfattning av klimatsceniernas spridning. Detta underlättar tolkningen då det ger en mer samlad bild av den tänkbara framtidsutvecklingen.

Metoden som använts karakteriseras av att flera möjliga klimatscenarier ingår, en så kallad *ensemble*, och att resultaten bearbetas statistiskt. Syftet är att öka kvalitén i analysen och att identifiera trender som är generella mellan olika scenarier. För att utnyttja fördelarna med ensembleanalys bör det finnas ett visst mått av variation. Speciellt gäller detta klimatsimuleringar, då det är önskvärt att täcka in ett stort antal möjliga och olika scenarier som kan medföra mycket olika effekter. Hydrologisk respons som uppträder i flera olika klimatscenarier bedöms således mer trolig än hydrologisk respons som uppträder sporadiskt.

Osäkerheter i den typ av resultat som presenteras i denna analys påverkas av:

- Val av utsläppsscenarioer
- Val av global klimatmodell
- Val av regional klimatmodell
- Naturlig variabilitet

Spridningen i resultat kan vara betydande för en del klimatvariabler, vilket delvis beror på att olika modeller beskriver klimatologiska processer på olika sätt, exempelvis återkopplingen mellan atmosfärisk koncentration av växthusgaser och temperatur.

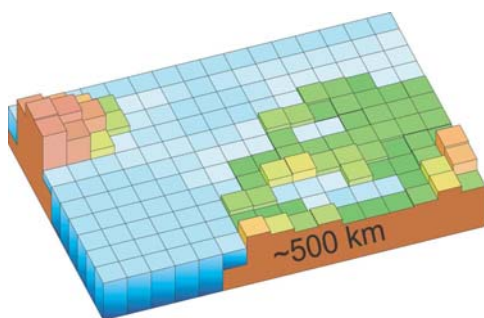
Det ligger i frågeställningens natur att det är svårt att på förhand definiera ett mått på responsen för ökade emissioner av växthusgaser, då detta är en effekt som modellerna syftar till att studera. Således är tillgången till flera olika klimatmodeller en stor fördel. Trender i respons som observeras i flertalet klimatmodeller och för flertalet utsläppsscenarioer är därför att betrakta som mer robust eftersom samma resultat uppnått från olika oberoende förutsättningar. Om resultaten från olika modeller och utsläppsscenarioer är mycket olika är osäkerheten större.

Det klimat som beskrivs av en klimatmodell kan inte förväntas vara i fas med det verkliga klimatet på kort tidsskala, ett fenomen som benämns naturlig variabilitet (variation). En välfungerande klimatmodell ska dock kunna beskriva medelvärden och variabilitet med tillräckligt precision, t.ex. korrekt antal kalla och varma vintrar under en trettioårsperiod. Dessa vintrar kan infalla i en annan sekvens än i det observerade klimatet.

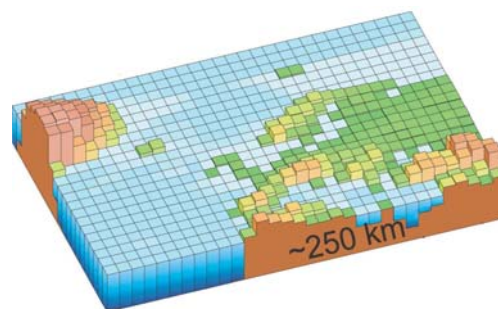
4.4 Beräkningsmodeller

För att få en översiktlig bild av framtida klimat används globala klimatmodeller (GCM) som beskriver luftströmmar och väderfenomen över hela jorden. Dessa drivs bland annat med antaganden om framtidens utsläpp av växthusgaser, så kallade utsläppsscenarioer. Figur 4-1 visar hur upplösningen i de globala klimatmodeller som använts av IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, även kallad FN:s klimatpanel) utvecklats under de senaste 20 åren.

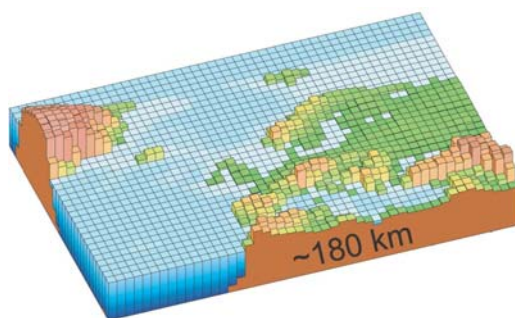
1990



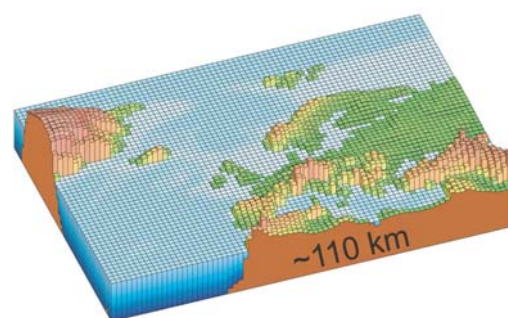
1996



2001



2007

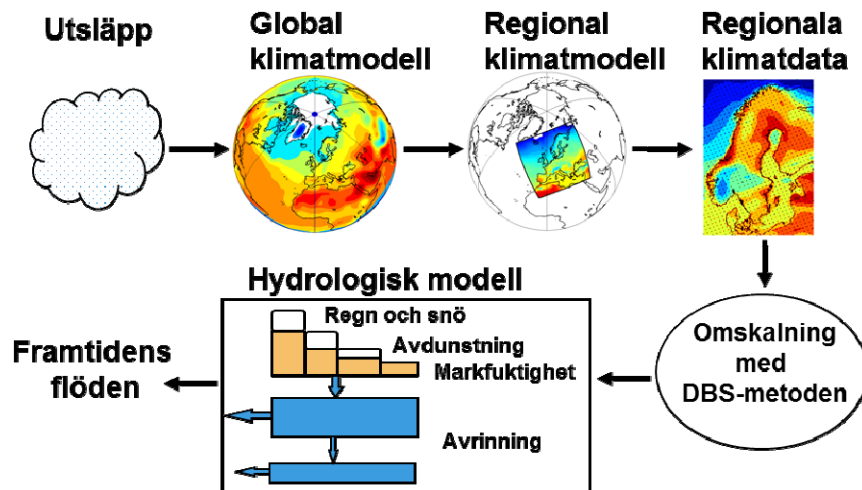


Figur 4-1. Horisontell upplösning i olika generationer av klimatmodeller som använts inom IPCC (modifierad efter IPCC, 2007). Vertikal upplösning visas inte i figuren men följer en liknande utveckling mot finare upplösning.

För mer detaljerade regionala analyser krävs en bättre beskrivning av detaljer som påverkar det regionala klimatet. Därför kopplas de globala klimatberäkningar till regionala klimatmodeller (RCM) med bättre upplösning och beskrivning av detaljer som exempelvis Östersjön och den Skandinaviska bergskedjan. Den regionala klimatmodellen drivs av resultat från den globala modellen på randen av sitt modellområde. Det gör att valet av global modell får stor betydelse för slutresultatet även regionalt. Regionala klimatmodeller finns bland annat vid forskningsenheten Rossby Centre på SMHI:s forskningsavdelning. Figur 4-2 visar hur dataflödet ser ut mellan klimatmodeller på olika skalor och hur indata levereras till en hydrologisk modell där det är möjligt att studera effekter på vattenföring, magasineringen etc.

Den hydrologiska modell som används är HBV-modellen. Det är en konceptuell avrinningsmodell utvecklad vid SMHI sedan slutet av 1970-talet (Lindström, et al., 1997). Modellen byggs upp av beräkningsrutiner för markfuktighet, snöackumulation och snösmältning, grundvatten och routing (beskrivning av vattnets väg). Indata till modellen har i denna studie hämtats från regionala klimatmodeller efter DBS-skalerting, som beskrivs i avsnitt 4.5.

Analysen med HBV-modellen är gjord för oreglerade förhållanden. Det innebär att sjöar och reglerade magasin beskrivs som om de hade haft naturliga utlopp och inte aktivt reglerats för exempelvis vattenkraftsproduktion. Effekten av dessa reglerade magasin är dock begränsad för riktigt stora flöden, eftersom de måste släppas fram, oavsett reglering. Analyserna är gjorda för oreglerade förhållanden av flera skäl. Dels är det svårt att överblicka hur magasinerna regleras. Dessutom kan de regleringsstrategier som tillämpas under nuvarande klimatförhållanden komma att ändras när klimatet ändras. Andra faktorer, som exempelvis ändrade marknadsstrategier hos kraftproducenterna, kan ha minst lika stor effekt på vattenhushållningen som klimatförändringarna.



Figur 4-2. Illustration av dataflödet mellan global- och regional modell samt nedskalning till hydrologisk modell.

4.5 Klimatdata för effektstudier

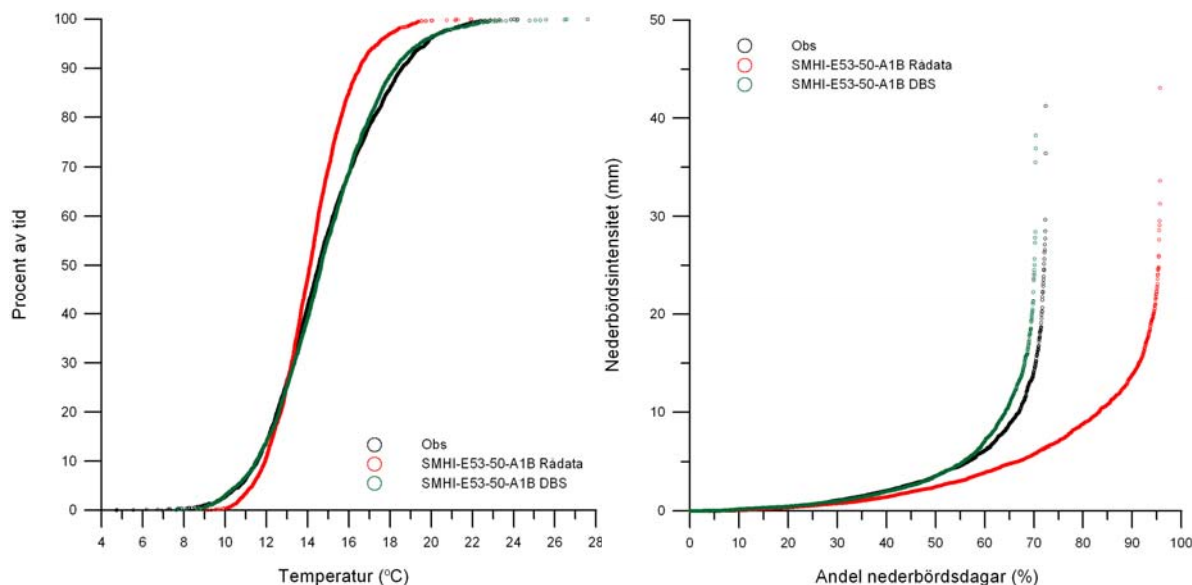
För att använda klimatmodellernas utdata till att studera exempelvis hydrologiska effekter, krävs ett gränssnitt mellan klimatmodellen och den hydrologiska modellen. Anledningen är att klimatmodellerna inte kan beskriva det nutida klimatet tillräckligt väl för att ge en trovärdig hydrologisk respons, när utdata från klimatmodellen används direkt som indata till en hydrologisk modell.

Under senare år har en metod utvecklats som möjliggör en sådan anpassning. Metoden benämns DBS-metoden (Distribution Based Scaling) (Yang et al., 2010) och innebär att data från meteorologiska observationer används till att justera klimatmodellens resultat för att ta bort de systematiska felen. De korrektionsfaktorer som då införs bibehålls vid beräkningen av framtida klimat, varefter klimatberäkningens utdata blir statistiskt jämförbar med observationer och direkt kan användas som indata till en hydrologisk modell. Vid användning av DBS-metoden bibehåller man vid övergången till den hydrologiska modellen både förändringar i medelvärden och de förändringar i klimatets variabilitet som ges av klimatmodellen. Metoden har tidigare använts för hydrologiska modellberäkningar av Andréasson et al. (2011).

Figur 4-3 visar exempel på en anpassning med DBS-metoden. Figuren visar rådata i form av temperatur och andel nederbördsdagar och deras nederbördsintensitet från en klimatmodell, samt när dessa rådata anpassats med DBS-metoden. I figuren visas att data efter anpassningen stämmer väl överens med observerade data. Särskilt viktigt är att den överskattning av antal dagar med nederbörd med en viss intensitet som ges av klimatmodellen korrigeras.

En förutsättning när DBS-metoden används är att resultaten för framtida tidsperioder måste jämföras med historiskt klimat så som detta beskrivs av klimatmodellen och inte av meteorologiska observationer. Metoden innebär också att det inte är möjligt att jämföra individuella dagar eller år med observationsdata.

Anpassning av klimatmodelldata med hjälp av DBS-metoden används i denna studie för nederbörd och temperatur, vilka också är drivvariablerna för den hydrologiska modellen. Den observerade nederbörd och temperatur som klimatmodellen anpassas mot har hämtats från den databas, PTHBV, som SMHI byggt upp med särskild inriktning på hydrologisk modellering.



Figur 4-3. Jämförelse mellan rådata från klimatmodeller och data som anpassats med DBS-metoden, för juni-augusti 1961-1990. Till vänster dygnsmedeltemperatur (procent av tiden som viss dygnsmedeltemperatur underskrids och till höger nederbörd (andel dagar med olika nederbördsintensitet).

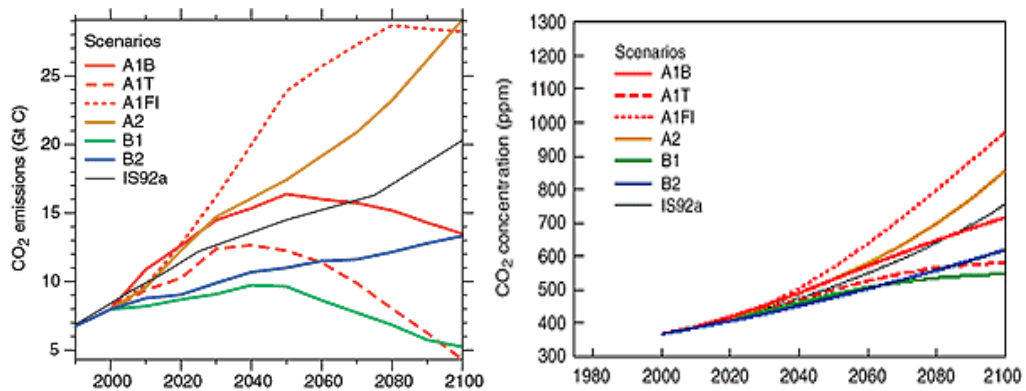
Databasen innehåller interpolerade värden på nederbörd och temperatur, vilka anges i ett rikstäckande rutnät (gridrutor) med upplösningen 4 km × 4 km. Data från SMHIs meteorologiska stationer har i denna databas interpolerats till gridrutor med hjälp av en geostatistisk interpolationsmetod som benämns optimal interpolation. Metoden innebär att hänsyn tas både till stationernas avstånd från beräkningsrutan och till deras inbördes korrelation. För att i interpolationen kunna beskriva den rumsliga variationen, utnyttjas höjddata samt (för nederbörd) även information om typisk vindriktning och vindstyrka under olika delar av året och i olika delar av landet. Detaljer om hur interpolationen utförs beskrivs av Johansson (2000) och Johansson och Chen (2003 och 2005). I databasen har den observerade nederbörden även korrigerats för mätförluster, som framförallt orsakas av att en del av nederbörden blåser förbi mätaren. Mätförlusterna har beräknats enligt Alexandersson (2003). I dessa beräkningar tas hänsyn till hur vindutsatt mätstationen är och om nederbörden faller som snö eller regn, vilket avgörs utifrån temperaturen.

Data från temperatur- och nederbördsstationer används för att bygga databasen. Varje år görs en genomgång av förändringar i stationsnätet. Stationer kan flyttas, nya kan komma till och de kan läggas ned. Klimatdata finns lagrade från 1961 och framåt i tiden. Även stationer utanför länet används för att beräkna data för länet.

4.6 Utsläppsscenarioer

För att kunna göra beräkningar av framtida klimat behövs antaganden om framtida utsläpp av växthusgaser. Vanligtvis används utsläppsscenarioer som utarbetats av FNs klimatpanel, IPCC. Några exempel visas i figur 4-4. Dessa bygger på antaganden av världens utveckling fram till år 2100 (Nakićenović and Swart, 2000). I utsläppsscenarioerna görs olika antaganden om jordens befolkning, ekonomisk tillväxt, teknologisk utveckling m.m. Utifrån dessa antaganden uppskattas hur mycket klimatpåverkande gaser och partiklar som kommer att släppas ut. Dessa utsläpp ger upphov till förändringar i atmosfärens sammansättning, som till exempel mängden koldioxid i luften, vilket i sin tur har en inverkan på klimatet.

Genom att göra simuleringar i klimatmodellerna med växthusgaskoncentrationer som motsvarar dagens förhållanden respektive för framtida förhållanden får man en bild av den framtida förändringen av klimatet.

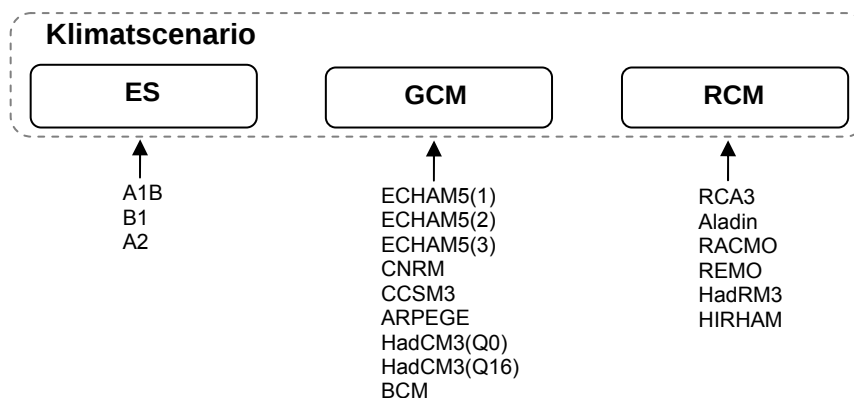


Figur 4-4. Antagande om framtida utsläpp av CO₂ (vänster) och resulterande CO₂-koncentrationer (höger) enligt olika scenarier (modifierad från IPCC, 2001).

4.7 Klimatscenarier

Ett klimatscenario är en successiv realisering av ett utsläppsscenario i en global- och en regional klimatmodell enligt dataflödet som beskrivs i figur 4-2. Samma utsläppsscenario kan således ge upphov till olika klimatscenarier beroende på vilka globala och regionala modeller som används. De tre komponenterna illustreras i figur 4-5 där också de möjliga alternativen för utsläppsscenario (ES= Emissions Scenario), global klimatmodell (GCM= Global Circulation Model) och regional klimatmodell (RCM= Regional Climate Model) som används i denna studie framgår.

Under flera år användes huvudsakligen sex klimatscenarier för de flesta studier av klimateffekter i Sverige, inklusive av den statliga Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU, 2007a). Dessa sex klimatscenarier bygger på en global klimatmodell från Hadley Centre i England (HadCM3/AM3H) och en från Max-Planck-institutet i Tyskland (ECHAM4/OPYC3). Dessa globala modeller har körts med utsläppsscenario A2 respektive B2 som de beskrivs av Nakićenović and Swart (2000). De regionala klimatmodeller som användes benämns RCAO och RCA3 och kommer från Rossby Centre vid SMHIs forskningsenhet.



Figur 4-5. Ett klimatscenario består av en kombination av utsläppsscenario (ES), global modell (GCM) och regional modell (RCM).

Numera finns det tillgång till ett stort antal regionala klimatscenarier beräknade med nyare globala och regionala klimatmodeller. Det europeiska ENSEMBLES-projektet (van der Linden and Mitchell, 2009) syftade till att utveckla ett system för samordnade beräkningar av klimatförändringar baserat på ett antal europeiska och några utomeuropeiska globala och regionala klimatmodeller. Rossby Centre deltog i ENSEMBLES-samarbetet med den regionala klimatmodellen RCA3. ENSEMBLES-projektet fokuserade i huvudsak på klimatförändringar i ett tidsperspektiv fram till år 2050, varför en del klimatscenarier bara sträcker sig fram till mitten på seklet. Det utsläppsscenario som huvudsakligen användes inom ENSEMBLES benämns A1B (Nakićenović and Swart, 2000), men ett scenario med kraftigare utsläpp, A2, och ett med lägre utsläpp, B1, användes också.

I figur 4-4 visas ett antal utsläppsscenarier, där A1B, A2 och B1 ingår. Ur figuren framgår bland annat att A1B är ett scenario där koldioxidutsläppen till atmosfären beräknas att kulminera runt år 2050. Koldioxiden i atmosfären fortsätter dock enligt detta scenario att stiga även efter 2050 på grund av systemets tröghet. Ur figuren ses även att skillnaden mellan effekten av olika utsläppsscenarier är liten fram till mitten av seklet och ökar därefter.

De sammanställningar som gjorts av temperatur, nederbörd, vattenföring och snö (kap. 5) bygger på DBS-skalerade data från klimatscenierna i tabell 4-1. Tabellen innehåller klimatscenarioer från ENSEMBLES-projektet samt några från Rossby Centre vid SMHI. Observera att endast 12 av dessa 16 klimatscenarioer sträcker sig ända fram till år 2100. De övriga fyra sträcker sig fram till 2050. Till största delen har utsläppsscenario A1B använts eftersom de flesta modellkörningar inom ENSEMBLES-projektet använt sig av detta, men även A2 och B1 finns representerade.

Den globala klimatmodellen ECHAM5 kommer från Max-Planck-institutet för meteorologi i Tyskland och HadCM3 från Hadley Center i England. Resultat baserade på ECHAM5 finns också från tre simuleringar som har startats från olika initialtillstånd i slutet på 1800-talet, vilka betecknas ECHAM5(1), ECHAM5(2) respektive ECHAM5(3). ECHAM5(3) är den simulering av de tre som har bäst överensstämmelse med faktisk klimatutveckling i Europa under slutet av 1900-talet och har därför pekats ut som huvudalternativ för ENSEMBLES-projektets beräkningar. Denna modell är därför den vanligaste globala klimatmodell som används i denna rapport.

Även HadCM3 har använts med två olika initialtillstånd, men då har också modellen varit parametriserad med olika klimatkänslighet, som är ett mått på den temperaturökning som kan förväntas om mängden koldioxid i atmosfären fördubblas. En av dessa simuleringar refereras som Q0 och betraktas som mest trolig. Den version som har högre klimatkänslighet, Q16, ligger dock även den inom vad som klimatforskarna betraktar som rimliga gränser.

Övriga använda globala klimatmodeller är ARPEGE från Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM) i Frankrike, BCM från Meteorologisk institutt (METNO) i Norge och den nordamerikanska modellen CCSM3.

De klimatscenarioer som använts, i denna rapport, är de som funnits tillgängliga i form av DBS-skalerade scenarioer vid genomförandet, dvs. inget aktivt urval av scenarioer har gjorts. Allt eftersom fler klimatscenarioer blir tillgängliga kan fler fall med höga respektive låga utsläppsscenarioer inkluderas i klimatensemblesimuleringar. På så sätt kan fler tänkbara utvecklingar av klimatet simuleras. En större ensemble ger starkare statistiska mått på hur en framtida utveckling kan se ut. Den idag tillgängliga ensemblen är dock en stor förbättring mot vad som fanns tillgängligt för några år sedan, även om urvalet inte är systematiskt.

Tabell 4-1. Sammanställning av använda klimatscenarier. Nationsflaggorna avser instituten som har genomfört den regionala nedskalningen (RCM). Den globala klimatmodellen (GCM) ECHAM5 kommer från Max Planck Institute i Tyskland, ARPEGE från Centre National de Recherches Météorologiques i Frankrike, HadCM3 från Hadley Centre i England och BCM från Meteorologisk institutt i Norge. CCSM3 är en nordamerikansk modell som körts vid SMHI. Observera att endast 12 av dessa 16 klimatscenarier sträcker sig ända fram till år 2100.

Nation	Institut	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

5 Värmlands framtidsklimat

Analysen av Värmlands läns framtidsklimat har gjorts utgående från de klimatscenarier som beskrivits i kap. 4.7. Dessa klimatscenarier har, som framgår av tabell 4-1, en horisontell upplösning av 25-50 km. De gridnät (beräkningsrutor) som ligger till grund för beräkningarna, är inte heller desamma för de olika modellerna. Efter justering av temperatur och nederbörd, med hjälp av observationer (PTHBV-databasen) såsom beskrivs i kap. 4.5, har klimatscenarierna lagrats med samma upplösning som den observerade databasen, dvs. 4 km × 4 km. Analyser av dessa bearbetade klimatscenarier gör det möjligt att presentera analyser och kartor med motsvarande upplösning i rummet. Det är dock mycket viktigt att här poängtera att *klimatsignalen från klimatmodellerna inte har denna höga upplösning*.

Resultaten presenteras i form av diagram och kartor samt ett fåtal tabeller. I bilagorna 1-21 finns kartor för temperatur- och nederbördsvariabler och olika index baserade på desamma. De ger en samlad överblick för respektive klimatvariabel/-index. Några av dessa kartor finns också i detta kapitel. En lista över bilagorna finns i kapitel 12. Ibland förekommer enheten ”dagar” och ibland ”dygn” men beräkningarna avser alltid hela 24-timmarsperioder (undantaget analysen av korttidsnederbörd som omfattar 30-minutersvärden).

Värdena som visas i kartorna beräknas utifrån de sexton klimatscenarierna för respektive ruta. Alla beräkningar baseras på de bearbetade klimatscenarierna som lagrats med upplösning 4 km × 4 km.

5.1 Temperatur

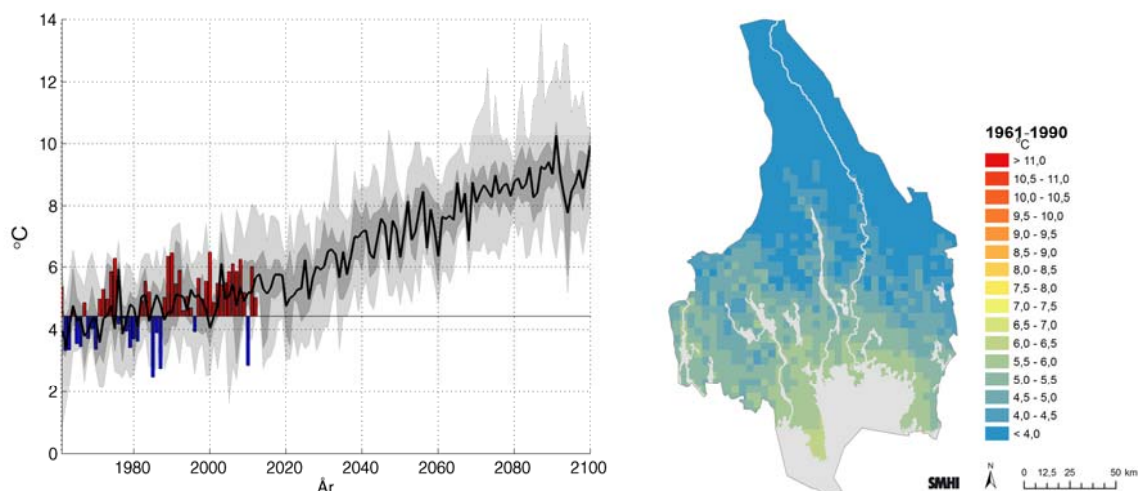
Statistik över dagens klimat för Värmlands län har sammanställts utifrån SMHIs areellt interpolerade databas PTHBV (Johansson, 2000; Johansson och Chen, 2003 och 2005). Databasen innehåller optimalt interpolerade observationer med en upplösning på 4 km x 4 km och med data från 1961 till och med 2012. Databasen uppdateras vartefter, med nya år. Databasen är beskriven i kap. 4.5.

5.1.1 Medeltemperatur för år och säsong

Årsmedeltemperaturen i Värmlands län för referensperioden 1961-1990 (30 år) baserad på PTHBV-databasen var 4,4°C. För perioden 1991-2012 (22 år) var medeltemperaturen för länet 5,3°C, dvs. 0,9°C varmare.

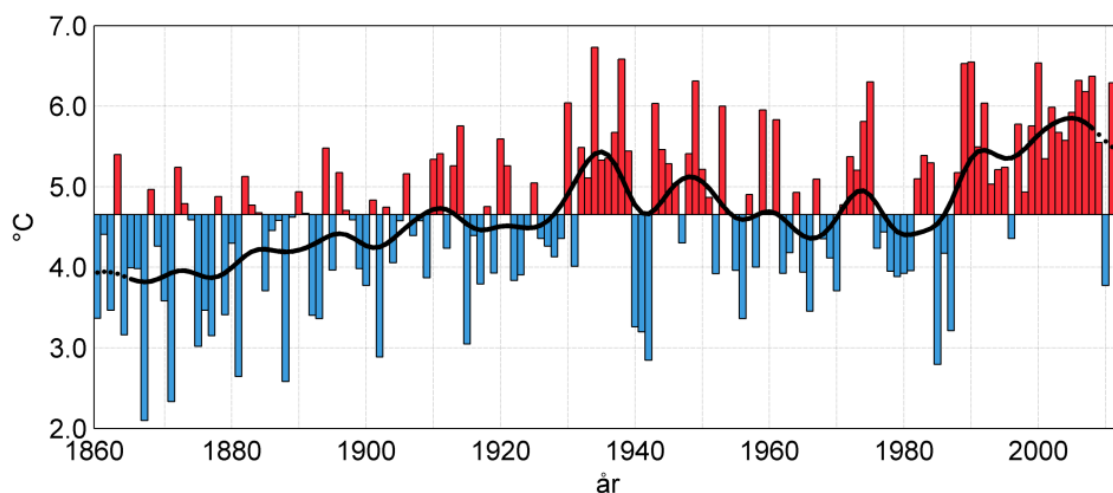
Den beräknade temperaturutvecklingen för Värmlands län baserat på samtliga klimatscenarier i tabell 4-1 framgår av figur 5.1-1. Årsmedeltemperaturen ökar successivt och når temperaturer i medeltal runt 9°C i slutet av seklet. Variationen mellan år är dock stor och spridningen visar att relativt kalla år kan förekomma de närmsta årtiondena. Årsmedeltemperaturer på ca 12°C såväl som ned mot 7°C kan förekomma i slutet på seklet om hänsyn tas till hela spännvidden som ges av de 12 klimatscenarierna. Kartan (figur 5.1-1) visar hur den observerade årsmedeltemperaturen varierar i länet.

I bilaga 1-5 visas alla kartor över årsmedeltemperaturen och säsongstemperaturen beräknad för tidsperioderna 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differensen för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990. De observerade värdena 1961-1990 och 1991-2010 visas också. Observerade och beräknade värden 1961-1990 visar mycket bra överensstämmelse för länet.



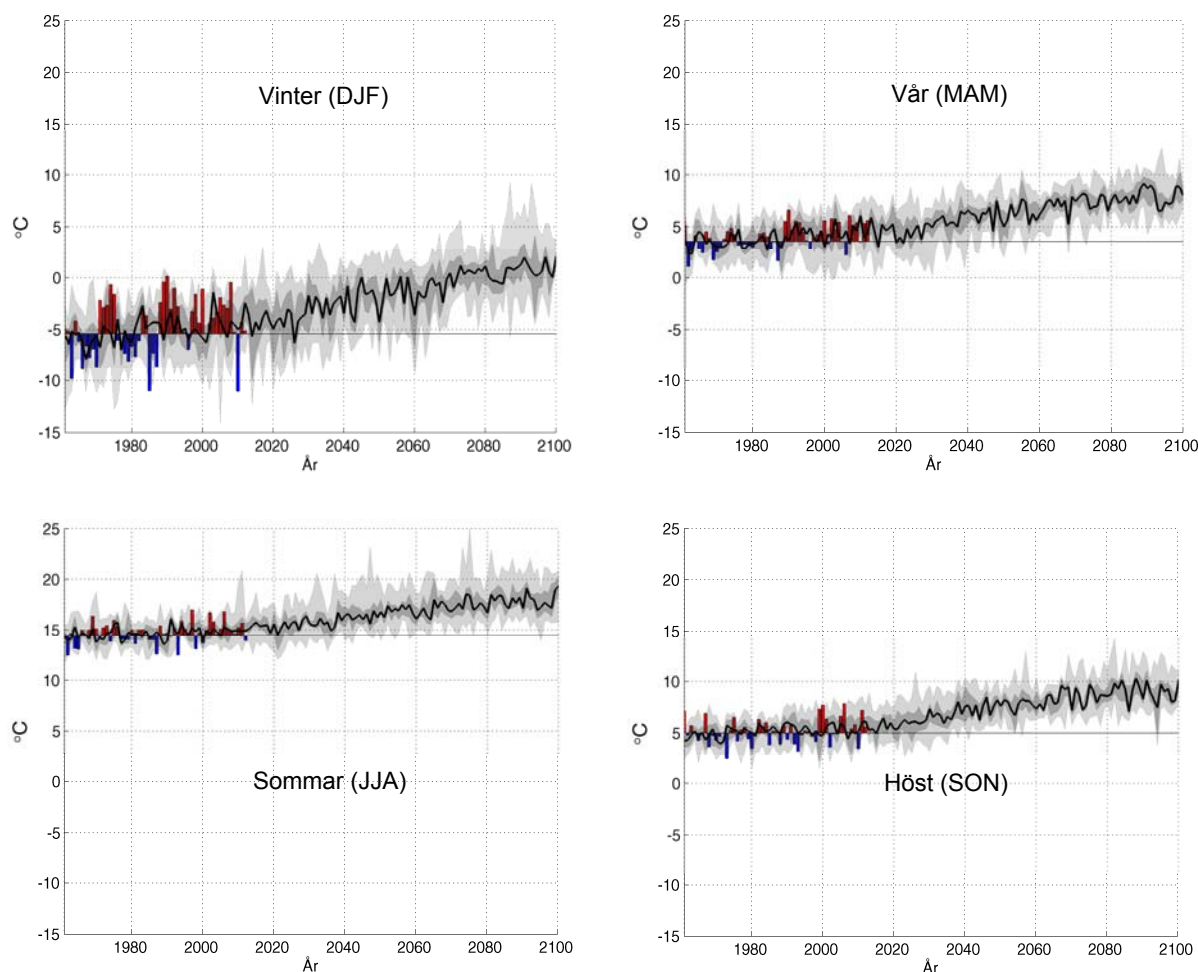
Figur 5.1-1. Beräknad utveckling av årsmedeltemperaturen i Värmland län baserat på samtliga klimatscenarier i tabell 4-1. Årsmedeltemperaturen 1961-1990 (4,4°C) visas som en horisontell linje. Observerade årsvärden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och observerade lägre årsvärden visas som blå staplar. De skuggade partierna avser maximivärdet, 75:e percentilen, 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Medianvärdena presenteras som svart linje. Kartan visar den observerade årsmedeltemperaturen 1961-1990 (°C).

Det finns inte tillgängliga temperaturdata för att kunna beräkna Värmlands årsmedeltemperatur för tidigare 30-årsperioder före 1960. Som jämförelse, för att belysa temperaturutvecklingen i ett längre perspektiv, visas här istället årsmedeltemperaturens utveckling i Sverige från 1860 fram till och med 2012, beräknad utifrån 37 stationer spridda över landet (figur 5.1-2). Fördelningen mellan varma och kalla år stämmer väl överens med Värmland (figur 5.1-1) för perioden 1961-2012 även om det skiljer i absoluta värden. Den senaste 20-årsperioden framstår även för hela Sverige som ovanligt varm.



Figur 5.1-2. Årsmedeltemperaturen i Sverige 1860-2012 (°C) baserat på 37 stationer spridda över landet. Röda staplar visar högre och blå staplar visar lägre temperaturer än medelvärdet för perioden 1961-1990. Den svarta kurvan visar ett utjämnat förlopp som ungefär motsvarar tio-åriga medelvärden. Källa: www.smhi.se/klimatdata

Det finns stora likheter mellan de globala och de svenska variationerna i temperaturen, t.ex. att slutet av 1800-talet var kallare än 1900-talet. Sedan 1988 har alla år utom 1996 och 2010 varit varmare eller mycket varmare än genomsnittet för 1961-1990, dvs. den nu gällande normalperioden. Eftersom Sverige bara utgör en liten del av jordytan framträder regionala variationer i en jämförelse med globala värden. Bland annat den varma perioden under 1930-1940-talen, inklusive åren med de kalla krigsvintrarna, som syns tydligt i våra data är inte alls så framträdande i globala data. Även det i Sverige kalla året 2010 är ett exempel på en regional avvikelse eftersom detta år globalt var ett av de varmaste.



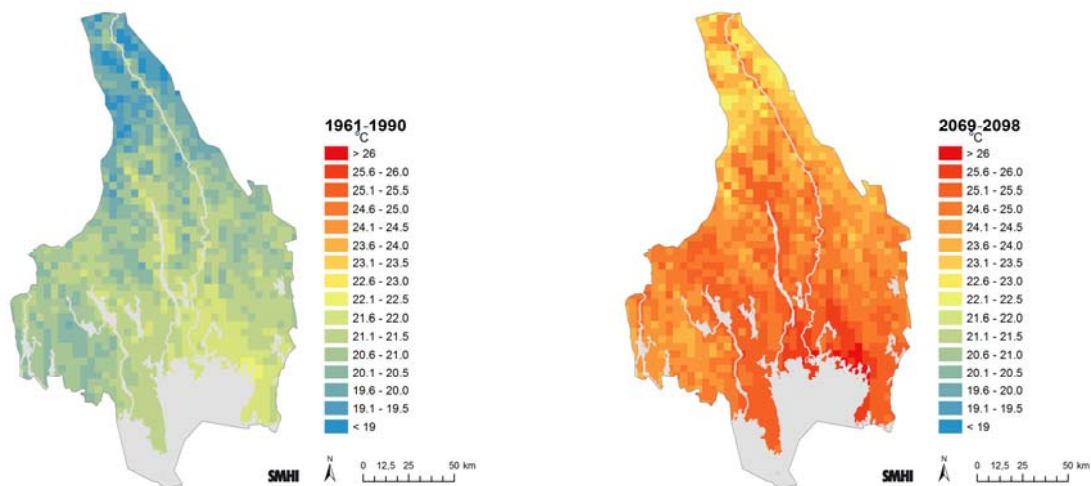
Figur 5.1-3. Den beräknade temperaturutvecklingen i Värmland län för de fyra årstiderna baserat på samtliga klimatscenarier. Årstiderna definieras enligt meteorologisk standard: månaderna december-februari = vinter, mars-maj = vår, juni-augusti = sommar och september-november = höst. Observerade värden, medianvärden, percentiler, min- och maxvärden visas i enlighet med figur 5.1-1

Temperaturutvecklingen för de fyra säsongerna visas i figur 5.1-3. Variationen i säsongstemperatur (1961-2012) mellan åren är störst för vintern (ca 11 grader). Medeltemperatur för referensperioden 1961-1990 är -5,4°C för vintern, 3,5°C för våren, 14,4°C för sommaren och 5,0°C för hösten. För samtliga säsonger syns en temperaturuppgång under seklet och den är mest framträdande för vintern.

I beräkningarna över framtidsklimatet, avseende årsmedeltemperaturer, kvarstår det regionala mönstret med varmare förhållanden längs Väner och svalare på de mer höglänta områdena i norr (se bilaga 1). Ett liknande mönster framträder även i säsongskartorna. Differenskartorna bekräftar att temperaturuppgången är störst för vintern, mot slutet av seklet sker en ökning med upp mot 6°C (se bilaga 2).

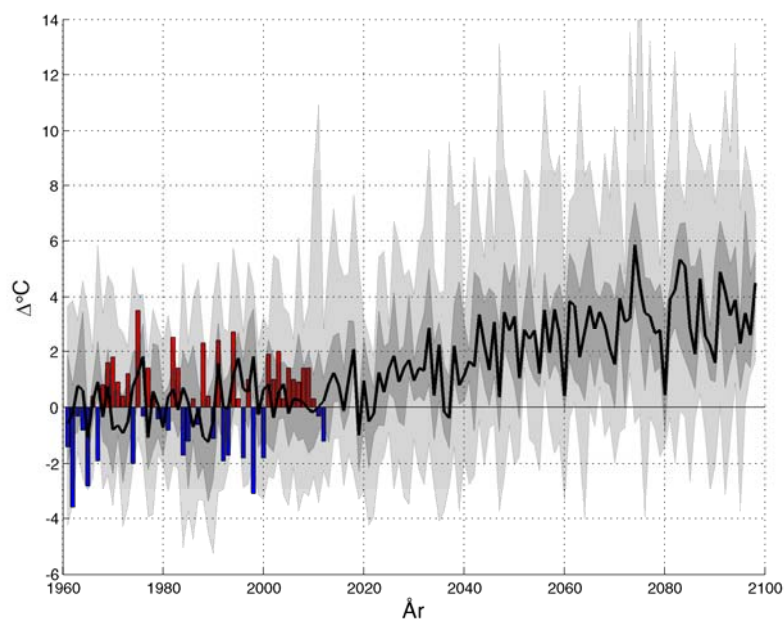
5.1.2 Varma perioder

Kartor över årets högsta dygnsmedeltemperatur finns i bilaga 6. Här visas två av dem (figur 5.1-4) Indexet är beräknat som ett medelvärde över 30 år och visar alltså inte extrema värden på dygnsmedeltemperatur. Under referensperioden var de högsta dygnsmedeltemperaturerna drygt 22 °C och förekom öster om Väner men också i älvdalarna. I framtidsberäkningarna för slutet på seklet uppnås dessa temperaturer även i de kallare, nordliga delarna av Värmland. För området kring Väner når medelvärdena av högsta dygnsmedeltemperatur uppemot 26°C. Observerade och beräknade värden för 1961-1990 stämmer väl överens.



Figur 5.1-4. 30-årsmedelvärden av högsta dygnsmedeltemperatur (°C), observerad för 1961-1990 (vänster karta) och beräknad för 2069-2098 (höger karta).

Årets högsta (maximala) dygnsmedeltemperatur för hela Värmland är i medeltal 20,8 °C för referensperioden 1961-1990. Under perioden 1961-2012 varierade de maximala årsvärdena mellan drygt 17 °C och 24°C. Med den allmänna temperaturhöjningen under 2000-talet ökar även den maximala dygnsmedeltemperaturen för Värmland och i slutet på seklet är ökningen i medeltal ca 3 grader. Det betyder att den maximala dygnsmedeltemperaturen per år då blir i genomsnitt ca 24 °C (figur 5.1-5). Det är värt att notera att spridningen i indexet är stort mellan enskilda år, vilket inte beskrivs av medelökningen.



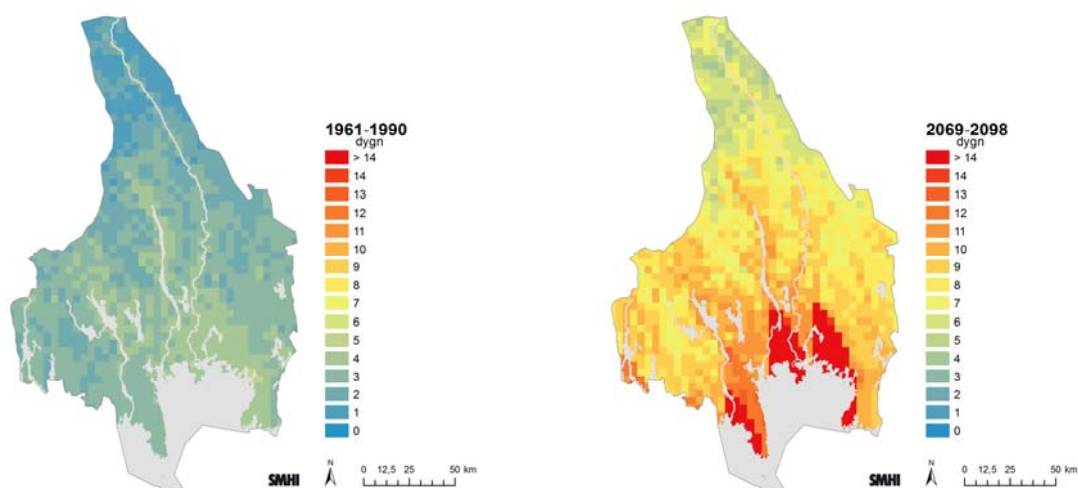
Figur 5.1-5. Utvecklingen av årets högsta (maximala) dygnsmedeltemperaturen (°C) för Värmlands län i relation till medelvärdet för 1961-1990 (20,8 °C). Observerade värden som är större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och de värden som är lägre visas som blå staplar. De skuggade partierna avser maximivärdet, 75:e percentilen, 25:e percentilen och minimivärdet från samtliga klimatberäkningar. Medianvärden presenteras som svart linje.

Varma perioder kan definieras på olika sätt, utifrån dygnsmedeltemperatur eller dygnets högsta temperatur. Ofta används begreppet värmebölja, som är ett vagt begrepp för en längre period med, för aktuell plats, varma förhållanden. Det finns ingen allmänt vedertagen gemensam definition för värmebölja. SMHI har sammanställt ett faktablad över värmeböljor där även olika definitioner

omnämns (SMHI, faktablad nr 49, 2011). WMO (World Meteorological Organization) definierar värmebölja som ”över fem dagar i sträck med högsta dagstemperatur mer än 5°C över den för årstiden normala under perioden 1961-1990.” I Sverige definierar SMHI värmebölja som ”en sammanhängande period då dygnets högsta temperatur överstiger 25°C minst fem dagar i sträck.” Enligt denna definition råder alltså inte värmebölja under vintrar med ovanligt höga vintertemperaturer. Yrkes- och miljömedicin vid Umeå universitet anger värmebölja som då dygnsmedeltemperaturer på 22-23°C eller däröver råder i minst 2 dygn. Socialstyrelsen har i en redovisning till regeringen angett värmebölja som ”veckor med en observerad medeltemperatur över den förväntade medeltemperaturen.” Det finns alltså olika definitioner och de är, ur ett klimatologiskt perspektiv, mer eller mindre diffusa. Flera länder har olika värmeindex som även används i väderrapporteringen. I Sverige har SMHI börjat utfärda värmevarningar vid behov. Det testades sommaren 2012 för första gången men sommaren var kall och endast ett tillfälle inträffade, vilket systemet fångade. Försöken återupptogs sommaren 2013. Inga varningar för kraftig värme utfärdades då, däremot ett antal meddelanden vilka var knutna till två distinkta perioder med värme: en i slutet av maj respektive en annan, lite längre period under senare delen av juli.

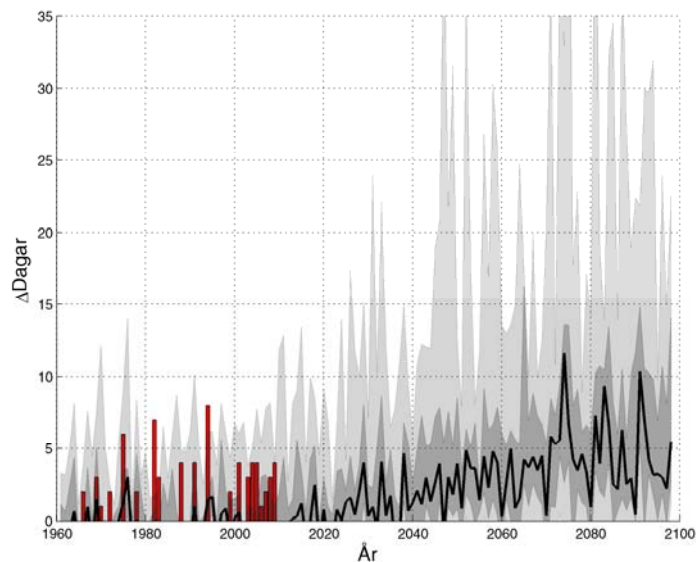
I ett internationellt perspektiv uppfattas värmeböljor väldigt olika, till viss del beroende på fysionomi men också på inlärt beteende. Sverige är ett förhållandevis kallt land och mer anpassat för kalla förhållanden än för varma förhållanden. Hur stora konsekvenser värmeböljor får beror på samhällets förmåga till fysiska anpassningsåtgärder men också på människors beteenden. Forskare på Umeå universitet har vid hälsostudier funnit effekter av värme redan vid så pass låg medeltemperatur som 22°C i Sverige.

I denna analys används antal sammanhängande dygn per år med medeltemperatur över 20°C som ett mått på varma perioder för att analysera hur framtidens klimat ter sig i jämförelse med dagens klimat avseende värme. Här presenteras de observerade värdena för perioderna 1961-1990 och beräknade för 2069-2098 (figur 5.1-6). Övriga kartor återfinns i bilaga 7. I dagens klimat förekommer endast ett fåtal varma dagar enligt ovanstående definition varje år. Perioden 2021-2050 visar upp mot 9 dagar för de sydliga delarna av länet men för de nordliga delarna är det fortfarande endast ett fåtal dagar (bilaga 7). För perioden 2069-2098 kan ses att större delen av länet beräknas få upp mot 9 varma dagar i sträck i medeltal och längs Vänern uppemot 14 dagar.



Figur 5.1-6. Antal sammanhängande dygn per år med dygnsmedeltemperatur >20°C, observerat för 1961-1990 (vänster karta) och beräknat för 2069-2098 (höger karta). Värdena avser 30-årsmedelvärden.

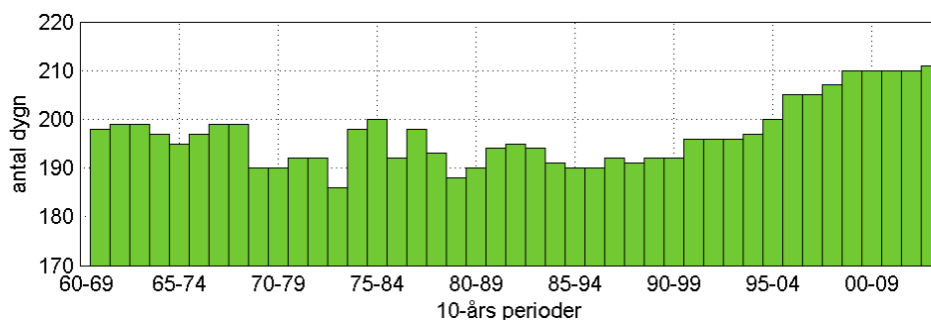
I figur 5.1-7 kan ses att antalet dagar ökar och att variationen mellan scenarierna är stor mot slutet av seklet. Det är värt att påpeka att kartorna representerar medelvärden över 30 år. När värmeböljor inträffar kan de vara avsevärt längre än medelvärdet, vilket kan ses i figur 5.1-7.



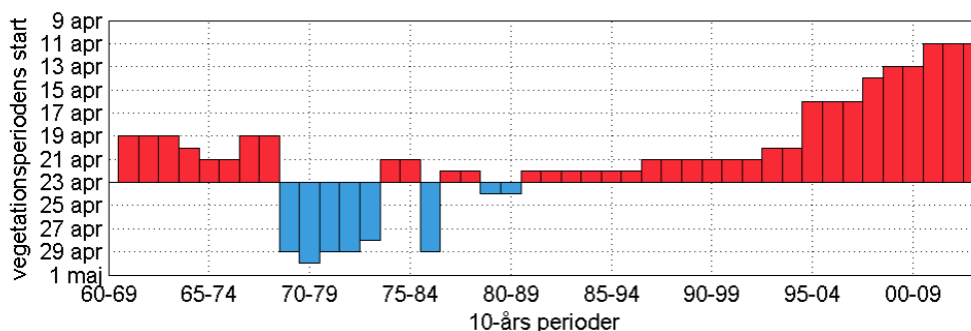
Figur 5.1-7 Maximalt antal sammanhängande dygn med dygnsmedeltemperatur över 20°C. Medelvärde för 1961-1990 är 2 dygn. Observerade värden, medianvärden, percentiler, min- och maxvärden visas i enlighet med figur 5.1-1.

5.1.3 Vegetationsperiod

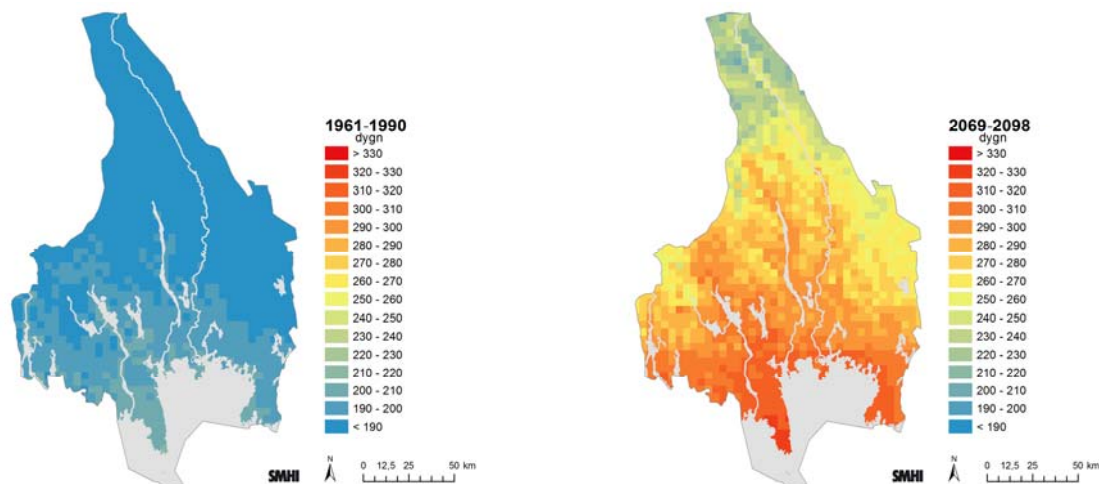
För norra Sverige har vegetationsperiodens längd ökat med ungefär två veckor under de senaste 40 åren (www.smhi.se/klimat). Även i södra Sverige har längden av vegetationsperioden ökat, men inte lika mycket. I södra Sverige är ökningen dessutom i huvudsak koncentrerad till det senaste årtiondet (figur 5.1-8). Ökningen beror främst på en tidigare starttidpunkt vilket ses i figur 5.1-9. Södra Sverige definieras här som Götaland och södra Svealand.



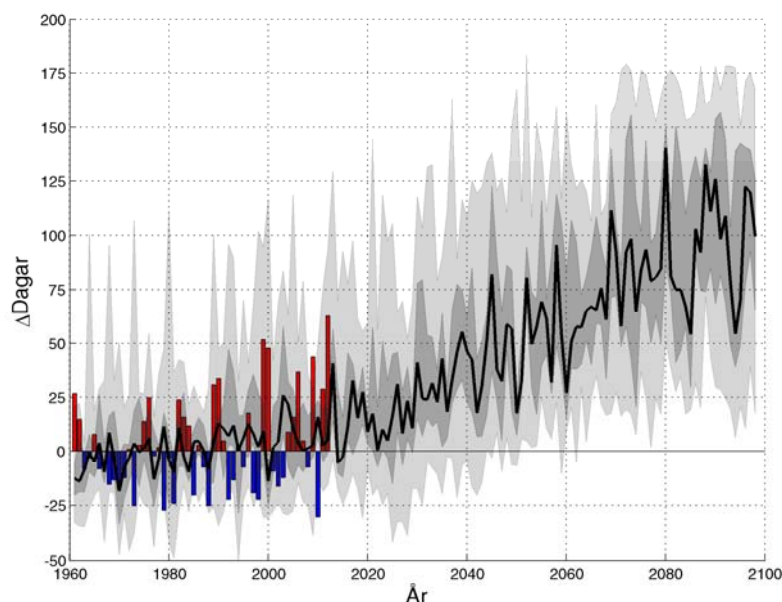
Figur 5.1-8 Den observerade vegetationsperiodens längd (antal dagar) 1961-2012 för södra Sverige baserat på data från 20 stationer i Götaland och södra Svealand. Tröskelvärdet är 5°C. Staplarna visar löpande 10-årsmedelvärden så att den första stapeln avser 1961-1970, den andra stapeln 1962-1971 osv. Källa: www.smi.se/klimat



Figur 5.1-9. Den observerade vegetationsperiodens start för södra Sverige, i enlighet med föregående figur. Röda och blåa staplar visar en tidigare respektive senare start än det genomsnittliga startdatumet för perioden 1961-1990. Källa: www.smhi.se/klimat



Figur 5.1-10. Vegetationsperiodens längd med tröskelvärde 5°C (antal dygn per år), observerat för 1961-1990 (vänster karta) och beräknat för 2069-2098 (höger karta). Värdena avser 30-årsmedelvärden.

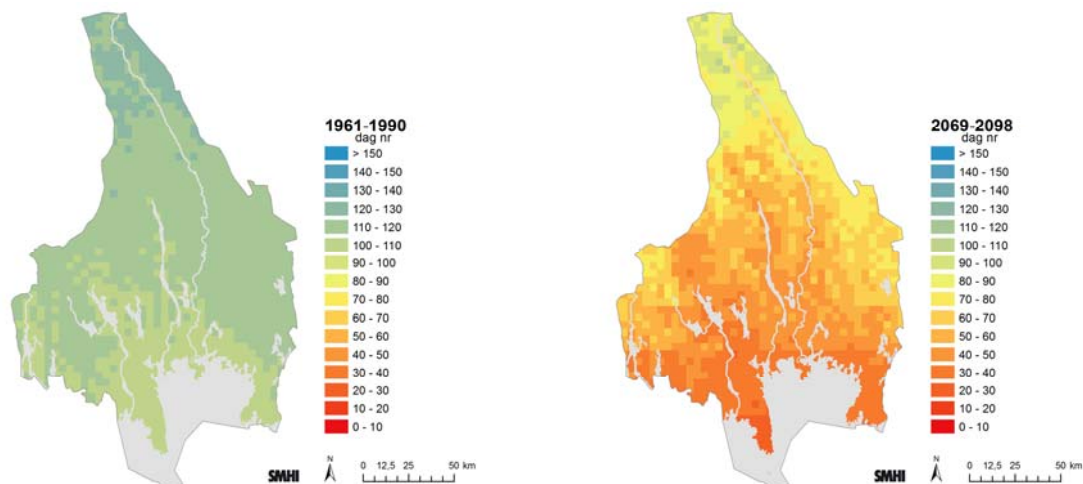


Figur 5.1-11. Vegetationsperiodens längd beräknad för Värmlands län 1961-2100, uttryckt som avvikelse från medelvärdet för 1961-1990 (181 dagar). Observerade värden, medianvärden, percentiler, min- och maxvärden visas i enlighet med figur 5.1-1.

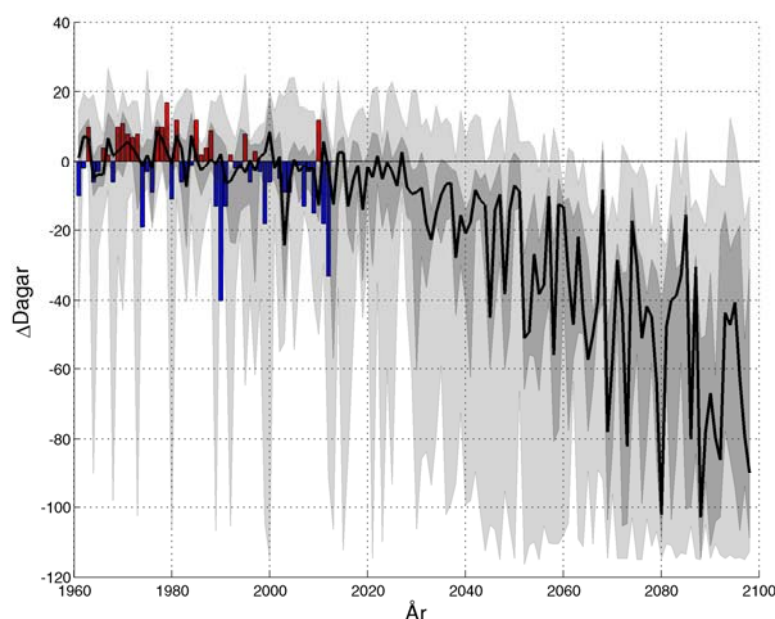
Enligt beräkningarna för Värmlands län ökar vegetationsperioden så att den i slutet av seklet når uppåt 320 dagar för områdena kring Vänern. För norra delen av länet ser vegetationsperioden ut att öka till ca 210 dagar (figur 5.1-10).

Vegetationsperiodens längd för länet som helhet är 181 dagar (tröskelvärde 5°) under referensperioden 1961-1990. Variationen mellan år är dock stor, från ca 150 till 220 dagar. Ökningen av vegetationsperiod är i beräkningarna stor och mot slutet av seklet uppgår den till ca 100 dagar i jämförelse med referensperioden (figur 5.1-11).

Medelvärdet för vegetationsperiodens start är dagnummer 116 (dvs. 26 april) för referensperioden 1961-1990. Enligt observationerna så varierar starttidpunkten kraftigt mellan åren. Redan idag kan starttidpunkten infalla tidigt på året och beräkningarna visar att en tidig start på vegetationsperioden blir alltmer vanligt. Vid slutet av seklet beräknas den i medeltal infalla ca 2 månader tidigare än för referensperioden (figur 5.1-12 och 5.1-13).



Figur 5.1-12. Vegetationsperiodens start (dagnummer) observerat för 1961-1990 (vänster karta) och beräknat för 2069-2098 (höger karta). Värdena avser 30-årsmedelvärden.

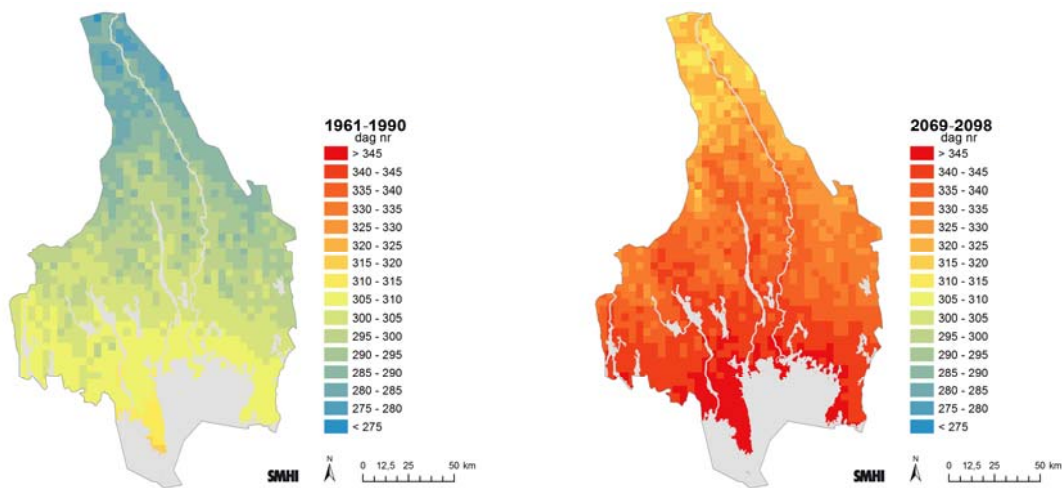


Figur 5.1-13. Vegetationsperiodens starttidpunkt beräknad för Värmland län 1961-2100, uttryckt som avvikelse från medelvärdet för 1961-1990 (dagnummer 116). Observerade värden, medianvärden, percentiler, min- och maxvärden visas i enlighet med figur 5.1-1.

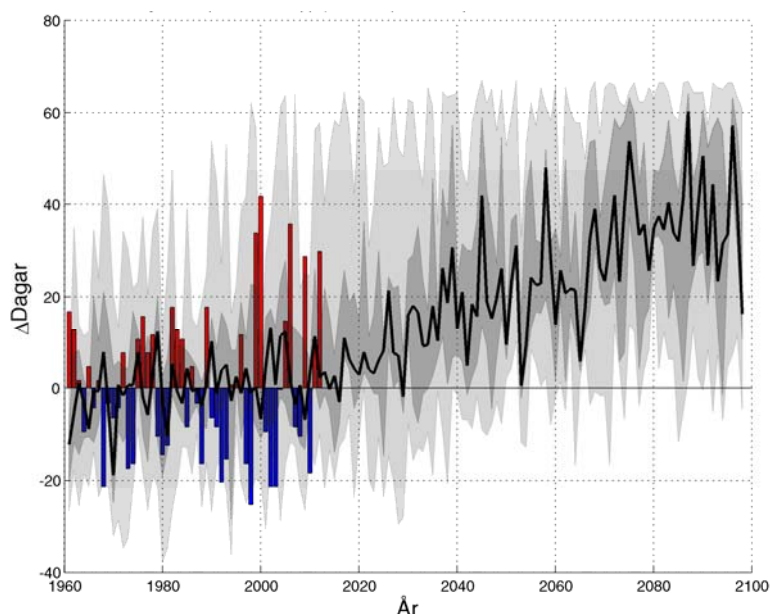
Vegetationsperiodens sluttidpunkt är i medeltal dagnummer 297 (dvs 24 oktober) för referensperioden 1961-1990. Enligt beräkningarna slutar vegetationsperioden allt senare på året och vid slutet av seklet är förändringen i medeltal ca 40 dagar. Det innebär att växtsäsongen pågår till början av december.

Förändringen i vegetationsperiod är alltså störst avseende starttidpunkten. I bilaga 9-10 finns kartor över vegetationsperiodens start- och sluttidpunkt beräknad för tidsperioderna 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098. Observerade värden finns för 1961-1990.

I bilaga 9-10 finns kartor över vegetationsperiodens start- och sluttidpunkt beräknad för tidsperioderna 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098. Observerade värden finns för 1961-1990.



Figur 5.1-14. Vegetationsperiodens slut (dagnummer) observerat för 1961-1990 (vänster karta) och beräknat för 2069-2098 (höger karta). Värdena avser 30-årsmedelvärden.



Figur 5.1-15. Vegetationsperiodens sluttidpunkt beräknad för Värmland län 1961-2100, uttryckt som avvikelse från medelvärdet för 1961-1990 (dagnummer 297). Observerade värden, medianvärden, percentiler, min- och maxvärden visas i enlighet med figur 5.1-1.

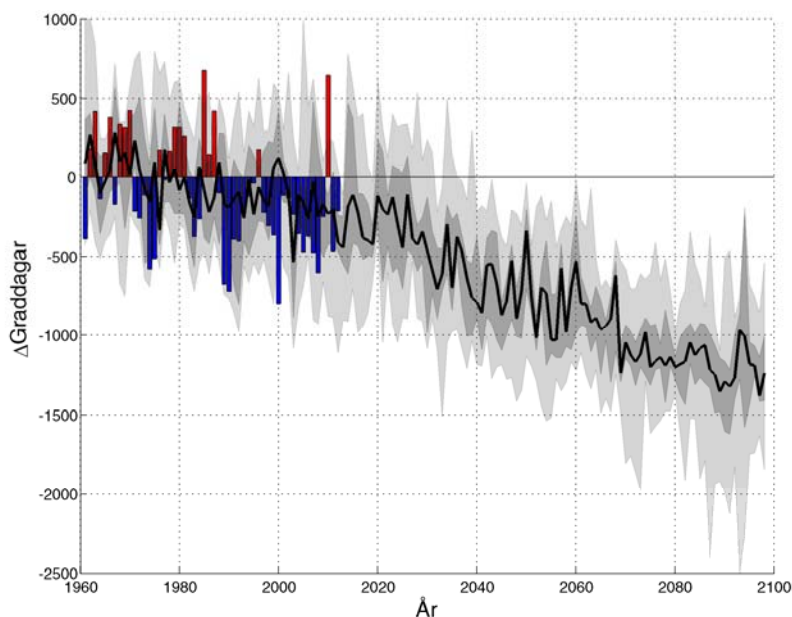
5.1.4 Behov av uppvärmning och kylning

För att beskriva behovet av uppvärmning och kylning används vanligen begreppet graddagar. Måttet baseras på att byggnaders värmesystem ska värma upp byggnader till 17°C. Resterande energibehov antas tillkomma från solinstrålning samt från värme alstrad av personer och elektrisk utrustning i byggnaderna. Beräkningen av graddagar görs så att för de dagar då dygnsmedeltemperaturen underskrider 17°C beräknas skillnaden mellan dagens temperatur och 17°C. Dessa skillnader summeras sedan över året. En dag då medeltemperaturen t.ex. varit 6°C bidrar med 11 graddagar till årssumman (dvs. 17-6 multiplicerat med 1 dag = 11), vilket är den dagens behov av uppvärmning. Under vår, sommar och höst har solinstrålningen särskilt stor betydelse och för dessa säsonger väljs därför andra tröskelvärden; april 12°C, maj-juli 10°C, augusti 11°C, september 12°C, oktober 13°C.

I figur 5.1-16 visas den beräknade utvecklingen för länet som helhet. Perioden 1991-2012 visar en tydlig minskning av uppvärmningsbehovet, som också stämmer väl med beräkningarna.

Referensperiodens medelvärde var 3765 graddagar och i slutet av seklet sker en minskning med ca 1200 graddagar. Behovet av uppvärmning minskar alltså med ungefär en tredjedel av dagens behov.

I bilaga 11 presenteras kartor över graddagar för uppvärmning med tröskelvärde 17°C. Antalet graddagar för uppvärmning varierar över länet och följer ganska väl topografin med störst behov på höglänta områden. En minskning kan ses med tiden i framtidsberäkningarna, från ca 3200-4500 graddagar 1961-1990 till ca 2500-3500 graddagar mot slutet av seklet.

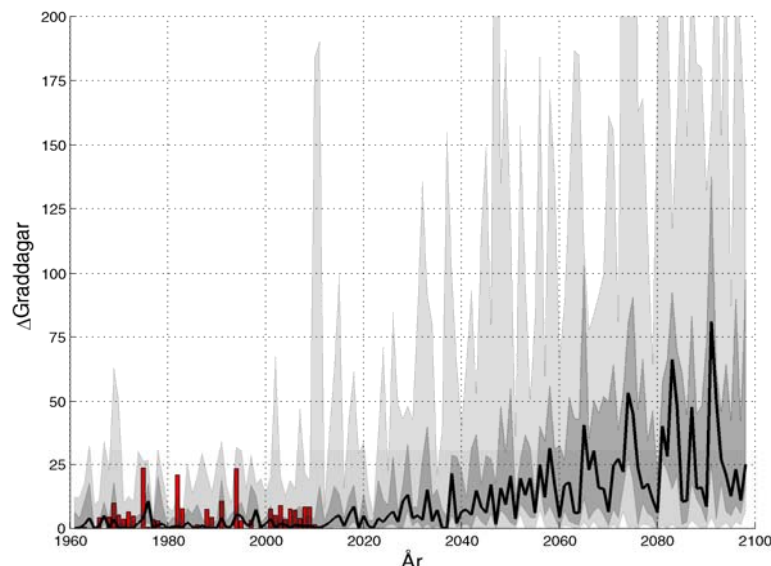


Figur 5.1.-16. Utvecklingen av beräknat antal graddagar för uppvärmning under året för perioden 1961-2098 relativt referensperiodens medelvärde. För referensperioden 1961-1990 är antalet graddagar 3765. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och observerade lägre värden visas som blå staplar. De skuggade partierna avser maximivärdet, 75:e percentilen, 25:e percentilen och minimivärdet från samtliga klimatberäkningar. Medianvärdena presenteras som svart linje. Diagrammet avser Värmlands län.

För att beräkna behovet av kylning görs en liknande beräkning som för uppvärmningsbehovet. De dagar då dygnsmedeltemperaturen är större än 20°C bidrar med överskottet (dygnsmedeltemperaturen minus 20°C) till antalet graddagar. Dessa summeras sedan över året på samma sätt som för uppvärmningsbehovet.

I bilaga 12 presenteras kartor över graddagar för kylning (°C × dygn) med tröskelvärde 20°C. Behovet av kylning är i dagens klimat vanligtvis litet i Värmland, liksom för övriga Sverige. Det framgår också av kartorna för 1961-1990 (bilaga 12) både för observerade och beräknade värden. Det framtida klimatet uppvisar en ökning av antalet graddagar för kylning över länet på mellan 30 och 80 graddagar vid slutet på seklet. Variationen inom länet är ganska stor och området i närheten av Väneren visar på flest graddagar. Dock visar antalet graddagar för kylning små siffror i jämförelse med uppvärmningsbehovet, även i slutet på seklet.

I figur 5.1-17 visas den beräknade utvecklingen för länet som helhet. Under referensperioden 1961-1990 var medelvärdet ca 4 graddagar per år. Mot slutet av seklet är spridningen av resultaten stor men medianvärdena visar en ökning i storleksordningen runt 40 graddagar.



Figur 5.1-17. Beräknat antal graddagar för kylning överstigande 20°C, 1961-2098. Observerade värden visas som röda staplar. De skuggade partierna avser maximivärdet, 75:e percentilen, 25:e percentilen och minimivärdet från samtliga klimatberäkningar. Medianvärdena presenteras som svart linje. Medelvärde för referensperioden 1961-1990 är 3,8 graddagar.

5.2 Nederbörd

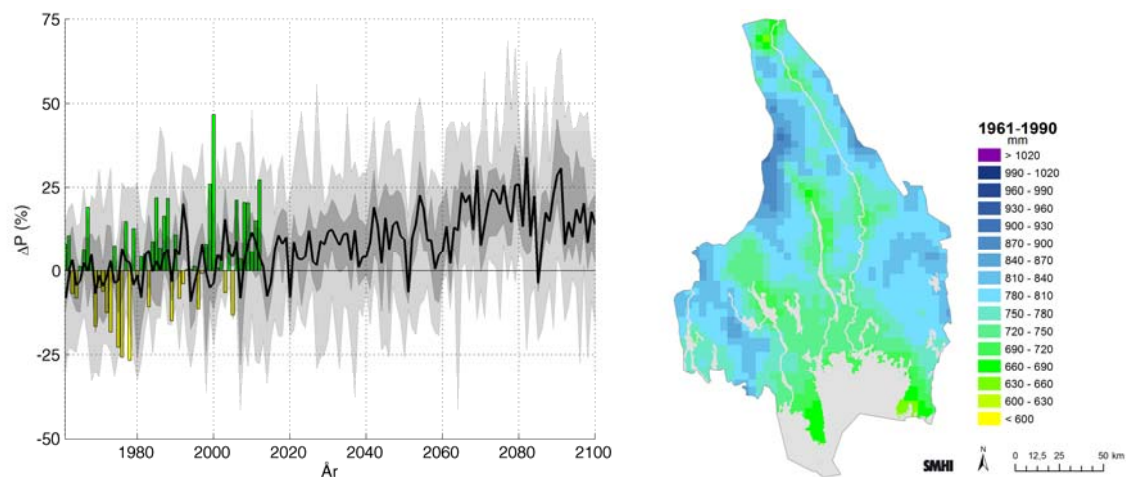
Statistik över dagens klimat för Värmland län har sammanställts utifrån SMHIs areellt interpolerade databas PTHBV (Johansson, 2000; Johansson och Chen, 2003 och 2005). Databasen innehåller optimalt interpolerade observationer med en upplösning på 4 km × 4 km och med data från 1961.

5.2.1 Medelnederbörd för år och säsong

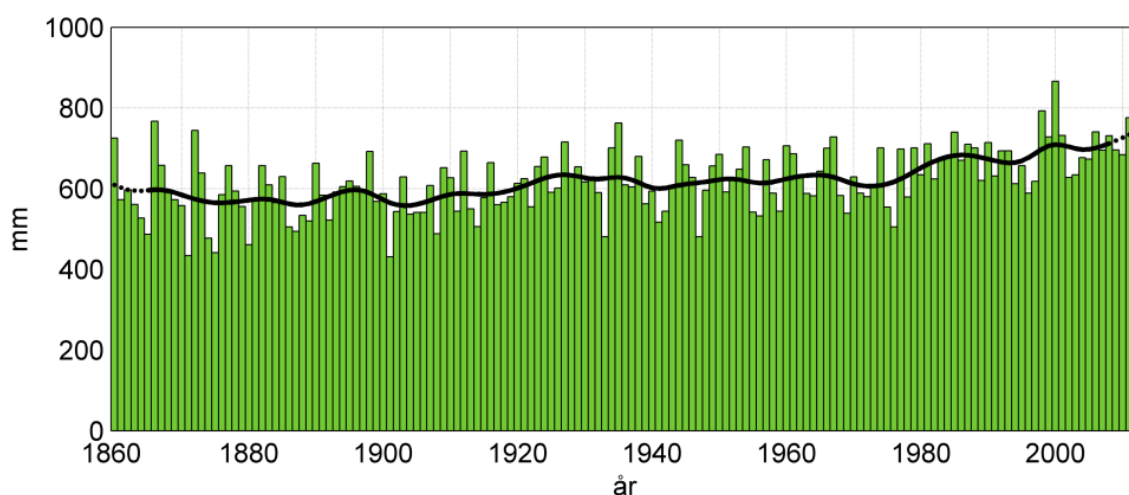
Årsmedelnederbörden i Värmlands län för referensperioden 1961-1990 (30 år) baserad på PTHBV-databasen var 764 mm. För perioden 1991-2012 (22 år) var årsmedelnederbörden för länet 822 mm, dvs. en ökning på nästan 8%.

Den beräknade utvecklingen för årsnederbörd i Värmland baserat på samtliga klimatscenarier i tabell 4-1 framgår av figur 5.2-1. Årsmedelnederbörden ökar successivt om än med stor variation mellan åren. I slutet av seklet ligger medianvärdet för årsmedelnederbörden på ca +20 %, i relation till referensperioden.

Kartan (figur 5.2-1) visar hur den observerade årsmedelnederbörden varierade över länet under referensperioden med lägre årsmedelnederbörd kring Vänern och längs vattendragen. Detta mönster är starkt relaterat till topografin (jämför med figur 3-1).



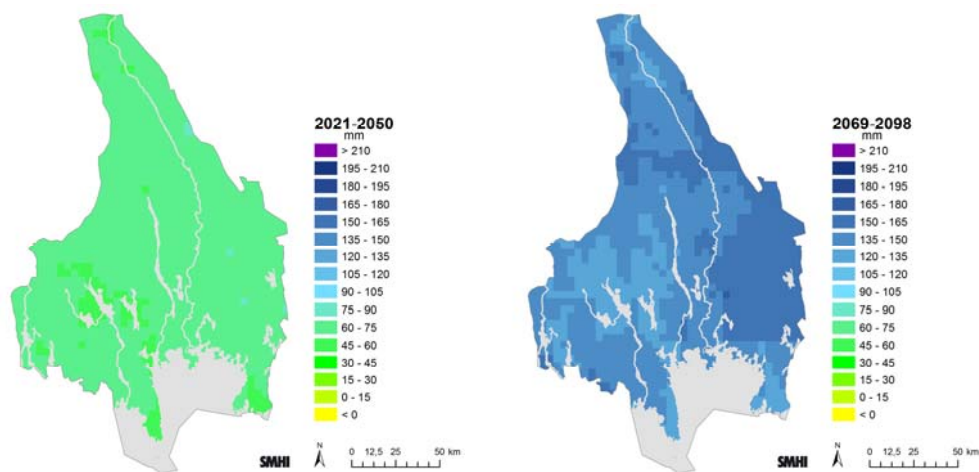
Figur 5.2-1. Beräknad utveckling av årsmedelnederbörden i Värmlands län baserat på samtliga klimatscenarier i tabell 4-1 och uttryckt som avvikelse (%) från medelvärdet för 1961-1990 (764 mm). Observerade värden presenteras som gröna staplar då de överstiger referensperiodens medelvärde och som gula staplar då de understiger medelvärdet. De skuggade partierna avser maximivärdet, 75:e percentilen, 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedelnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Medianvärdena presenteras som svart linje. Kartan visar den observerade årsmedelnederbörden 1961-1990 (mm).



Figur 5.2-2. Årsmedelnederbörd för Sverige 1860-2012, baserad på 87 stationer. Den svarta kurvan visar ungefär ett tio-årigt löpande medelvärde. Källa: www.smhi.se/klimatdata

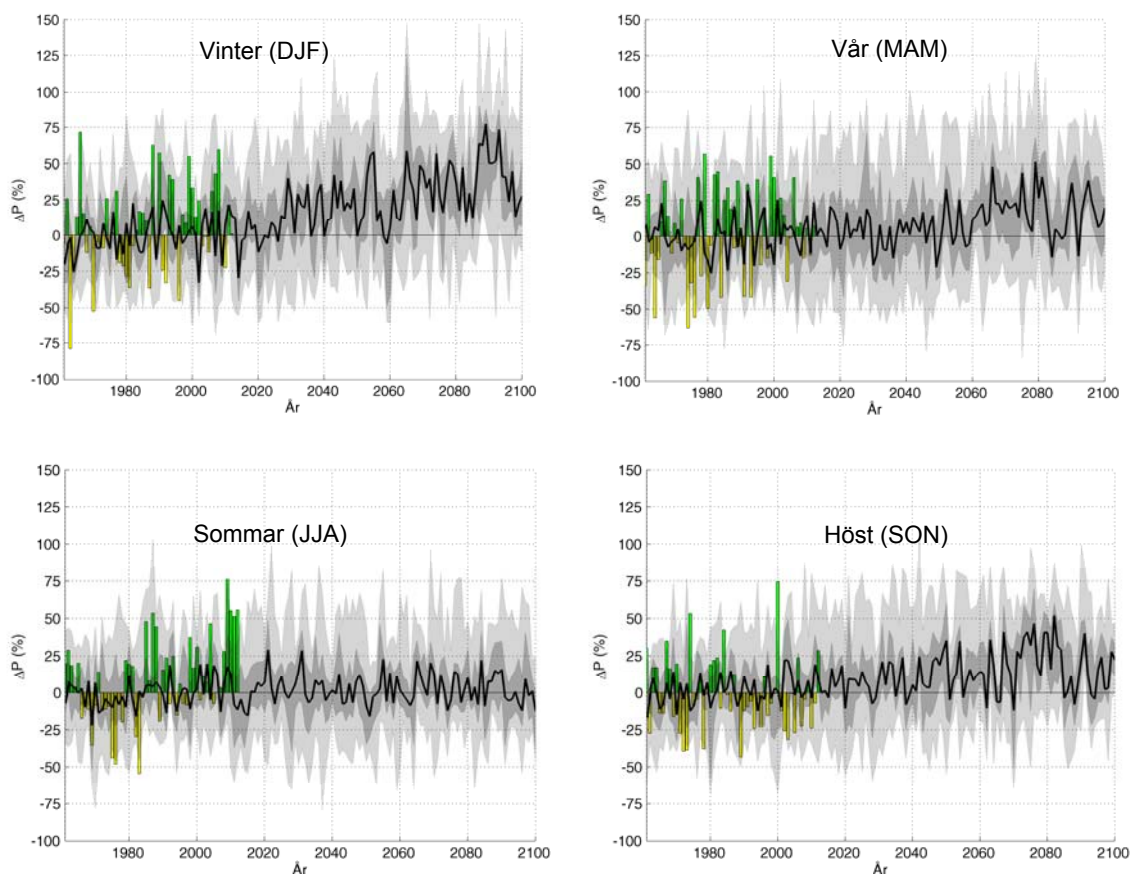
Det finns inte tillgängliga nederbördsdata för Värmlands län för att kunna beskriva tidigare 30-årsperioder före 1960. Som jämförelse över nederbördens utveckling visas här istället årsmedelnederbörden för Sverige som helhet (figur 5.2-2). Beräkningarna är baserade på 87 stationer spridda i landet. De utjämnade värdena (svarta linjen i diagrammet) visar att medelnederbörden var lägre än 600 mm fram till omkring 1920. Under perioden 1920 fram till ungefär 1980 låg nederbörden i genomsnitt på 600 mm. Därefter har nederbörden ökat och det är sällsynt med värden under 600 mm. För referensperioden 1961-1990 var årsnederbörden knappt 4% större jämfört med perioden 1931-1960.

I bilagorna 13-17 visas kartor över årsmedelnederbörd och säsongsnederbörd beräknad för tidsperioderna 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differensen för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990. De observerade värdena 1961-1990 och 1991-2010 visas också. Observerade och beräknade värden 1961-1990 visar mycket god överensstämmelse för länet.



Figur 5.2-3. Förändring i årsmedelnederbörd (mm) jämfört med 1961-1990 beräknat för 2021-2050 (vänster) och 2069-2098 (höger).

I figur 5.2-3 visas förändringen i nederbörd jämfört med referensperioden fram till mitten (2021-2050) och slutet (2069-2098) av seklet. Ökningen är störst i länets östra del och beräknas i slutet av seklet till upp mot 150 mm.



Figur 5.2-4. Beräknad nederbördsutveckling för de fyra årstiderna i Värmlands län baserat på samtliga klimatscenarier i tabell 4-1. Årstiderna definieras enligt meteorologisk standard: månaderna december-februari = vinter, mars-maj = vår, juni-augusti = sommar och september-november = höst. Observerade värden presenteras som gröna staplar då de överstiger referensperiodens medelvärde och som gula staplar då de understiger medelvärdet. De skuggade partierna avser maximivärdet, 75:e percentilen, 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedelnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Medianvärdena presenteras som svart linje.

Nederbördsutvecklingen för de fyra säsongerna visas i figur 5.2-4. Medelnederbörd för referensperioden 1961-1990 är 150 mm för vintern, 142 mm för våren, 230 mm för sommaren och 242 mm för hösten.

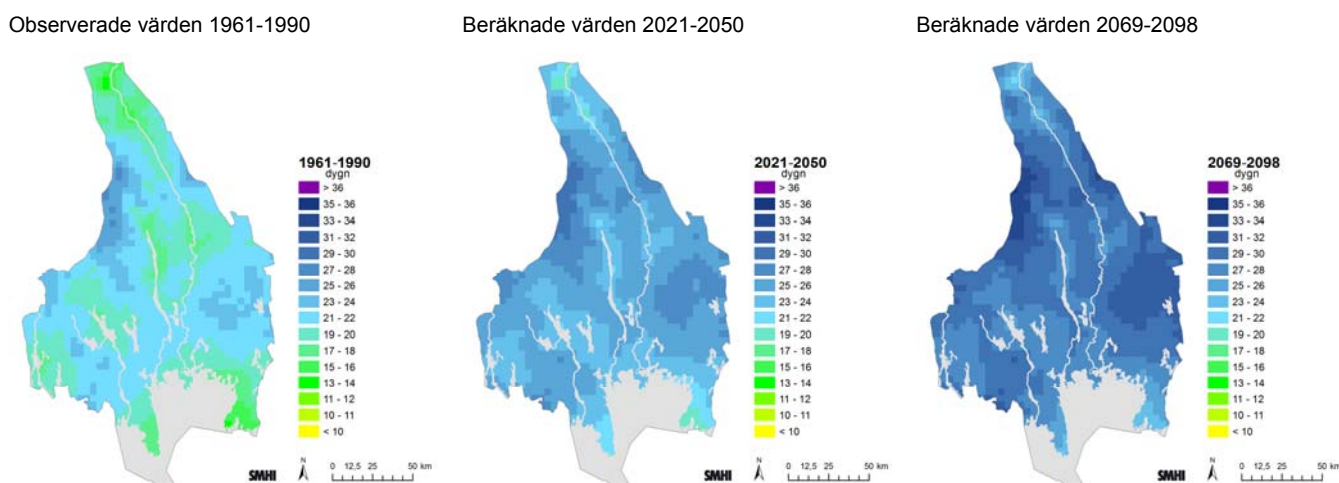
Vintern visar den tydligaste framtida nederbördsökningen men även för höst och vår ökar nederbörden (se även kartorna i bilaga 14-17). För vintern pekar medianvärdena på en ökning med uppåt 40% mot slutet av århundradet jämfört med referensperioden. För sommaren pekar inte klimatscenarierna på någon generell framtida ökning av nederbörden.

I de analyser SMHI gjort tidigare för olika län i södra Sverige har bilden varit tydlig av att perioden 1991-2012 varit blötare än referensperioden, vilket framförallt märkts i medelnederbörden för sommaren men också för våren. För Värmlands län ses ökningen tydligast för sommaren perioden 1991-2012. Observeras bör dock att perioden enbart är 22 år dvs. kortare än referensperioden. Det är också ett exempel på den mycket stora variation som finns i klimatet och då speciellt vad gäller nederbörden i denna del av världen. Variationen mellan år kommer fortsatt att vara stor men för sommarens del pekar klimatscenarierna inte på en generell framtida ökning av medelnederbörden.

5.2.2 Kraftig nederbörd

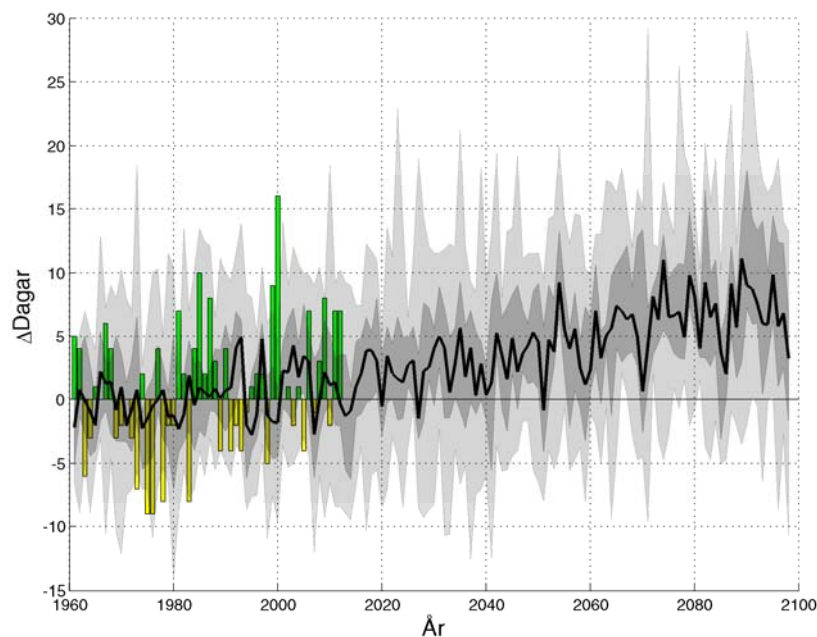
Kraftig nederbörd kan definieras på olika sätt. Som mått på kraftig nederbörd har här valts antal dagar per år med nederbörd över 10 mm, största 1-dygnsnederbörd och största 7-dygnsnederbörd. Dag med nederbörd över 10 mm betyder i beräkningarna att nederbörden är jämnt fördelad över området (gridruta 4 km × 4 km). Det kan i verkligheten betyda kraftiga skurar i delar av området. Största 1-dygnsnederbörd är ett mått på maximal nederbörd under 1 dygn. Höga värden ger risk för lokala översvämningar i källare, på vägar och av dräneringssystem. Maximal nederbörd under 7 dygn (7-dygnsnederbörd) kan ses som ett mått på risk för översvämmande vattendrag, eftersom mycket regn under lång tid fyller system dvs. mark och vattendrag. Det är givetvis generaliserade mått att relatera till översvämningsrisker eftersom lokala förhållanden spelar stor roll liksom den aktuella hydrologiska situationen vid varje tillfälle.

I bilaga 18 visas antal dagar per år med nederbörd över 10 mm. Kartor finns som medelvärden för 30-årsperioderna 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 tillsammans med differenskartor för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990. Observerade värden för 1961-1990 och 1991-2010 visas också. Här visas tre av kartorna från bilaga 18 (figur 5.2-5).



Figur 5.2-5. 30-årsmedelvärden av antal dygn per år med nederbörd över 10 mm. Observerade värden för perioderna 1961-1990 (vänster) och beräknade medelvärden för 2021-2050 (mitten) respektive 2069-2098 (höger).

Beräkningarna visar en successiv ökning av antalet dygn och i slutet av seklet ligger ökningen på ca 7 dygn per år enligt medianvärdena (se differenskarta i bilaga 18 och figur 5.2-6). Den topografiskt dominerade skillnaden i årsmedelnederbörd över länet, kommenterad i kapitel 5.2.1, ses även för den kraftiga nederbörden. De kraftiga regnen är alltså mer förekommande i höglänt terräng. Detta mönster kvarstår i framtiden enligt beräkningarna.



Figur 5.2-6. Antal dagar med nederbörd över 10 mm beskrivet som avvikelse från medelvärdet för perioden 1961-1990 (18 dagar). Observerade värden, medianvärden, percentiler, min- och maxvärden visas i enlighet med figur 5.2-1.

I bilaga 19 och 20 visas två klimatindex av kraftig nederbörd; största 1-dygnsnederbörd och största 7-dygnsnederbörd. Medelvärden för de årshögsta värdena över 30-årsperioderna 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 visas tillsammans med observationer för perioderna 1961-1990. I figur 5.2-7 visas de observerade respektive beräknade medianvärdena för 1961-1990 och 2069-2098 för de två indexen.

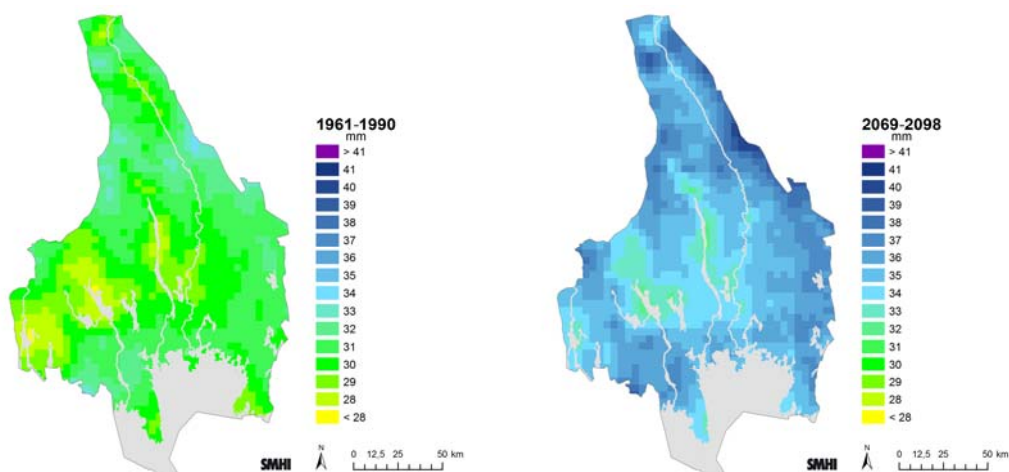
Största 1-dygnsnederbörden och 7-dygnsnederbörden uppvisar lite olika fördelningar över länet. Största 1-dygnsnederbörden påverkas i första hand av lokala åskväder. I framtidsberäkningarna kvarstår det geografiska mönstret men den kraftiga nederbörden ökar. 1-dygnsnederbörden når i medeltal upp emot 40 mm i några områden och 7-dygnsnederbörden ca 80 mm (observera att legenderna är olika för de två indexen) (figur 5.2-7). Det bör påpekas att siffrorna gäller för hela gridrutor (4 km × 4 km) och för medelvärden över 30 år och innefattar alltså inte extrema skurar.

1-dygnsnederbörden för länet som helhet är i medeltal 26 mm för referensperioden men med stor variation mellan åren (ca 18-47 mm) (figur 5.2-8). Mot slutet av seklet ses en svag ökning på ca 5 mm. Variationen i 1-dygnsnederbörd i ett framtida klimat kan även ses i observationerna för perioden 1961-2012.

Observationerna av 7-dygnsnederbörden uppvisar också stor variation mellan åren avseende perioden 1961-2012 (figur 5.2-9). Medelvärdet för referensperioden är 65 mm men variationen för hela observerade perioden är ca 40-120 mm. Även för 7-dygnsnederbörd kan den observerade variationen sägas rymma den framtida variationen men en viss ökning av medianvärdet, ca 10 mm vid seklets slut, ses dock i beräkningarna.

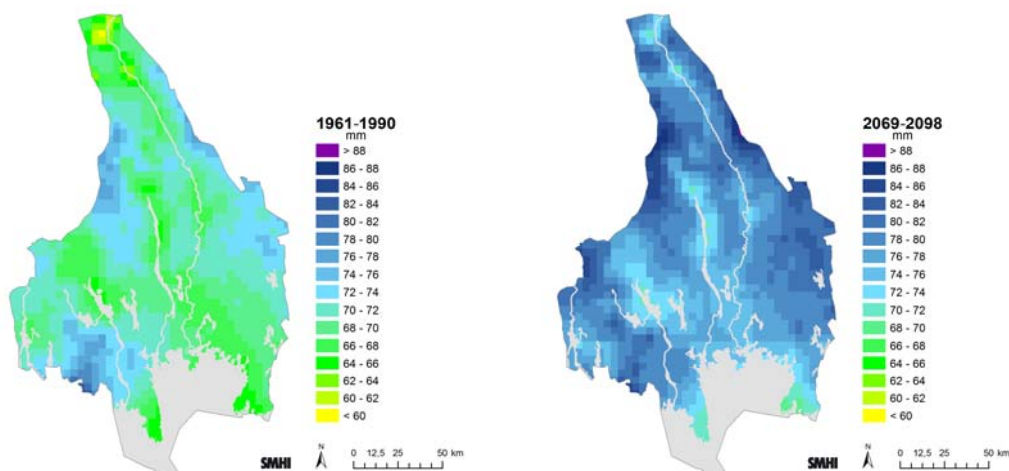
1-d nederbörd, observerade värden 1961-1990

1-d nederbörd, beräknade medianvärden 2069-2098

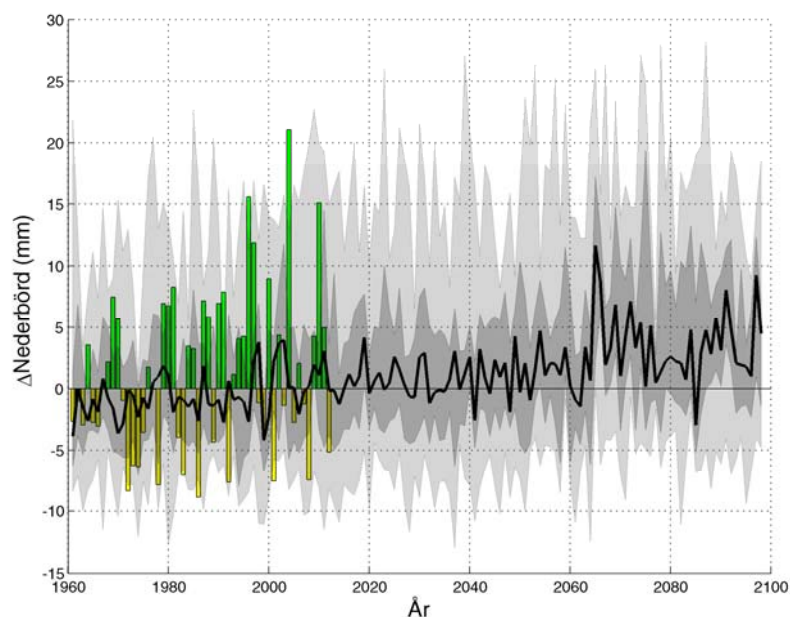


7-d nederbörd, observerade värden 1961-1990

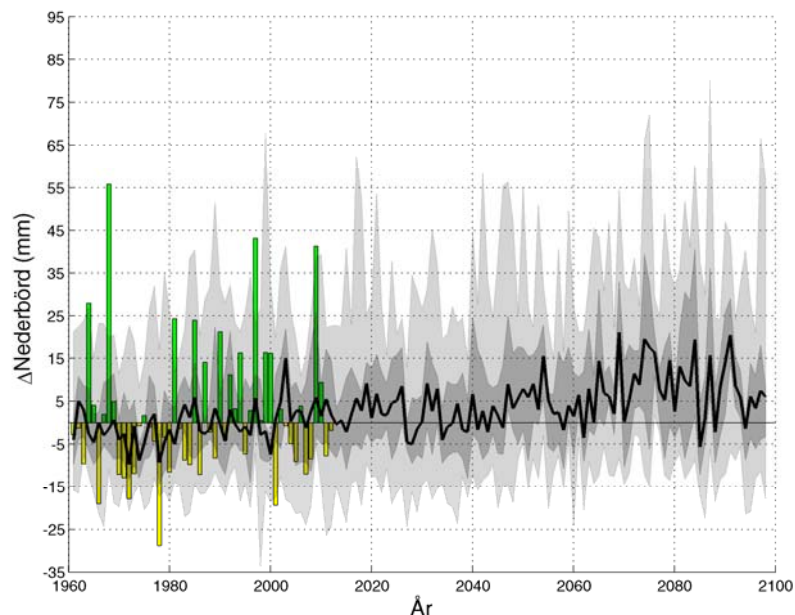
7-d nederbörd, beräknade medianvärden 2069-2098



Figur 5.2-7. 30-årsmedelvärden av största 1-dygnsnederbörd (mm) (ovan) och 7-dygnsnederbörd (mm) (nedan). Till vänster visas observerade värden för perioden 1961-1990 och till höger visas beräknade medianvärden för perioden 2069-2098.



Figur 5.2-8. Maximal 1-dygns nederbörd. Referensperiodens medelvärde är 26 mm. Observerade värden, medianvärden, percentiler, min- och maxvärden visas i enlighet med figur 5.2-1.



Figur 5.2-9. Maximal 7-dygns nederbörd. Referensperiodens medelvärde är 65 mm. Observerade värden, medianvärden, percentiler, min- och maxvärden visas i enlighet med figur 5.2-1.



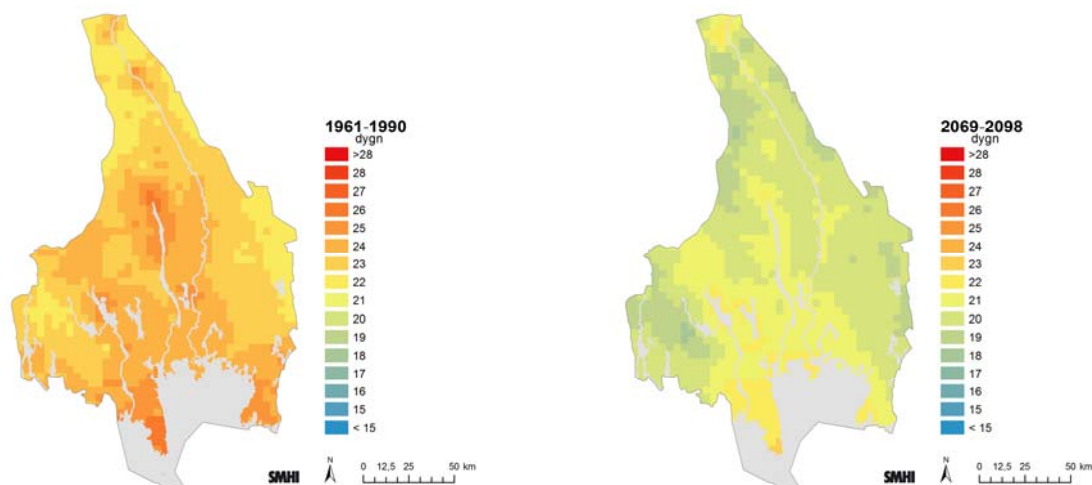
Effekter av skyfall i Hagfors kommun augusti 2004. Foto: Hagfors kommun

5.2.3 Perioder utan nederbörd

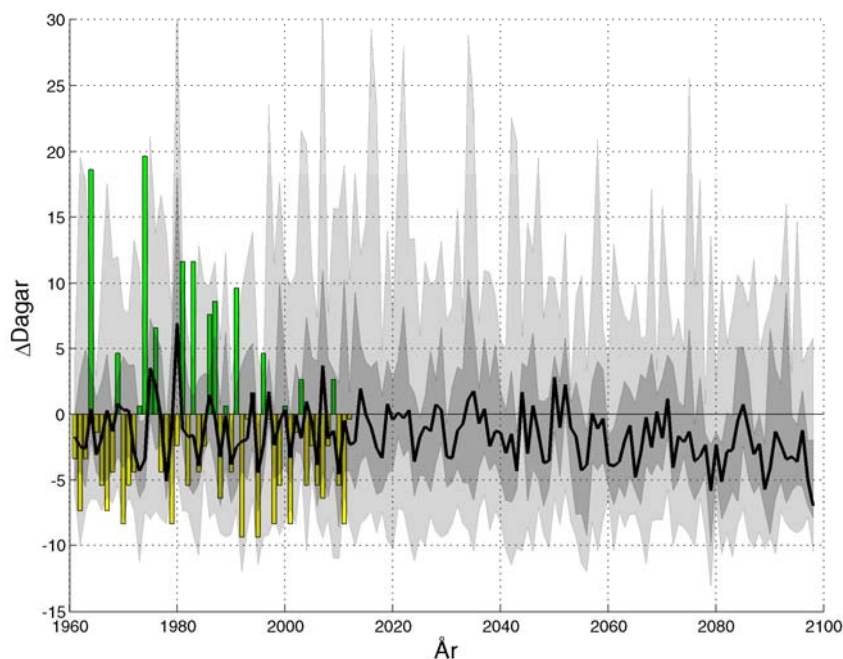
För att beskriva torra perioder har här valts maximala antalet sammanhängande dagar per år utan nederbörd. Tröskelvärdet är dygn med mindre än 1 mm nederbörd. Perioderna 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 visas tillsammans med observerade värden för 1961-1990 (bilaga 21). Figur 5.2-10 visar observerade värden för referensperioden och beräknade värden för slutet av seklet. De beräknade värdena för referensperioden är något färre än de observerade (se bilaga 21). Klimatscenarierna underskattar alltså periodlängden något. Dock ska betonas att mönstret över länet är detsamma och kartorna har en mycket hög upplösning, med 1 dygn per färg i skalan.

Sammanhängande torrperioder är kortast i de områden som är blötest i dagens klimat. Längst perioder har området kring Vänern och längs älvsträckorna. Mönstret kvarstår även i framtiden. Trenden i framtidsberäkningarna är att periodlängden minskar något, i takt med att nederbörden ökar.

Det ska poängteras att detta index inte är detsamma som torka. I ett framtida varmare klimat kan markfuktigheten minska på grund av ökad avdunstning, även om antalet torra dagar blir färre.



Figur 5.2-10. Perioder utan nederbörd, definierad med tröskelvärde mindre än 1 mm nederbörd. Observerade 30-årsmedelvärden för 1961-1990 (vänster) och beräknade 30-årsmedelvärden för 2069-2098 (höger).



Figur 5.2-11. Maximala antalet sammanhängande dagar med < 1 mm nederbörd. Referensperiodens medelvärde är 22 dagar. Observerade värden, medianvärden, percentiler, min- och maxvärden visas i enlighet med figur 5.2-1.

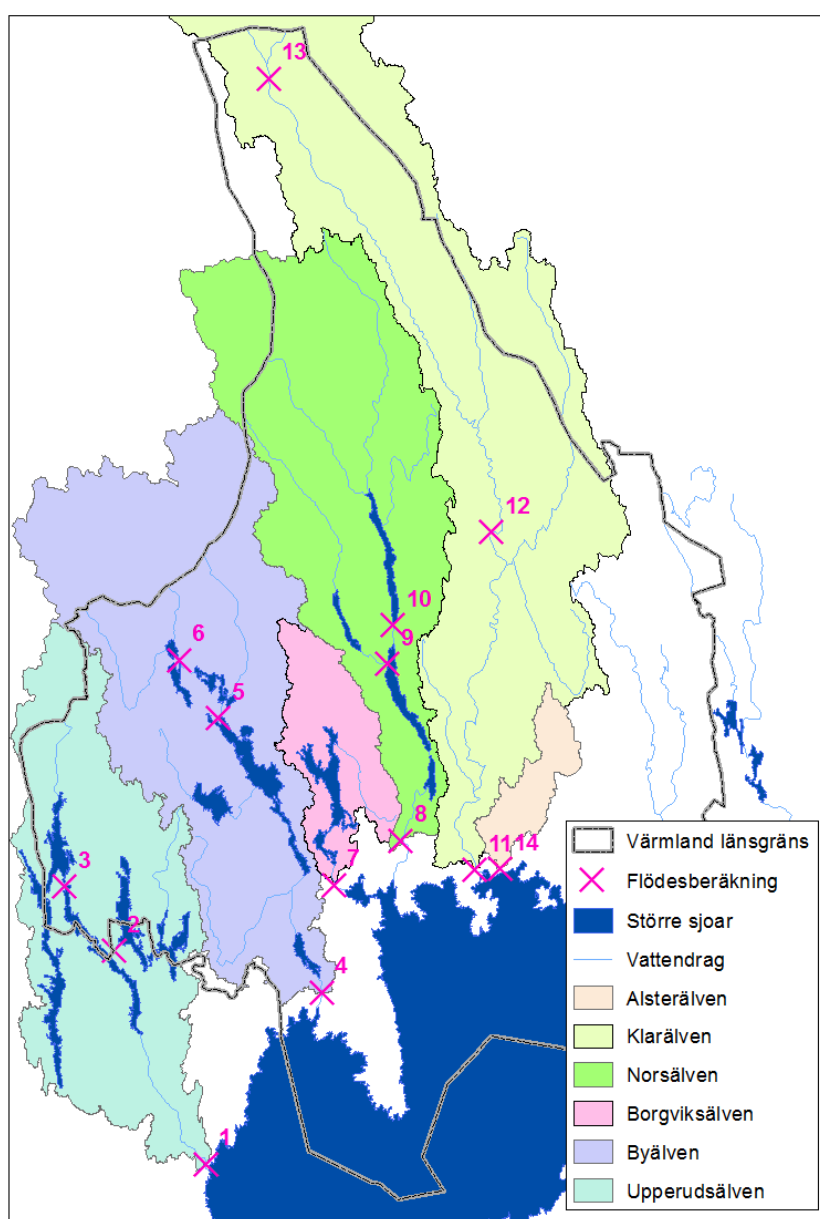
Medelvärdet av maximala antalet sammanhängande dagar med mindre än 1 mm nederbörd var 22 dagar för referensperioden 1961-1990. Under perioden 1961-2012 var variationen mellan 13 och 40 dagar med en tendens till färre dagar de senaste 20 åren. Framtidsberäkningarna visar på en svag minskning av antalet dagar i jämförelse med referensperioden.

5.3 Vattenföring

Vattenföring är benämningen för den mängd vatten som rinner fram i ett vattendrag och mäts ofta i kubikmeter per sekund (m^3/s). Vattenföringen på en plats i ett vattendrag är densamma som den totala tillrinningen från hela uppströms avrinningsområdet. Varje vattendrag har sin egen rytm och storleken på flödet varierar under året främst med klimatet i avrinningsområdet men också till följd av eventuella regleringar. I kapitel 3.2.4 beskrivs begreppen avrinning och vattenföring och dess variation under året.

I tabell 5.3-1 redovisas den observerade medelvattenföringen och beräknad 100-årsvattenföring i dagens klimat för de vattendrag som behandlas i detta avsnitt. I kartan (figur 5.3-1) är platserna för vattenföringsberäkningarna markerade. Vattendragen har en tydlig årstidsvariation och under perioder med snösmältning är flödena vanligtvis höga.

I de hydrologiska analyserna är den använda referensperioden 1963-1992, till följd av att databasen startar 1961 och den hydrologiska modellen först körs i två år för att få ett bra starttillstånd.



Figur 5.3-1. Värmlands län och älvarnas avrinningsområden. De klimatanalyserade flödespunkterna i de olika älvarna är markerade med kryss.

Tabell 5.3-1. Årsmedelvattenföring och beräknad 100-årsvattenföring i mynningen för utvalda vattendrag i Värmlands län i dagens klimat (SMHI flödesstatistik). I de punkter där det finns statistik för rekonstruerad naturlig vattenföring redovisas även denna inom parentes. Beräkningspunkterna 1-14 är markerade i kartan. Områdesnummer i SMHIs hydrologiska modell HBV-Sverige är angivet som referens.

	Avrinnings- område	Plats i vattendrag	Medelvattenföring [m ³ /s]	100-års vattenföring [m ³ /s]	HBVSv område
1	Upperudsälven	Mynningen i Vänern	41,7 (40,2)	236 (240)	108027
2	Upperudsälven	Gustavsforsälvens mynning i Västra Silen	0,2	33	108024
3	Upperudsälven	Ulopp ur Foxen	18,0 (18,0)	120 (120)	108022
4	Byälven	Mynningen i Vänern	58	360	108038
5	Byälven	Vaggeälvens mynning i Nysöckensjön	12,8	110	108034
6	Byälven	Noreälvens utlopp ur Hugn	22,7	250	108033
7	Borgvikeälven	Mynningen i Vänern	8,9	75	108041
8	Norsälven	Mynningen i Vänern	51,4	430	108053
9	Norsälven	Rottnans mynning i Mellan-Fryken	12,9	145	108051
10	Norsälven	Utlopp ur övre Fryken	32,4	276	108048
11	Klarälven	Mynningen i Vänern	161,5 (162,5)	1270 (1490)	108018
12	Klarälven	Vid Edsforsens krv	126,2 (127,0)	1050 (1250)	108009
13	Klarälven	Utloppet av Höljessjön	93,0 (93,6)	812 (950)	108003
14	Alsterälven	Mynningen i Vänern	3,8	30	108054

I följande kapitel visas framtida förändringar av vattenföringens säsongsvariation (kap. 5.3.1), medelvattenföring (kap. 5.3.2), total och lokal vattenföring med återkomsttiden 100 år s.k. 100-årsflöden (kap. 5.3.3) samt total och lokal vattenföring med återkomsttiden 200 år s.k. 200-årsflöden (kap. 5.3.4). Den lokala vattenföringen är bidraget från respektive delavrinningsområde (den lokala tillrinningen)

Begreppen återkomsttid, risk och sannolikhet är centrala i samband med diskussioner om höga flöden, men terminologin skapar ibland missförstånd. Med en händelses återkomsttid menas att händelsen i genomsnitt inträffar eller överträffas en gång under denna tid. Infrastruktur med lång livslängd exponeras för denna risk under lång tid och således är den ackumulerade sannolikheten avsevärd. Sannolikheten för exempelvis ett 100-års flöde är 1 på 100 för varje enskilt år. För ett objekt med en beräknad livslängd på 100 år är den ackumulerade sannolikheten för översvämning med nivåer över 100-årsnivån under denna period 63 %. Detta är skälet till att man för riskobjekt, som exempelvis större dammar, ofta sätter gränsen vid, eller till och med bortom, flöden med en återkomsttid i storleksordningen 10 000 år. Sannolikheten under 100 års exponering uppgår då till ca 1 %.

Tabell 5.3-2 visar sambandet mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikhet. Beräkningen av 100-årsflödets storlek görs med en statistisk beräkning, sk frekvensanalys, baserad på vattenföringens årliga maxvärden utifrån en tidsserie. Genomgående har Gumbel-fördelningen använts vid flödesanalysen, även kallad Extreme Value Type I. Resultat från en frekvensanalys måste tolkas med försiktighet. Dessa är i högsta grad beroende på mätseriens längd vilket gör att exempelvis ett 100-årsflöde ofta ändras i takt med att nya data flyter in. Beräkningarna försvåras speciellt om dataserierna är korta eller om de är påverkade av regleringar i vattendraget. För att underlätta tolkningen i ett klimatperspektiv används i denna utredning samma längd på tidsseriens längd som en standardperiod, dvs. 30 år.

Tabell 5.3-2. Sambandet mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikhet i procent. Värden lägre än 1 % redovisas inte.

Åter-komst-tid (år)	Sannolikhet under 1 år	Sannolikhet under 5 år	Sannolikhet under 10 år	Sannolikhet under 20 år	Sannolikhet under 50 år	Sannolikhet under 100 år
2	50	97	100	100	100	100
5	20	67	89	99	100	100
10	10	41	65	88	99	100
25	4	18	34	56	87	98
50	2	10	18	33	64	87
100	1	5	10	18	39	63
1000			1	2	5	10
10 000						1

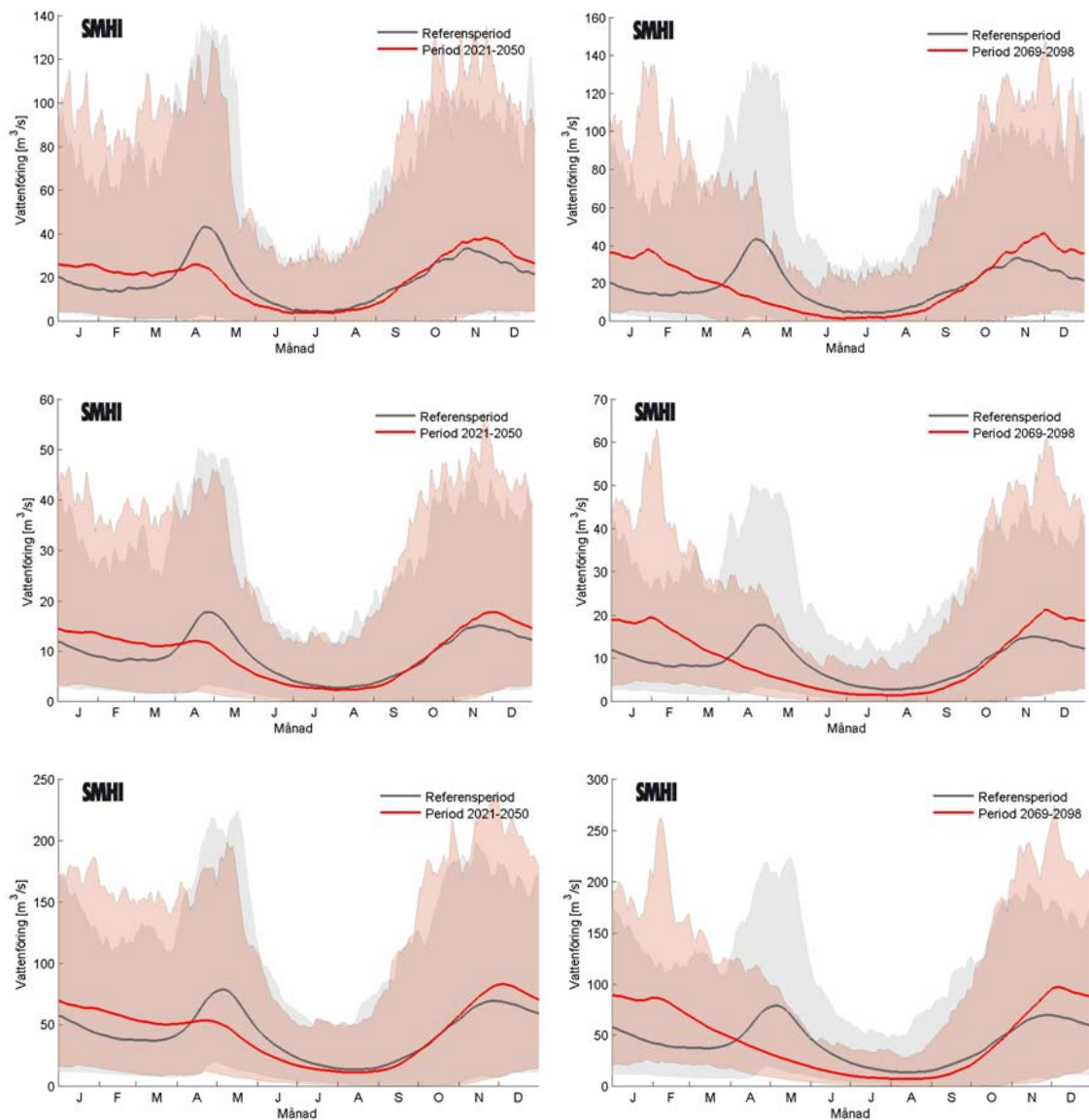
5.3.1 Vattenföringens säsongsvariation

I figurerna 5.3-2 – 5.3-7 presenteras beräknad flödesvariation under året i Upperudsälvens, Byälvens, Borgvikeälvens, Norsälvens, Klarälvens och Alsterävens avrinningsområden. De punkter som avses listas i tabell 5.3-1, och figurerna visar den totala tillrinningen (total vattenföring). Att den totala tillrinningen är beräknad betyder att allt tillrinnande vatten från uppströms delavrinningsområden är inräknat. Beräkningarna avser oregrerade förhållanden.

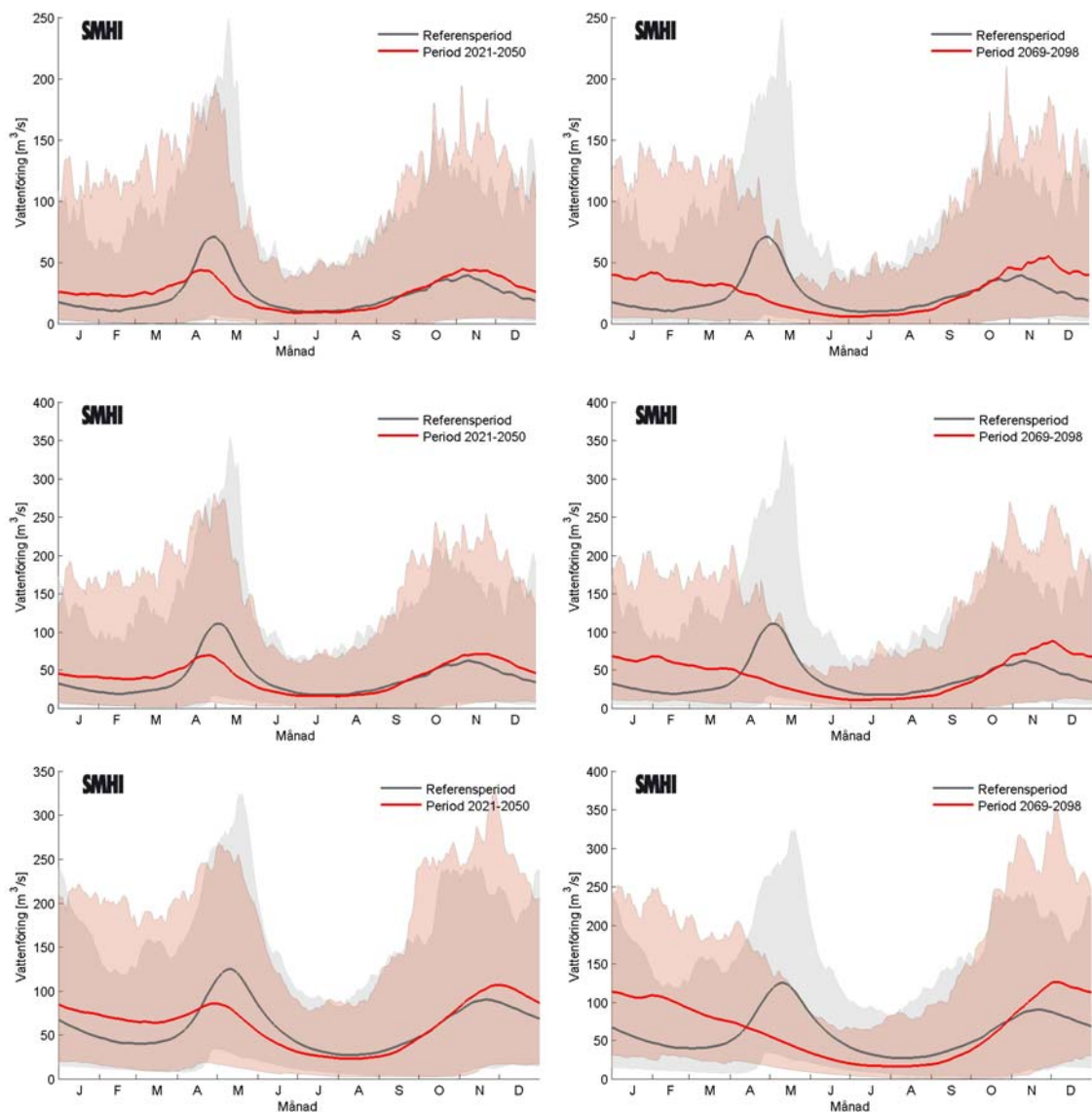
För varje vattendrag visas beräkningar för perioden 2021-2050 samt 2069-2098 tillsammans med referensperioden 1963-1992. Medelvattenföringen för varje dag på året under referensperioden presenteras med en heldragen mörk linje och för den analyserade framtida perioden presenteras medelvattenföringen som en heldragen röd linje. De färgade fälten visar spannet mellan 75:e percentilen och 25:e percentilen för varje dags maximala respektive minimala värde under året av alla klimatscenarier. Grått fält visar variationen under referensperioden och rött fält visar variationen för angiven framtida period. Notera att även referensperioden 1963-1992 har beskrivits med drivdata från klimatsimuleringarna.

För samtliga vattendrag ökar vattenföringen i början och slutet på året och minskar under våren och vanligen också under sommaren. Den förändring i säsongsdynamiken som ses för perioden 2021-2050 jämfört med 1961-1990 förstärks för perioden 2069-2098. Den för dagens klimat vanliga säsongsdynamiken med en flödestopp på våren försvagas kraftigt eller försvinner helt mot slutet av seklet. Perioden med låga vattenföringar blir längre och vattenföringen under denna period i medeltal lägre än tidigare.

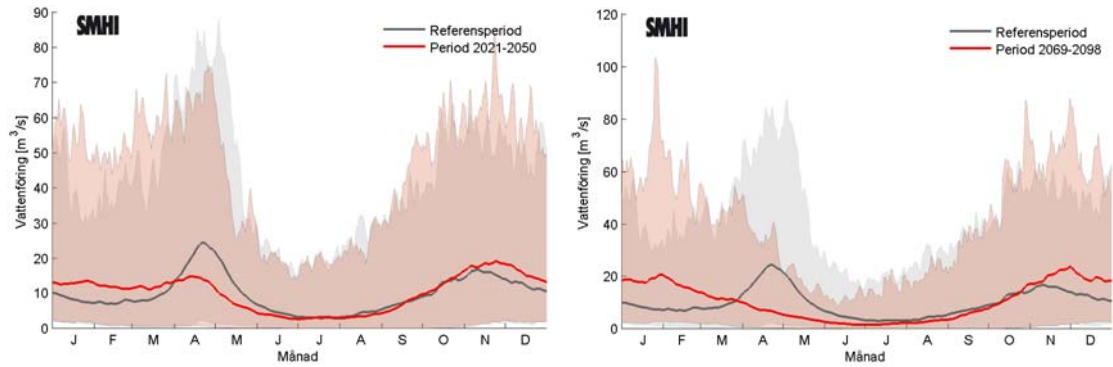
Förändringarna orsakas av ökad nederbörd under vintern och med mindre mängd som lagras i form av snö beroende på högre temperaturer. Det gör att flödet ökar under vintern samtidigt som snösmältningen på våren minskar eller helt uteblir vissa år. Avdunstningen under vår- och höstperioder ökar eftersom temperaturen ökar och växterna därmed har en längre säsong. Det leder till att mindre mängd av nederbörden når vattendragen.



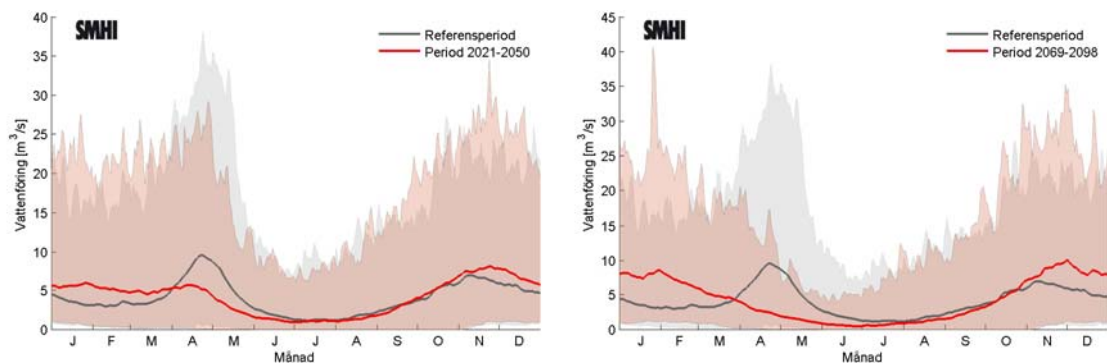
Figur 5.3-2 . Säsongsdynamik för total tillrinning vid tre platser i **Upperudsälven**. Svart linje avser medeltillrinning för referensperioden 1963-1992 och röd linje avser framtidsperioden 2021-2050 i vänstra diagrammen och 2069-2098 i högra diagrammen. De grå fälten visar variationen mellan 75:e percentilen av alla scenariers maxvärde och 25:e percentilen av alla scenariers minvärde under referensperioden. Det ljusröda fältet visar motsvarande för de framtida tidsperioderna. Figuren är baserad på 16 klimatsimuleringar för 2021-2050 och 12 klimatsimuleringar för 2069-2098. Uppifrån och nedåt visas **Gustavsforsälvens mynning i Västra Silen, Upperudsälvens utlopp ur Foxen och Upperudsälvens mynning i Vätern**.



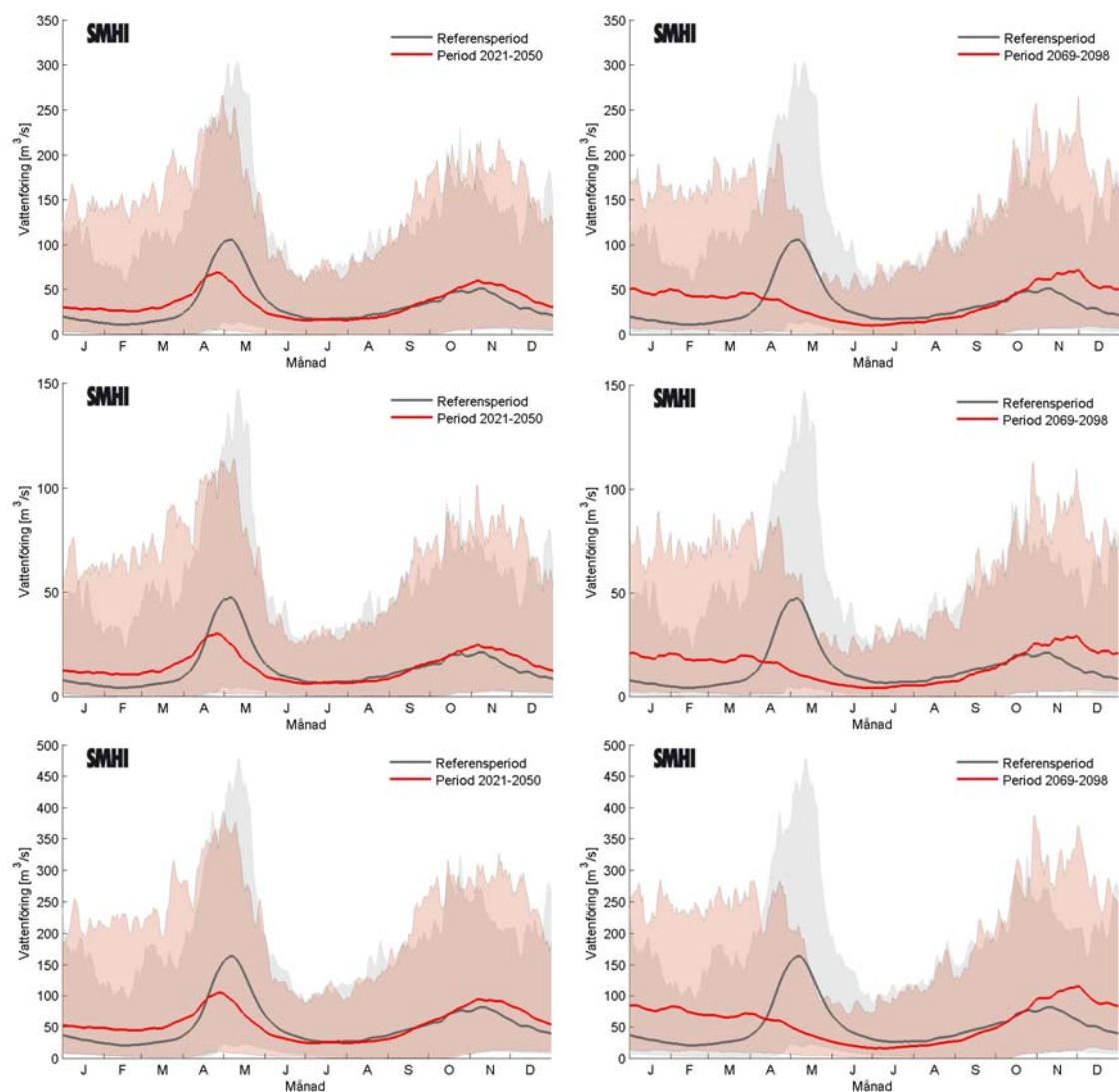
Figur 5.3-3. Säsongsdynamik för total tillrinning vid tre platser i **Byälven**. Svart linje avser medeltillrinning för referensperioden 1963-1992 och röd linje avser framtidsperioden 2021-2050 i vänstra diagrammen och 2069-2098 i högra diagrammen. De grå fälten visar variationen mellan 75:e percentilen av alla scenariers maxvärde och 25:e percentilen av alla scenariers minvärde under referensperioden. Det ljusröda fältet visar motsvarande för de framtida tidsperioderna. Figuren är baserad på 16 klimatsimuleringar för 2021-2050 och 12 klimatsimuleringar för 2069-2098. Uppifrån och nedåt visas **Noreälvens utlopp ur Hugn, Vaggeälvens mynning i Nyssockensjön och Byälvens mynning i Vätern.**



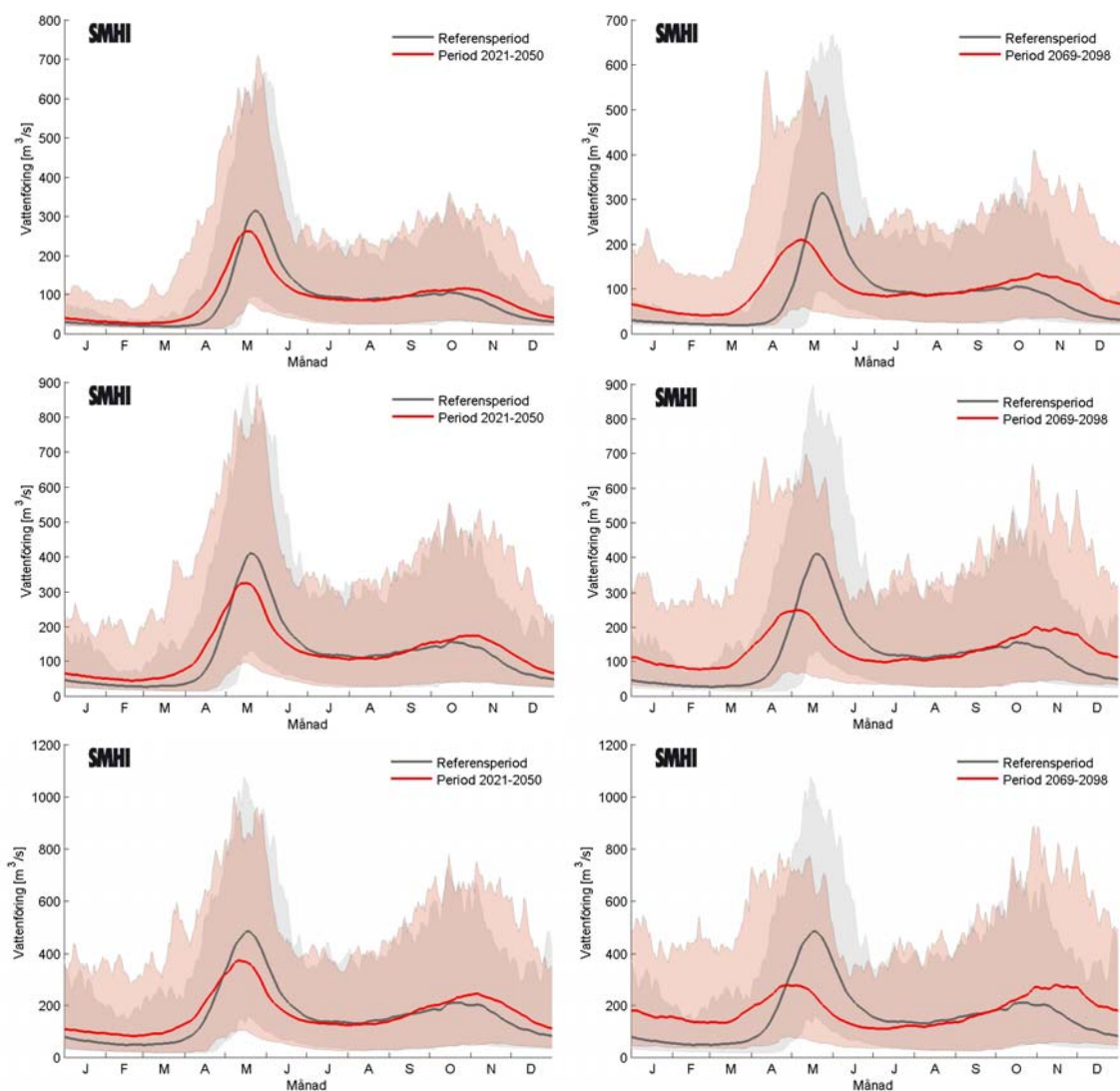
Figur 5.3-4. Säsongsdynamik för total tillrinning vid **Borgvikeälvens mynning i Vänern**. Svart linje avser medeltillrinning för referensperioden 1963-1992 och röd linje avser framtidsperioden 2021-2050 i vänstra diagrammen och 2069-2098 i högra diagrammen. De grå fälten visar variationen mellan 75:e percentilen av alla scenariers maxvärde och 25:e percentilen av alla scenariers minvärde under referensperioden. Det ljusröda fältet visar motsvarande för de framtida tidsperioderna. Figuren är baserad på 16 klimatsimuleringar för 2021-2050 och 12 klimatsimuleringar för 2069-2098.



Figur 5.3-5. Säsongsdynamik för total tillrinning vid **Alsterälvens mynning i Vänern**. Svart linje avser medeltillrinning för referensperioden 1963-1992 och röd linje avser framtidsperioden 2021-2050 i vänstra diagrammen och 2069-2098 i högra diagrammen. De grå fälten visar variationen mellan 75:e percentilen av alla scenariers maxvärde och 25:e percentilen av alla scenariers minvärde under referensperioden. Det ljusröda fältet visar motsvarande för de framtida tidsperioderna. Figuren är baserad på 16 klimatsimuleringar för 2021-2050 och 12 klimatsimuleringar för 2069-2098.



Figur 5.3-6. Säsongsdynamik för total tillrinning vid tre platser i **Norsälven**. Svart linje avser medeltillrinning för referensperioden 1963-1992 och röd linje avser framtidsperioden 2021-2050 i vänstra diagrammen och 2069-2098 i högra diagrammen. De grå fälten visar variationen mellan 75:e percentilen av alla scenariers maxvärde och 25:e percentilen av alla scenariers minvärde under referensperioden. Det ljusröda fältet visar motsvarande för de framtida tidsperioderna. Figuren är baserad på 16 klimatsimuleringar för 2021-2050 och 12 klimatsimuleringar för 2069-2098. Uppifrån och nedåt visas **Norsälvens utlopp ur Övre Fryken, Rottmans mynning i Mellan-Fryken och Norsälvens mynning i Vänern**.



Figur 5.3-7. Säsongsdynamik för total tillrinning vid tre platser i **Klarälven**. Svart linje avser medeltillrinning för referensperioden 1963-1992 och röd linje avser framtidsperioden 2021-2050 i vänstra diagrammen och 2069-2098 i högra diagrammen. De grå fälten visar variationen mellan 75:e percentilen av alla scenariers maxvärde och 25:e percentilen av alla scenariers minvärde under referensperioden. Det ljusröda fältet visar motsvarande för de framtida tidsperioderna. Figuren är baserad på 16 klimatsimuleringar för 2021-2050 och 12 klimatsimuleringar för 2069-2098. Uppifrån och nedåt visas **Klarälvens utlopp ur Höljessjön, Klarälven vid Edsfors kraftverk och Klarälvens mynning i Vänern**.

5.3.2 Medelvattenföring

En analys av hur den av klimatet påverkade framtida medelvattenföringen kan bli för vattendrag i Värmlands län presenteras i detta avsnitt. Även den lokala tillrinningen kommenteras.

Figurerna 5.3-8 — 5.3-21 visar medianvärdet av förändringen av total medelvattenföring på årsbasis samt säsongsvist i Upperudsälvens, Byälvens, Borgvikeälvens, Norsälvens, Klarälvens och Alsterävens avrinningsområden, för de punkter som listas i tabell 5.3-1 för samtliga klimatscenarier under detta sekel relativt referensperioden 1963-1992. I samma figurer visas även maxvärde, minvärde, 25:e percentilen och 75:e percentilen av samtliga scenariers medelvattenföring för samma perioder. Figurerna avser den totala tillrinningen (total vattenföring), dvs. det vatten som tillkommer från uppströms avrinningsområden tillsammans med tillrinningen från respektive delavrinningsområde (den lokala tillrinningen). Detta bildar vattenföringen i det sammanlagda avrinningsområdets utloppspunkt.

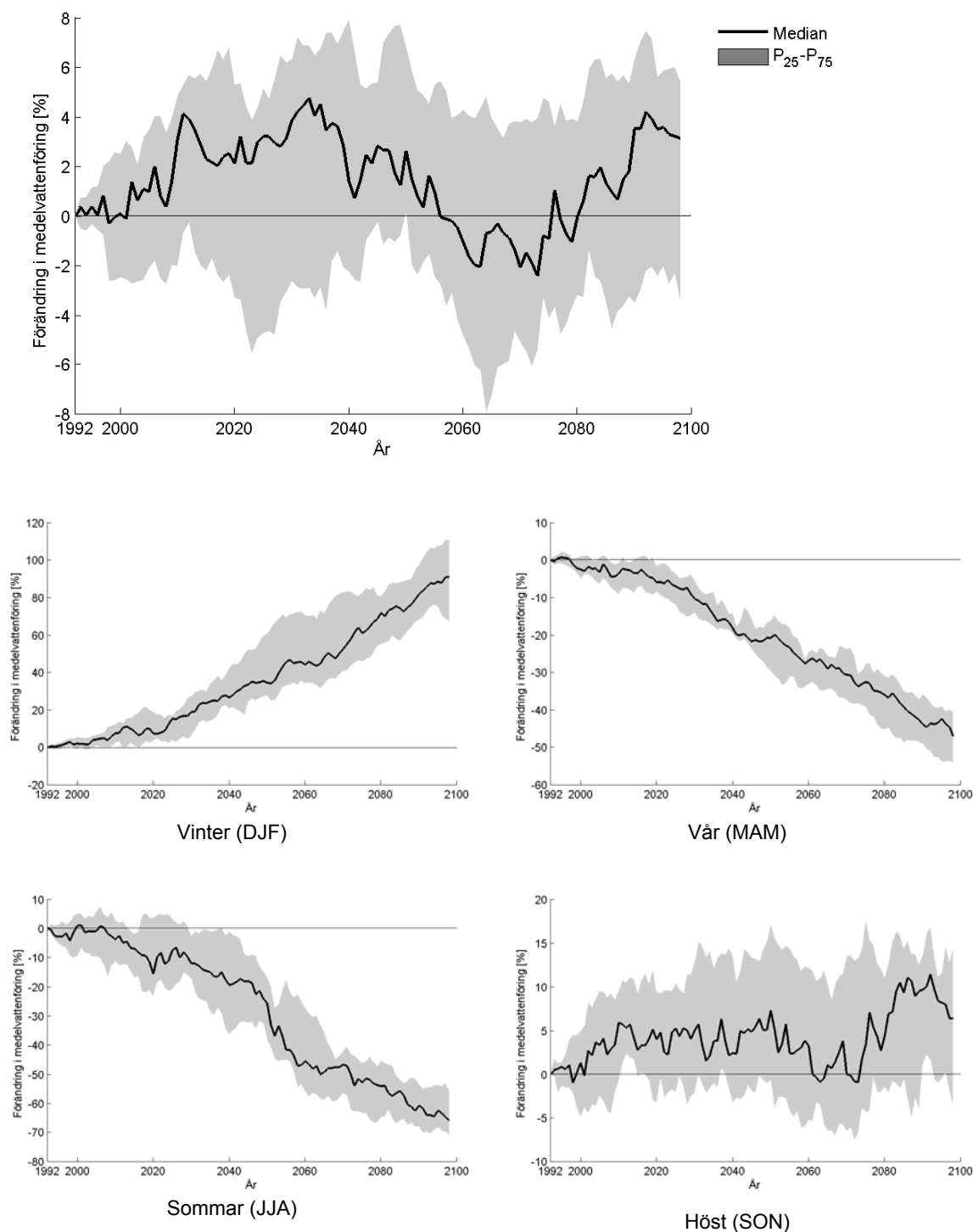
Medeltillrinningen har beräknats för löpande 30-årsperioder efter tidsperioden 1963-1992 (dvs. 1964-1993, 1965-1994, ..., 2069-2098). Detta har gjorts för samtliga klimatscenarier. Medeltillrinningen beräknad för perioden 1963-1992 utgör referensvärdet med vilket beräknad medeltillrinning för övriga 30-årsperioder jämförs med. Förändringen av storleken på medeltillrinningen uttrycks i procent.

Medelvattenföringen ökar för samtliga vattendrag under vintern och minskar under våren och sommaren. För hösten varierar förloppet för vattendragen, både ökande och minskande förhållanden kan ses i diagrammen.

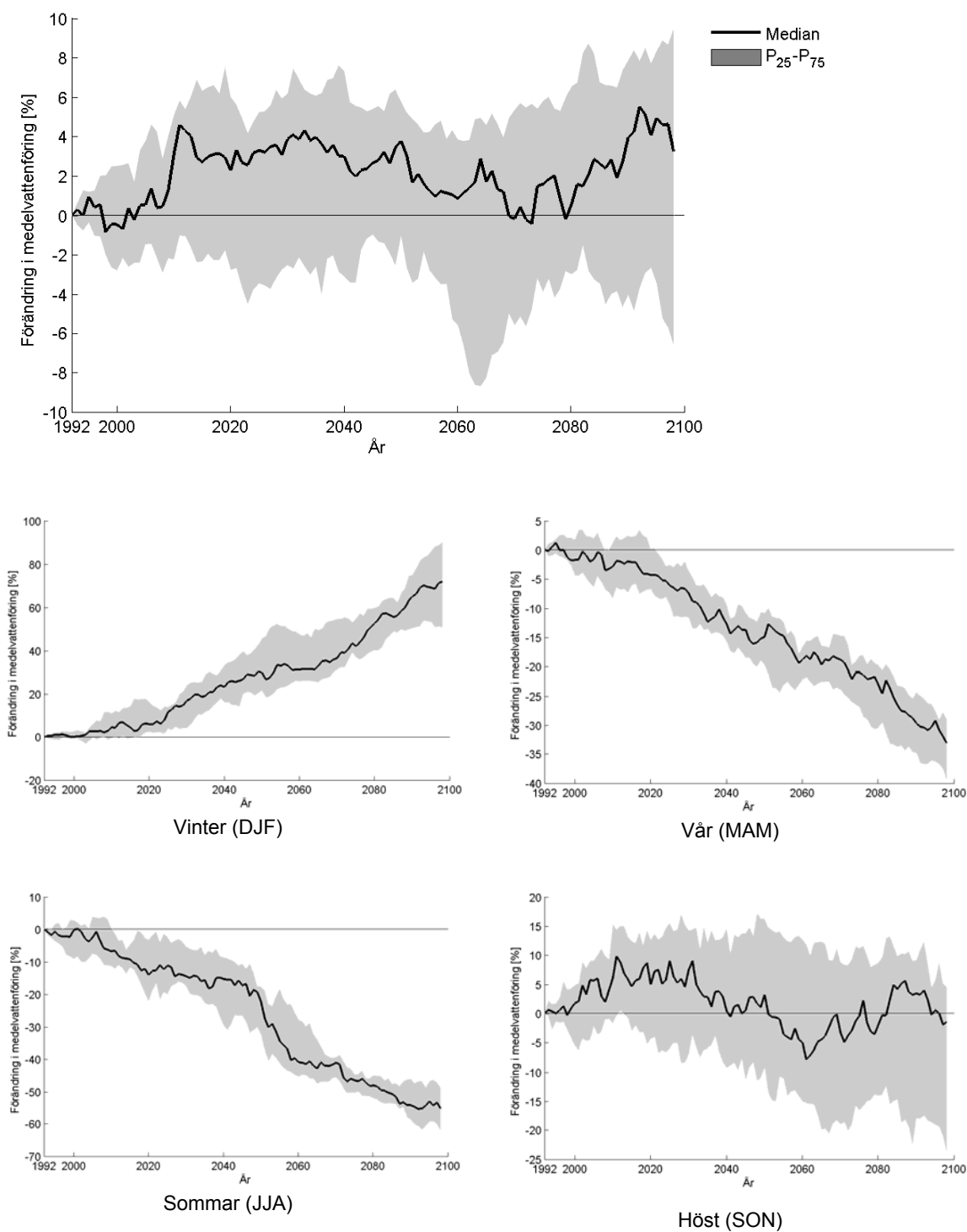
Ökningen under vintern har stort genomslag för årsvattenföringen så att för samtliga vattendrag ses en ökning i slutet av seklet på upp till kring 10 %. Tydligast ökning kan ses i Klarälven.



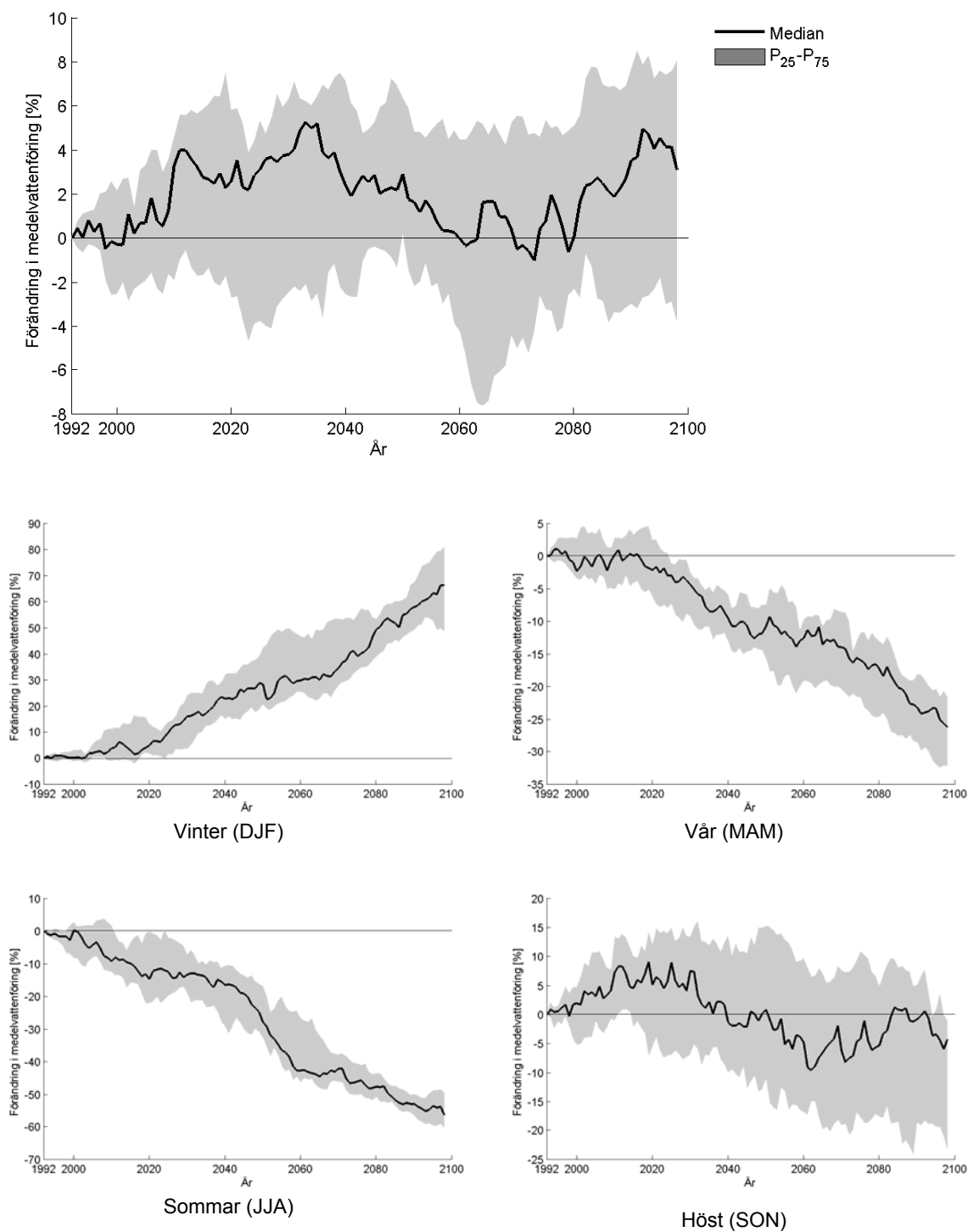
Hydrologisk mätstation vid Lisjöbäcken som mynnar i Fryken. Foto Nils Sjödin, SMHI



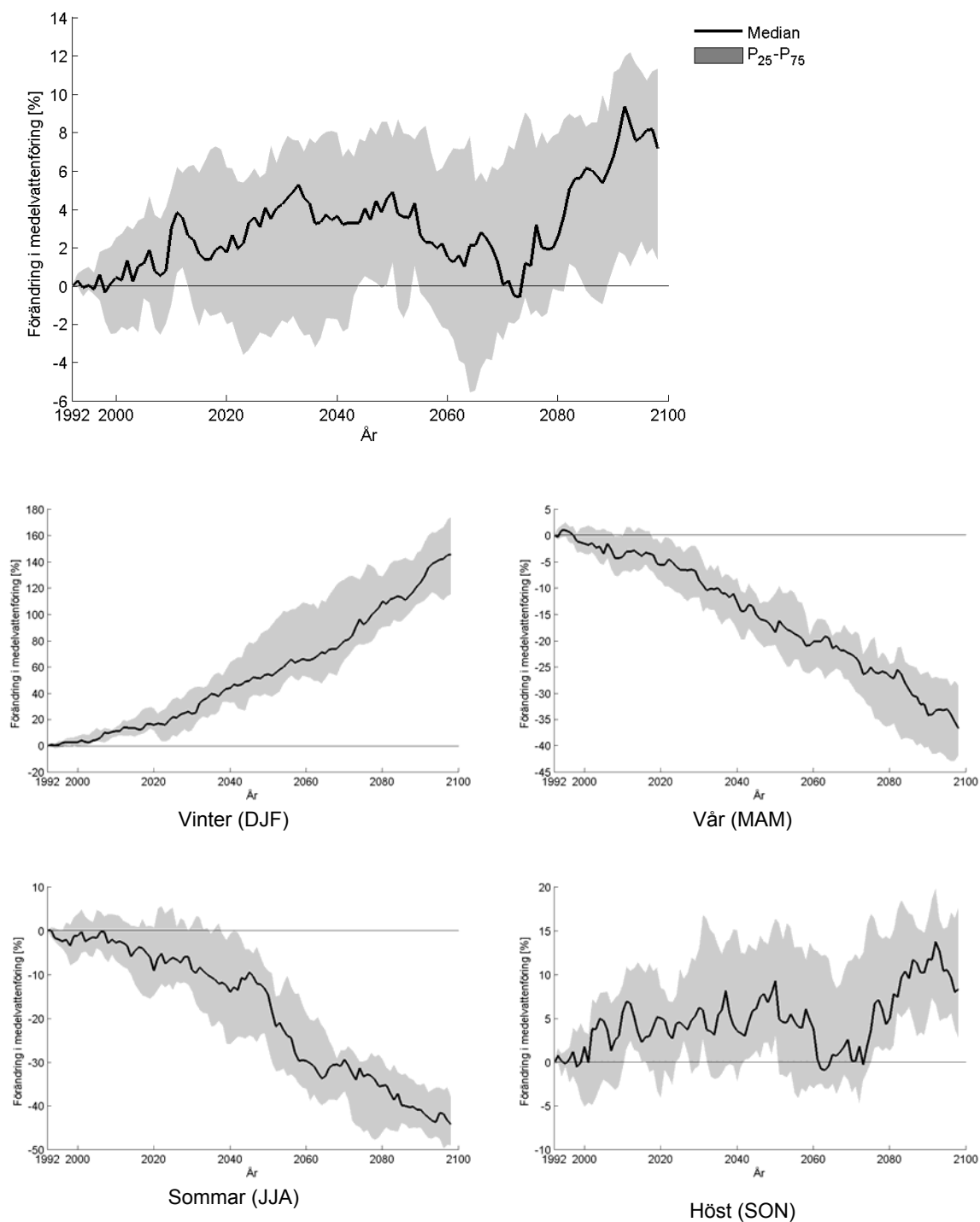
Figur 5.3-8. Procentuell förändring av total årsmedeltillrinning (överst) och medeltillrinning per säsong i **Upperudsälvens utlopp ur Foxen** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärdet av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



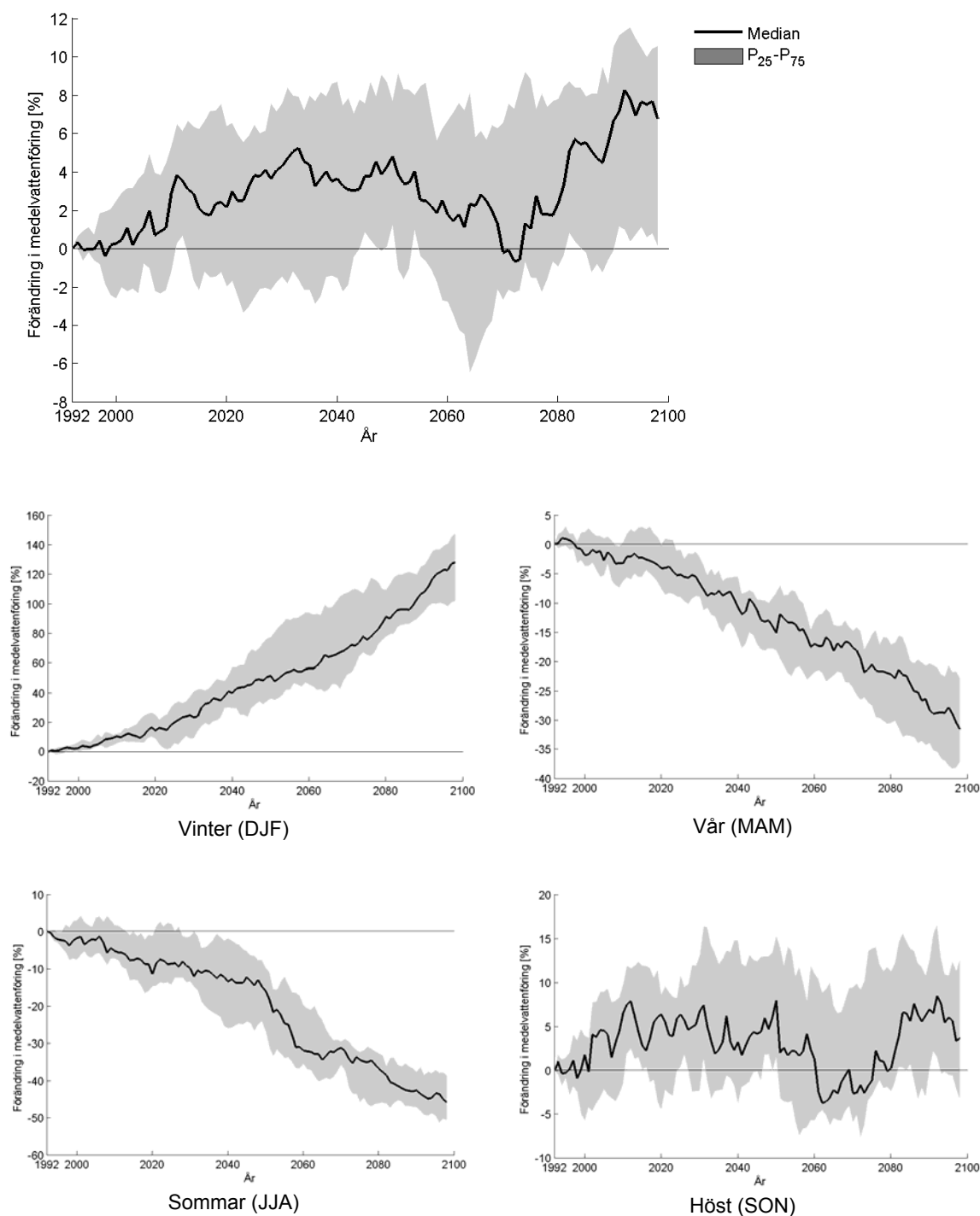
Figur 5.3-9. Procentuell förändring av total årsmedeltillrinning (överst) och medeltillrinning per säsong i **Gustavsforsälvens mynning i Västra Silen** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärde av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärde 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



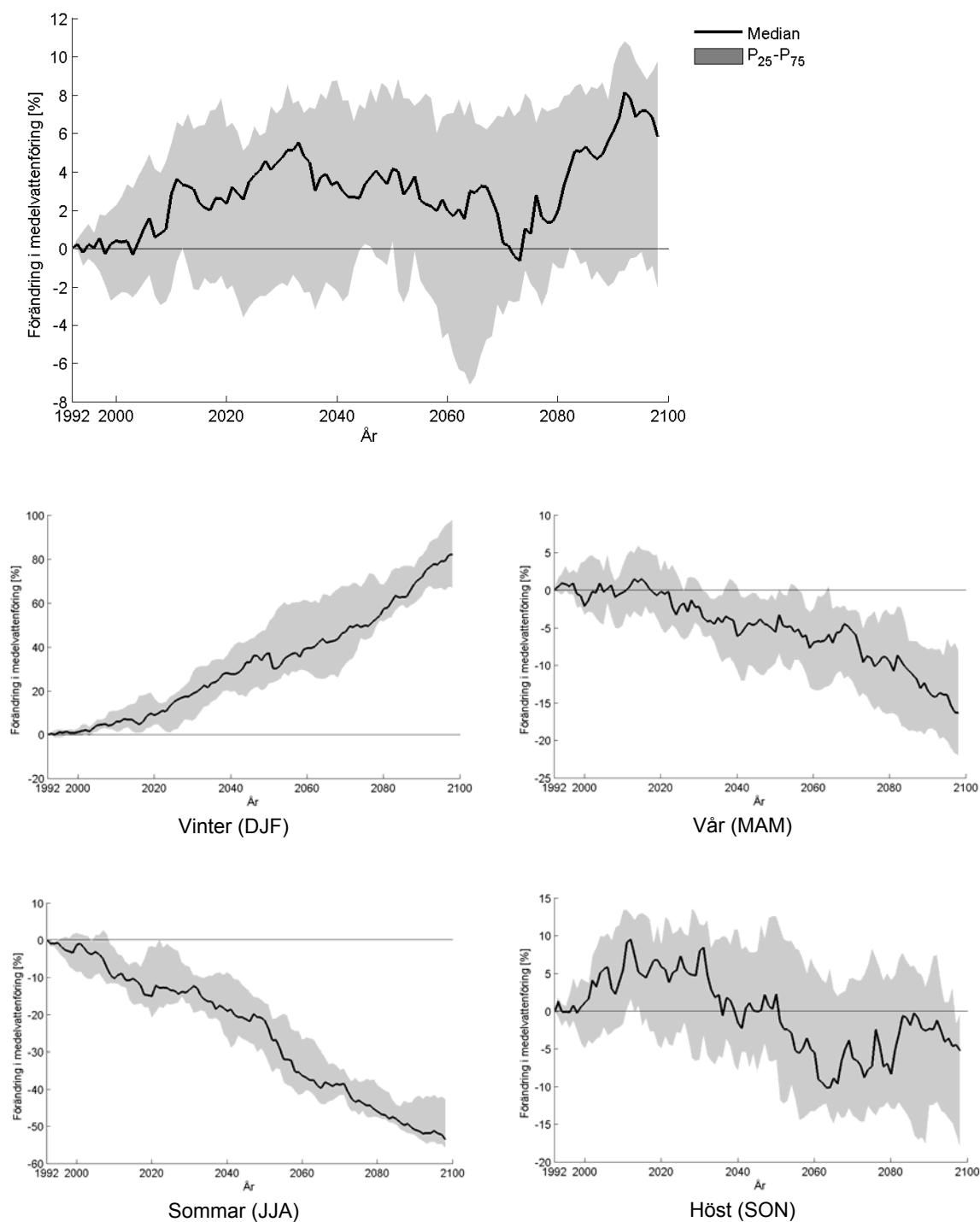
Figur 5.3-10. Procentuell förändring av total årsmedeltillrinning (överst) och medeltillrinning per säsong i **Upperudsälvens mynning i Vänern** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärdet av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



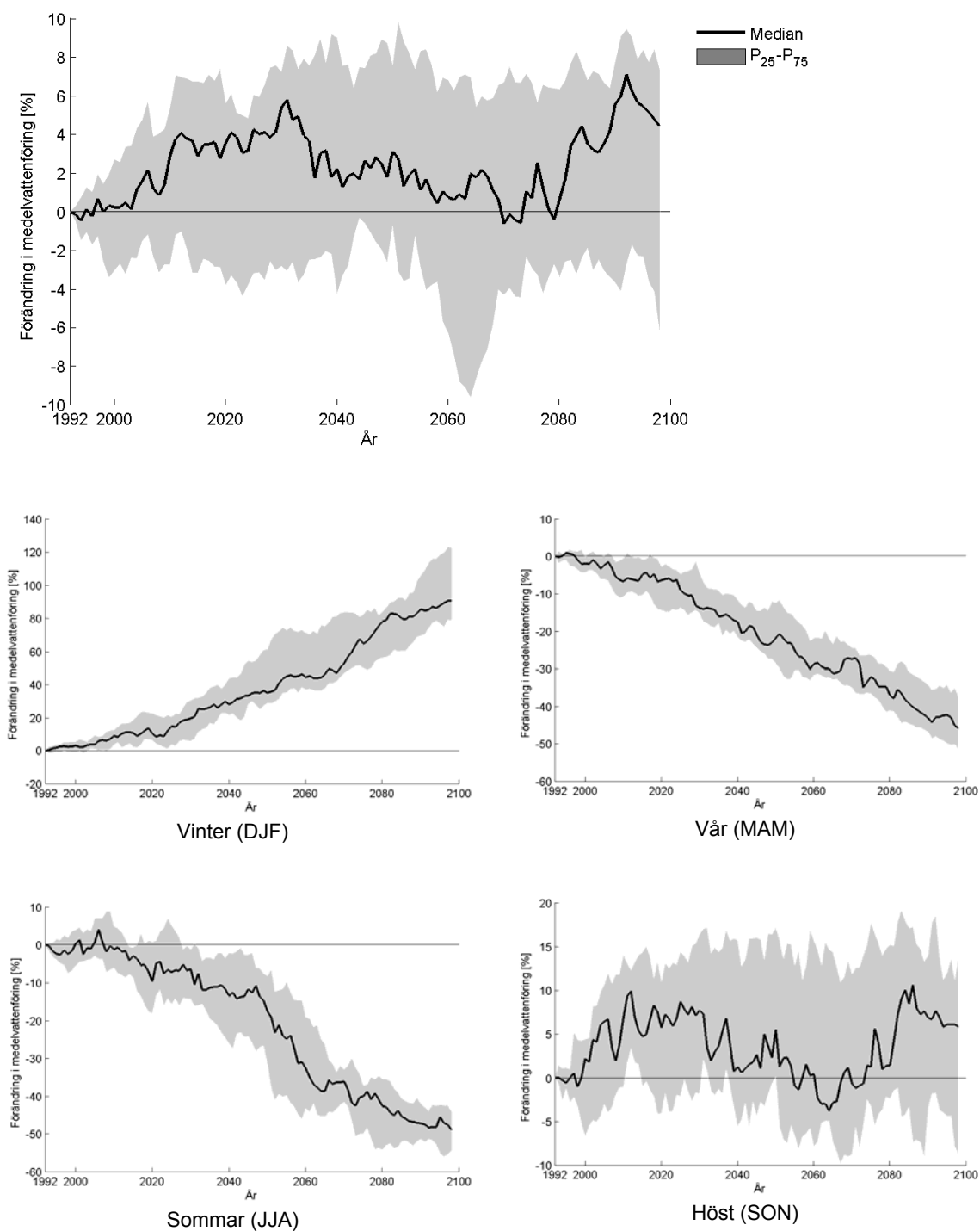
Figur 5.3-11. Procentuell förändring av total årsmedeltillrinning (överst) och medeltillrinning per säsong i **Noreälvens utlopp ur Hugn** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärdet av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



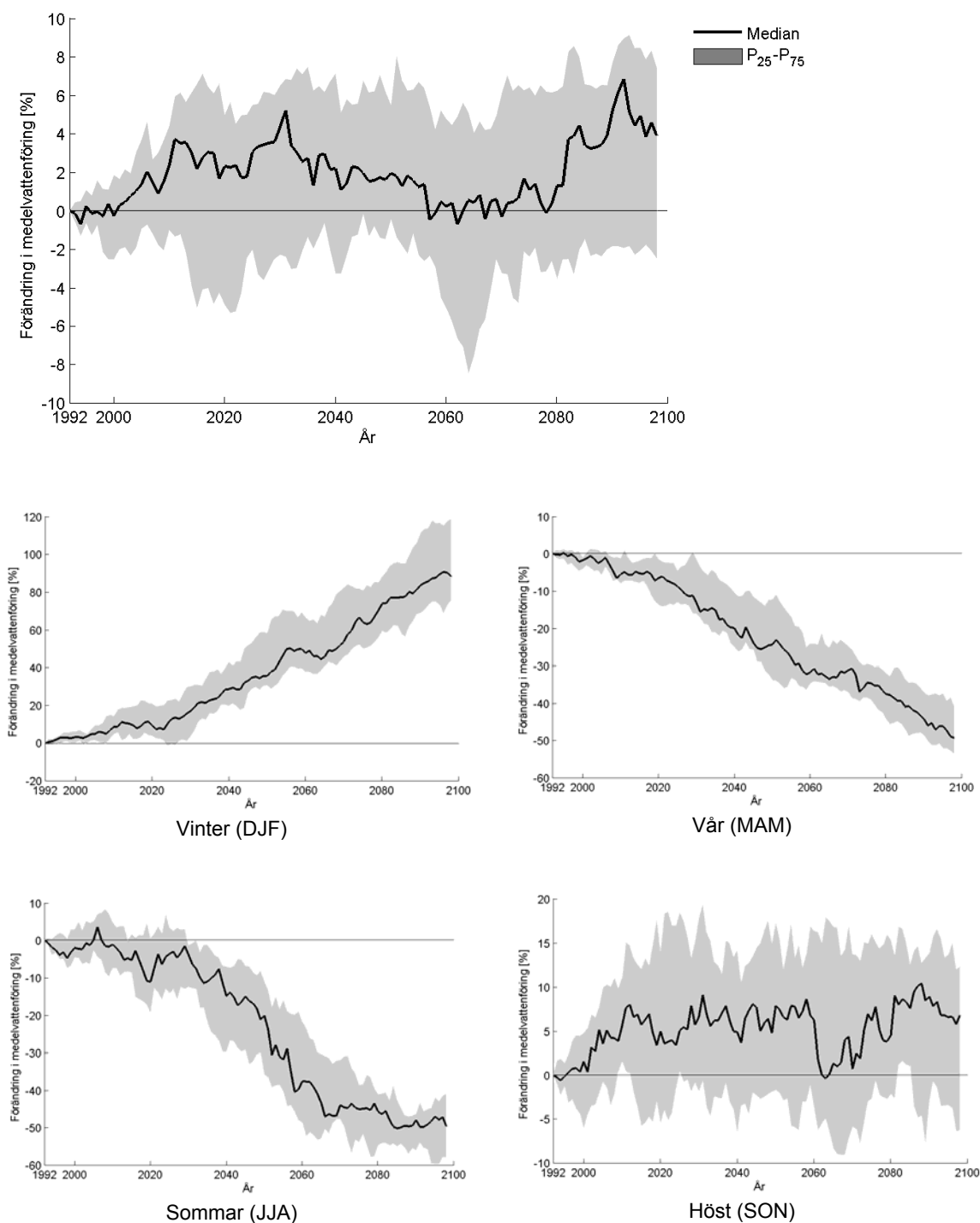
Figur 5.3-12. Procentuell förändring av total årsmedeltillrinning (överst) och medeltillrinning per säsong i **Vaggeälvens mynning i Nyockensjön** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärdet av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



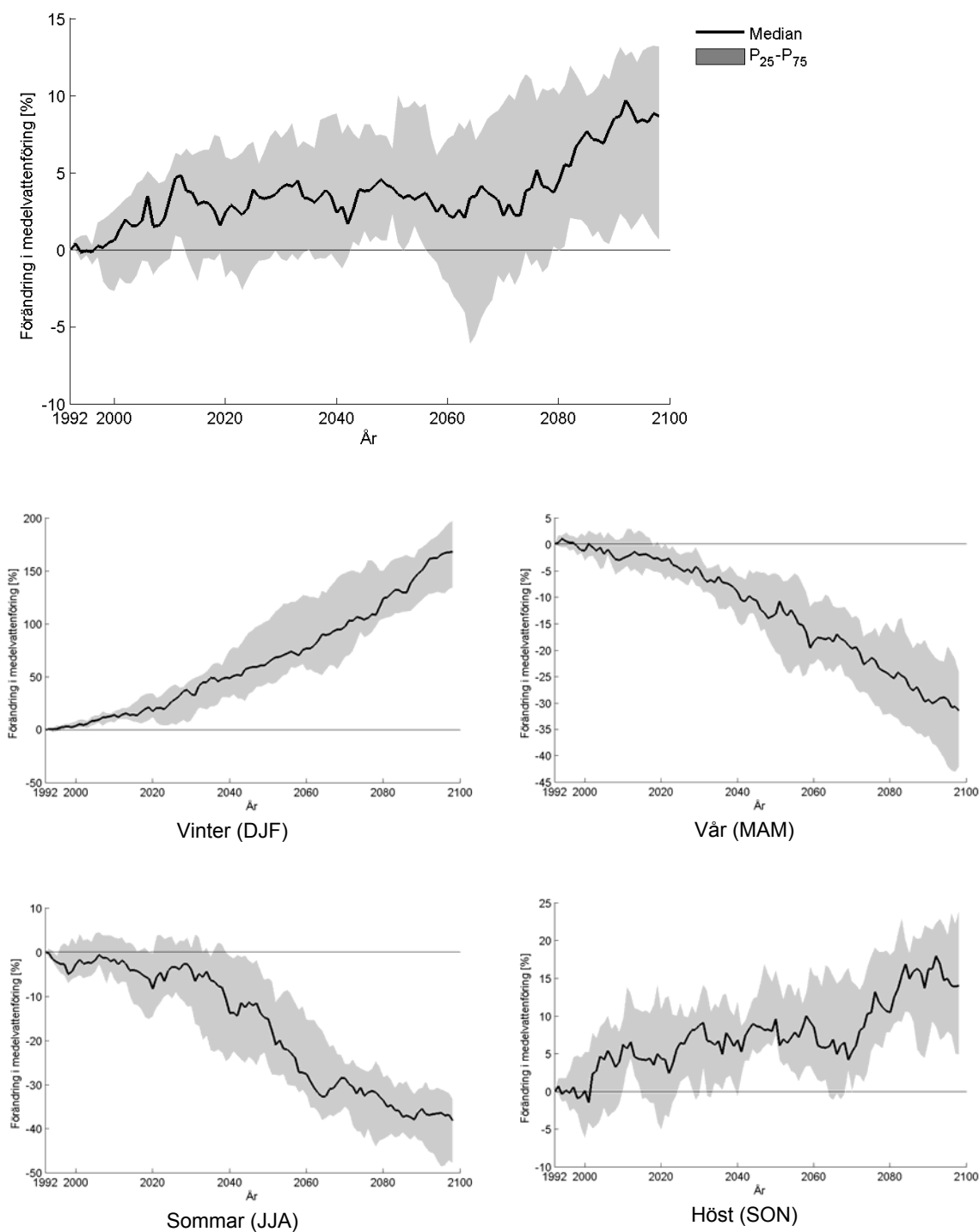
Figur 5.3-13. Procentuell förändring av total årsmedeltillrinning (överst) och medeltillrinning per säsong i **Byälvens mynning i Vänern** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärdet av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



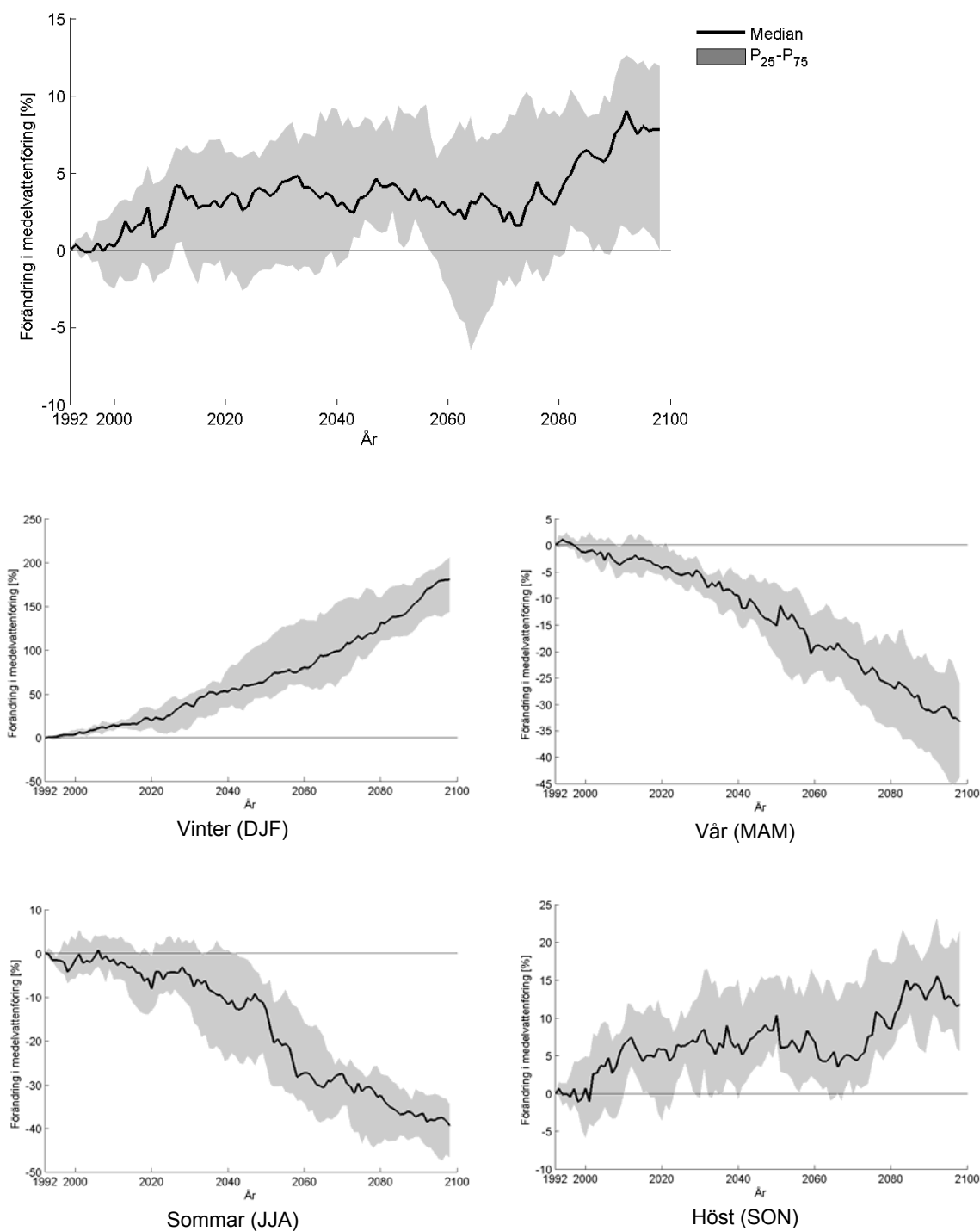
Figur 5.3-14. Procentuell förändring av total årsmedeltillrinning (överst) och medeltillrinning per säsong i **Borgvikeälvens mynning i Vänern** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärdet av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



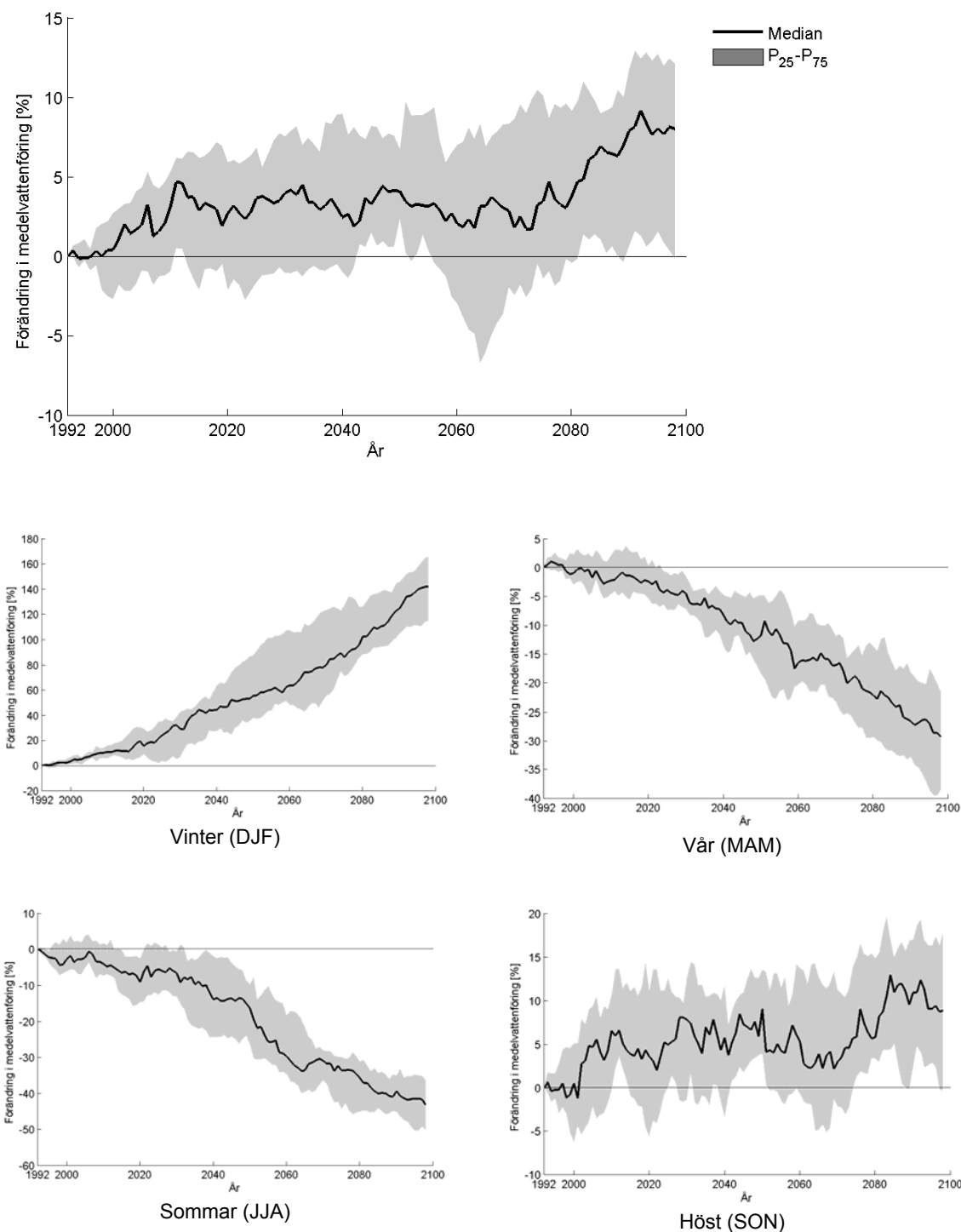
Figur 5.3-15. Procentuell förändring av total årsmedeltillrinning (överst) och medeltillrinning per säsong i **Alsterälvens mynning i Vänern** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärdet av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



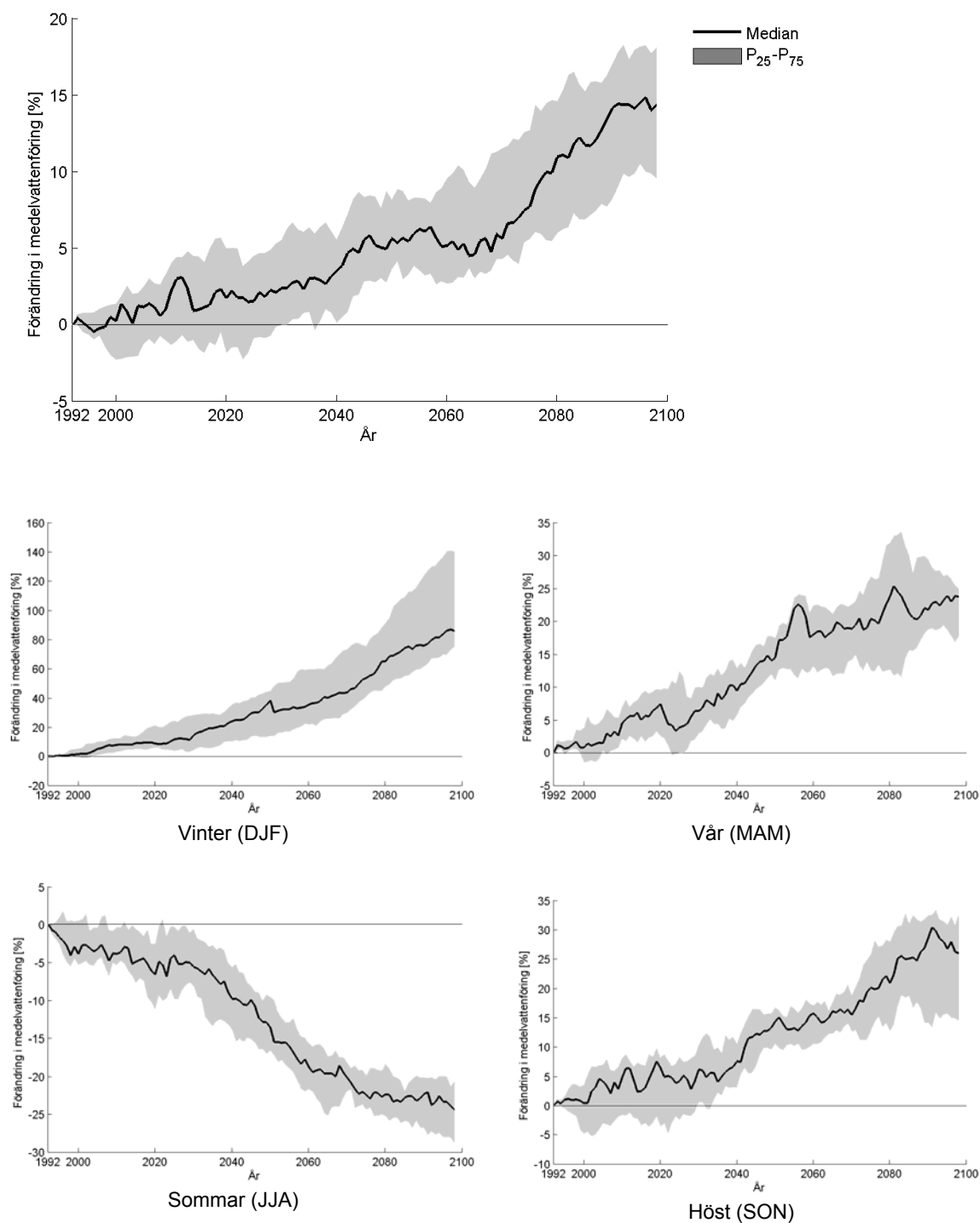
Figur 5.3-16. Procentuell förändring av total årsmedeltillrinning (överst) och medeltillrinning per säsong i **Norsälvens utlopp ur Övre Fryken** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärde av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärde 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



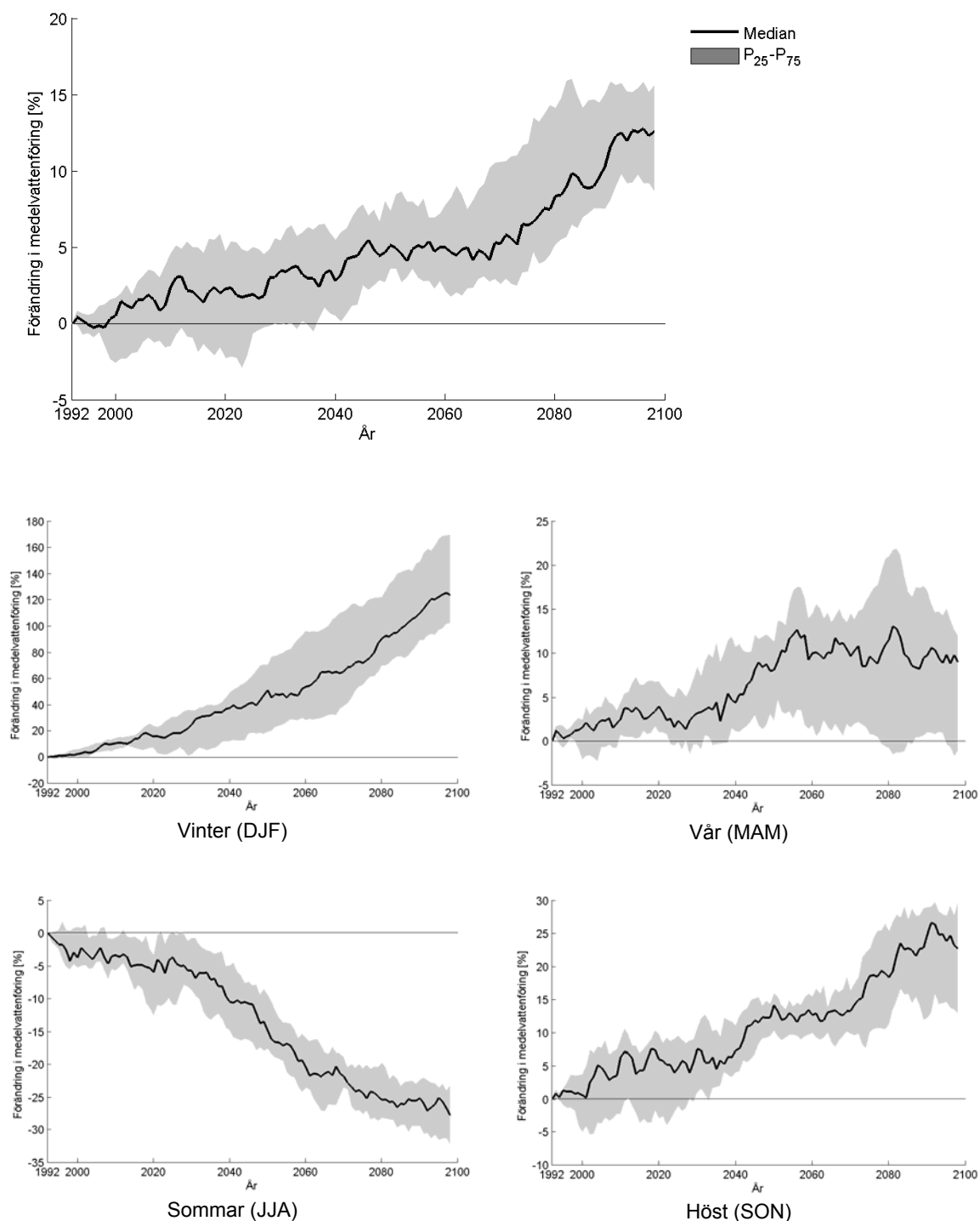
Figur 5.3-17. Procentuell förändring av total årsmedeltillrinning (överst) och medeltillrinning per säsong i **Rottnans mynning i Mellan-Fryken** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärdet av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



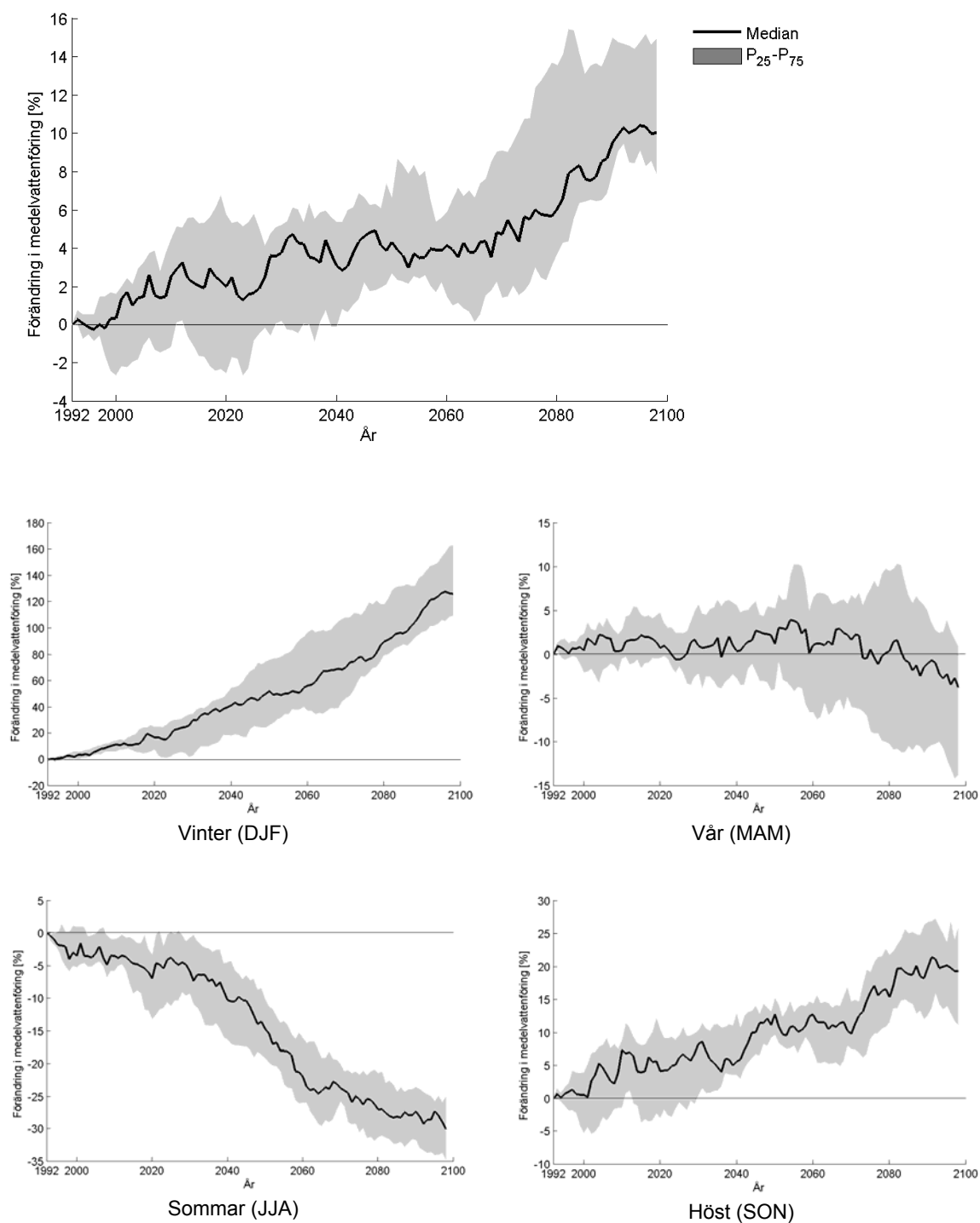
Figur 5.3-18. Procentuell förändring av total årsmedeltillrinning (överst) och medeltillrinning per säsong i Norsälvens mynning i Vänern enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärde av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



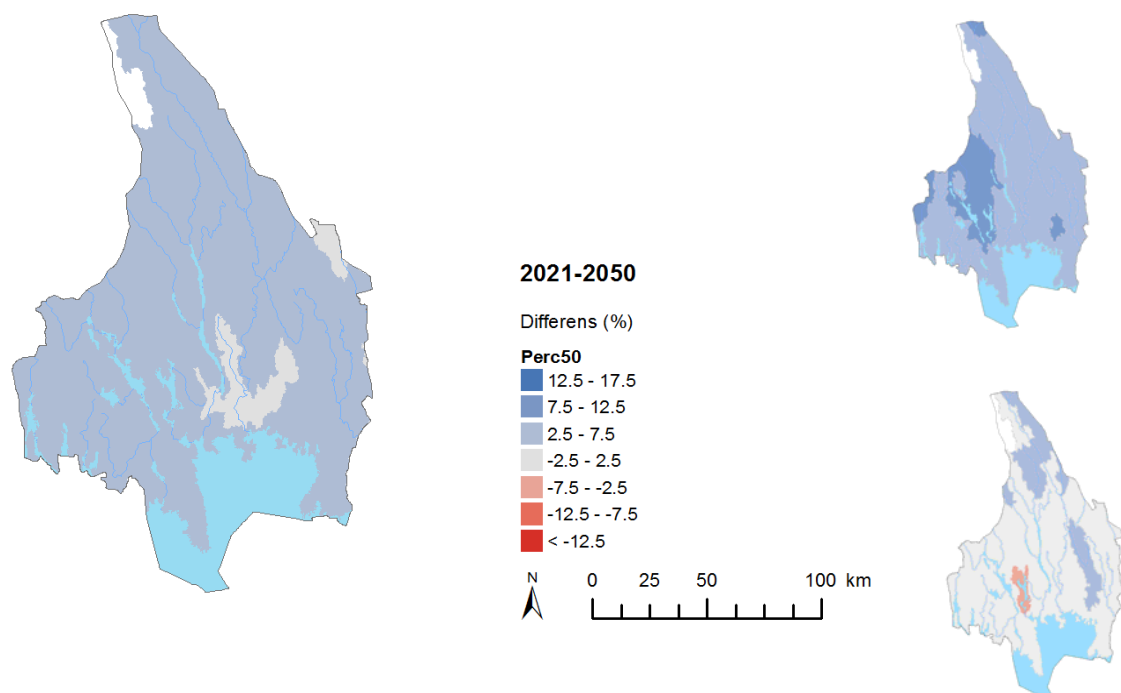
Figur 5.3-19. Procentuell förändring av total årsmedeltillrinning (överst) och medeltillrinning per säsong i Klarälvens utlopp ur Höljessjön enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärdet av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



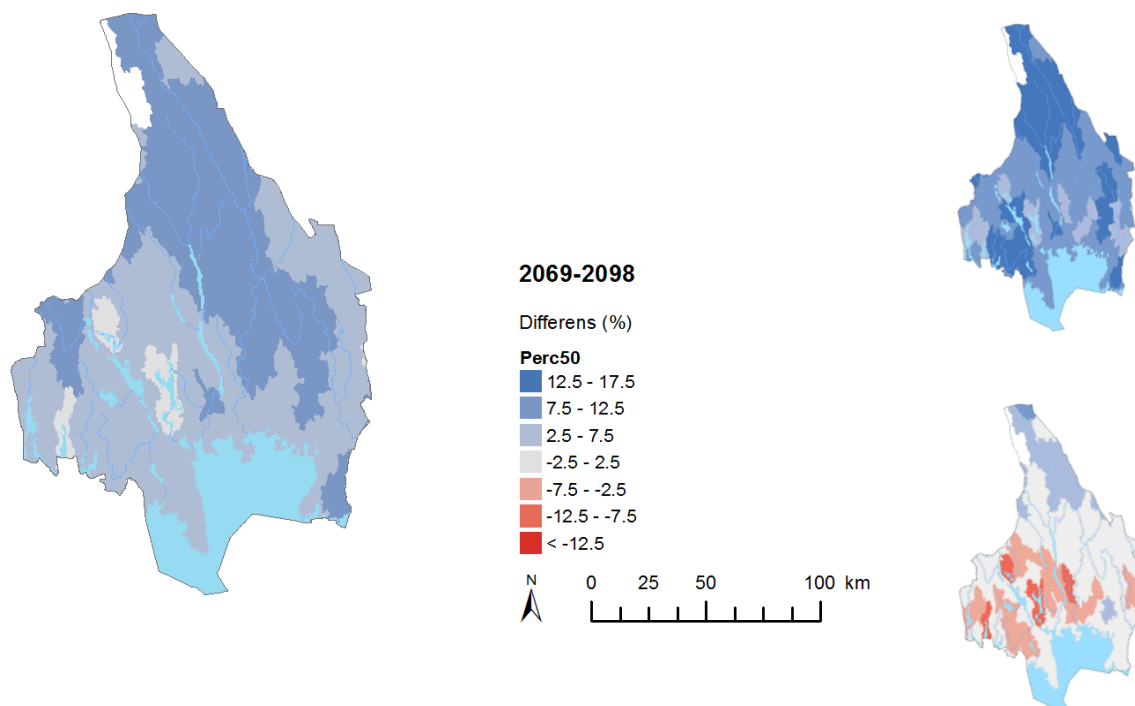
Figur 5.3-20. Procentuell förändring av total årsmedeltillrinning (överst) och medeltillrinning per säsong i Klarälven vuid Edsforsens kraftverk enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärdet av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



Figur 5.3-21 . Procentuell förändring av total årsmedeltillrinning (överst) och medeltillrinning per säsong i Klarälvens mynning i Vänern enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års värde utgörs av ett medianvärde (svart linje) taget över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärdet av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



Figur 5.3-22. Förändring av lokal årsmedeltillrinning i Värmlands län för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden 1963-1992. Den större kartan visar medianvärden, den nedre högra kartan visar 25:e percentilen och den övre högra kartan visar 75:e percentilen av samtliga scenariers årsmedelvärden. Det vita området dränerar till Norge och ingår inte i analysen.



Figur 5.3-23. Förändring av lokal årsmedeltillrinning i Värmlands län för perioden 2069-2098 jämfört med referensperioden 1963-1992. Den större kartan visar medianvärden, den nedre högra kartan visar 25:e percentilen och den övre högra kartan visar 75:e percentilen av samtliga scenariers årsmedelvärden. Det vita området dränerar till Norge och ingår inte i analysen.

I figurerna 5.3-22 — 5.3-23 visas i kartform medianvärdet av förändringen av den lokala medelårstillrinningen i hela länet beräknat från samtliga klimatscenarier för perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098. Parallellt visas även 25:e percentilen och 75:e percentilen av samtliga scenariers årsmedeltillrinning för samma perioder.

I kartbilderna visas den lokala tillrinningen, det vill säga bara det bidrag av vatten som rinner från varje enskilt avrinningsområde. Det ger en bild av hur mindre vattendrag påverkas eftersom deras vattenföring endast beror av lokala förhållanden.

I kartbilden över den lokala tillrinningen enligt klimatscenario-medianen syns en ökning på kring 5 % i större delen av länet för perioden 2021-2050 jämfört med 1961-1990. Mot slutet av seklet syns en ökning av den lokala tillrinningen i klimatscenariomedianen på kring 10 % för Klarälven och Norsälvens övre avrinningsområden, i övriga länet kring 5 %.

5.3.3 100-årsflöden

Begreppet 100-årsflöde är ett mått på ett ovanligt stort flöde som teoretiskt inträffar 1 gång på ett hundra år. Detta beskrivs utförligare i kapitel 5.3.

I figurerna 5.3-24 — 5.3-29 presenteras 100-årsflöden beräknade för året i Upperudsälvens, Byälvens, Borgvikeälvens, Norsälvens, Klarälvens och Alsterävens avrinningsområden, för de punkter som listas i tabell 5.2-1. Beräkningarna är gjorda för *oreglerade* förhållanden på *total* tillrinning. Att total tillrinning (vattenföringen) är beräknad betyder att allt tillrinnande vatten uppströms delavrinningsområdet är inräknat.

100-årsflöden har beräknats för löpande 30-årsperioder efter tidsperioden 1963-1992 (dvs. 1964-1993, 1965-1994, ..., 2069-2098). Detta har gjorts för samtliga klimatscenarier. 100-årsflödet beräknat för perioden 1963-1992 utgör referensvärdet med vilket beräknade 100-årsflöden för övriga 30-årsperioder jämförs med. Förändringen av storleken på 100-årsflödet uttrycks i procent.

Klimatsignalen för framtida 100-årsflöden i Klarälven och Norsälven visar på en nedgång med kring 10 % respektive 10 – 20 % till slutet av seklet. Alsterälven är relativt oförändrad, Borgvikeälven något ökande mot slutet av seklet. Upperudsälven visar på något ökande 100-årsflöde, kring 10 %, och Byälven ser relativt oförändrad ut eller något minskande i övre delen av avrinningsområdet.

I figurerna 5.3-30 — 5.3-31 visas medianvärdet av förändringen av den lokala 100-årstillrinningen i hela länet beräknat från samtliga klimatscenarier för perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098. Parallellt visas även 25:e percentilen och 75:e percentilen av samtliga scenariers 100-årstillrinning för samma perioder.

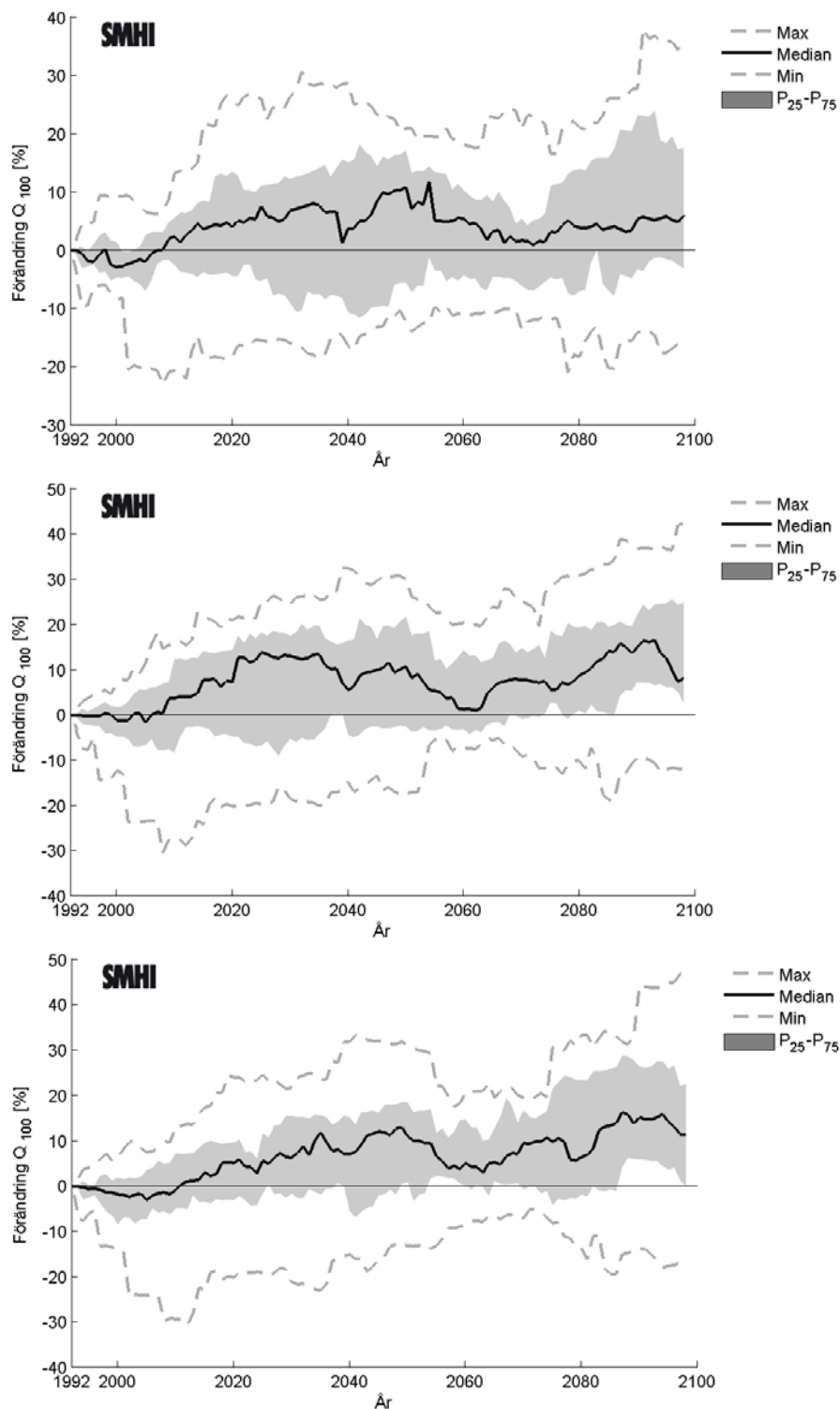
I kartbilderna visas den lokala tillrinningen, det vill säga bara det bidrag av vatten som rinner från varje enskilt avrinningsområde visas. Detta ger en bild av hur mindre vattendrag, vars vattenföring endast beror av lokala förhållanden, påverkas.

För perioden fram till mitten av seklet syns en minskning av lokal 100-årstillrinning i de övre delarna av de större avrinningsområdena och relativt oförändrad tillrinning i de mellersta delarna av länet då medianen studeras. Mot slutet av seklet förstärks signalen med något tydligare minskning i fler områden.

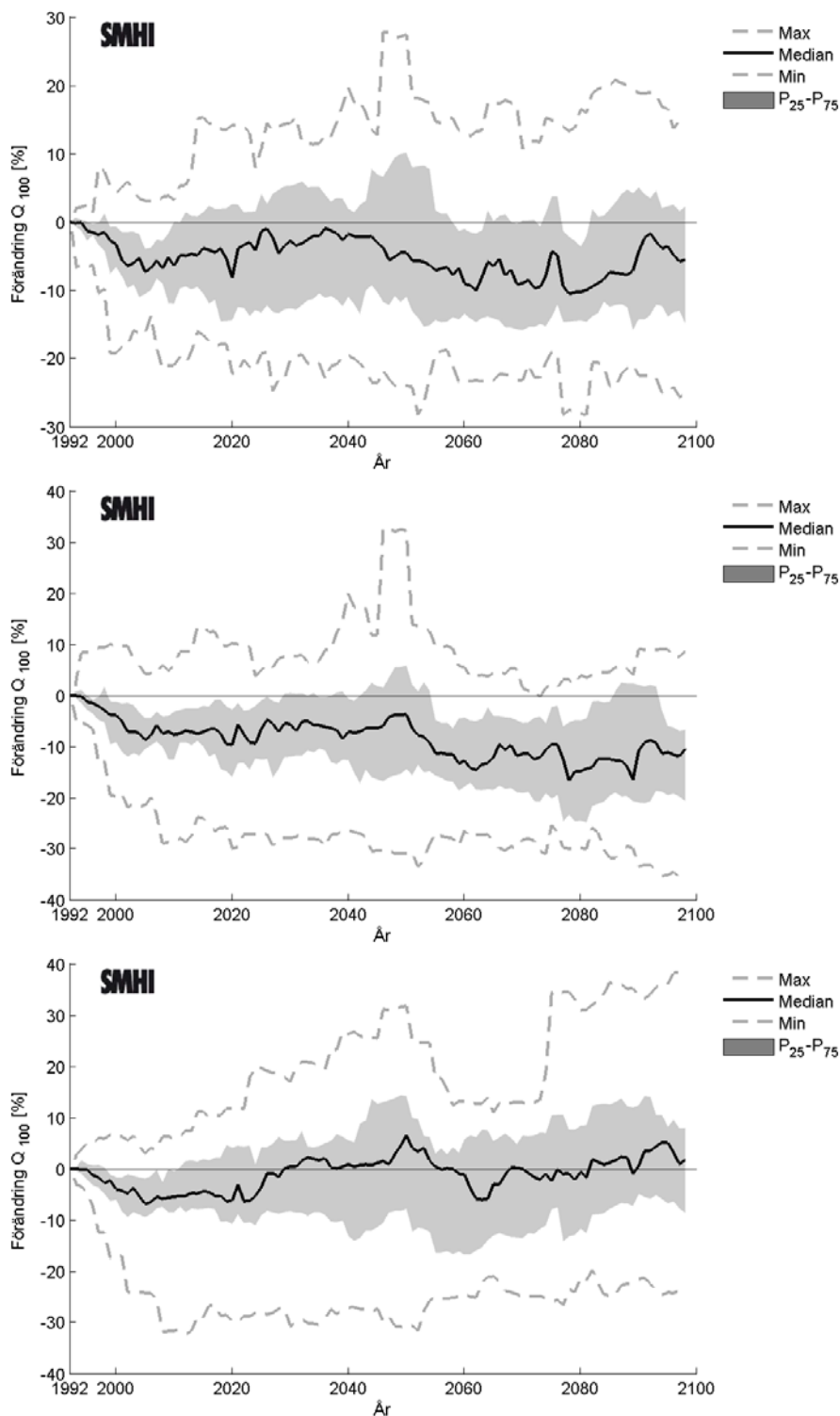
Upperudsälven i västra delarna av länet tycks gå mot något ökade lokal 100-årstillrinning, upp mot 10%, medan Byälven tycks vara ganska oförändrad eller något ökande i nedre delen av avrinningsområdet.

I kartorna för övre och undre kvartilerna förstärks signalerna åt respektive håll mot mediankartorna, vilket visar på klimatscenariernas spridning.

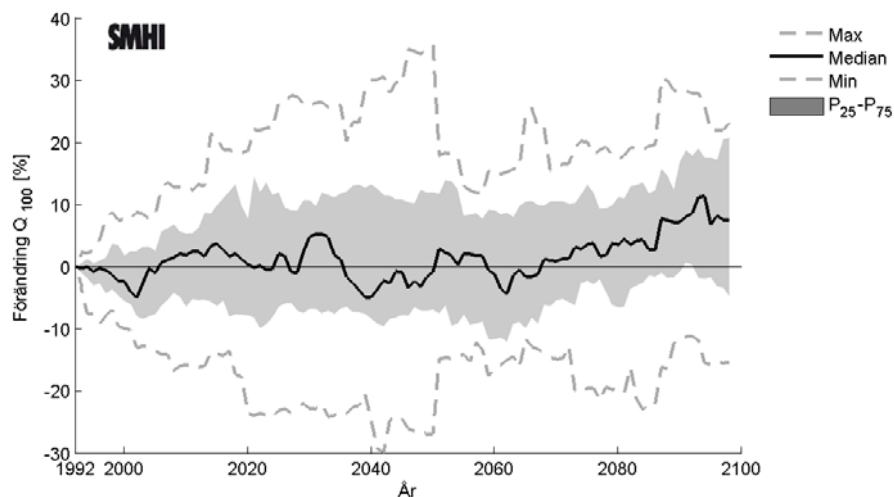
Lokala tillrinningsområden mynnandes direkt i Vänern visar på tydligare ökning av tillrinningen. Detta resultat är dock ett medelvärde för hela den lokala Vänernregionen, varför resultatet är mindre representativt lokalt för norra Vänern i Värmlands län.



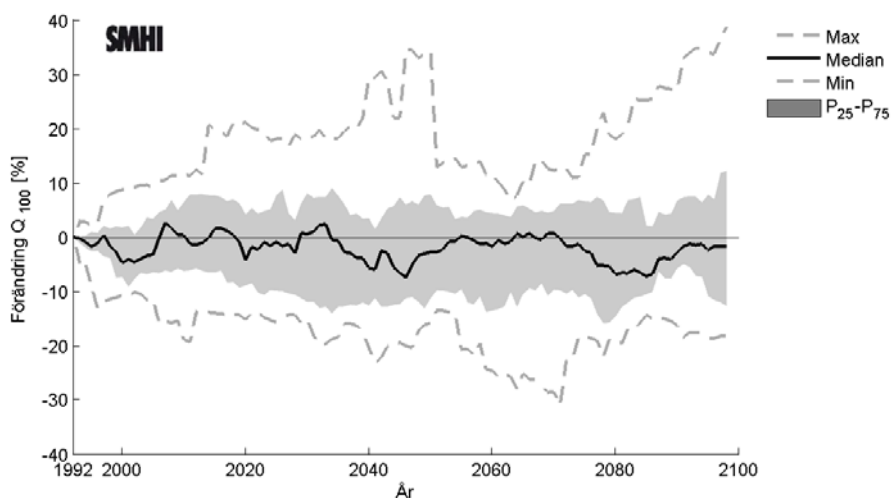
Figur 5.3-24. Procentuell förändring av total 100-årstillrinning i **Upperudsälvens avrinningsområde; utlopp ur Foxen (överst), Gustavsforsälvens mynning i Västra Silen (mitten) och mynningen i Vänern (nederst)** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årstillrinningen beräknat från referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Den svarta linjen avser medianen och de streckade linjerna visar max- och minvärde av samtliga klimatscenarier. Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



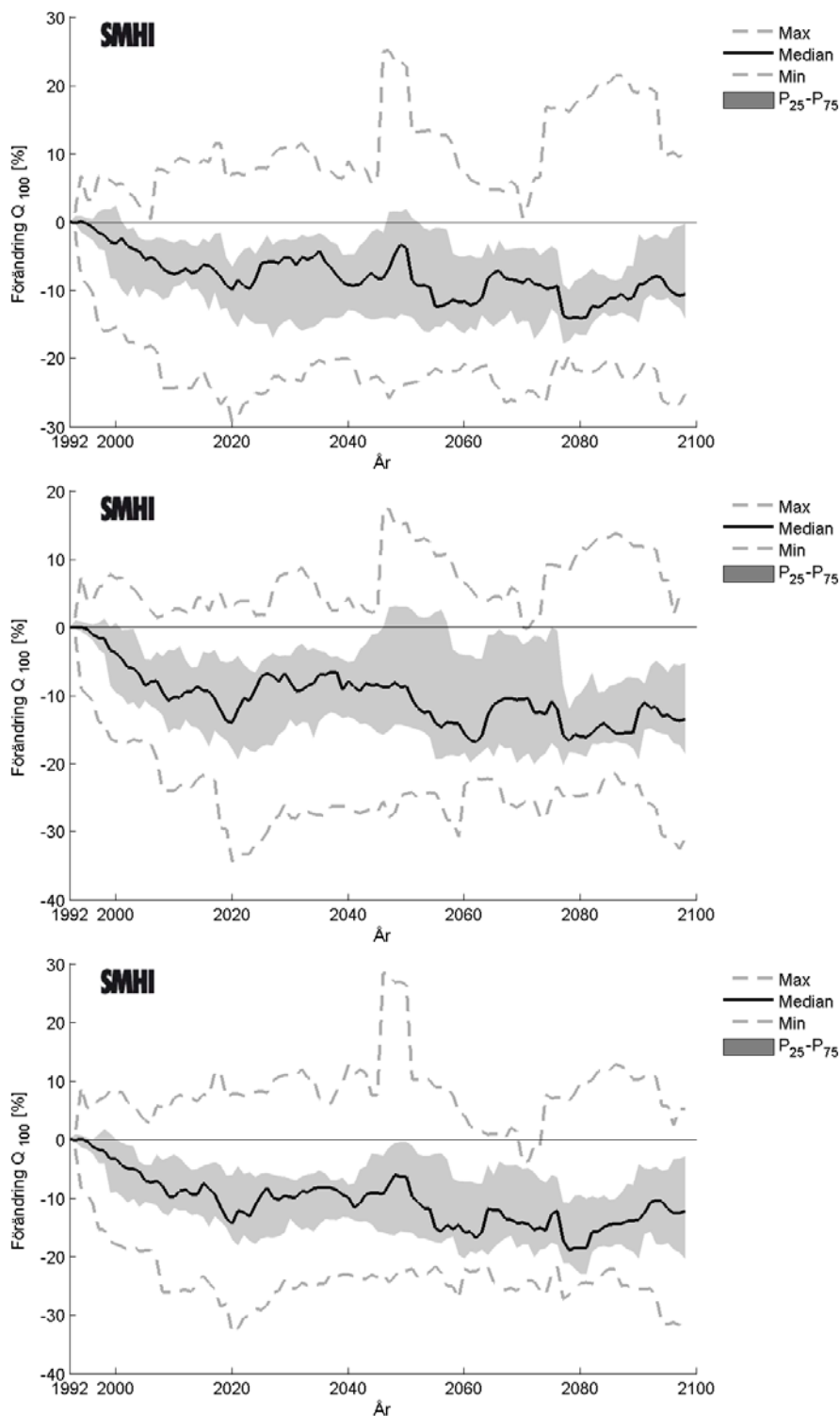
Figur 5.3-25. Procentuell förändring av total 100-årstillrinning i **Byälvens avrinningsområde; Noreälvens utlopp ur Hugn (överst), Vaggeälvens mynning i Nysöckensjön (mitten) och mynningen i Vänern (nederst)** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årstillrinningen beräknat från referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Den svarta linjen avser medianen och de streckade linjerna visar max- och minvärde av samtliga klimatscenarioer. Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



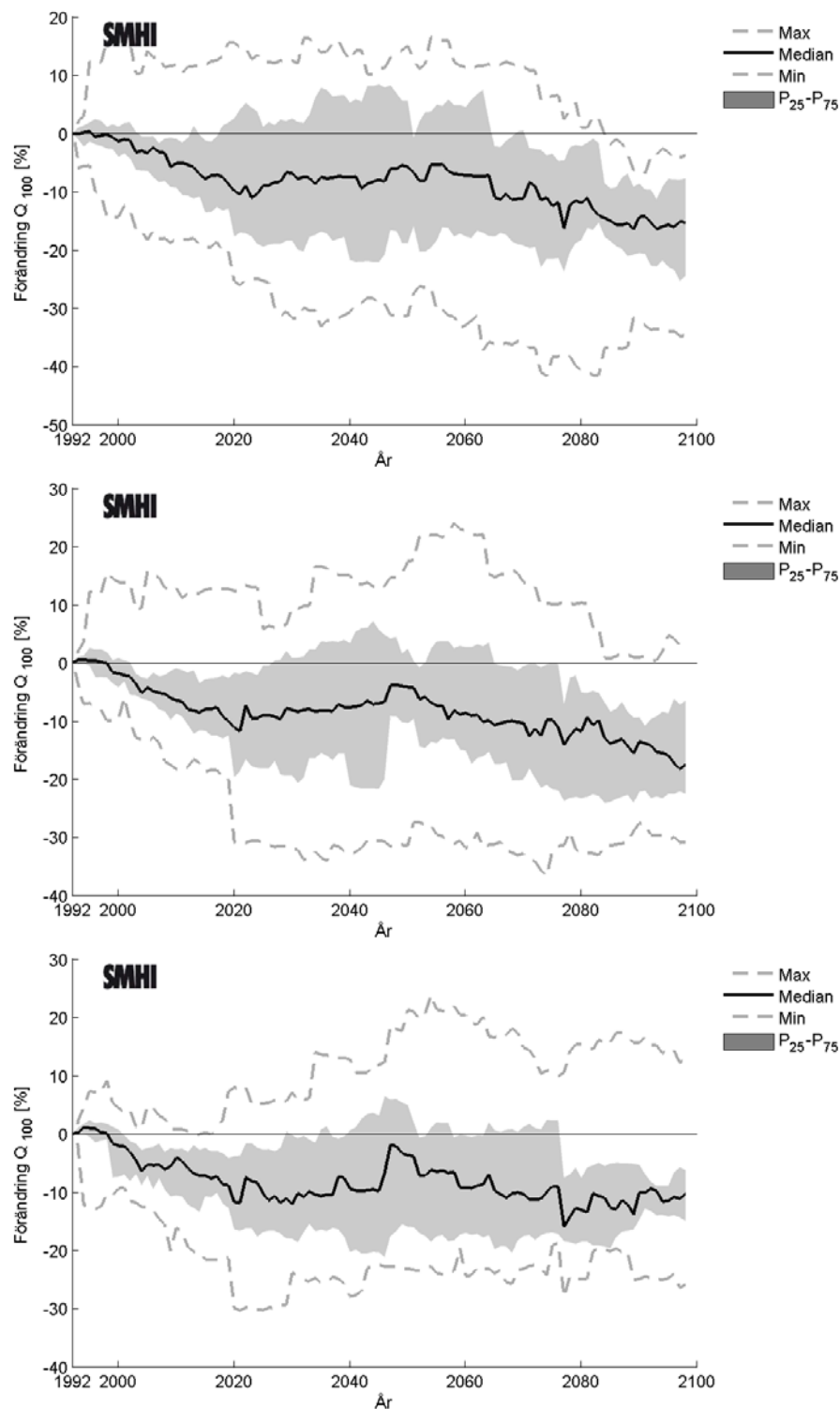
Figur 5.3-26. Procentuell förändring av total 100-årstillrinning i **Borgvikeälvens mynning i Vänern** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årstillrinningen beräknat från referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Den svarta linjen avser medianen och de streckade linjerna visar max- och minvärde av samtliga klimatscenarier. Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



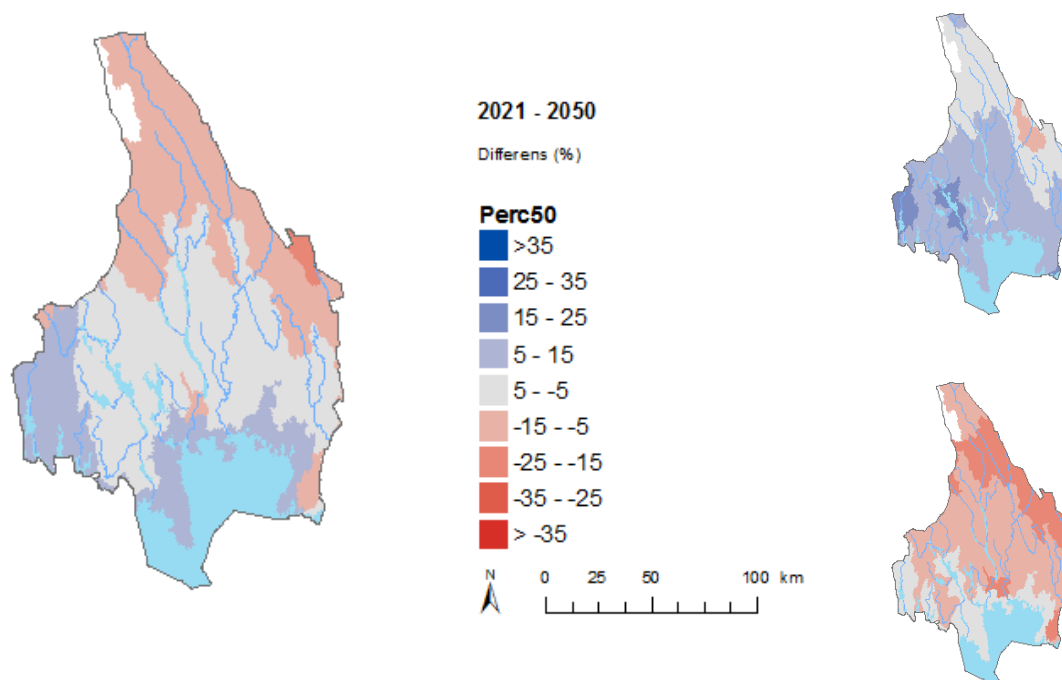
Figur 5.3-27. Procentuell förändring av total 100-årstillrinning i **Alsterälvens mynning i Vänern** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årstillrinningen beräknat från referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Den svarta linjen avser medianen och de streckade linjerna visar max- och minvärde av samtliga klimatscenarier. Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



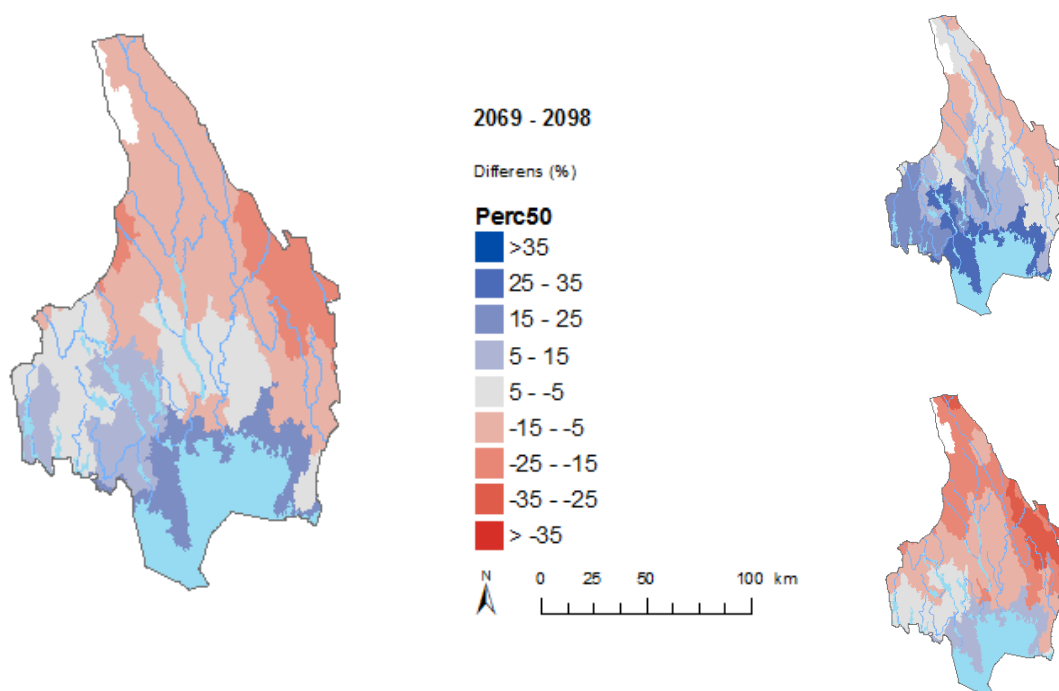
Figur 5.3-28. Procentuell förändring av total 100-årstillrinning i Norsälvens avrinningsområde; **Utloppet ur övre Fryken (överst), Rottnans mynning i Mellan-Fryken (mitten) och mynning i Vänern (nederst)** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årstillrinningen beräknat från referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Den svarta linjen avser medianen och de streckade linjerna visar max- och minvärde av samtliga klimatscenarier. Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



Figur 5.3-29. Procentuell förändring av total 100-årstillrinning i Klarälvens avrinningsområde; **utloppet av Höljessjön (överst), vid Edsforsens kraftverk (itten) och mynningen i Vänern (nederst)** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årstillrinningen beräknat från referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Den svarta linjen avser medianen och de streckade linjerna visar max- och minvärde av samtliga klimatscenarier. Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



Figur 5.3-30. Förändring av **lokal 100-årstillrinning** i Värmlands län för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden 1963-1992. Den större kartan visar medianvärden, den nedre högra kartan visar 25:e percentilen och den övre högra kartan visar 75:e percentilen av samtliga scenariers 100-årsvärden. Det vita området dränerar till Norge och ingår inte i analysen.



Figur 5.3-31. Förändring av **lokal 100-årstillrinning** i Värmlands län för perioden 2069-2098 jämfört med referensperioden 1963-1992. Den större kartan visar medianvärden, den nedre högra kartan visar 25:e percentilen och den övre högra kartan visar 75:e percentilen av samtliga scenariers 100-årsvärden. Det vita området dränerar till Norge och ingår inte i analysen.

5.3.4 200-årsflöden

Begreppet 200-årsflöde är ett flöde som är större än 100-årsflöde och som teoretiskt inträffar 1 gång på tvåhundra år, dvs. med en återkomsttid på 200 år. Begreppet återkomsttid beskrivs i kapitel 5.3.

I figurerna 5.3-32 — 5.3-37 presenteras 200-årsvattenföringar beräknade för året i Upperudsälvens, Byälvens, Borgvikeälvens, Norsälvens, Klarälvens och Alsterävens avrinningsområden, för de punkter som listas i tabell 5.3-1. Beräkningarna är gjorda för *oreglerade* förhållanden på *total* tillrinning. Att total tillrinning (vattenföringen) är beräknad betyder att allt tillrinnande vatten uppströms delavrinningsområdet är inräknat.

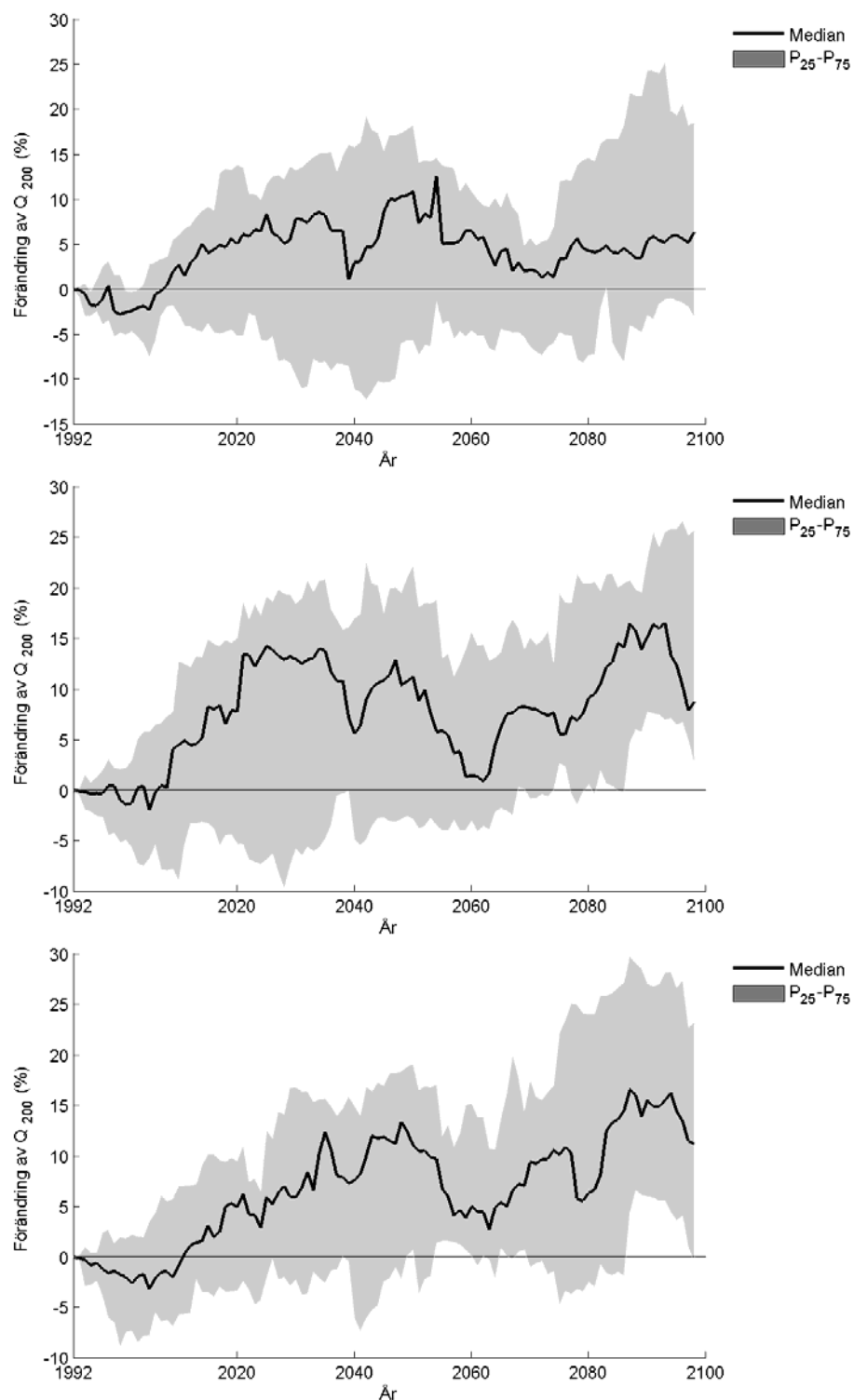
200-årsflöden har beräknats för löpande 30-årsperioder efter tidsperioden 1963-1992 (dvs. 1964-1993, 1965-1994, ..., 2069-2098). Detta har gjorts för samtliga klimatscenarier. 200-årsflödet beräknat för perioden 1963-1992 utgör referensvärdet med vilket beräknade 200-årsflöden för övriga 30-årsperioder jämförs med. Förändringen av storleken på 200-årsflödet uttrycks i procent.

Generellt liknar responsen i vattendragen för 200-årsflöden den för 100-årsflöden. För framtida 200-årsflöden i Klarälven och Norsälven ses en minskning med mellan 10 – 20 % till slutet av seklet. Alsterälven är relativt oförändrad, Borgvikeälven något ökande mot slutet av seklet. Upperudsälven visar på något ökande högföde, ca 10 - 15 %, och Byälven ser totalt, i mynningen, relativt oförändrad ut men är minskande, 5 – 15 %, i övre delarna av avrinningsområdet.

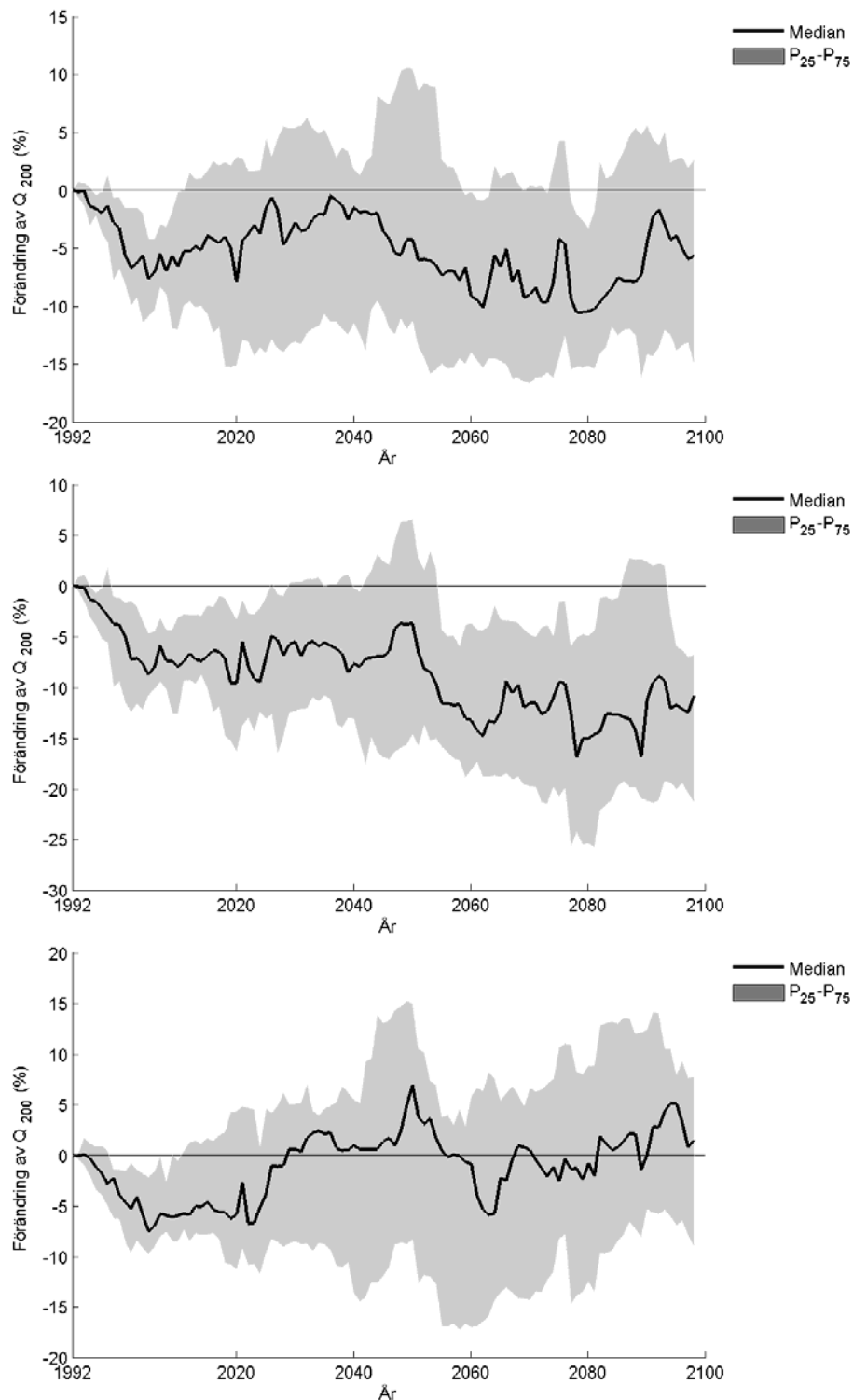
I figurerna 5.3-38 — 5.3-39 visas medianvärdet av förändringen av den lokala 200-årstillrinningen i hela länet beräknat från samtliga klimatscenarier för perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098. Parallellt visas även 25:e percentilen och 75:e percentilen av samtliga scenariers 100-årstillrinning för samma perioder.

I kartbilderna visas den lokala tillrinningen, det vill säga bara det bidrag av vatten som rinner från varje enskilt avrinningsområde. Detta ger en bild av hur mindre vattendrag, vars vattenföring endast beror av lokala förhållanden, påverkas.

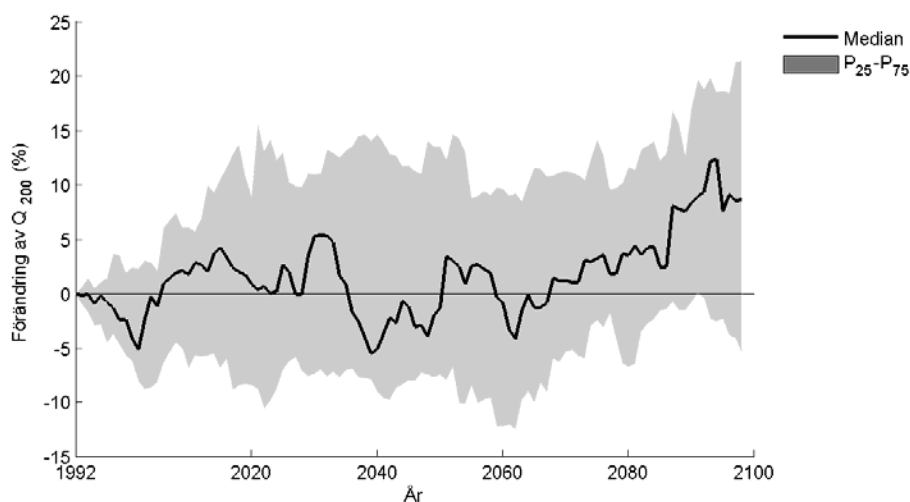
Den förändring för lokal vattenföring med 200 års återkomsttid som erhålls från framtida klimatscenarier är mycket lik den för 100-årsflöden.



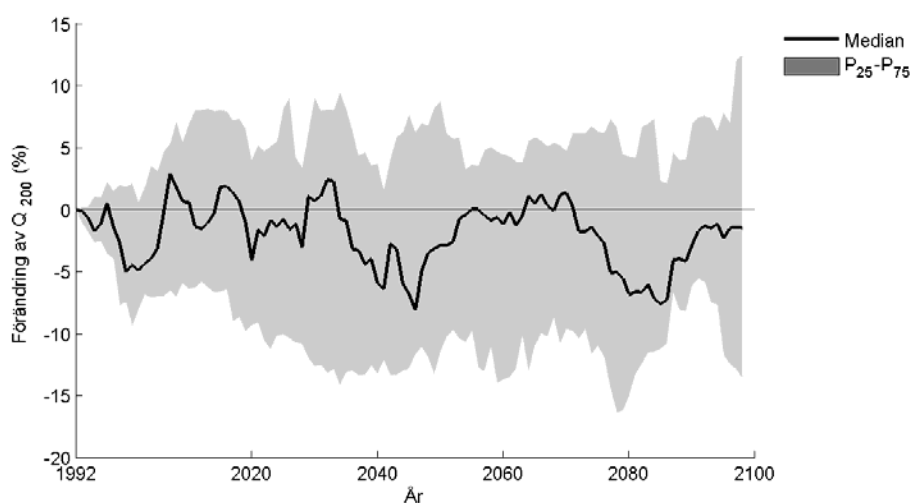
Figur 5.3-32. Procentuell förändring av total 200-årstillrinning i **Upperusälvens avrinningsområde; utlopp ur Foxen (överst), Gustavsforsälvens mynning i Västra Silen (mitten) och mynningen i Vänern (nederst)** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årstillrinningen beräknat från referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Den svarta linjen visar medianen och det grå fältet avser variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



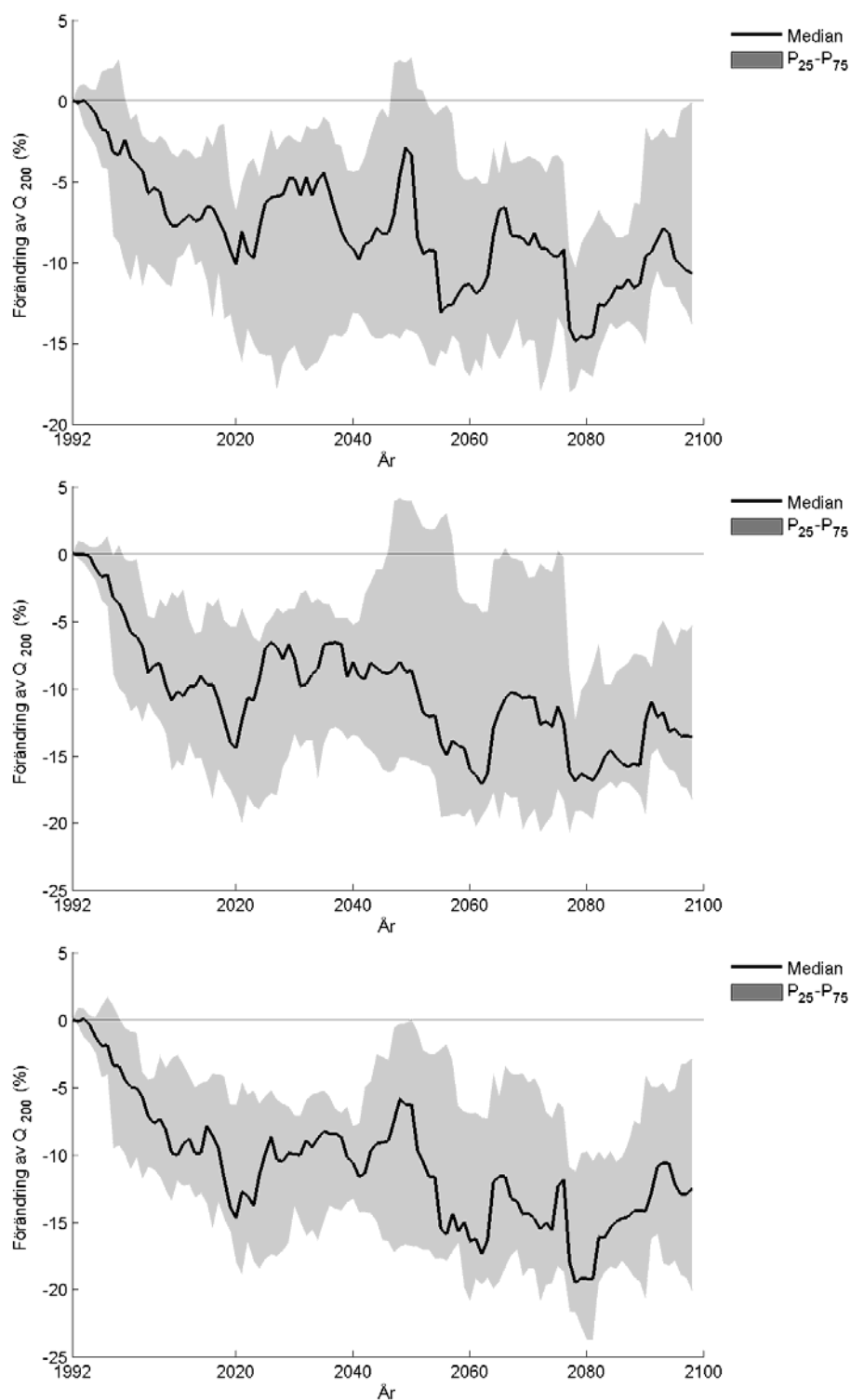
Figur 5.3-33. Procentuell förändring av total 200-årstillrinning i **Byälvens avrinningsområde; Noreälvens utlopp ur Hugn (överst), Vaggeälvens mynning i Nysöckensjön (mitten) och mynningen i Vänern (nederst)** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årstillrinningen beräknat från referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Den svarta linjen visar medianen och det grå fältet avser variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



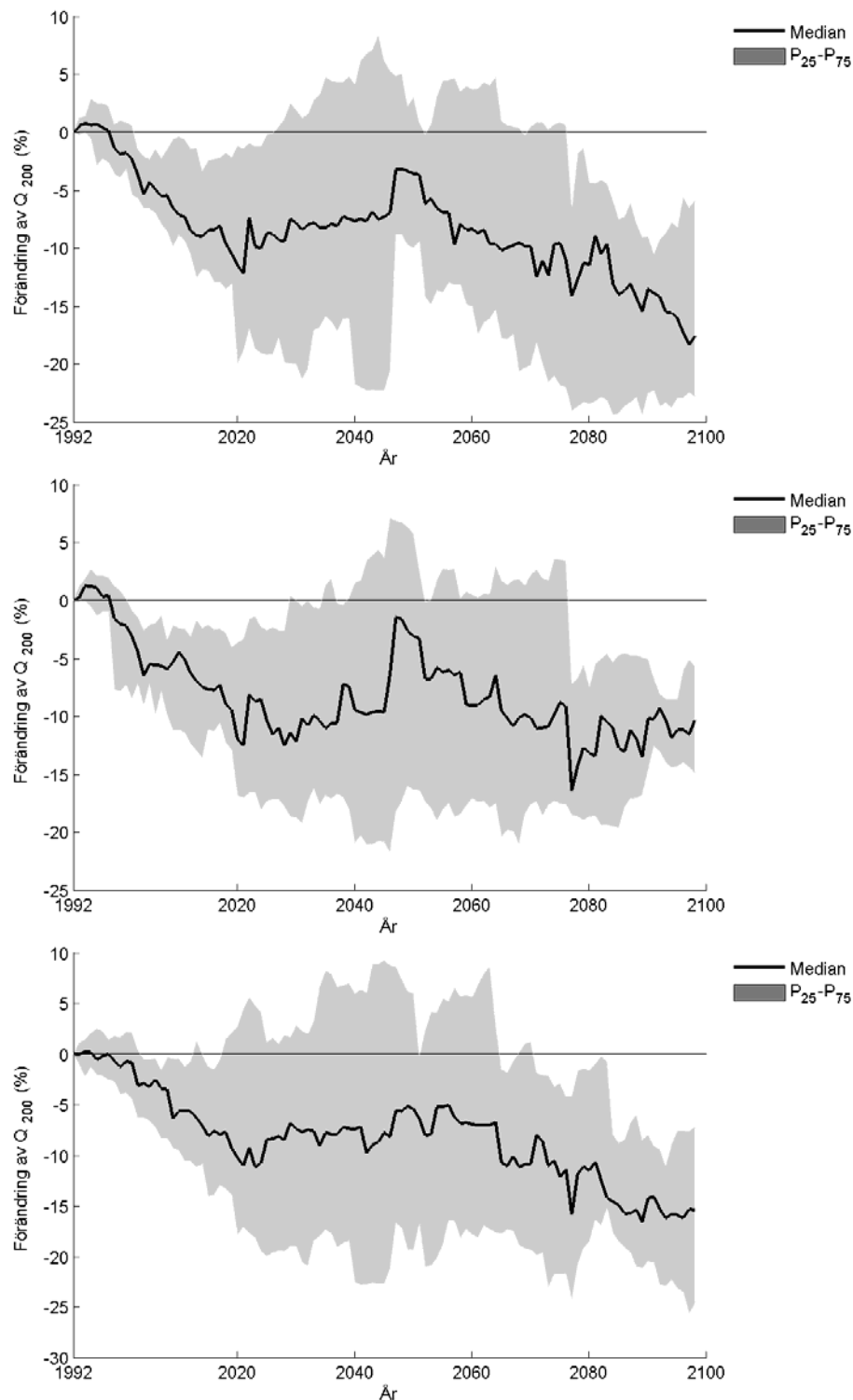
Figur 5.3-34. Procentuell förändring av total 200-årstillrinning i **Borgvikeälvens mynning i Vänern** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årstillrinningen beräknat från referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Den svarta linjen visar medianen och det grå fältet avser variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



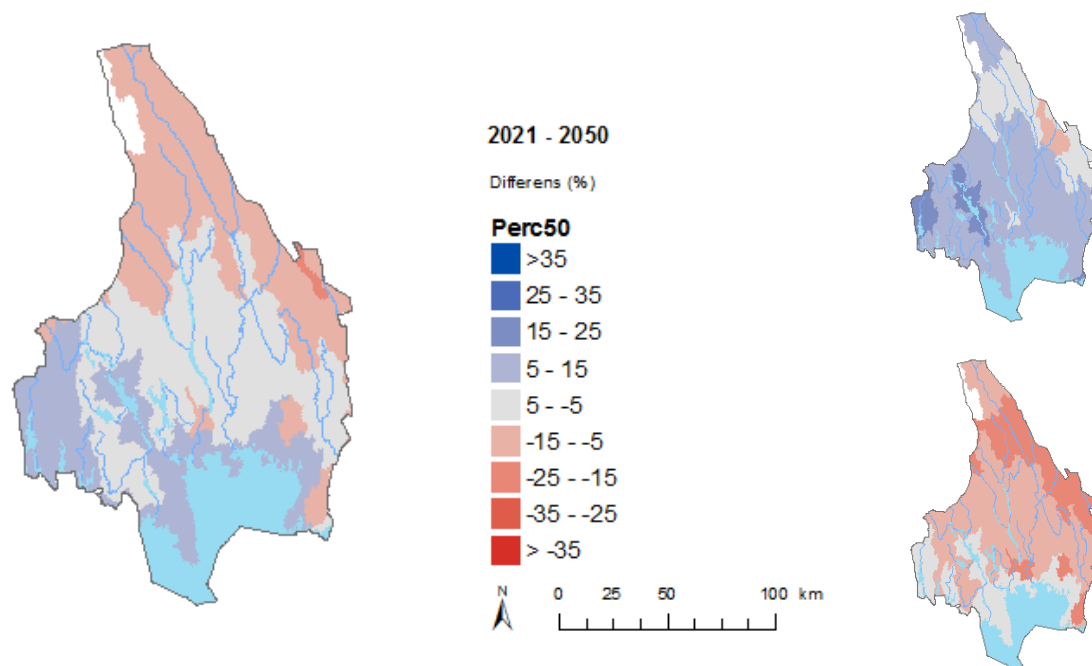
Figur 5.3-35. Procentuell förändring av total 200-årstillrinning i **Alsterälvens mynning i Vänern** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årstillrinningen beräknat från referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Den svarta linjen visar medianen och det grå fältet avser variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



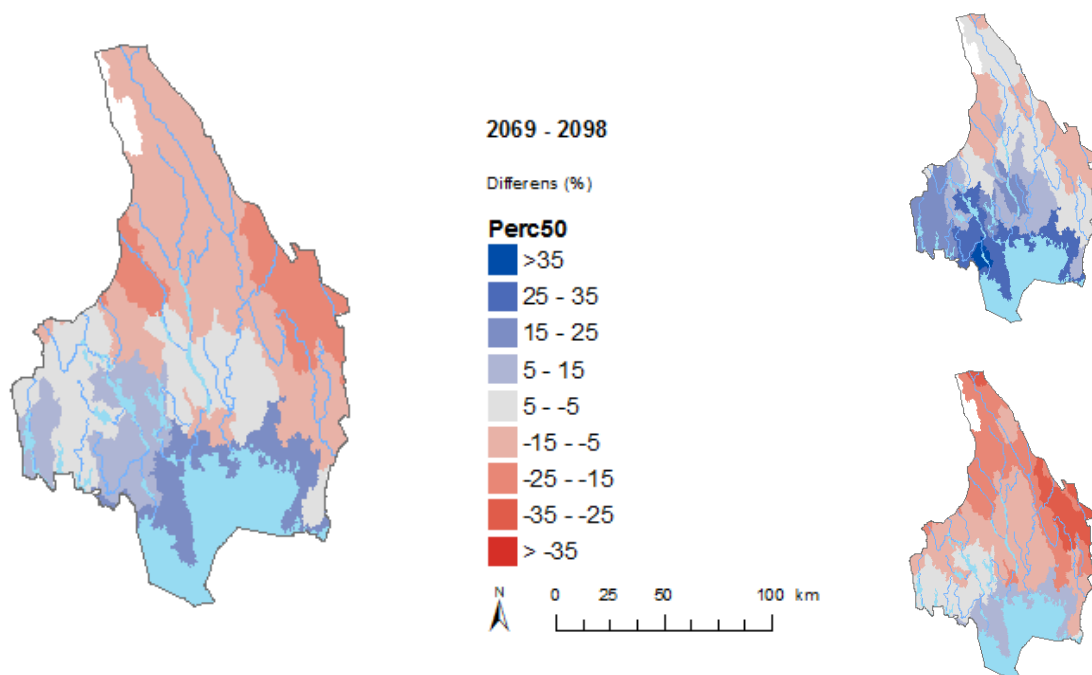
Figur 5.3-36. Procentuell förändring av total 200-årstillrinning i Norsälvens avrinningsområde; **Utloppet ur övre Fryken (överst), Rottnans mynning i Mellan-Fryken (mitten) och mynning i Vänern (nederst)** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årstillrinningen beräknat från referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Den svarta linjen visar medianen och det grå fältet avser variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



Figur 5.3-37. Procentuell förändring av total 200-årstillrinning i **Klarälvens avrinningsområde; utloppet av Höljessjön (överst), vid Edsforsens kraftverk (itten) och mynningen i Vänern (nederst)** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årstillrinningen beräknat från referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Den svarta linjen visar medianen och det grå fältet avser variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



Figur 5.3-38. Förändring av **lokal 200-årstillrinning** i Värmlands län för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden 1963-1992. Den större kartan visar medianvärden, den nedre högra kartan visar 25:e percentilen och den övre högra kartan visar 75:e percentilen av 16 klimatscenariers 200-årsvärden. Det vita området dränerar till Norge och ingår inte i analysen.



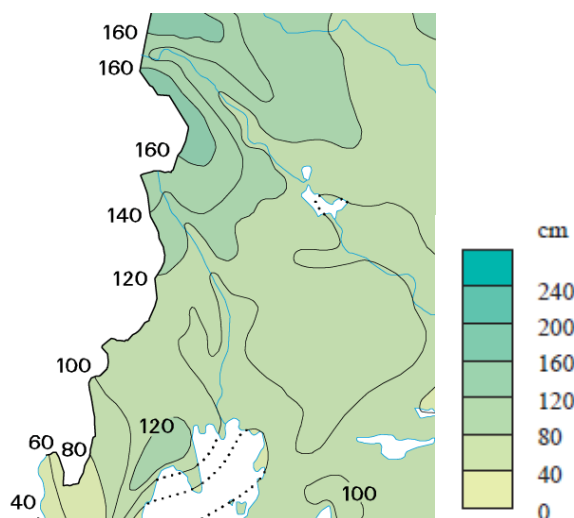
Figur 5.3-39. Förändring av **lokal 200-årstillrinning** i Värmlands län för perioden 2069-2098 jämfört med referensperioden 1963-1992. Den större kartan visar medianvärden, den nedre högra kartan visar 25:e percentilen och den övre högra kartan visar 75:e percentilen av 16 klimatscenariers 200-årsvärden. Det vita området dränerar till Norge och ingår inte i analysen.

5.4 Snö

För att beskriva snöns utveckling i framtiden används beräknat maximalt vatteninnehåll i snön under året och beräknat antal framtida snö dagar. Det maximala vatteninnehållet är den mängd vatten som snötäcket maximalt har innehållit under året och antalet snö dagar är det antal dagar då snötäcket haft minst 5 mm vatteninnehåll. Dessa har beräknats med HBV-modellen baserat på klimatindata som beskrivs i kapitel 4.5.

5.4.1 Snöns maximala vatteninnehåll

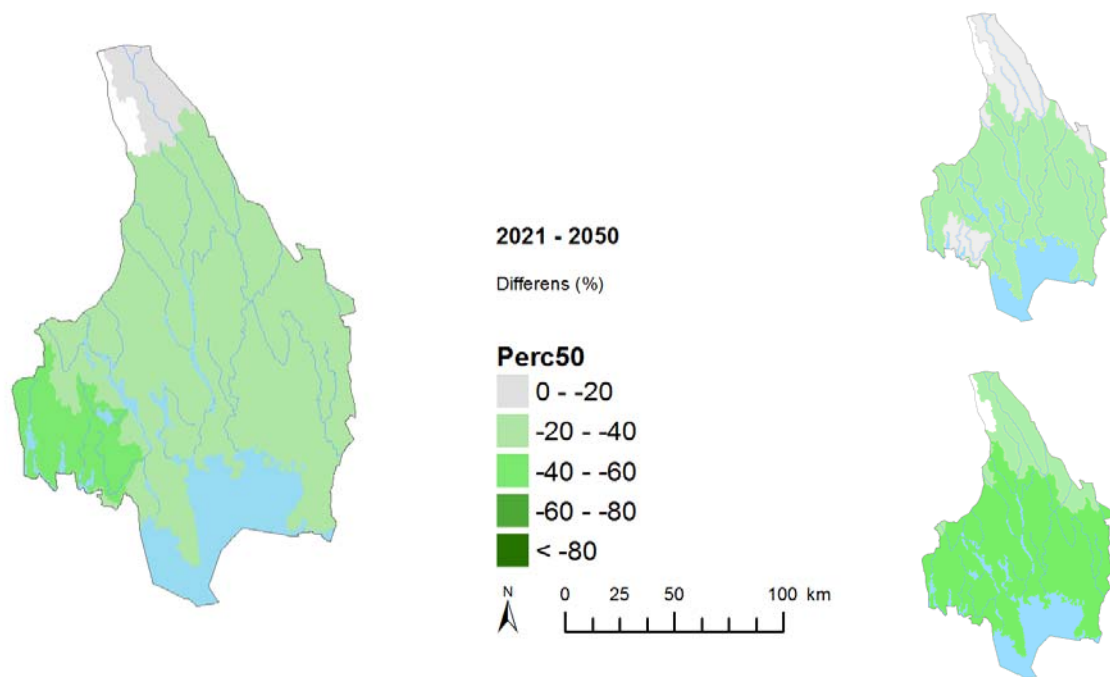
Observerat största snödjup under referensperioden 1961-1990 var för Värmlands län mellan 160 cm längst i norr och 80 -100 cm i södra delarna (figur 5.4-1). Lägg märke till att utförda beräkningar är gjorda på millimeter vatteninnehåll och inte i faktiskt snödjup som observationerna är uppmätta i, varför observationer och beräkningar inte kan jämföras direkt.



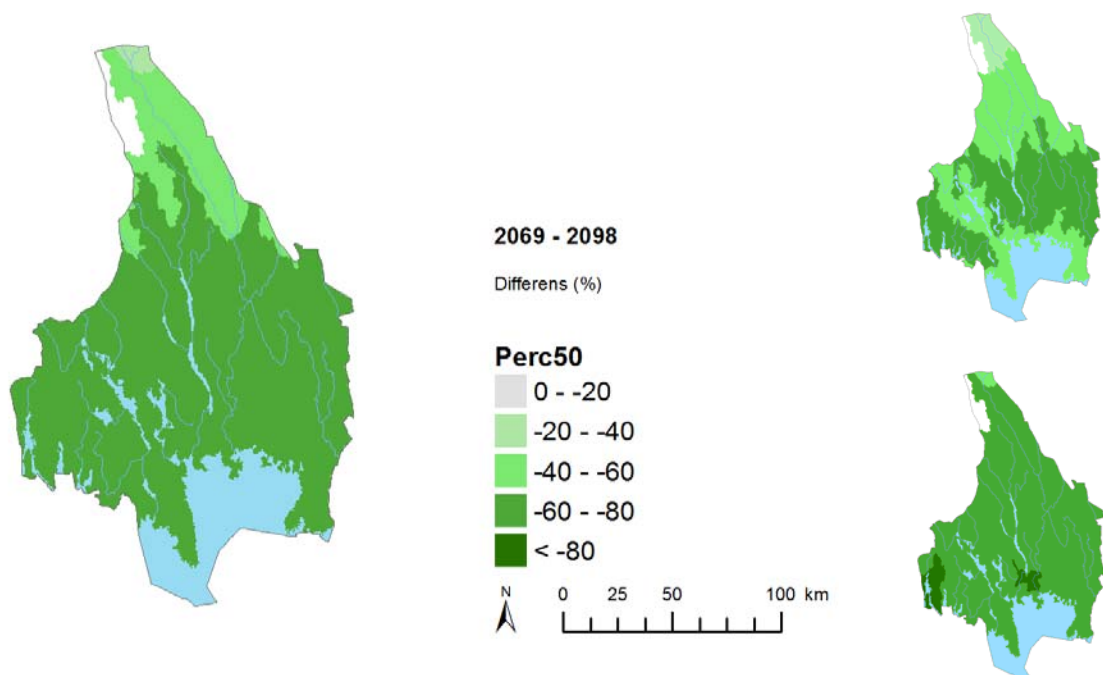
Figur 5.4-1. Observerat största snödjup (cm) 1961 – 1990 (Beskuren från Brandt och Eklund, 1999).

I figurerna 5.4-2 – 5.4-3 visas i kartform förändringen av snöns maximala vatteninnehåll för perioden 2021-2050 respektive 2069 – 2098 för hela länet. Förändringen av vatteninnehållet i snön har beräknats utifrån det dygn som har störst snötäcke under året dvs. varje års maximala snötäcke. Glidande 30-årsperioder har jämförts med referensperiodens (1963 - 1992) medelvärde av maximalt vatteninnehåll i snön och uttrycks som förändring i procent.

Genomgående kan en minskning av snöns maximala vatteninnehåll på mellan 0-20 % i norra länet till ned mot 60 % i västra länet till mitten av seklet observeras då medianen betraktas. Mot slutet av seklet förstärks signalen till en nedgång av mellan 20 – 60 % i norr till nedåt 80 % i söder jämfört med referensperioden.



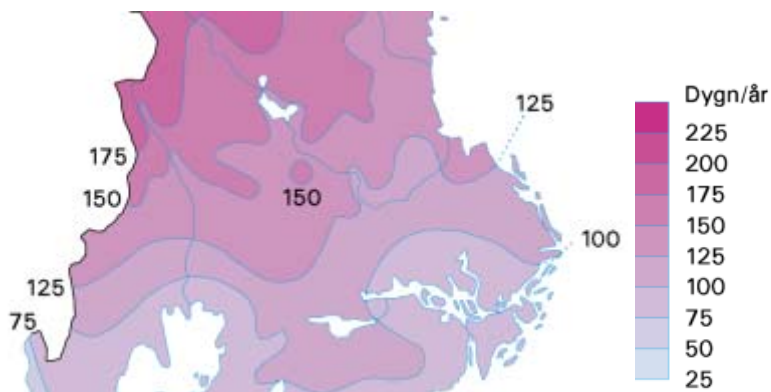
Figur 5.4-2. Förändring av snöns maximala vatteninnehåll för Värmlands län för perioden 2021-2050. Den större kartan visar medianvärden, den nedre högra kartan visar 25:e percentilen och den övre högra kartan visar 75:e percentilen av 16 klimatscenarier. Det vita området dränerar till Norge och ingår inte i analysen.



Figur 5.4-3. Förändring av snöns maximala vatteninnehåll för Värmlands län för perioden 2069 – 2098. Den större kartan visar medianvärden, den nedre högra kartan visar 25:e percentilen och den övre högra kartan visar 75:e percentilen av 16 klimatscenarier. Det vita området dränerar till Norge och ingår inte i analysen.

5.4.2 Antal dagar med snö

Medelvärde av antal observerade snödagar under den meteorologiska referensperioden 1961-1990 var för Värmlands län 75-100 i söder till 175-200 dagar i norr (figur 5.4-4).

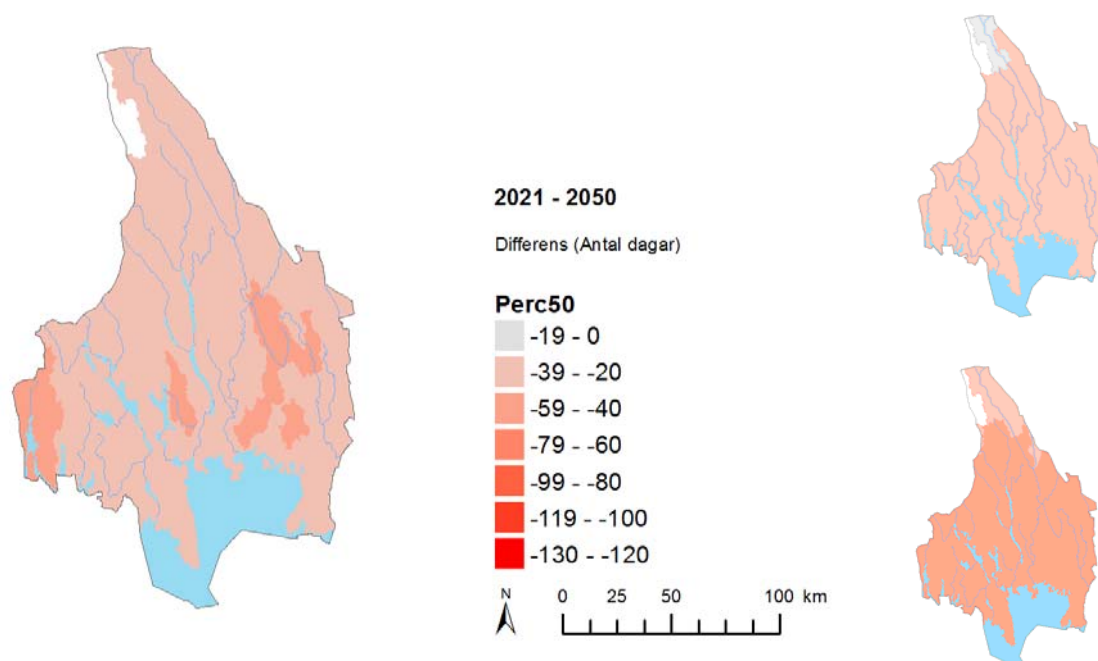


Figur 5.4-4. Antal dygn med snötäcke 1961 – 1990 (Beskuren från Brandt och Eklund, 1999).

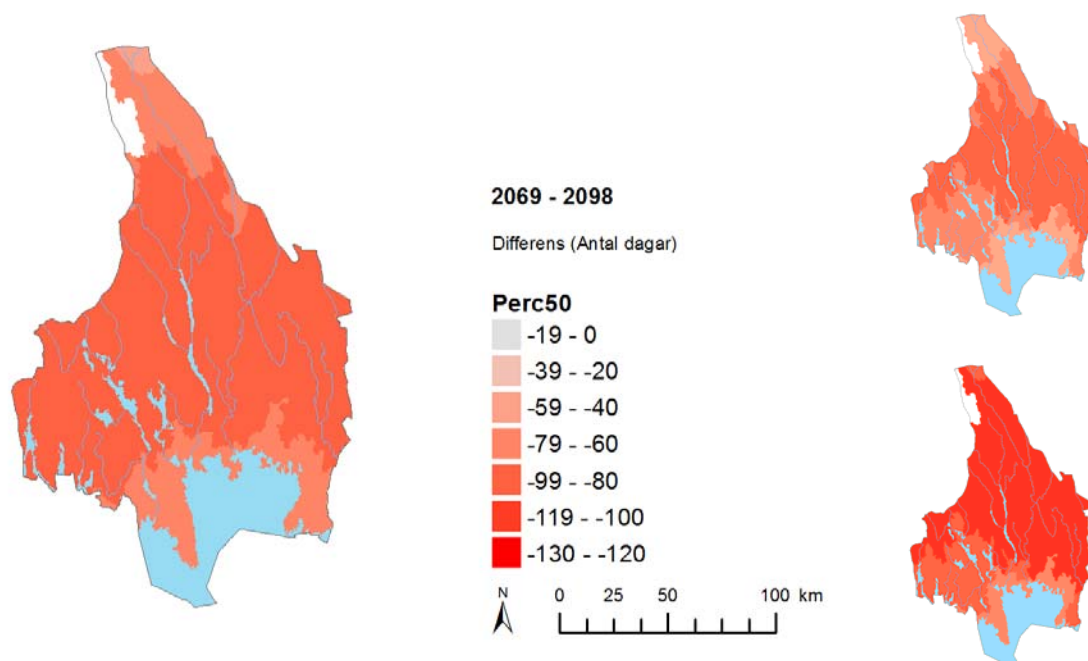
Som underlag till föreliggande rapport har antalet förväntade framtida snödagar beräknats. Eftersom beräkningarna görs med den hydrologiska modellen blir även här referensperioden 1963-1992. Antal snödagar (antal dagar med snötäcke med vatteninnehåll > 5 mm) under glidande 30-årsperioder har beräknats och jämförts med referensperiodens (1963 - 1992). De presenteras i kartform (figurerna 5.4-5 – 5.4-6) som förändringen av antal snödagar för perioden 2021-2050 respektive 2069-2098 för hela länet.

Fram till mitten av seklet visar klimatsimuleringarna på att antal snödagar minskar med ca 20 – 40 dagar i större delen av länet då medianen av klimatscenario-ensemblen studeras. Mot slutet av seklet är minskningen 80-100 dagar för större delen av länet. Percentilkartorna ger en uppfattning om den kvantitativa spridningen i resultat från de olika klimatscenarierna.

Om siffrorna jämförs med det observerade antalet snödagar framkommer att i mitten på seklet kan antalet dygn med snötäcke i Värmland i medeltal förväntas vara 35-80 dagar i söder och 135-180 dagar i norr. Vid slutet på seklet är motsvarande siffror 0-20 dagar i söder och 35-100 dagar i norr. Variationen mellan år kommer troligen att vara betydligt större än i nuvarande klimat.



Figur 5.4-5. Förändring av antalet dagar med snötäcke (> 5 mm vatteninnehåll) per år i Värmlands län beräknat för perioden 2021-2050. Den större kartan visar medianvärden, den nedre högra kartan visar 25:e percentilen och den övre högra kartan visar 75:e percentilen av 16 klimatscenarier. Det vita området dränerar till Norge och ingår inte i analysen.



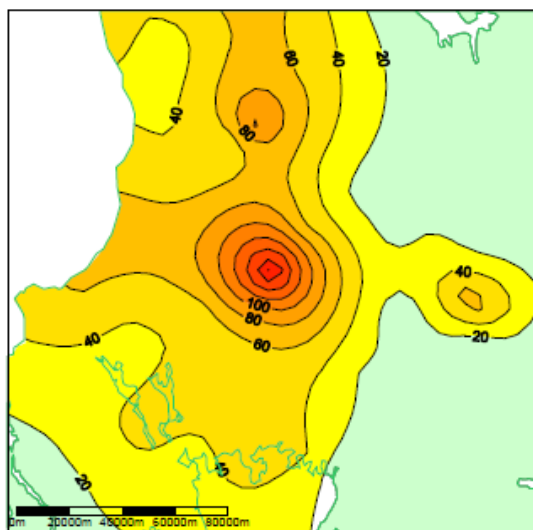
Figur 5.4-6. Förändring av antal dagar med snötäcke (> 5 mm vatteninnehåll) per år i Värmlands län beräknat för perioden 2069-2098. Den större kartan visar medianvärden, den nedre högra kartan visar 25:e percentilen och den övre högra kartan visar 75:e percentilen av 16 klimatscenarier. Det vita området dränerar till Norge och ingår inte i analysen.

6 Extrem nederbörd

Extrem nederbörd kan beskrivas som mycket nederbörd under kort tid och som ofta leder till problem med lokala översvämningar och därmed skador på hus och infrastruktur. Begreppet är inte entydigt men ofta definieras det utifrån varaktighet (den tid som regnet varar) och återkomsttid (hur ofta det förekommer). Ibland används begreppet korttidsnederbörd.

I en rapport om extrem nederbörd i Sverige (Wern, L. 2012) skriver författaren att generellt sett har extrem nederbörd ökat från 1900 fram till 1930- och 1940-talet. Därefter ses en minskning till 1970-talet för att sedan öka fram till idag. Författaren konstaterar vidare att det är mer extrem nederbörd idag än på 1930-talet.

De största nederbördstillfällena sker vanligen i juli eller augusti. Framförallt är det Norrlandskusten, Svealand, östra Götaland samt Skåne som drabbats av de värsta skyfallen under ett dygn.



Ett av de extrema nederbördstillfällena som omnämns i rapporten gäller ett oväder den 4 augusti 2004 i sydöstra Värmland.

Det resulterade i ett av de absolut största uppmätta dygnsvärdena i Sverige, som bara överträffats ett fåtal gånger. En 1 000 km² yta fick under 24 timmar motta 122 mm regn som medelvärde över området. Det ledde till att en väg mellan Lidsbro och Haftersbol spolades bort av vatten från en, normalt sett, mycket liten bäck (Källa: Väder och Vatten, augusti 2004).

Figur 6.1. Nederbördssumma 2004-08-04. På mätstationen i Råda uppmättes 189 mm, Lisskogsåsen 108 mm och i Särna 94 mm (Wern, 2012).

I en studie över framtida extremväder i Europa (Nikulin et al., 2011) framkommer att nederbördsmönstren förändras. För extrem nederbörd går utvecklingen mot högre intensitet och ökad frekvens, dvs. det kommer större mängder och det sker oftare. I Skandinavien kan extrem nederbörd som inträffat vart 20:e år i framtiden ske vart 8:e år. Beräkningarna, som ligger till grund för slutsatserna, är gjorda med en svensk regional klimatmodell med indata från sex globala modeller och med ett utsläppsscenario (A1B).

Olsson och Foster (2013) säger att en syntes av den forskning som gjorts i Sverige kring framtida korttidsextremer tyder på en förväntad ökning av extrem korttidsnederbörd (≤ 1 timme) med 10% till mitten av seklet (2050) och 25% till slutet av seklet (2100).

Att förhöjd temperatur leder till ökade skurar stöds av en nyligen dokumenterad undersökning (Berg et al., 2013). Författarna undersökte beteendet hos olika typer av regnskuror vid varierande temperaturer. De kom fram till att typen konvektiv nederbörd (som vid sommaråskväder) intensifierades mycket snabbare vid ökade temperaturer, speciellt vid temperaturer kring 12 till 20°C. Kraftiga regnskuror påverkas mer av temperaturen än regn från större vidsträckt regnsystem. Mängden regn som kommer i de häftiga regnskurorna beror på den mängd vattenånga som finns i atmosfären. Vid högre temperaturer kan atmosfären innehålla mer vattenånga och då ökar möjligheten att det skapas kraftiga regnskuror.

I en analys över risker för samtidiga höga flöden och korta intensiva regn i Karlstad, utförd för Karlstad kommun, analyserades högupplöst nederbördsdata för perioden 1995-2011 (Sjökvisst m.fl., 2011). Olika återkomsttider och varaktigheter undersöktes, uttryckta i l/s ha. Här har varaktigheterna 30 respektive 60 minuter använts och återkomsttiderna 1,2, 5, 10 och 50 år. Siffrorna har omräknats till mm (tabell 6-1).

I rapporten redovisas också analyser av nederbördsdata i klimatscenarier för att bedöma hur klimatförändringarna kan komma att påverka intensiva regn till slutet av seklet. Sex regionala klimatscenarier användes, varav 4 med utsläppsscenario A1B. Fem modellgridrutor närmast Karlstad valdes. Analysen visar att för regn med varaktighet 30 respektive 60 minuter ökar nederbördsmängderna med i medeltal ca 20-30%. För 30-minuters regn är ökningen mindre för längre återkomsttider, dvs. ett regn med 1 års återkomsttid ökar procentuellt mer än ett regn med 10 års återkomsttid. För 60-minutersregn är den procentuella ökningen (medelvärde) lika för alla återkomsttider. Osäkerheten i resultaten ökar med ökande återkomsttid.

Informationen från analysen av extrem nederbörd baserad på mätningar 1997-2011 har kopplats samman med klimatanalysen för framtida extrem nederbörd över Karlstad, utgående från medelvärdena i framtidsanalysen (tabell 6-1). Observera dock att jämförelsen egentligen inte är korrekt att göra eftersom skillnaden i framtidsanalysen gäller differensen mellan 1961-1990 och 2071-2100 men mätningarna gäller för perioden 1995-2011. Om vi jämför perioden 1961-1990 med 1991-2012 (kap. 5.2) ses att årsmedelnederbörden ökat med ca 8% för länet. Vi vet inte om detta även stämmer för extremnederbörden avseende den höga upplösning som här diskuteras. Det troliga är att extremnederbörden varit högre 1995-2012 än 1961-1990 och isåfall innebär värdena i tabell 6-1 en överskattning av den framtida extremnederbörden.

Siffrorna för framtiden i tabell 6-1 kan betraktas som en fingervisning om väntade förändringar, inte som absoluta kvantiteter. Siffrorna visar att ett regn med varaktigheten 30 minuter och återkomsttid vartannat år återkommer snarare varje år i framtiden. Ett regn med återkomsttid 10 år återkommer vart 5:e år både för 30 och 60 minuters varaktighet, enligt dessa förenklade beräkningar.

Tabell 6-1. Nederbördsmängder (mm) för regn med varaktighet 30 respektive 60 minuter för perioderna 1995-2011 och 2071-2100 baserat på Sjökvist m.fl. (2011 och 2012).

varaktighet	period	Återkomsttid (år)				
		1	2	5	10	50
30 min	1995-2011	9	13	18	22	31
30 min	2071-2100	12	16	23	28	39
60 min	1995-2011	11	18	26	32	47
60 min	2071-2100	14	22	32	40	58

I rapporten av Sjökvist m.fl. (2012) beskrivs även risker för samtidiga höga flöden och korta intensiva regn i Karlstad. Författarna fann ingen koppling mellan Vänerns vattenstånd och nederbörd i Karlstad, ej heller mellan flöde i Klarälven och nederbörd i Karlstad. Det är inte heller att vänta eftersom vattenståndet i Väneren förändras långsamt och betydligt längre tidsperioder av regn krävs för att påverka vattenståndet. Flödet i Klarälven påverkas av regn norr om Karlstad. Ett kraftigt regn i Karlstad kan givetvis inträffa samtidigt som Klarälven har ett högt flöde, men händelserna är troligen oberoende av varandra.

I en studie över framtida korttidsnederbörds intensiteter över Arvika och dess betydelse för dagvattenssystemet gjordes en liknande analys (Olsson et al., 2013). Samma regionala klimatscenarier som ovan användes. Resultaten indikerade en ökning med 10-30% av dagens extrema korttidsnederbörd till slutet av seklet. Författarna gör en intressant konklusion; att uppgradera dagvattenssystemet för att kunna hantera framtidens extremnederbörd skulle kosta dubbelt så mycket som en uppgradering för dagens extremnederbörd.

7 Tjäle

Texten inom detta avsnitt är en sammanfattning av generella kunskaper om tjäle och resultat från tidigare utredningar över tänkbara förändringar av tjälförhållanden i ett framtida klimat. Eftersom mycket få studier över svenska förhållanden finns tillgängliga har även en studie från Finland medtagits.

I Sverige tjälas vanligen marken under vintern. Tjälens innebär att vattnet i marken fryser och processerna runt tjälningen har stor betydelse för markens struktur. Särskilt stor betydelse har den årliga tjälningen för att motverka jordbrukets packningsskador på lerjordar. För skogsbruket innebär de tjälade jordarna att skogsmaskiner får större bärighet. Skogsbruket är också anpassat till att framförallt transporter av timmer sker under vintern. Körskadorna blir mindre när huggning och transport av timmer görs vintertid på tjälad mark. Byggande av hus och vägar försvåras dock om marken riskerar att tjälas (SWECLIM, 2002).

Marken kan betraktas som ett system av olika delar: mineraldel, organiskt material, vatten och luft. Fördelningen dem emellan varierar mellan olika typer av jordar och lägen i terrängen. Dessutom varierar andelen vatten och luft under året. Vatten förekommer i marken både i flytande och fast (is) form. Hur mycket vatten som finns, och i vilken form, beror på värme- och vattentransporten i marken.

Det är stora skillnader mellan tjäle i ler-, silt- respektive sandjordar. Det beror på att markens textur och struktur, dvs. mineralpartiklarnas storlek, markens humusinhåll och hur komponenterna är sammansatta, är avgörande för dess värme- och vattenhållande egenskaper (Troedsson och Nykvist, 1973).

I grovkorniga jordar, som sand, fryser det vatten som finns i jorden massivt. Gränsen mellan fuktiga och torra skikt är skarp. Om jorden inte är vattenmättad kan vattnet expandera fritt i porutrymmet och därmed sker ingen tjällyftning dvs. jorden som helhet ökar inte i volym. En helt vattenfylld sand med en porositet på 50 volymsprocent kan maximalt utvidgas ca 5 procent. Tjälens tillväxer successivt som en front allt djupare.

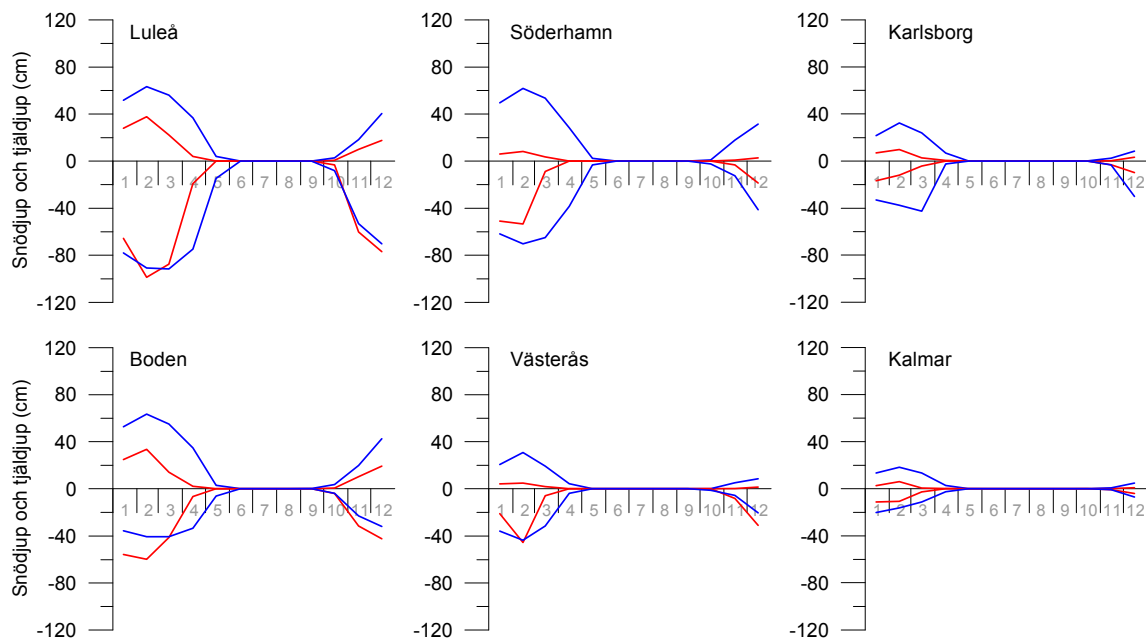
I finkorniga jordar, som leror, bildas skikt av ren is omgärdad av jord. Tillväxten av dessa islinser sker genom att vatten från omgivande jord transporteras till området. Tillväxten nedåt i marken sker ojämnt. Tjälningen i leror gör att partiklarna kommer närmare varandra, vilket ökar bildningen av aggregat. Dessa är viktiga för lerornas struktur.

Tjälskjutning beror på omfördelning av vattnet i marken i samband med tjälens tillväxt och kan orsaka svåra problem. Det är främst i mjåla- och finmojordar som de stora islinserna (1-2 dm) utvecklas. När dessa smälter omfördelas materialet och effekten kan bli lyftning av mark, vägar, stolpar, träd etc. (Skogsstyrelsen, 1997).

Snön har en isolerande förmåga vilket innebär att om snö täcker marken tidigt på säsongen så blir tjälningen mildare. Markvegetation och humuslager har också en isolerande effekt och hämmar tjälens tillväxt (Eckersten m. fl., 1998).

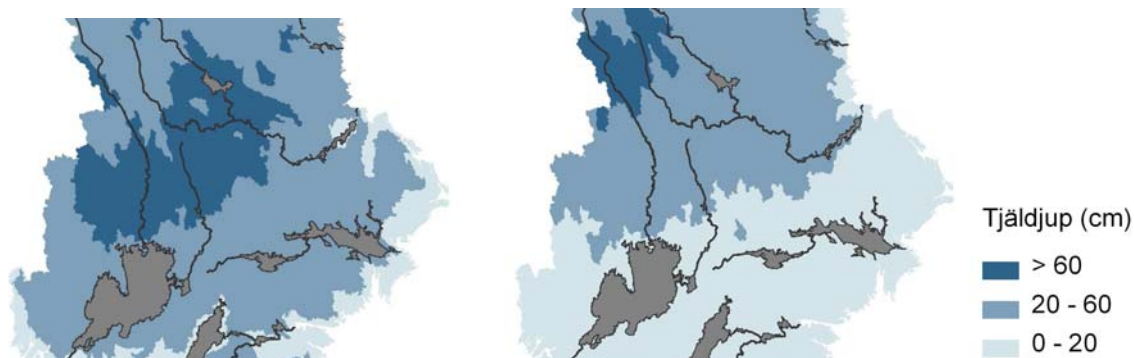
På uppdrag av Klimat- och sårbarhetsutredningen (som presenterade sin rapport 2007) utförde SMHI känslighetsstudier av hur tjäldjupet kan påverkas av en temperaturhöjning. En hydrologisk modell, HBV-modellen användes (Lindström et al. 1997). Modellen kalibrerades mot uppmätt snödjup och tjäldjup. Av mätplatserna var tre belägna i lerjordar och tre i sandjordar. Som referens användes månadsmedelvärden för perioden 1967-1980, vilka ansågs beskriva dagens klimat. Simuleringar gjordes med en temperaturökning på 3 °C över hela landet. Noggrannheten i tjäldjupsberäkningarna är låg och det bedömdes inte meningsfullt att göra fullständiga scenariosimuleringar (Lindström och Hellström, 2007).

Figur 7-1 visar beräkningar av snödjup och tjäldjup med en temperaturökning på 3 °C jämfört med dagens klimat. Karlsborg ligger närmast Värmland av de sex orterna. Tjälens utvecklas djupare i sandjordar än i lerjordar, vilket också framträder i de beräkningar som gjorts. För Karlsborg syns både minskat snödjup och tjäldjup i det varmare klimatet.



Figur 7-1. Beräknade månadsmedelvärden av snödjup och tjåldjup för dagens förhållanden (blå kurva) och efter en temperaturökning med 3 °C (röd kurva) för tre platser med sandjordar (överst) och tre platser med lerjordar (nederst). Noll-linjen representerar markytan. Från Lindström och Hellström (2007).

Det simulerade medeltjåldjupet i mars månad presenterades också i studien, baserade på medelvärde av de uppskattade parametervärdena för lera och sand (figur 7-2). De bör ungefär motsvara förhållandena för morän (Lindström och Hellström, 2007). För Värmland syns en förändring mot lägre medeltjåldjup i ett varmare klimat.



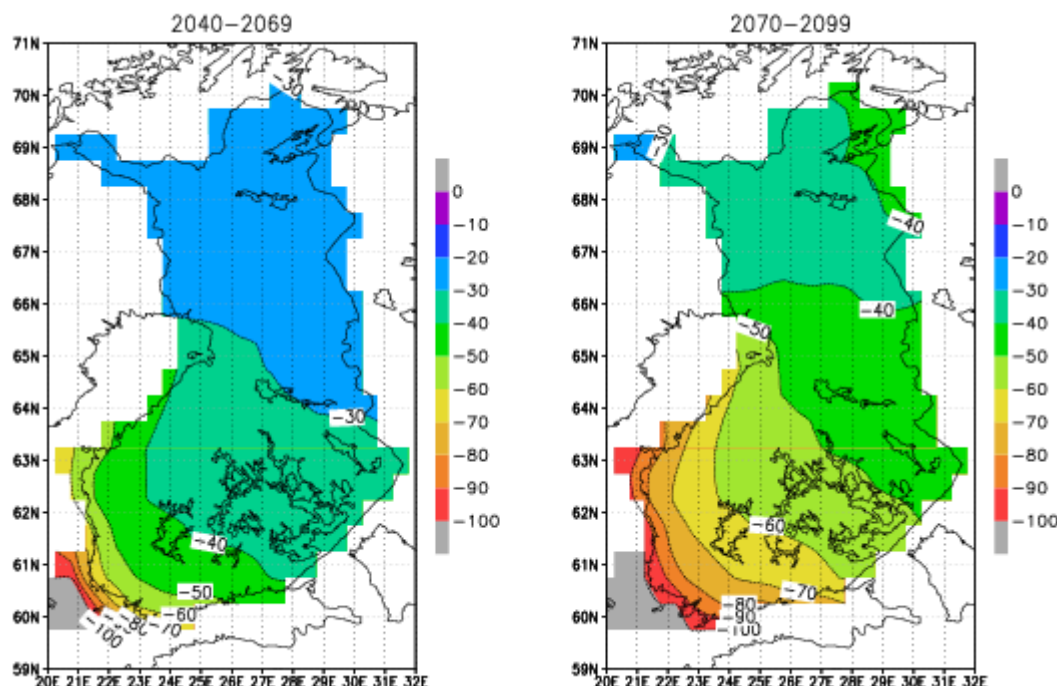
Figur 7-2. Beräknat medeltjåldjup för mars månad, med en parameteruppsättning som ungefär motsvarar förhållanden för morän i områden utan skog. Den vänstra figuren visar tjåldjup i dagens klimat och den högra med en medeltemperaturhöjning + 3 °C. Från Lindström och Hellström (2007).

Studien visade att man grovt kan simulera medelvariation under året med hjälp av en enkel modell. De gjorda simuleringarna, liksom alla scenarioräkningar är osäkra. Beräkningarna tyder dock på, enligt Lindström och Hellström (2007), att:

- Tjåldjupet är känsligt för en ökning av temperaturen
- Säsongen för tjåle blir kortare vid alla mätplatser
- I södra Sverige minskar det största tjåldjupet.

I Finland har en studie också utförts på hur tjålad mark påverkas av en klimatförändring. Den visar att det årliga maximala tjåldjupet på snöfria ytor i södra och centrala Finland minskar från 100-150 cm till 50-100 cm djup. I de norra delarna av Finland blir minskningen av tjåldjupet större, från 200-300 cm till 100-200 cm djup. Detta beror främst på markegenskaperna. En annan förändring är en ökning av dagar utan tjåle. För Finland betyder ett varmare klimat ett minskat snötäcke. Detta ökar sannolikheten för tjåle mitt i vintern i ett framtida klimat. Denna studie visar alltså också att klimatförändringar medför att tjålförhållandena påverkas i Norden (SWECLIM, 2002).

På finska Meteorologiska institutets webbplats finns en artikel om tjäldjup i framtida klimat på snöfria områden. Tjälkartorna visar situationen under en typisk vinter (figur 7-3). Förändringen är tydligare i söder än i norr. I Lappland blir tjälskiktet mot mitten av seklet cirka 25 procent tunnare och mot slutet av seklet 30–40 procent tunnare. I inlandet i södra Finland minskar tjäldjupet mot slutet av seklet till hälften från det nuvarande. I den sydvästra skärgården kommer marken mestadels att vara utan tjäle enligt beräkningarna.



Figur 7-3. Framtidsberäkningar för hur mycket tunnare tjälskiktet kan bli på snöfria områden (i procent) under en normal vinter. Till vänster visas framtidsperioden 2040–2069 och till höger 2070–2099. För båda bilderna är jämförelseperioden 1971–2000. (Källa: klimatguiden.fi baserat på AcclimII och Jylhä et al, 2009)

Beräkningarna gäller enbart för snöfria områden, till exempel flygfält och huvudvägar. För dessa områden är marktypen och den ackumulerade köldsumman avgörande för det största tjäldjup som förekommer under vintern. På fält och i skogar har snötäcket en avgörande betydelse som värmeisolerare. På områden där snön plogas bort fryser marken djupare.

Tjälning och upptining är komplicerade processer med flera faktorer som påverkar, vilket delvis beskrivits ovan. De studier som hittills gjorts över hur framtidsklimatet kan påverka snö- och tjäldjup är få och givetvis förenade med stora osäkerheter. En viktig osäkerhetsfaktor är snödjupet och när snön kommer på säsongen. Kalla långa vintrar med tidigt snötäcke kan ge mindre tjäldjup än vintrar utan snö men med en kortare kall period. Med ett klimat i förändring kan variationen mellan år vara stor.

8 Brandrisk

I Sverige inträffar varje år i genomsnitt mellan 3 000 och 4 000 bränder i skog och mark. Brändernas omfattning varierar mycket från år till år, men ofta berörs mer än 2 000 ha i landet. De ekonomiska följderna är stora i form av räddningsinsatser och skador på skog och byggnader.

Bränder i skog och mark orsakas främst av blixtnedslag och olika slags mänsklig påverkan, som t ex spridning efter lägereldar, barns lek, gräselddning eller gnistor från tåg och maskiner. Antalet bränder är störst i de tätbefolkade storstadsregionerna, där många människor vistas ute i naturen och i de östra torrare delarna av landet. Hur stor areal som brinner, beror förutom torka och vindförhållanden också på hur snabbt branden upptäcks och på tillgängliga släckningsresurser (SMHI faktablad nr 14, 2003).

Under vår och sommar utfärdas allmänna varningar när det är stor brandfara i skog och mark. Varningarna bygger på olika beräkningsmetoder och dagliga beräkningar ger detaljerade kartor med prognoser för markfuktighet, skogsbrands- och gräsbrandsrisk.

Risken för skogsbrand är nära relaterad till ett områdes hydrologi och därför används en särskild version av en hydrologisk prognosmodell (SMHI:s HBV-Skogsbrandmodell) för att bedöma vatteninnehållet i det ytliga markskiktet. Vatteninnehållet, eller snarare graden av torka, har stor betydelse för eldens spridning. Skogsbrandfaran bedöms även med ett kanadensiskt modellsystem (FWI) som främst beskriver brandens beteende och spridningsrisk.

När klimatet förändras påverkas också de faktorer som inverkar på skogsbrandssituationen (MSB, 2008). SMHI har, på uppdrag av MSB, utfört en studie över hur risken för skogsbrand kan komma att förändras i framtiden med klimatförändringarna. För klimateffektstudier har metodik utvecklats för att från klimatmodeller skapa indata till brandriskmodeller. En beskrivning av metodiken finns i en slutrapport från fas 2 av projektet "Scenarier för framtida skogsbrandrisk" (Gardelin m.fl., 2011).

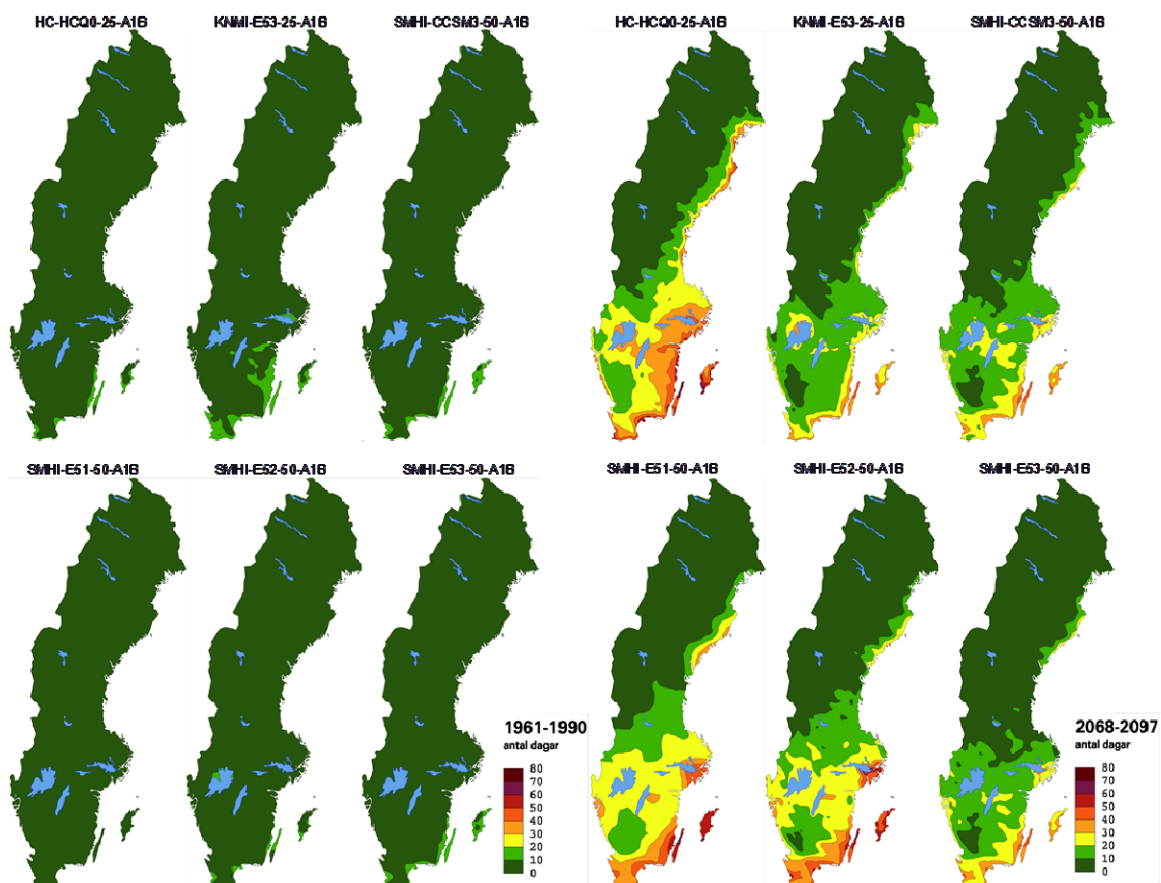
Nedan presenteras utsnitt ur kartor från delrapportering av projektet *Klimatscenarier Brandrisk HBV*, etapp 1 (Gardelin m.fl. 2010). De beräkningar som gjorts avser antändningsrisk och baseras på sex olika klimatmodeller med utsläppsscenario A1B.

Kartorna visar det genomsnittliga antalet dagar under april-september då det beräknas vara hög brandrisk, dels för perioden 1961-1990 och dels för den framtida perioden 2068-2097 (figur 8-1).

I större delen av landet uppnås hög brandrisk i medeltal under färre än 10 dagar per säsong under 1961-1990, vilket även innefattar Värmlands län. För slutet av århundradet, 2068-2097, visar beräkningarna att antalet dagar ökar. Alla klimatscenarier visar framförallt ökning av antalet brandriskdagar i sydligaste och sydöstra Sverige. För Värmlands län syns en spridning i de olika scenarierna. Samtliga visar dock en ökning för större delen av länet varierande mellan 10-30 dagar. Den större ökningen är i de sydligare delarna av länet. Några av scenarierna visar också en kraftigare ökning i området längs Vänern, uppemot 40 dagar.

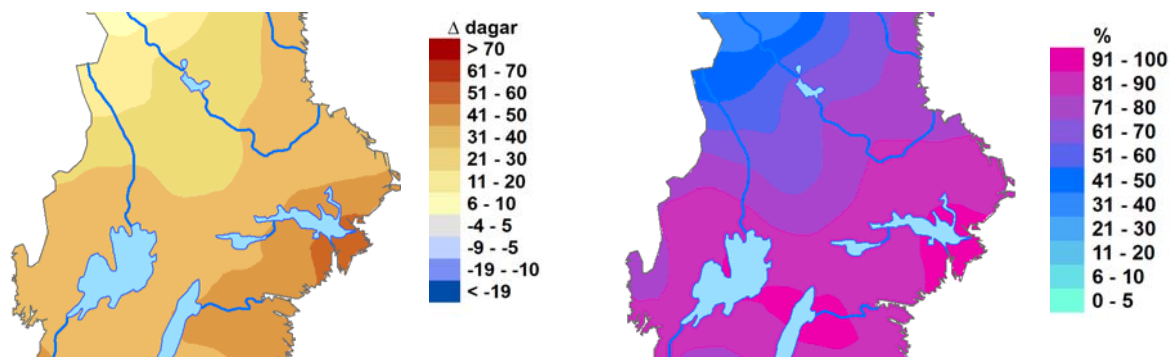


Skogsbrand. Foto: SMHI



Figur 8-1. Antalet dagar med hög brandrisk under referensperioden 1961-1990 (vänster) och 2068-2097 (höger), baserat på sex olika klimatscenarier. Antalet dagar avser 30-årsperiodens medelvärde för säsongen april-september. Källa: Delrapportering av etapp 1 av det MSB-finansierade projektet Klimatscenarier Brandrisk HBV (Gardelin m. fl. 2010).

I den under året publicerade slutrapporten för projektet (MSB, 2013) presenteras resultat över förskjutning av brandrisksäsongen, dess längd och förekomsten av sammanhängande högriskperioder i ett framtida klimat. Slutsatserna var att perioder med hög brandrisk kommer även i framtiden att vara vanligast i de områden som idag är mest utsatta, främst i Östersjölandskapen. För södra Sverige ökar brandrisksäsongens längd med ca 50 dagar och i norra Sverige med 10-30 dagar. Frekvensen av högriskperioder ökar i hela Sverige och även längden för dessa perioder ökar. Högriskperioder definieras som sammanhängande dagar med höga index. För att ingå i beräkningarna måste index 6 uppnåtts under minst 4 dagar eller index 5 under minst 6 dagar eller index 4 under minst 10 dagar.



Figur 8-2. Vänstra kartan visar förändringen i brandrisksäsongens längd för perioden 2068-2097 jämfört med 1961-1990 och till höger ses frekvens av år då det förekommer minst en högriskperiod 2068-2097. Kartorna avser medelvärden av 6 klimatscenarier och HBVS-index 4, 5 eller 6. (Källa: MSB, 2013)

För Värmland ses att brandrissäsongen bedöms öka med mellan 11 och 40 dagar över länet och med största ökningen i södra delen av länet. Denna gradient över länet ses även för frekvensen av år då det förekommer minst en högriskperiod. Vid slutet av århundradet visar beräkningarna att för norra Värmland kommer ca vartannat år att ha en högriskperiod och i södra delen av länet infaller minst en högriskperiod under 80-90% av åren (figur 8-2).

9 Vänern

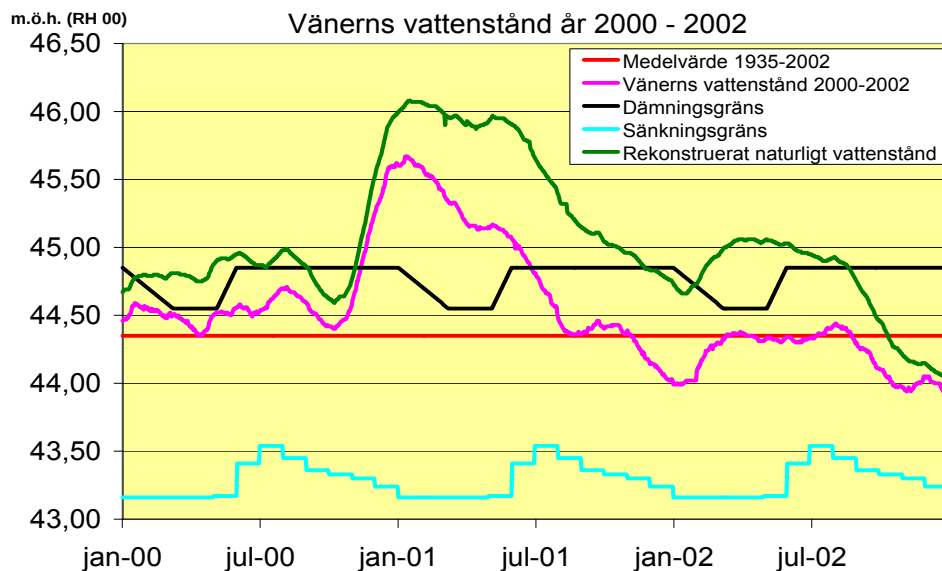
SMHI har deltagit och deltar i ett flertal projekt som rör översvämningsriskerna runt Vänern och längs Göta älv. Grunden till arbetet gjordes under Klimat- och sårbarhetsutredningen och sammanfattades i en rapport av Bergström m.fl. (2006). Det var de höga nivåer och kraftiga översvämningar som under november 2000 – januari 2001 drabbade Västra Götaland och Värmland, som på allvar visade vilka översvämningsrisker som finns. Nivåerna i Vänern kulminerade i mitten av januari 2001 på den högsta nivån sedan år 1927. Omfattande förebyggande insatser fick genomföras runt stränderna, men skadorna blev ändå stora.

Figur 9-1 visar vattenståndsutvecklingen i relation till Vänerns dämnings- och sänkningsgränser under flödet 2000-2001. Där visas också en rekonstruktionsberäkning av vattenståndet, som det hade utvecklats om Vänern inte varit reglerad. Figur 9-2 visar motsvarande för tappningen i Göta älv och vattenstånden i havet. Samtliga i denna rapport redovisade vattenstånd för Vänern anges i höjdsystemet RH00 Vänersborg, vilket är det höjdsystem som gäller för Vänerns vattendom.

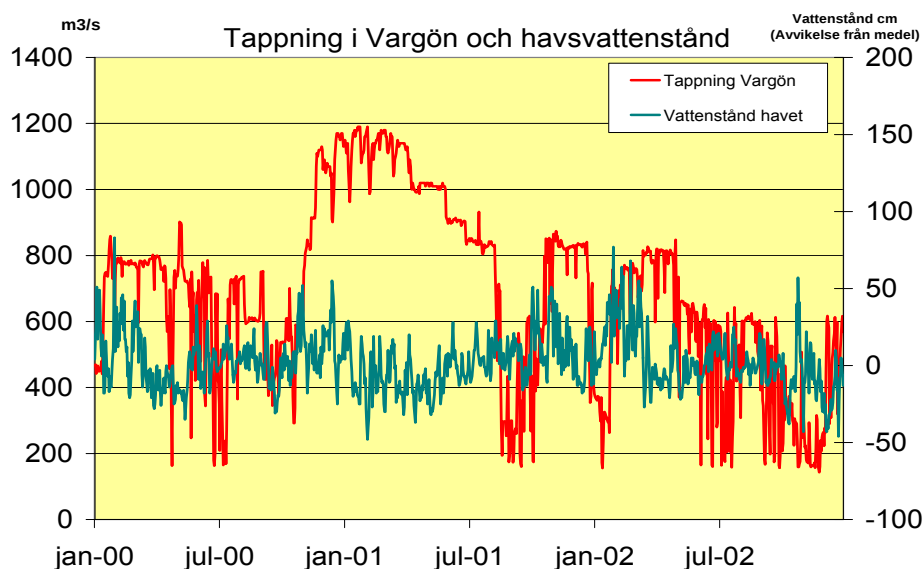
Rekonstruktionsberäkningen i figur 9-1 visar att nivåerna hade blivit ca 40 cm högre om Vänern inte varit reglerad under flödet. Det innebär att detta troligen var den mest extrema hydrologiska situationen i Vänern under den tid som regelbundna observationer finns tillgängliga, dvs. under nästan 200 år. Under den kritiska perioden hösten 2000 och vintern 2001 tog Länsstyrelsen tillfälligt över ansvaret för tappningen från Vänern och Vattenfall beordrades att öka tappningen till mer än vad vattendomen medgav. Som framgår av figur 9-2 var tappningen tidvis då nästan 1200 m³/s vilket skall jämföras med vattendomens begränsning på 1030 m³/s.

För att minska risken för allvarliga översvämningar längs Vänerns stränder har Länsstyrelsen i Västra Götalands län och Vattenfall AB träffat en överenskommelse om ändrad tappning från Vänern med avsikt att sänka de högsta vattenstånden. Innehållet i överenskommelsen, som utarbetats efter samråd med SMHI, Länsstyrelsen i Värmlands län och Sjöfartsverket, redovisas i form av en s.k. tappningsställare, som visar den tappning som minst skall ske vid olika vattenstånd i Vänern. Tappningsställaren är dock inte helt styrande eftersom, enligt överenskommelsen, en 8-veckors prognos över tillrinningen till Vänern ska beaktas vid planeringen av tappningen. Dessutom kan hänsyn tas till temporära begränsningar i kraftstationer eller översvämningsrisker i älvdalen.

Överenskommelsen trädde i kraft den 1 oktober 2008 år och hade en giltighetstid som längst till och med den 31 december 2012, men har sedan förlängts till att gälla under 2013 och nyligen även till 2014.



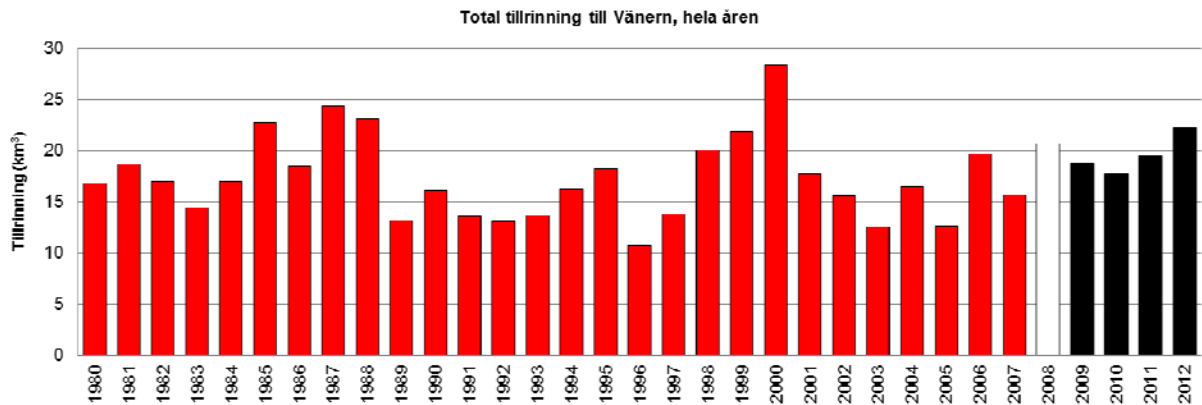
Figur 9-1. Vattenståndsutvecklingen i Vänern samt rekonstruerat naturligt vattenstånd under 2000-2002.



Figur 9-2. Tappning från Vänern och vattenstånd i havet under 2000-2002.

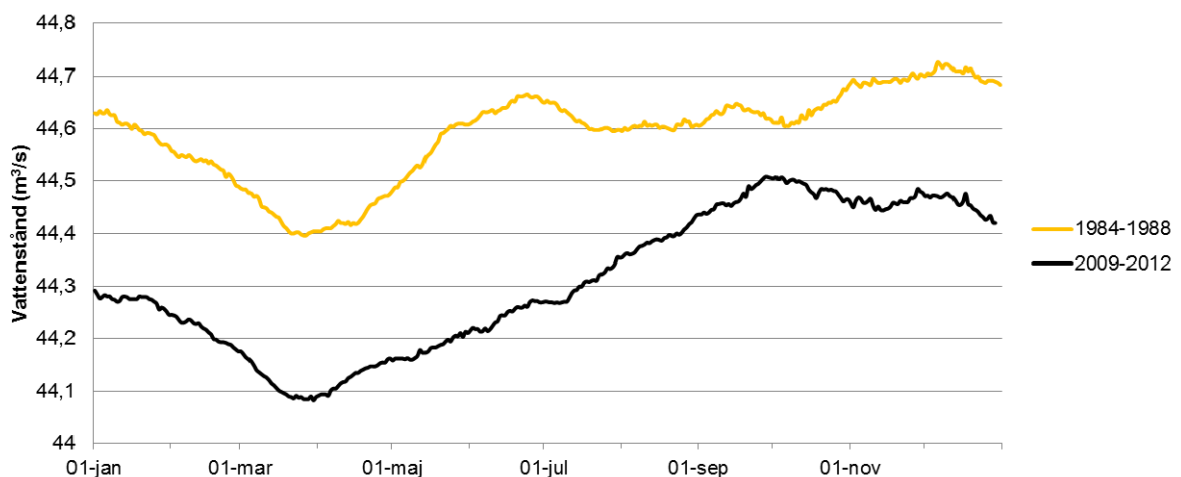
Under 2013 har effekterna av den ändrade tappningen följts upp av SMHI på uppdrag av Länsstyrelsen i Västra Götaland (Bergström och Eklund, 2013). För uppföljningen har dock endast fyra och ett halvt år varit tillgängligt sedan överenskommelsen träffades.

Figur 9-3 visar årstillsrinningen under perioden 1980-2012. De röda staplarna avser perioden före överenskommelsen om ny reglering och de svarta avser perioden därefter. Den vita stapeln avser år 2008, det år då överenskommelsen trädde i kraft. Figuren visar att tillrinningarna var höga under åren efter överenskommelsen, men höga tillrinningar förekom också under några år på 1980-talet.



Figur 9-3. Årstillrinningen under perioden 1980-2012. De röda staplarna avser perioden före överenskommelsen om ny reglering och de svarta avser perioden därefter. Den vita stapeln avser år 2008, det år då överenskommelsen mellan Länsstyrelsen i Västra Götalands län och Vattenfall trädde i kraft. (Från Bergström och Eklund, 2013)

För att jämföra år med liknande tillrinningsvolym studerades fem år med förhållandevis likartad årstillrinning som perioden 2009-2012, nämligen perioden 1984-1988 (se figur 9-3). Perioden 1984-1988 hade en årsmedeltillrinning på $670 \text{ m}^3/\text{s}$ medan motsvarande siffra för perioden 2009-2012 var $620 \text{ m}^3/\text{s}$. I figur 9-4 visas jämförelsen mellan medelnivåerna under året i Vänern dessa två perioder. Trots att skillnaderna mellan tillrinningarna under respektive period är relativt små visar diagrammet att nivån under perioden efter överenskommelsen ligger lägre.



Figur 9-4. Jämförelse mellan medelnivåerna för två perioder med förhållandevis likartade tillrinningsvolym under året. (Från Bergström och Eklund, 2013)

En av slutsatserna från uppföljningen är att överenskommelsen har medfört ökade tappningar under hösten och därmed har bidragit till att Vänern kulminerat på en något lägre nivå än vad som annars hade varit fallet. Analysen visar också på en tendens till mindre vattenståndsvariationer efter 2008, vilket bedöms vara en kombinerad effekt av den nya tappningsstrategin och att det efter 2008 har varit mindre vanligt med låga tillrinningar (Bergström och Eklund, 2013).

Under 2013 har ett arbete påbörjats, på initiativ av Länsstyrelserna i Värmland och Västra Götaland, för att utreda om det är möjligt att anpassa den sedan 2008 tillämpade tappningsstrategin så att den på ett bättre sätt gynnar naturmiljön kring Vänerns stränder. I detta arbete har en rapport tagits fram om hur Vänerns reglering påverkar flora, fauna och friluftsliv (Koffman, m.fl., 2013). Rapporten föreslår en ändring av tappningsstrategin så att större vattenståndsvariationer uppnås under året med en tydlig vårfloodstopp och lägre höstvattenstånd. Utgående från dessa synpunkter har SMHI tagit fram förslag på tappningsstrategi med naturhänsyn för Vänern. Arbetet är pågående, men preliminära resultat visar att det är möjligt att anpassa tappningsstrategin så att detta uppnås, men att det samtidigt kan komma att innebära att de allra högsta nivåerna blir något högre än om överenskommelsen från 2008 följs så som den är beskriven.

9.1 Dimensionerande nivå och 100-årsnivå i dagens klimat

Under 2010 genomförde SMHI en fördjupad studie av översvämningsriskerna för Vänern, vilken beställts av Länsstyrelserna i Västra Götaland och Värmland, Vänerkommunerna samt Länsförsäkringar AB (Bergström m.fl., 2010 a). Denna studie genomfördes parallellt med en studie av de hydrologiska och meteorologiska förhållandena i Göta älvdalen (Bergström m.fl., 2010b), som beställts av SGI som en del av deras regeringsuppdrag att klarlägga stabilitetsförhållanden i Göta älvdalen med hänsyn tagen till klimatförändringar.

I det följande sammanfattas problematiken med översvämningsriskerna för Vänern baserat på redan genomförda studier (främst Bergström m.fl., 2010 a).

Vänerns framtida vattenstånd diskuterades utförligt av Klimat- och sårbarhetsutredningen och i underlagsrapporten av Bergström m.fl. (2006). Beräkningar tydde på att de mest extrema nivåerna inom 100 år skulle kunna bli ungefär 50 cm högre än idag.

En rad förutsättningar har förändrats sedan Klimat- och sårbarhetsutredningens delbetänkande om översvämningspublicerades hösten 2006 (SOU, 2006). De viktigaste av dessa sammanfattas i följande punkter:

1. En ny metod för beräkning av den dimensionerande nivån enligt flödesdimensioneringsklass I (Svensk Energi m.fl., 2007) har utvecklats för Vänern.
2. En ny regleringsstrategi för Vänern prövas sedan hösten 2008. Metoden bygger på ett samband mellan nivå i Vänern och tappning samt på utnyttjandet av hydrologiska prognoser för att styra förhandstappning.
3. En ny analys av effekten av och sannolikheten för kraftiga vindar har genomförts.
4. En ny metod för omräkning av regionala klimatscenarier till hydrologiska konsekvenser har utvecklats med stöd av Elforsk.
5. Ett stort antal nya och mer detaljerade regionala klimatscenarier har tagits fram inom den internationella forskningen, bland annat genom det europeiska ENSEMBLES-projektet.

Förenklat kan man säga att den nya metoden för beräkning av den dimensionerande nivån enligt flödesdimensioneringsklass I (punkt 1 ovan) visar vad som hänt om vi år 2000 haft ett mycket stort snömagasin på våren och dessutom fått ett extra extremt regn under 14 dagar under hösten eller vinter. Ovanpå detta antas en storm på 20 m/s i ogynnsammast tänkbara riktning under den tid som Vänern ligger som högst.

Dimensionerande nivåer beräknade med den nya metoden, utan hänsyn tagen till vind eller ett förändrat klimat, redovisas i tabell 9-1. Dessa beräkningar bygger på att den maximala tappningen är $1030 \text{ m}^3/\text{s}$ och att denna, i enlighet med vattendomen, tillämpas när dämningssgränsen överskrids med 30 cm. Förhållanden enligt den strategi som tillämpats före såväl som efter hösten 2008 har beräknats. Man kan naturligtvis fråga sig varför beräkningarna med de två regleringsstrategierna i detta fall skiljer sig så lite som 8 cm. Det beror på att beräkningarna i tabell 9-1 bygger på en ganska schablonartad beskriven tappningsstrategi. Speciellt gäller detta förhållandena före oktober 2008, då det egentligen inte finns någon fastställd metod att beskriva tappningen när nivåerna ligger mellan sänkningsgräns och dämningssgräns. Den metod som använts vid beräkningarna är en empirisk rekonstruktion, baserad på historiska data över hur tappningen gått till, som redovisades av Bergström m.fl. (2006). Dessutom har hänsyn inte tagits till effekterna av hydrologiska prognoser vid beräkningarna av nivåerna i tabell 9-1, något som kan betyda en ytterligare sänkning på någon decimeter.

Tabell 9-1. Beräknade dimensionerande nivåer för Vänern utan hänsyn tagen till vind och ett förändrat klimat (från Bergström m.fl. 2010a).

	Dimensionerande nivå i RH00 Vänersborg (cm)
Ny metod, regleringsstrategi före oktober 2008	46,16
Ny metod, regleringsstrategi efter oktober 2008	46,08
Vattenfalls uppskattning till KS-utredningens delbetänkande 2006	46,20

Som framgår av tabell 9-1 var Vattenfalls bedömning mycket rimlig med tanke på de förutsättningar som förelåg 2006.

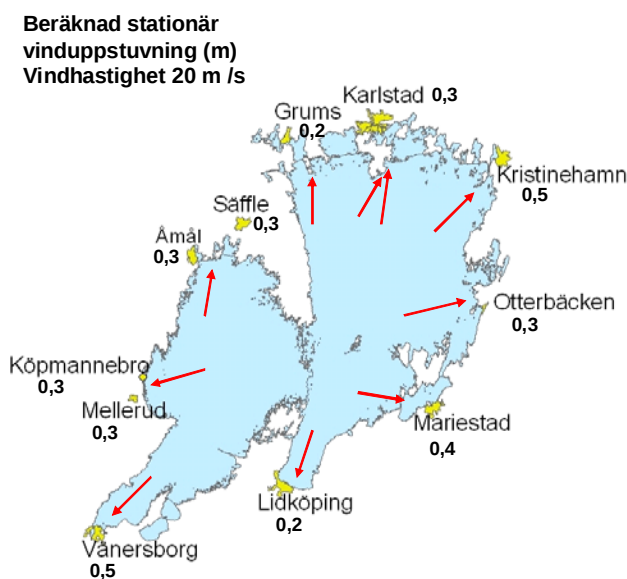
I den fördjupade analysen av Vänern (Bergström, m.fl. 2010a) genomfördes inga nya beräkningar av Vänerns 100-årsnivå. Det konstaterades att man tillsvidare kan utgå från den befintliga bedömningen av 100-årsnivån, 45,58 m i RH00 Vänersborg.

I detta avseende bör resultaten av utvärderingen av den tappningsstrategi som tillämpas sedan hösten 2008 beaktas. Om den nya tappningsstrategin bibehålls blir 100-årsnivån lägre. För att ta hänsyn till effekten av den nya tappningsstrategin kan en minskning av 100-årsnivån med två till tre decimeter övervägas.

9.2 Vindens effekt på vattennivåer

I riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar formuleras hänsynstagande till vindeffekten på vattenytan på följande sätt: *"Vågor och snedställning av vattenytan på grund av vindpåverkan beaktas under antagande av vind i ogynnsammaste riktning med hastigheten 25 m/s för dammanläggningar ovanför trädgränsen och med 20 m/s för övriga dammanläggningar."*

Detta innebär en vindstyrka för Vänern som är lägre än vad Klimat- och sårbarhetsutredningen antog. Man bör dessutom anta att vattnet tillfälligt skvalpar upp till någonstans mellan 50-75% högre nivåer, en s.k. temporär uppstuvning. Detta brukar dock inte tillämpas vid dimensioneringsberäkningar för dammar.



Figur 9-5. Beräknad stationär förhöjning av vattennivån runt Vänern vid mest ogynnsam vindriktning och en vindhastighet av 20 m/s (från Bergström m.fl. 2010a).

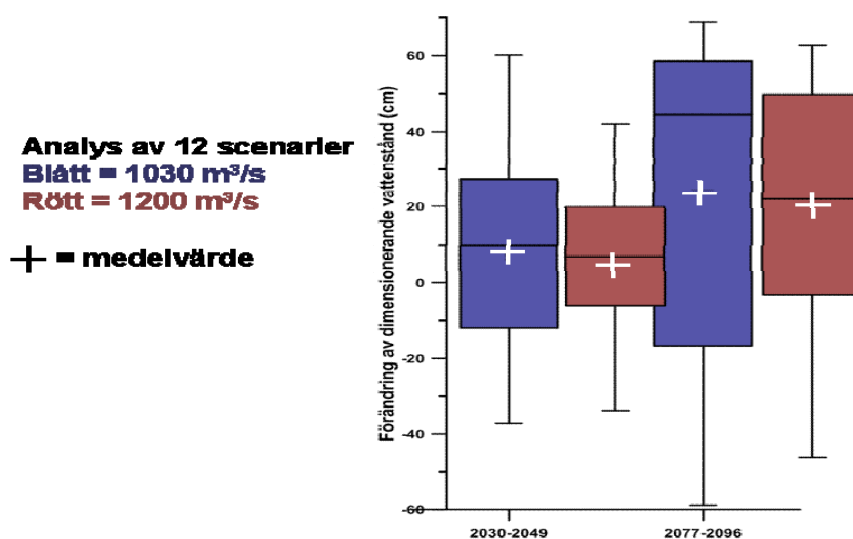
I figur 9-5 visas för det stationära fallet hur stor vindeffekten blir för några olika platser runt Vänern vid en vindhastighet av 20 m/s. Siffrorna är avrundade till närmaste 10-tal cm.

Som framgår av figur 9-5 innebär den lokala förhöjningen av Vänerns yta på grund av vind ett betydande tillägg till de beräknade dimensionerande nivåerna, speciellt om man beaktar den kortvariga förhöjningen.

9.3 Klimatförändringars effekt på vattennivåer

Vänerns framtida nivåer har studerats av Bergström m.fl. (2010a) med utgångspunkt från samma klimatscenariounderlag som har använts för övriga hydrologiska klimatberäkningar i denna rapport (se tabell 4-1). Metodiken som tillämpats har utvecklats av SMHI inom ett av Elforsk finansierat forskningsprojekt (Andréasson m.fl., 2011).

Beräkning av framtida dimensionerande nivå har gjorts dels för dagens regleringsförutsättningar och dels med antagande om en utökad maximal tappning till 1200 m³/s redan vid dämningssgränsen. Beräkningarna över ändringen i den dimensionerande nivån sammanfattas i figur 9-6 i Box and whiskers-diagram. Redovisningen är begränsad till de 12 klimatscenarier som är tillgängliga för hela perioden. Som synes är medelförändringarna genomgående ganska måttliga men spridningen är stor. Som jämförelse kan nämnas att den medeländring som beräknades i Klimat och sårbarhetsutredningen fram till 2100 var betydligt större, hela 50 cm.



Figur 9-6. Sammanfattning av resultaten över ändringen i den dimensionerande nivån. Blått avser dagens regleringsförutsättningar, med en maximal tappning av 1030 m³/s när dämningssgränsen överstigs med 30 cm. Rött avser nya regleringsförutsättningar med en maximal tappning av 1200 m³/s redan vid dämningssgränsen. Figuren bygger på 12 regionala klimatscenarier (modifierad från Bergström m.fl., 2010a).

Den stora skillnaden mellan medianvärdena och medelvärdena i figur 9-6 visar på en svårighet vid användandet av en ensemble av klimatscenarier.

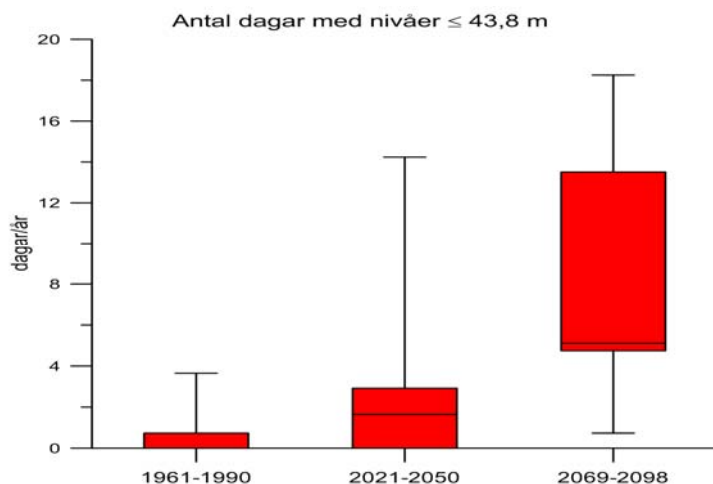
Tabell 9-2. Förändring av 100-årsnivån för Vänern (cm) utifrån frekvensanalys av 14 klimatscenarier för perioden 2021-2050 och 11 klimatscenarier för 2068-2097. Referensperioden som de framtida perioderna jämförs mot är 1961-1990 (från Bergström m.fl. 2010a).

	LogPearson typ 3		Gumbel	
	Δ 2021-2050	Δ 2068-2097	Δ 2021-2050	Δ 2068-2097
Medel	0,21	0,17	0,20	0,22
Median	0,23	0,21	0,19	0,30

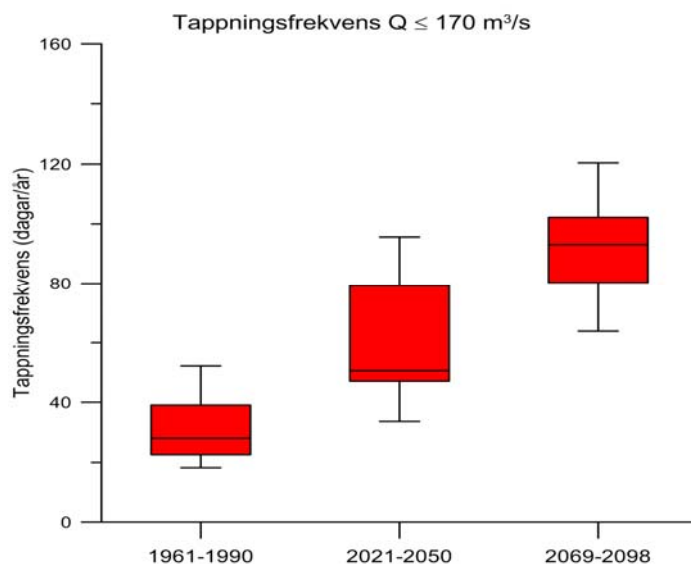
För att få en uppfattning om hur framtidens 100-årsvattenstånd kan förändras jämfört med dagens 100-årsnivå har beräkningar utgående från 14 olika regionala klimatsimuleringar genomförts (samtliga simuleringar i tabell 4-1, utom de två nedersta). Resultatet sammanfattas i tabell 9-2. Två olika fördelningsfunktioner har använts för analysen, Gumbel och LogPearson typ 3.

Slutsatsen av tabell 9-2 är att det är lämpligt att göra ett tillägg på 20 cm på dagens 100-årsnivå för Vänern för att den skall motsvara förhållandena mot slutet av innevarande sekel.

Det är inte enbart riskerna för höga vattenstånd i Vänern som påverkas av ett ändrat klimat och förändrade tillrinningsmönster. Framtidens varmare klimat kommer även att innebära att de lägsta nivåerna kan komma att bli lägre och mer vanligt förekommande på grund av ökad avdunstning framförallt från sjöytan, vilket leder till minskad nettotillrinning. I figur 9-7 och figur 9-8 illustreras detta tydligt av den ändrade förekomsten av nivåer under Vänerns sänkingsgräns samt utnyttjande av minimitappning genom Göta älv.



Figur 9-7. Box and whiskers-diagram över antal dagar per år då det beräknade vattenståndet i Vänern är lika med eller lägre än 43,8 m. Beräkningen är baserad på dagens vattendom och den tappningsstrategi som tillämpas sedan hösten 2008. Inom de färgade rektanglarna ligger 50% av beräkningarna. Staplarna representerar max- och minimivärden. Strecket i mitten avser medianvärdet. 14 regionala klimatscenarier har använts fram till 2050 och 11 stycken för perioden därefter (från Bergström m.fl., 2010a).



Figur 9-8. Box and whiskers-diagram över beräknat antal dagar med tappning lika med 170 m³/s från Vänern enligt dagens vattendom och den tappningsstrategi som tillämpas sedan hösten 2008. Inom de färgade rektanglarna ligger 50% av beräkningarna. Staplarna representerar max- och minimivärden. Strecket i mitten avser medianvärdet. 14 regionala klimatscenarier har använts fram till 2050 och 11 stycken för perioden därefter (från Bergström m.fl., 2010a).

9.4 Samlad bedömning rörande Vänerns nivåer

Följande sammanfattning är till stora delar hämtad från Bergström m.fl. (2010 a). Ett osäkert moment är huruvida den möjliga maximala tappningen i de framtida klimatanalyserna kan komma att ändras. Till detta tillkommer att den nya tappningsstrategi som tillämpas sedan hösten 2008 kan komma att omprövas när effekterna inklusive miljöpåverkan analyserats fullt ut. Till sist bör tilläggas att den beräknade klimateffekten enbart avser en 30-års period i mitten och en i slutet av detta århundrade. Ändringarna kan bli större efter denna period. Med ovanstående reservationer görs följande bedömningar rörande framtida dimensionerande nivåer för Vänern:

Dimensionerande nivå

- Den dimensionerande nivå för Vänern utan hänsyn tagen till vind och klimatförändring har beräknats till 46,08 m (RH00) med den regleringsstrategi som tillämpas sedan hösten 2008. Värdet blir 46,16 om tidigare tappningspraxis tillämpas.
- Effekten av de hydrologiska prognoser som styr den nya tappningsstrategin kan uppskattas till ytterligare någon decimeters sänkning. Det kan övervägas om denna effekt skall medräknas eller ej.
- Det dimensionerande vindpåslaget på vattennivåerna är individuellt för olika platser och kan hämtas från figur 9-5. Värdet bör ökas med minst 50% för att ta hänsyn till temporära effekter.

Dessa två steg ger en säkerhet som ungefär motsvarar flödesdimensioneringsklass I enligt riktlinjerna för dimensionerande flöden för dammanläggningar (Svensk Energi m.fl., 2007).

- Effekten av ett förändrat klimat bör tills vidare beaktas genom ett tillägg på 20-40 cm på den dimensionerande nivån (figur 9-6). Detta avser förhållandena mot slutet av detta århundrade.

100-årsnivå

Beträffande 100-årsnivåerna så är det rimligt att beräkna den på följande sätt:

- Utgå från dagens 100-årsnivå under reglerad tid som enligt tidigare beräkningar ligger på nivån 45,58 m (RH00, Vänersborg).

I detta avseende bör resultaten av utvärderingen av den tappningsstrategi som tillämpas sedan hösten 2008 beaktas. Om den nya tappningsstrategin bibehålls blir 100-årsnivån lägre.

- För att ta hänsyn till effekten av den nya tappningsstrategin kan ytterligare en minskning av 100-årsnivån med två till tre decimeter övervägas.
- Det dimensionerande vindpåslaget på vattennivåerna är individuellt för olika platser och kan hämtas från figur 9-5. Värdet bör ökas med minst 50% för att ta hänsyn till temporära effekter.

Dessa två steg ger en säkerhet som ungefär motsvarar flödesdimensioneringsklass II enligt riktlinjerna för dimensionerande flöden för dammanläggningar (Svensk Energi m.fl., 2007).

- Effekten av ett förändrat klimat bör tills vidare beaktas genom ett tillägg på 20 cm på 100-årsnivån. Detta avser förhållandena mot slutet av detta århundrade.

Under 2011 utkom Länsstyrelserna i Värmland och Västra Götaland med en gemensam publikation, Stigande Vatten (Länsstyrelserna i Västra Götalands och Värmlands län, 2011), vilket är en handbok för fysisk planering i översvåmningshotade områden. Till publikationen finns det också ett särskilt faktablad rörande Vänern och planeringsnivåer för Vänern (Faktablad Vänern). Anledningen till detta är att det i handboken inte presenteras exakta siffror eller nivåer för zonerna för Vänern. Kunskap och bedömningar kan komma att ändras i takt med att ny forskning tas fram och faktabladet är tänkt att alltid presentera de aktuella planeringsnivåerna. För aktuella nivåer är det därför alltid detta faktablad som är det bästa underlaget att vända sig till.

10 Slutsatser

I denna rapport redovisas en stor mängd data och beräkningar som syftar till att ge en översiktlig bild av klimatförhållandena i Värmlands län såväl under dagens förhållanden som i framtidens förändrade klimat. Arbetet är baserat på observationer och analyser från SMHI, klimatscenarier från den internationella klimatforskningen samt sammanställningar av tidigare studier över klimatförändringarnas konsekvenser. Observationerna avser perioden 1961-2010 (i vissa fall 1961-2012). Framtidsberäkningarna avser tidsperioden fram till år 2100.

För att ge en bild av de osäkerheter som råder om framtidens klimat har ett flertal regionala klimatscenarier använts. Detta urval är baserat på vad som varit tillgängligt vid SMHI när rapporten skrevs. Scenarierna representerar en god bredd av den internationella forskningens resultat och är betydligt mer omfattande än det begränsade antal scenarier som fanns tillgängliga när Klimat- och sårbarhetsutredningen lade fram sitt slutbetänkande hösten 2007. Den stora spridningen mellan olika klimatmodeller ger en mer nyanserad bild än vad som tidigare varit fallet. Klimatforskningen kommer ständigt med nya resultat som kan komma att modifiera bilden ytterligare, vilket läsaren bör vara medveten om.

De sexton regionala klimatscenarier som använts i studien har nedskalats till s.k. gridrutor med upplösningen 4 km × 4 km. Den internationella meteorologiska standardnormalperioden 1961-1990 har använts som referensperiod för de analyser som gjorts av temperatur och nederbörd och olika klimatindex baserade på dessa. För de hydrologiska analyserna avseende vattenföring och snö är referensperioden 1963-1992 av tekniska skäl.

Ett flertal analyser avser extremer av något slag, exempelvis ”antalet sammanhängande dygn med dygnsmedeltemperatur över 20°C”. Dessa analyser presenteras som genomsnittlig förändring sett över 30-årsperioder, t.ex. 1961-1990 jämfört med 2021-2050. Det ska påpekas att dessa extremer varierar väldigt mycket mellan enskilda år, vilket inte ses från medelvärdet över perioderna.

Följande huvuddrag framgår av beräkningarna för Värmlands län:

- Klimatberäkningarna visar en successiv och tydlig ökning av årsmedeltemperaturen under det innevarande seklet. Spridningen mellan beräkningarna avseende förändringens storlek är stor, men i medeltal ses en ökning för länet med ca 4,5°C till slutet av seklet. För perioden 1961-1990 var årsmedeltemperaturen 4,4°C. Det innebär att vid slutet på seklet kan årsmedeltemperaturer på medeltal ca 9°C uppnås.
- Vintern är den säsong som uppvisar störst variation i medeltemperatur mellan år. För perioden 1961-2012 var variationen ca 11 grader.
- Alla säsonger visar en temperaturuppgång under 2000-talet men den är mest framträdande för vintern (i medeltal ca 6 grader över länet).
- Det regionala mönster som kan ses i dagens klimat, med varmare förhållanden längs Vänern och svalare i de mer höglänta områdena i norr, kvarstår i framtiden.
- Den allmänna temperaturhöjningen under 2000-talet gör att även den genomsnittliga maximala dygnsmedeltemperaturen för Värmland ökar, från 21°C till 24°C. Antalet sammanhängande dygn per år med dygnsmedeltemperatur över 20°C är för referensperioden endast 2 dagar i medeltal. I beräkningarna för framtiden ses en ökning, så att större delen av länet får 9 varma dagar i sträck i medeltal och längs Vänern uppemot 14 dagar.
- Vegetationsperiodens längd för länet var 181 dagar (tröskelvärde 5°C) perioden 1961-1990 med stor variation mellan åren. I beräkningarna för framtiden ökar vegetationsperioden kraftigt med ca 100 dagar vid seklets slut. Förändringen är störst avseende starttidpunkten, från slutet på april för referensperioden till början på mars mot slutet på seklet.
- Behovet av uppvärmning minskar i länet och når mot slutet av seklet ungefär två tredjedelar av dagens behov.

- Årsmedelnederbörden ökar successivt under seklet, men med stor variation mellan åren. I slutet av seklet visar medianvärdet på ca +20 % i relation till referensperioden.
- Den tydligaste nederbördsökningen ses för vintern, med uppemot 40% mer nederbörd mot seklets slut jämfört med referensperioden. För sommaren kan ingen generell framtida nederbördsökning utläsas ur resultaten.
- De kraftiga regnen beräknas öka så att årsmedelvärdet av den största regnmängden under ett dygn ökar från 26 mm under referensperioden till ca 30 mm mot slutet av seklet. Motsvarande för 7 dygn är 65 mm respektive ca 75 mm. Antalet dygn med kraftig nederbörd ökar också med i medeltal ca 7 dygn per år.
- Extrem nederbörd dvs. mycket regn på kort tid (30 min, 60 min) ser också ut att öka med ca 20-30 %, enligt tidigare studier som sammanställts. Ett regn med återkomsttid 10 år kan förväntas återkomma vart 5:e år, enligt förenklade beräkningar.
- En svag minskning av antalet sammanhängande torra dygn (< 1 mm nederbörd/dygn) kan ses i framtidsberäkningarna.
- Vattenföringens säsongsvariation förändras mot högre vinterflöden och en längre period med låga flöden, i medeltal från april t.o.m. september, mot slutet av seklet. I dagens klimat är motsvarande period vanligen juni-september.
- För flöden med 100-års återkomsttid visar vattendragen lite olika respons för klimatförändringen. För Klarälven och Norsälven ses minskande värden (10-20 %), Alsterälven och Byälven verkar bli relativt oförändrade men för Borgvikeälven och Upperudsälven syns något ökande värden. Detta gäller slutet av seklet i relation till referensperioden.
- Snötäcket minskar i länet både avseende antal dagar med snötäcke och det maximala vatteninnehållet i snötäcket. Vid slutet på seklet i jämförelse med referensperioden kan antalet snödagar ha minskat med 80-100 dagar. Snöns maximala vatteninnehåll kan ha minskat med 20-60 % i norr och nedåt 80 % i söder.

Ett stort antal övriga klimatberoende förhållanden kommer också att förändras efterhand som klimatet ändras. I denna rapport kommenteras tjäle som, enligt befintliga studier, ser ut att minska i Värmland med den förväntade klimatförändringen. Brandrisksäsongen ser ut att öka med 11-40 dagar över länet. För norra delen av länet kan ca vartannat år förväntas att ha en högriskperiod och för södra delen av länet infaller minst en högriskperiod under 80-90 % av åren. Detta enligt tidigare studier, för slutet på seklet, som sammanställts.

I kapitel 9 görs en sammanställning av resultaten från det arbete som bedrivits alltsedan Klimat- och sårbarhetsutredningen avseende Väner och dess översvämningsrisker. De bedömningar över dimensionerande nivå och 100-årsnivå som framförallt presenteras i Bergström m.fl. (2010a) bör ses som preliminära. Osäkra moment är framtida maximal tappning och tappningsstrategi. För aktuella planeringsnivåer hänvisas till Faktablad Väner, som är tänkt att uppdateras i takt med att kunskap och bedömningar ändras.

11 Referenser

- ACCLIM II-hankkeen lyhyt loppuraportti
http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=f72ce783-0bae-4468-b67e-8e280bec1452&groupId=30106.
- Alexandersson H. 2003. Korrektion av nederbörd med enkel klimatologisk metodik. *SMHI Meteorologi*, nr 111, Norrköping.
- Andréasson J., Bergström S., Gardelin M., German J., Gustavsson H., Hallberg K. och Rosberg J. 2011. Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring - metodutveckling och scenarier. *Elforsk rapport* 11:25.
- Berg P., Moseley C., and Haerter J.O. 2013. Strong increase in convective precipitation in response to higher temperatures, *Nature Geoscience*., doi:10.1038/ngeo1731
- Bergström S., Hellström S.-S. och Andréasson J. 2006. Nivåer och flöden i Vänerns och Mälarens vattensystem – Hydrologiskt underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen. *SMHI Reports Hydrology*, No. 20, Norrköping.
- Bergström S., Andréasson J., Asp M., Caldarulo L., German J., Lindahl S., Losjö K. och Stensen B. 2010a. Fördjupad studie rörande översvämningsriskerna för Vänern - slutrapport *SMHI-rapport* 2010-85.
- Bergström S., Andréasson J., Losjö K., Stensen B. och Wern L. 2010b. Hydrologiska och meteorologiska förhållanden i Göta älvdalen – Slutrapport. *SMHI-rapport* 2010-81.
- Bergström, S. och Eklund, A. 2013. Effekterna av ändrad tappning från Vänern. *SMHI-rapport* 2013-10.
- Brandt M. och Eklund A. 1999. Snöns vatteninnehåll. Modellberäkningar och statistik för Sverige. *SMHI Hydrologi* nr 79.
- Eckersten H., Jansson P-E., Karlsson S., Lindroth A., Persson B., Perttu K., Blombäck K., Karlberg L. och Persson G. 1998. Biogeofysik – en introduktion. *Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för lantbrukets hydroteknik. Avdelningsmeddelande* 98:9.
- Gardelin M., Andréasson J., Sahlberg J. och Stensen B. 2010. Klimatscenarier Brandrisk HBV – Delrapport Etapp 1. *SMHI Rapport* Nr 2010-33.
- Gardelin M., Andréasson J., Olsson J., Sahlberg J., Stensen B. och Yang W. 2011. Scenarier för framtida skogsbrandrisk. *SMHI Rapport* Nr 2011-77.
- IPCC 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Nougier, M., van der Linden, P.J. Dai, X., Maskell, K. and Johnsen, C.A. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp.
- IPCC 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Johansson, B. 2000. Areal precipitation and temperature in the Swedish mountains. An evaluation from a hydrological perspective. *Nordic Hydrology*, 31, 207-228.
- Johansson, B. and Chen, D. 2003. The influence of wind and topography on precipitation distribution in Sweden: Statistical analysis and modelling. *International Journal of Climatology*, 23, 1523-1535.

- Johansson, B. and Chen, D. 2005. Estimation of areal precipitation for runoff modelling using wind data: a case study in Sweden. *Climate Research*, 29, 53-61.
- Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Ruokolainen, L., Saku, S. ja Seitola, T., Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten, ACCLIM-hankkeen raportti 2009. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/15711/2009nro4.pdf?sequence=1>
- Koffman, A., Lundkvist E., Hebert, M. och Thorell, M. 2013. Vänerns vattenreglering - Effekter och konsekvenser för flora, fauna och friluftsliv. Calluna AB.
- Lindström G. och Hellström S-S. Simulering av tjäldjup i ett framtida klimat. (2007-05-21)
- Lindström G., Johansson B., Persson M., Gardelin M. och Bergström S. 1997. Development and test of the distributed HBV-96 model. *Journal of Hydrology*, 201, 272-288.
- MSB, 2008. Red. SLU Umeå: Granström A. Skogsbränder under ett förändrat klimat – En forskningsöversikt. 29 s.
- MSB, 2013. Red. SMHI: Sjökvist E., Axén Mårtensson J., Sahlberg J., Andréasson J. och Hallberg K. Framtida perioder med hög risk för skogsbrand – Analyser av klimatscenarier. MSB535-Februari 2013. 65 s.
- Nakićenović N., and R. Swart (eds.) 2000. Special Report on Emissions Scenarios. *A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp.
- Naturvårdsverket 2007. FN:s klimatpanel 2007: Den naturvetenskapliga grunden. Sammanfattning för beslutsfattare. *Naturvårdsverket Rapport 5677*, Stockholm.
- Nikulín G., Kjellström E., Hansson U., Strandberg G. and Ullerstig A. 2011. Evaluation and future projections of temperature, precipitation and wind extremes over Europe in an ensemble of regional climate simulations. *Tellus*, 63A, 41-55.
- Olsson J. and Foster K. 2013. Extrem korttidsnederbörd i klimatprojektioner för Sverige. *SMHI klimatologi* nr 6. 21s.
- Olsson J. och Foster K. 2013. Extrem korttidsnederbörd i klimatprojektioner för Sverige. *SMHI Klimatologi* Nr 6, 2013.
- Olsson J., Amaguchi H., Alsterhag E., Dåverhög M., Adrian P.-E. and Kawamura A. 2013. Adaptation to climate change impacts on urban storm water: a case study in Arvika, Sweden. *Climatic Change* 116:231-247. DOI 10.1007/s10584-012-0480-y.
- Sjökvist E., Caldarulo L. och Andréasson J. 2012. Analys av risker för samtidigt höga flöden och korta intensiva regn i Karlstad. *SMHI rapport* nr 2012-20. 30s.
- SMHI 2002. Län och huvudavrinningsområden i Sverige. *SMHI faktablad* nr 10.
- SMHI 2003. Brandrisk. *SMHI faktablad* nr 14.
- SMHI 2004. Huvudavrinningsområden på gränsen mellan Sverige, Norge och Finland. *SMHI faktablad* nr 20.
- SMHI 2004. Översvämningar i Sverige. *SMHI faktablad* nr 21.
- SMHI 2005. Extrem nederbörd 1900-2004. *SMHI faktablad* nr 4, 2001. Nytryck februari 2005.
- SMHI 2005. Sveriges snöklimate under 100 år. *SMHI faktablad* nr 23.
- SMHI 2008. Sveriges sjöar. *SMHI faktablad* nr 39.
- SMHI 2009. Sveriges landskapsklimat. *SMHI faktablad* nr 42.
- SMHI 2010. Korttidsnederbörd i Sverige 1995-2008. *SMHI faktablad* nr 43.
- SMHI 2010. Sveriges vattendrag. *SMHI faktablad* nr 44.
- SMHI 2011. Värmeböljor i Sverige. *SMHI faktablad* nr 49.

- SMHI 2011. Vind och storm i Sverige 1901-2010. *SMHI faktablad* nr 51.
- Skogsstyrelsen 1997. *Marken i skogslandskapet*. Skogsstyrelsen.
- SOU 2006. Översvämningshot. Risker och åtgärder för Mälaren, Hjälmaren och Vänern. Delbetänkande av Klimat- och sårbarhetsutredningen, *SOU* 2006:94. Stockholm.
- SOU 2007a. Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter. Slutbetänkande av Klimat- och sårbarhetsutredningen. *SOU* 2007:60, Stockholm.
- SOU 2007b. Översiktlig sårbarhetsanalys för översvämnning, skred, ras och erosion i bebyggd miljö i ett framtida klimat. Klimat- och sårbarhetsutredningen *SOU* 2007:60, bilaga B14.
- Svensk Energi, Svenska Kraftnät och SveMin* 2007. Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar - Nyutgåva 2007. ISBN 978-91-7622-197-6.
- SWECLIM 2002. Expertstöd i klimatfrågan. *Årsrapport 2001*.
- Troedsson T. och Nykvist N. 1973. *Marklära och markvård*. Almqvist & Wiksell.
- van der Linden P., and J.F.B. Mitchell (eds.) 2009. ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: *Summary of research and results from the ENSEMBLES project*. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160pp.
- Länsstyrelserna i Västra Götalands och Värmlands län, 2011. Stigande vatten – en handbok för fysisk planering i översvämningshotade områden. *Länsstyrelsen i Värmlands län Publikation* 2011:22.
- Wern L. 2012. Extrem nederbörd i Sverige under 1 till 30 dygn, 1900-2011. *SMHI Meteorologi* nr 2012-143.
- Wern L. och Barring L. 2009. Sveriges vindklimat 1901-2008. Analys av förändring i geostrofisk vind. *SMHI Meteorologi* nr 138/2009.
- Yang W., Andréasson J., Graham L.P., Olsson J., Rosberg J. and Wetterhall F. 2010. Distribution based scaling to improve usability of RCM projections for hydrological climate change impacts studies. *Hydrology Research*, 41.3-4, 211-229.

Övriga referenser

Klimatguiden.fi

Länsstyrelsernas GIS-tjänster, <http://www.gis.lst.se/lanskartor/>

SMHI's Klimatarkiv

SMHI's statistikdatabas

SMHI vattenweb: vattenweb.smhi.se

Väder och vatten, tidskrift från SMHI, augusti 2004

www.lansstyrelsen.se/Varmland

www.smhi.se

12 Bilagor

Analysen av Värmlands framtidsklimat har gjorts utgående från de klimatscenarier som beskrivits i kap. 4.7. Dessa klimatscenarier har, som framgår av tabell 4-1, en horisontell upplösning av 25-50 km. Efter justering av temperatur och nederbörd, med hjälp av observationer såsom beskrivs i kap. 4.5, har klimatscenarierna lagrats med samma upplösning som den observerade databasen, dvs. 4 km × 4 km. I bilagorna 1-21 finns kartor för temperatur- och nederbördsvariabler och olika index baserade på desamma. Värdena som visas i kartorna beräknas utifrån de sexton klimatscenarierna för respektive ruta och representerar 30-årsmedelvärden.

De bearbetade klimatscenarierna gör det möjligt att presentera analyser och kartor med motsvarande upplösning i rummet. Det är dock mycket viktigt att poängtera att *klimatsignalen från klimatmodellerna inte har denna höga upplösning.*

Bilaga 1. Årsmedeltemperatur (°C). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 1991-2010, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990.

Bilaga 2. Vintermedeltemperatur (december-februari) (°C). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 1991-2010, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990.

Bilaga 3. Vårmedeltemperatur (mars-maj) (°C). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 1991-2010, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990.

Bilaga 4. Sommarmedeltemperatur (juni-augusti) (°C). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 1991-2010, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990.

Bilaga 5. Höstmedeltemperatur (september-november) (°C). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 1991-2010, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990.

Bilaga 6. Högsta dygnsmedeltemperatur (°C). Observerade värden 1961-1990. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098. Kartorna visar medelvärden av 30 år.

Bilaga 7. Antal sammanhängande dygn med dygnsmedeltemperatur > 20°C. Observerade värden 1961-1990. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098. Kartorna visar medelvärden av 30 år.

Bilaga 8. Vegetationsperiodens längd (antal dagar). Observerade värden 1961-1990. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098. Kartorna visar medelvärden av 30 år.

Bilaga 9. Vegetationsperiodens starttidpunkt (dagnummer). Observerade värden 1961-1990. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098. Kartorna visar medelvärden av 30 år.

Bilaga 10. Vegetationsperiodens sluttidpunkt (antal dagar). Observerade värden 1961-1990. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098. Kartorna visar medelvärden av 30 år.

Bilaga 11. Värmebehov (graddagar). Observerade värden 1961-1990. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098. Kartorna visar medelvärden av 30 år.

Bilaga 12. Kylbehov (graddagar). Observerade värden 1961-1990. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098. Kartorna visar medelvärden av 30 år.

Bilaga 13. Årsmedelnederbörd (mm). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 1991-2010, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990.

Bilaga 14. Vintermedelnederbörd (december-februari) (mm/säsong). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 1991-2010, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990. Differensen uttrycks som procent.

Bilaga 15. Vårmedelnederbörd (mars-maj) (mm/säsong). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 1991-2010, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990. Differensen uttrycks som procent.

Bilaga 16. Sommarmedelnederbörd (juni-augusti) (mm/säsong). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 1991-2010, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990. Differensen uttrycks som procent.

Bilaga 17. Höstmedelnederbörd (september-november) (mm/säsong). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 1991-2010, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990. Differensen uttrycks som procent.

Bilaga 18. Antal dygn med > 10 mm nederbörd (dygn). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 1991-2010, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990. Kartorna visar medelvärden av 30 år.

Bilaga 19. Största 1-dygnsnederbörd (mm). Observerade värden 1961-1990. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098. Kartorna visar medelvärden av 30 år.

Bilaga 20. Största 7-dygnsnederbörd (mm). Observerade värden 1961-1990. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098. Kartorna visar medelvärden av 30 år.

Bilaga 21. Antal sammanhängande dygn med nederbörd < 1mm/dygn (dygn). Observerade värden 1961-1990. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098. Kartorna visar medelvärden av 30 år.

Bilaga 22. Förändring av 100-årstillrinning (%) enligt 16 klimatscenarier (12 efter 2050) relativt 100-årstillrinningen för referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de 30 senaste åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat för perioden 2021-2050 jämfört med värdet för 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.

Bilagorna 1-5 Medeltemperatur kommenteras i kap.5.1.1

Bilaga 6-7 Varma perioder kommenteras i kap.5.1.2

Bilaga 8-10 Vegetationsperioder kommenteras i kap. 5.1.3

Bilagorna 11-12 Uppvärmning och kylning kommenteras i kap. 5.1.4

Bilaga 13-17 Medelnederbörd kommenteras i kap. 5.2.1

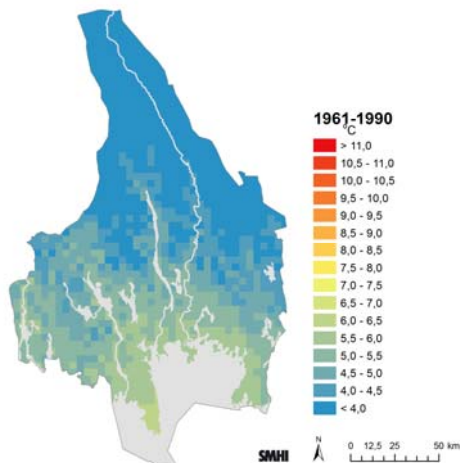
Bilaga 18- 20 Kraftig nederbörd kommenteras i kap. 5.2.2

Bilaga 21 Perioder utan nederbörd kommenteras i kap. 5.2.3

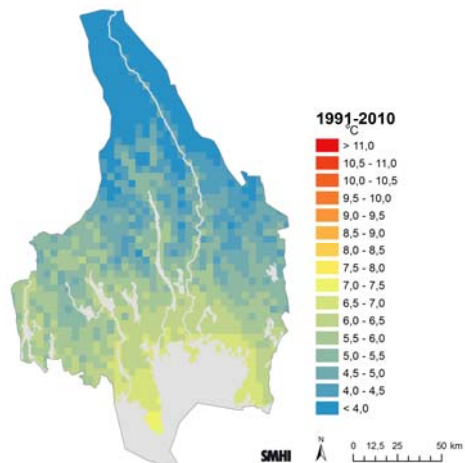
Bilaga 22 100-årsflöden kommenteras i kap. 5.3.3

Bilaga 1 – Årsmedeltemperatur (se kap. 5.1.1)

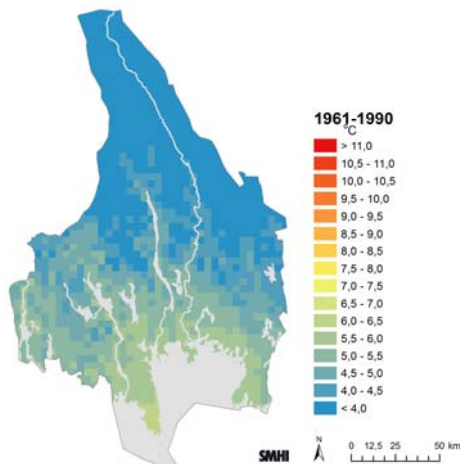
Observerat 1961-1990 (°C)



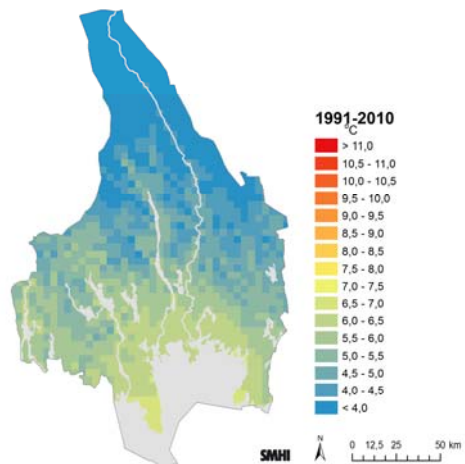
Observerat 1991-2010 (°C)



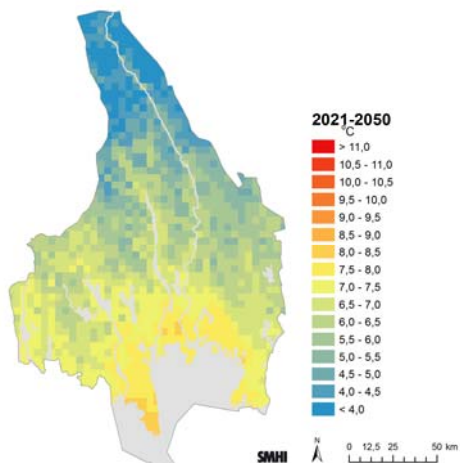
Beräknat 1961-1990 (°C)



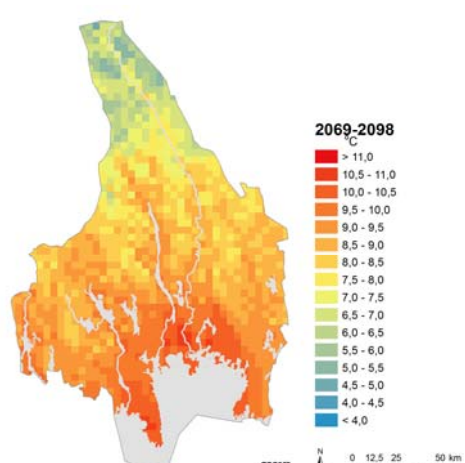
Beräknat 1991-2010 (°C)



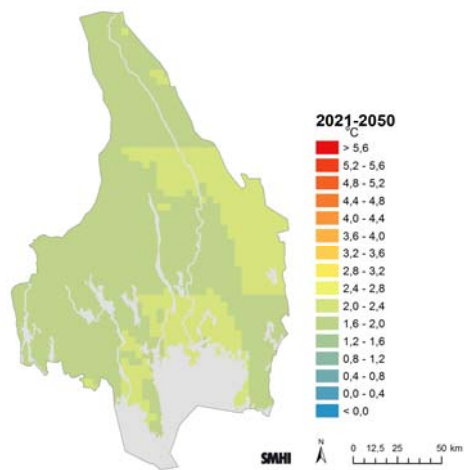
Beräknat 2021-2050 (°C)



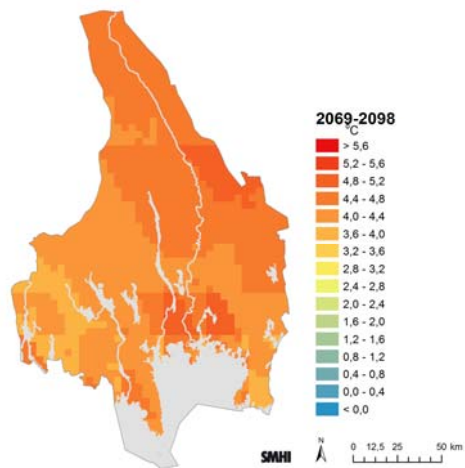
Beräknat 2069-2098 (°C)



Differens 2021-2050 vs. 1961-1990 ($\Delta^{\circ}\text{C}$)

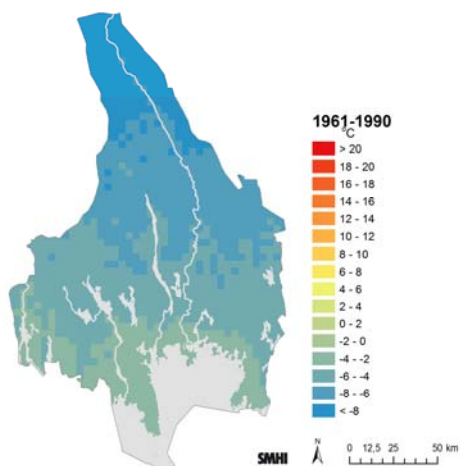


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 ($\Delta^{\circ}\text{C}$)

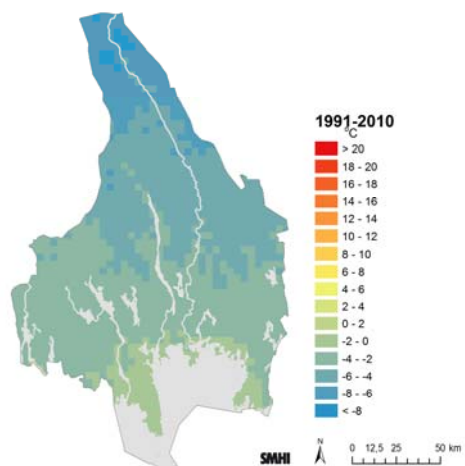


Bilaga 2 – Vintermedeltemperatur (december-februari) (se kap. 5.1.1)

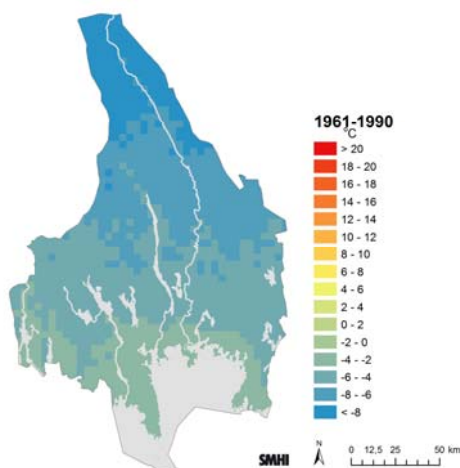
Observerat 1961-1990 (°C)



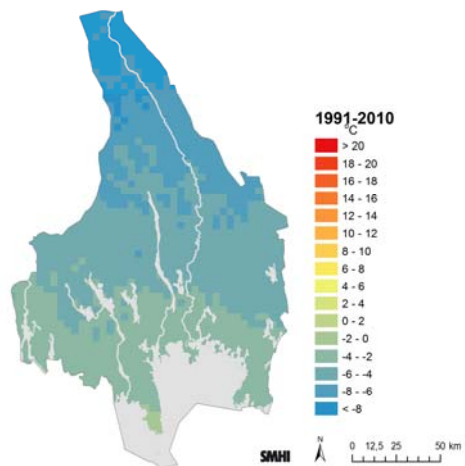
Observerat 1991-2010 (°C)



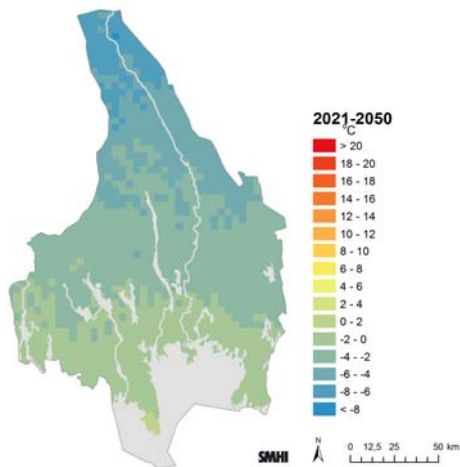
Beräknat 1961-1990 (°C)



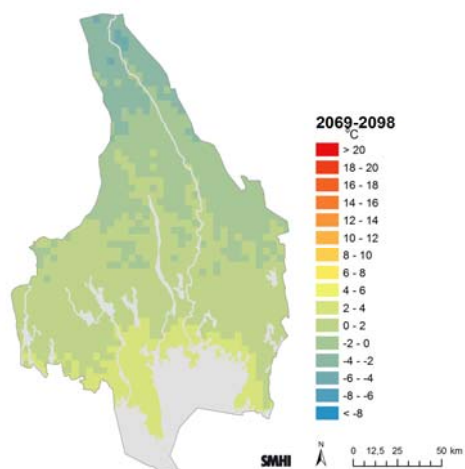
Beräknat 1991-2010 (°C)



Beräknat 2021-2050 (°C)

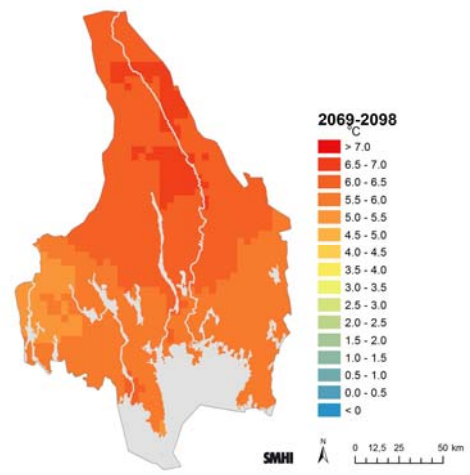
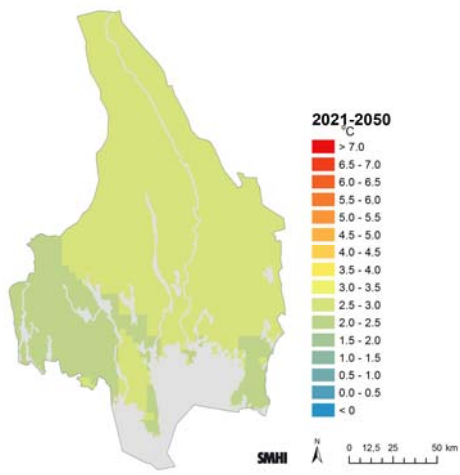


Beräknat 2069-2098 (°C)



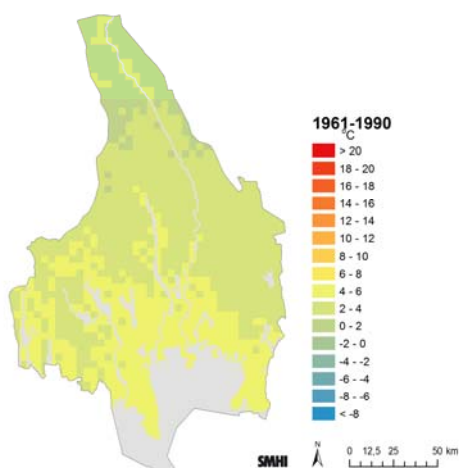
Differens 2021-2050 vs. 1961-1990 (Δ°C)

Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (Δ°C)

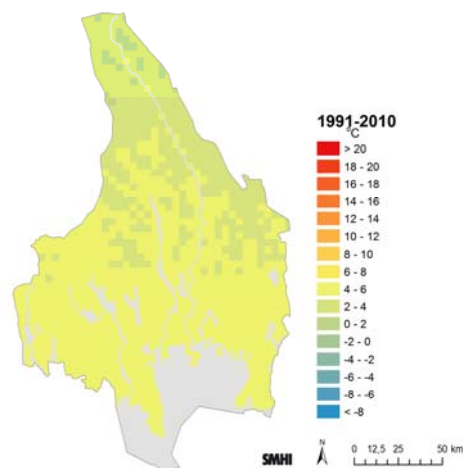


Bilaga 3 – Värmedeltemperatur (mars-maj) (se kap. 5.1.1)

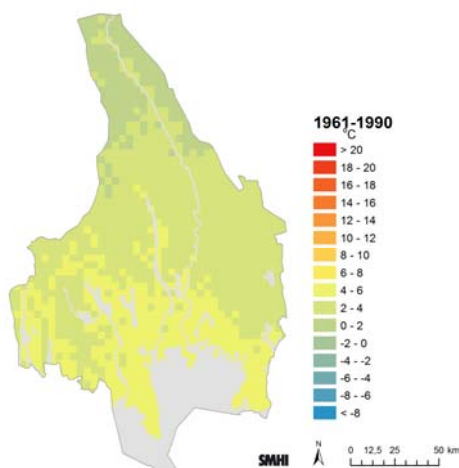
Observerat 1961-1990 (°C)



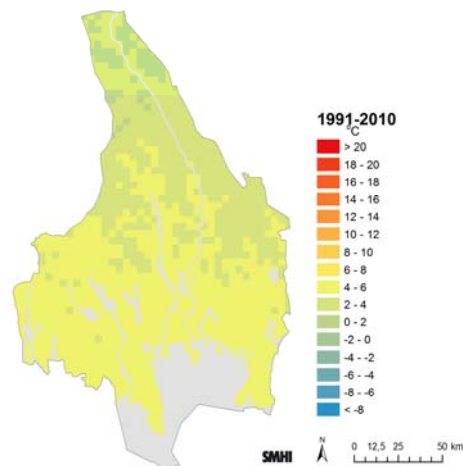
Observerat 1991-2010 (°C)



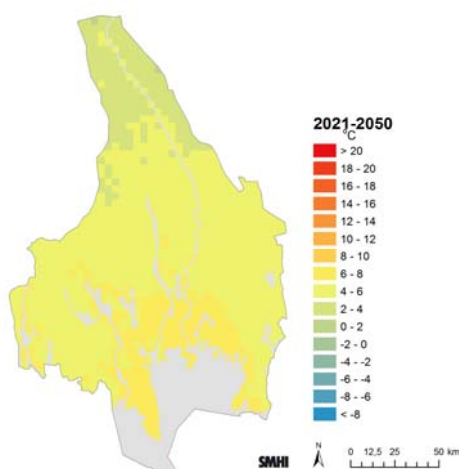
Beräknat 1961-1990 (°C)



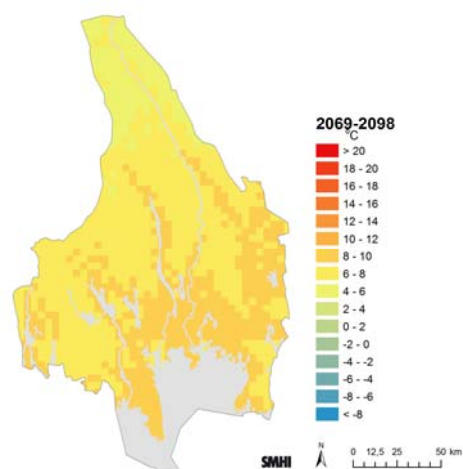
Beräknat 1991-2010 (°C)



Beräknat 2021-2050 (°C)

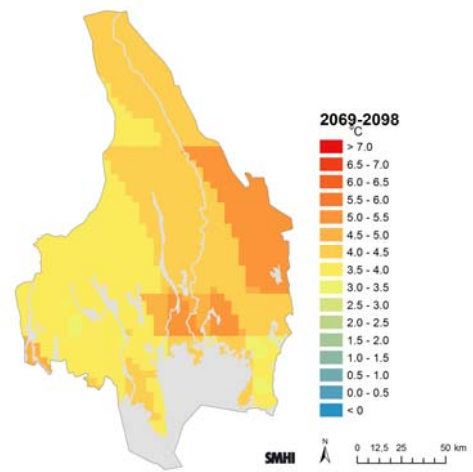
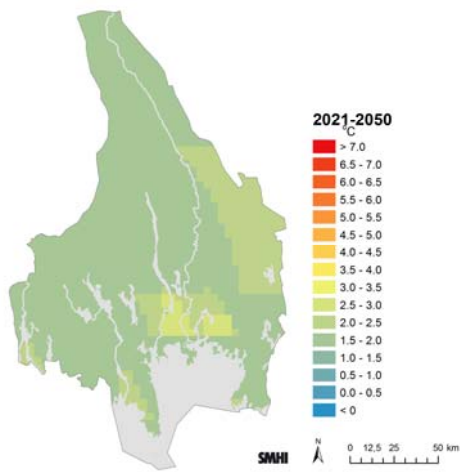


Beräknat 2069-2098 (°C)



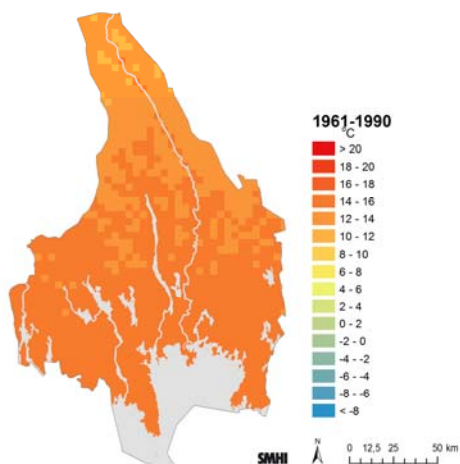
Differens 2021-2050 vs. 1961-1990 (Δ°C)

Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (Δ°C)

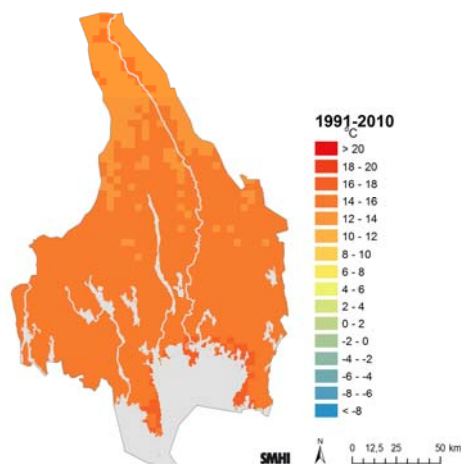


Bilaga 4 – Sommarmedeltemperatur (juni-augusti) (se kap. 5.1.1)

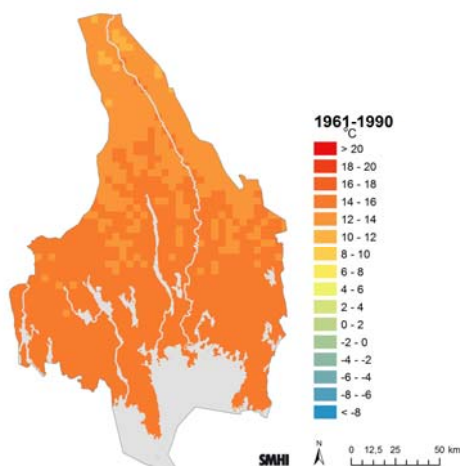
Observerat 1961-1990 (°C)



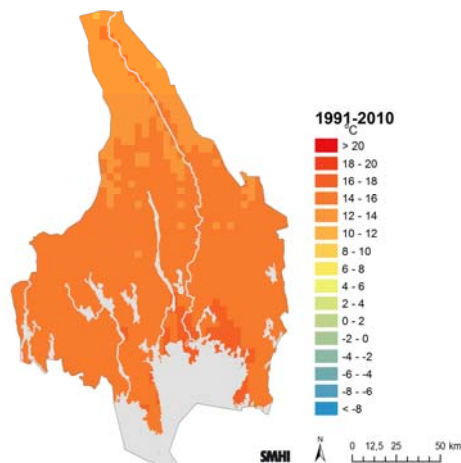
Observerat 1991-2010 (°C)



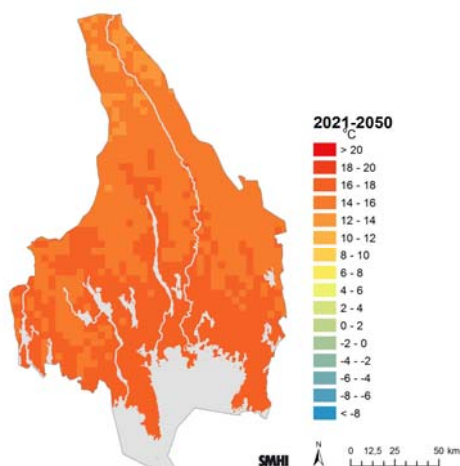
Beräknat 1961-1990 (°C)



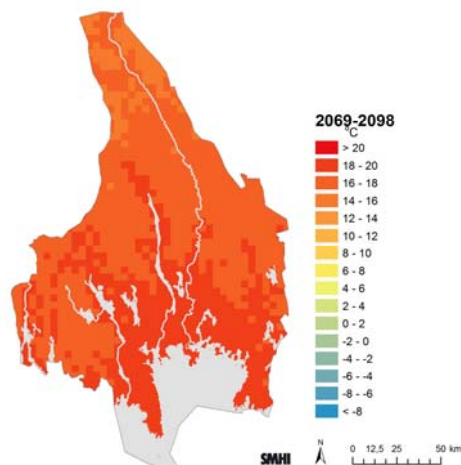
Beräknat 1991-2010 (°C)



Beräknat 2021-2050 (°C)

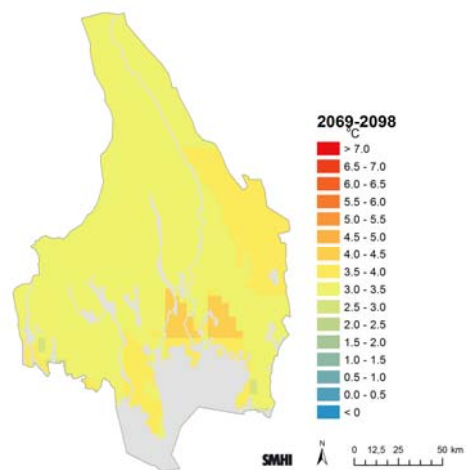
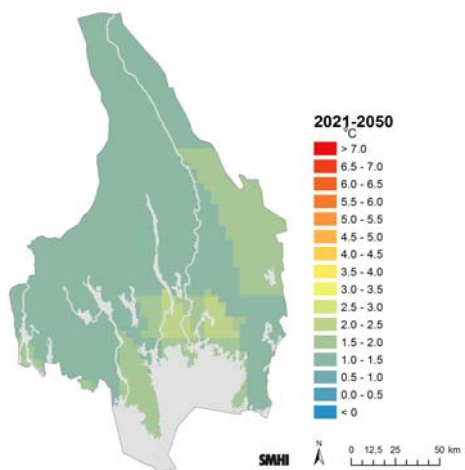


Beräknat 2069-2098 (°C)



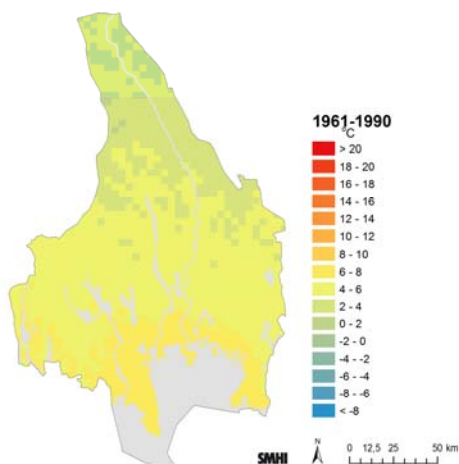
Differens 2021-2050 vs. 1961-1990 (Δ°C)

Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (Δ°C)

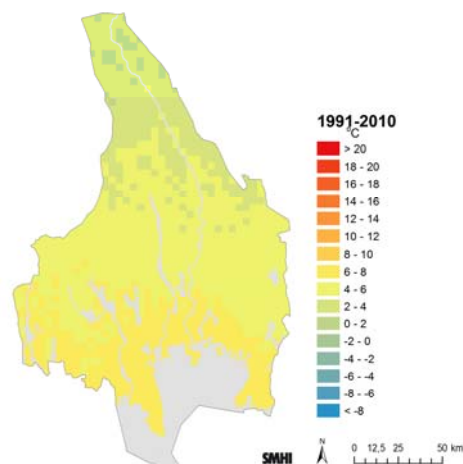


Bilaga 5 – Höstmedeltemperatur (september-november) (se kap. 5.1.1)

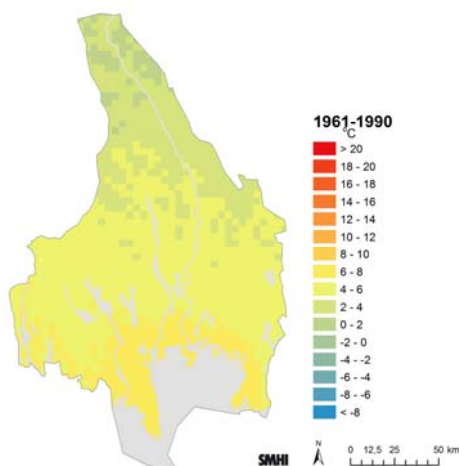
Observerat 1961-1990 (°C)



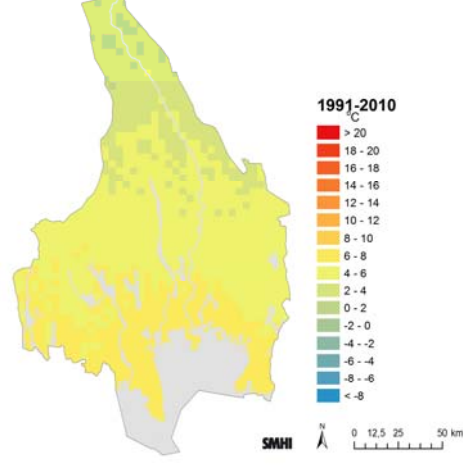
Observerat 1991-2010 (°C)



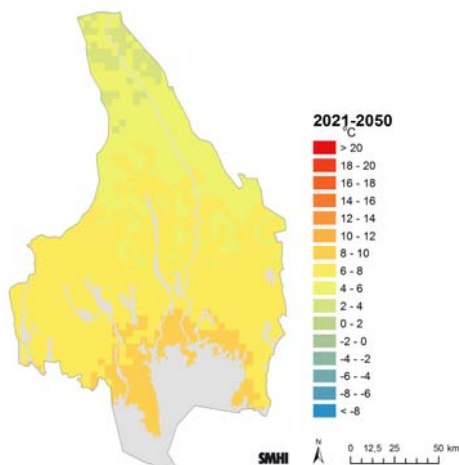
Beräknat 1961-1990 (°C)



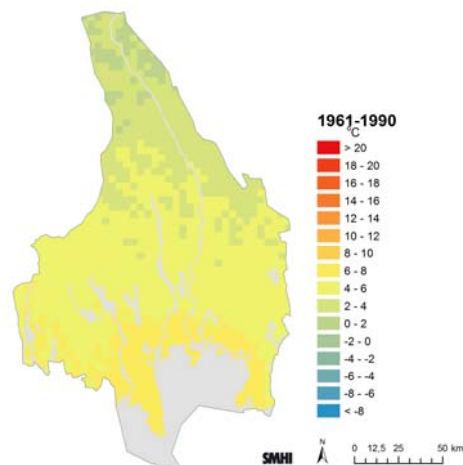
Beräknat 1991-2010 (°C)



Beräknat 2021-2050 (°C)

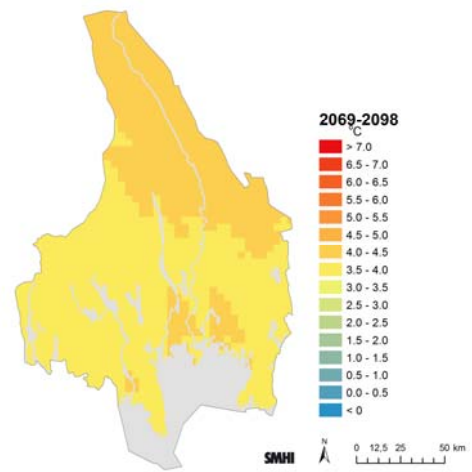
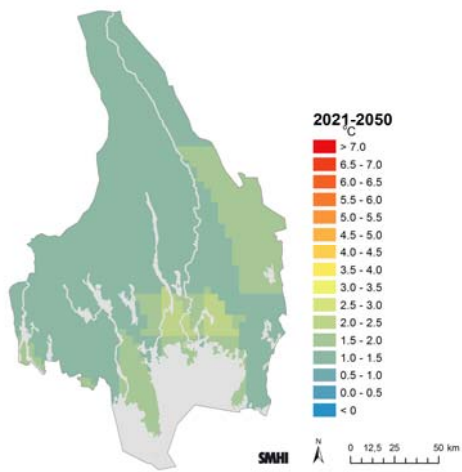


Beräknat 2069-2098 (°C)



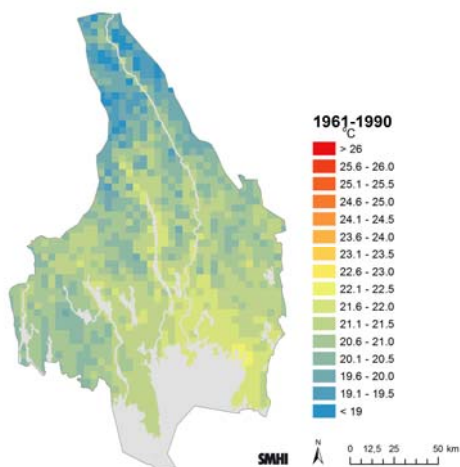
Differens 2021-2050 vs. 1961-1990 ($\Delta^{\circ}\text{C}$)

Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 ($\Delta^{\circ}\text{C}$)

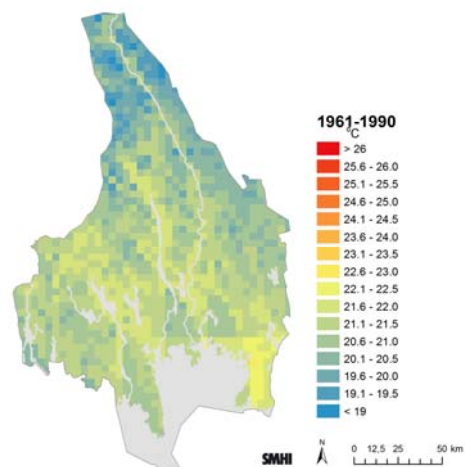


Bilaga 6 – Maxtemperatur: Högsta dygnsmedeltemperatur (se kap. 5.1.2)

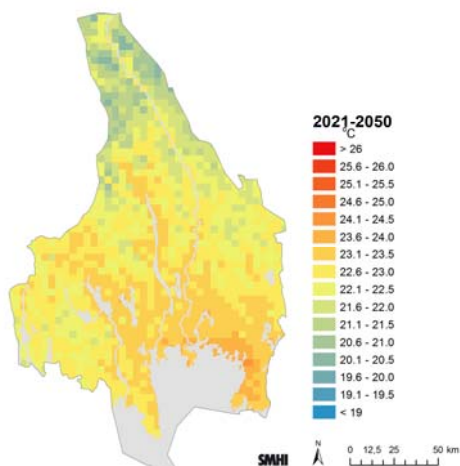
Observerat 1961-1990 (antal dygn)



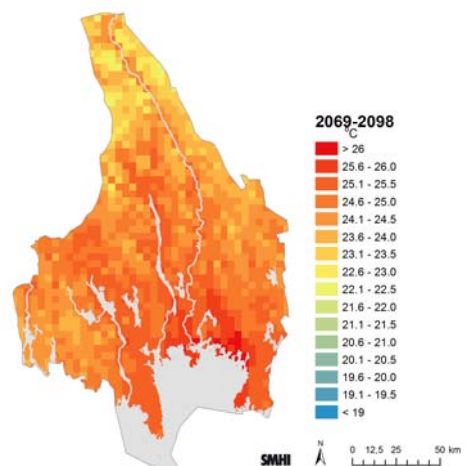
Beräknat 1961-1990 (antal dygn)



Beräknat 2021-2050 (antal dygn)

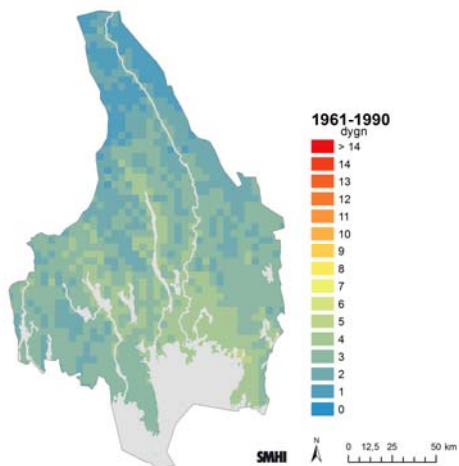


Beräknat 2069-2098 (antal dygn)

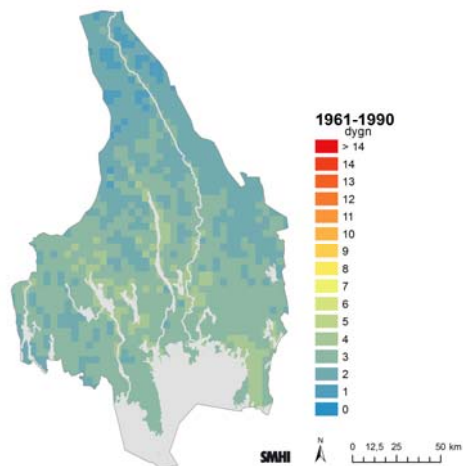


Bilaga 7 – Antal sammanhängande dygn med dygnsmedeltemperatur över 20 °C (se kap. 5.1.2)

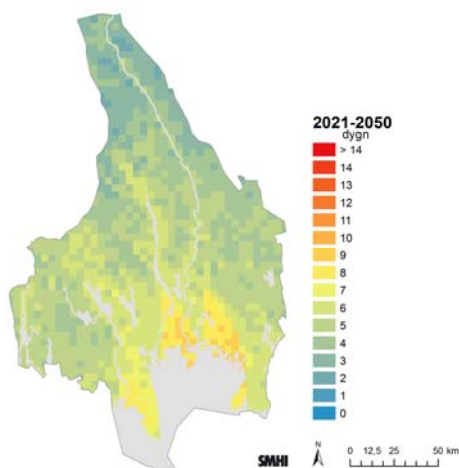
Observerat 1961-1990 (antal dygn)



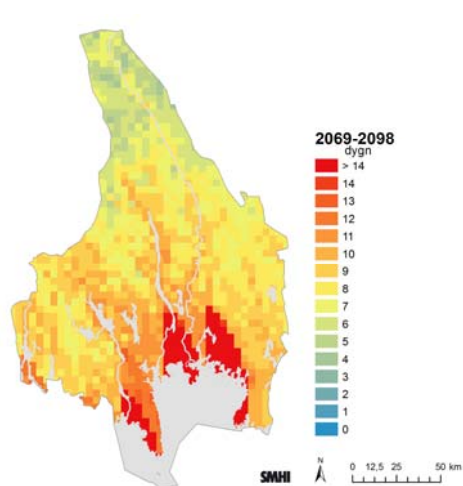
Beräknat 1961-1990 (antal dygn)



Beräknat 2021-2050 (antal dygn)

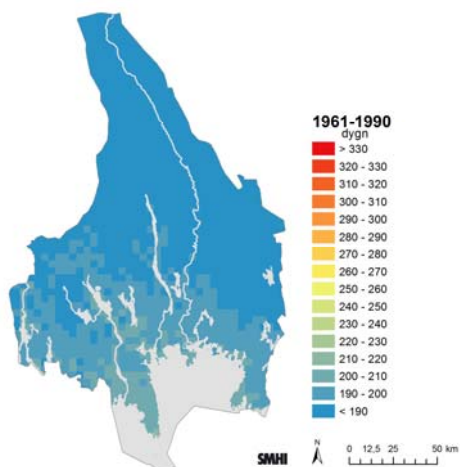


Beräknat 2069-2098 (antal dygn)

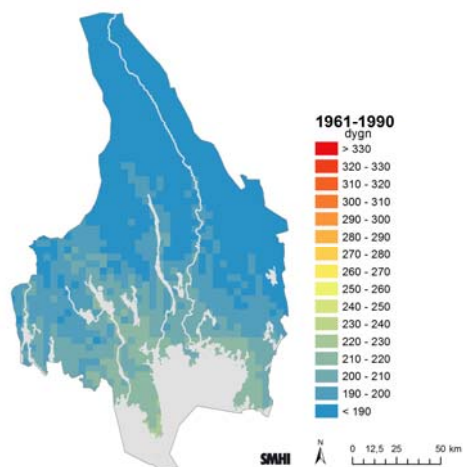


Bilaga 8 – Vegetationsperiodens längd, tröskelvärde 5 °C (se kap. 5.1.3)

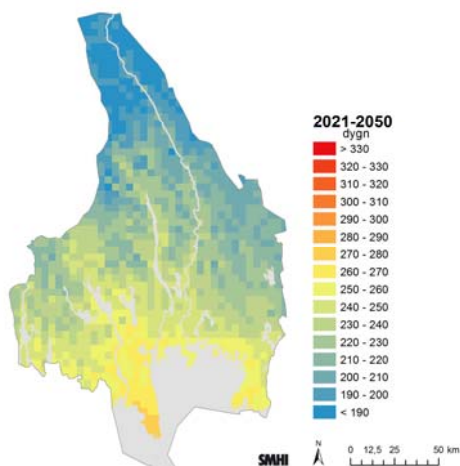
Observerat 1961-1990 (antal dygn)



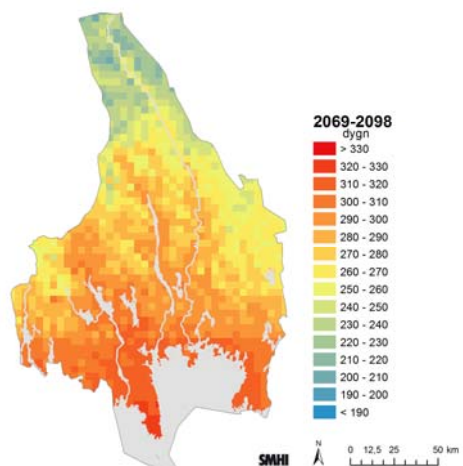
Beräknat 1961-1990 (antal dygn)



Beräknat 2021-2050 (antal dygn)

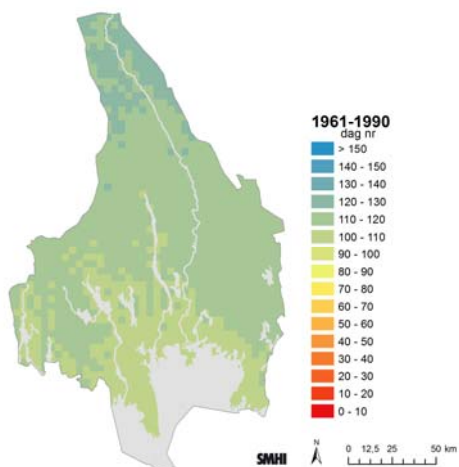


Beräknat 2069-2098 (antal dygn)

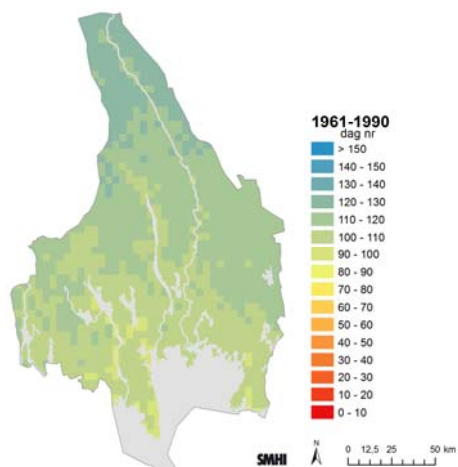


Bilaga 9 – Vegetationsperiodens start (se kap. 5.1.3)

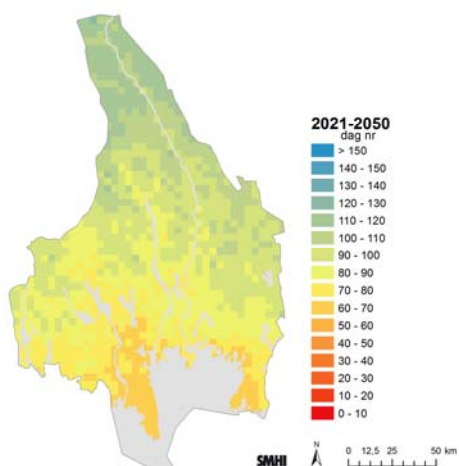
Observerat 1961-1990 (dagnummer)



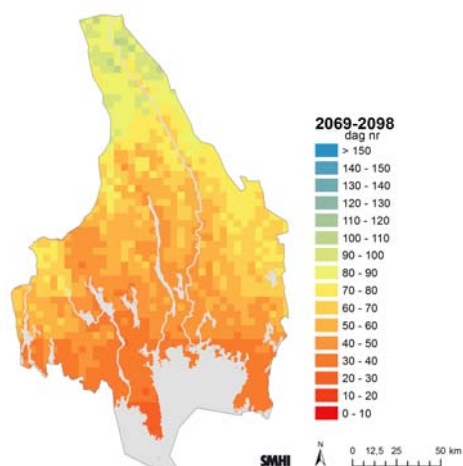
Beräknat 1961-1990 (dagnummer)



Beräknat 2021-2050 (dagnummer)

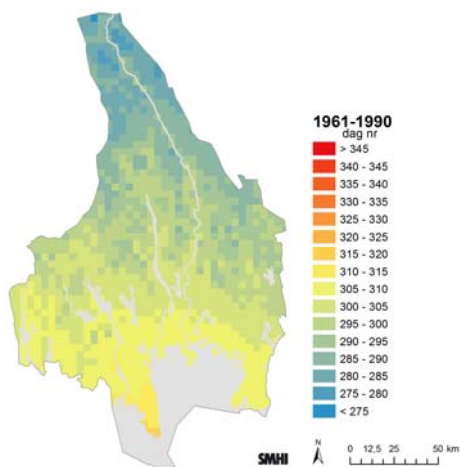


Beräknat 2069-2098 (dagnummer)

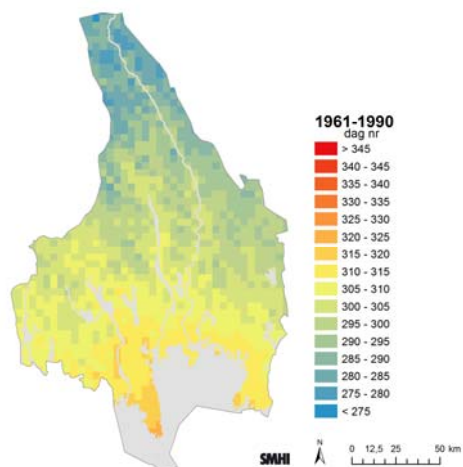


Bilaga 10 – Vegetationsperiodens slut (se kap. 5.1.3)

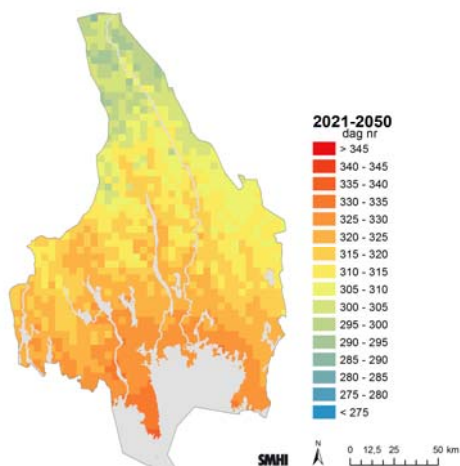
Observerat 1961-1990 (dagnummer)



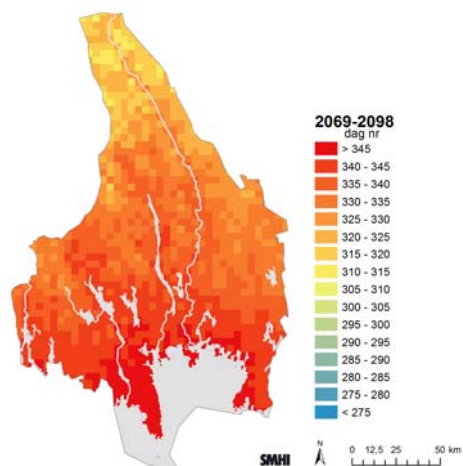
Beräknat 1961-1990 (dagnummer)



Beräknat 2021-2050 (dagnummer)

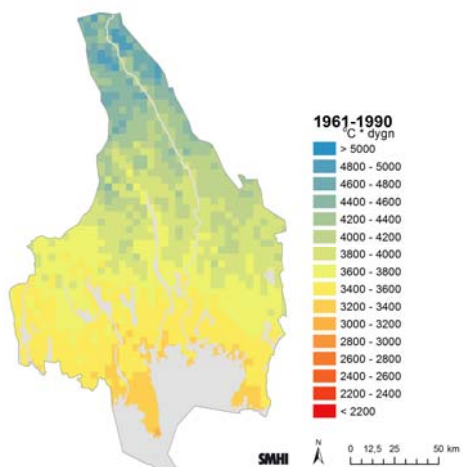


Beräknat 2069-2098 (dagnummer)

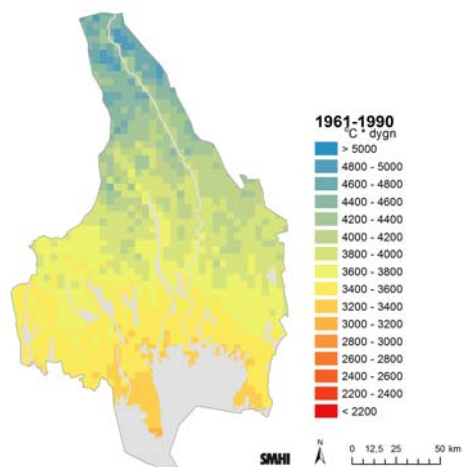


Bilaga 11 – Värmebehov (se kap. 5.1.4)

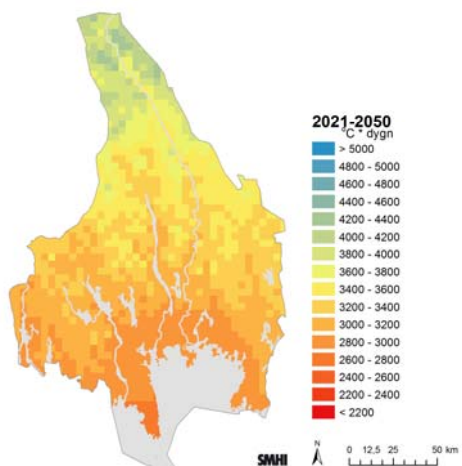
Observerat 1961-1990 (graddagar)



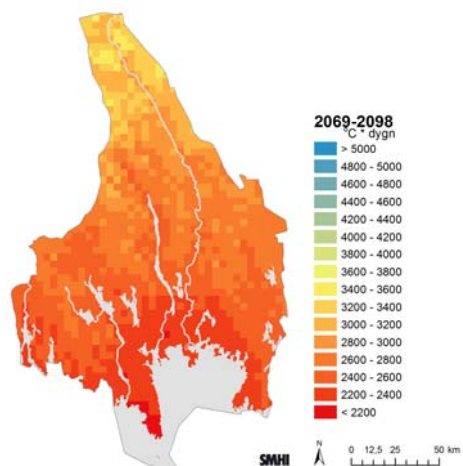
Beräknat 1961-1990 (graddagar)



Beräknat 2021-2050 (graddagar)

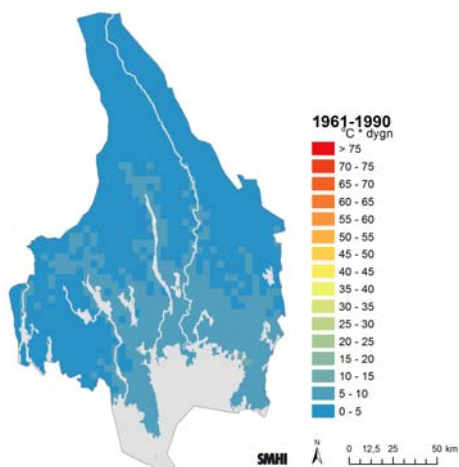


Beräknat 2069-2098 (graddagar)

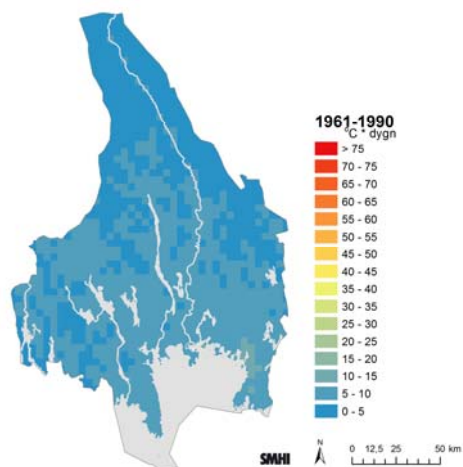


Bilaga 12 – Kylbehov (se kap. 5.1.4)

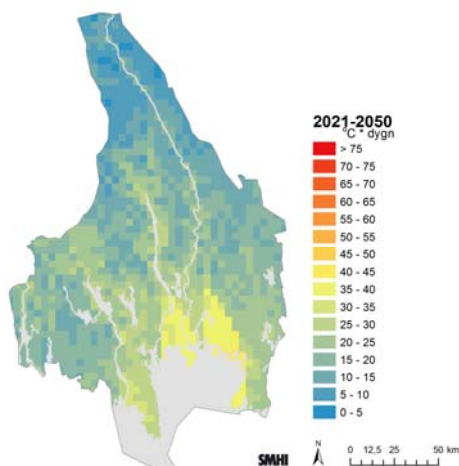
Observerat 1961-1990 (graddagar)



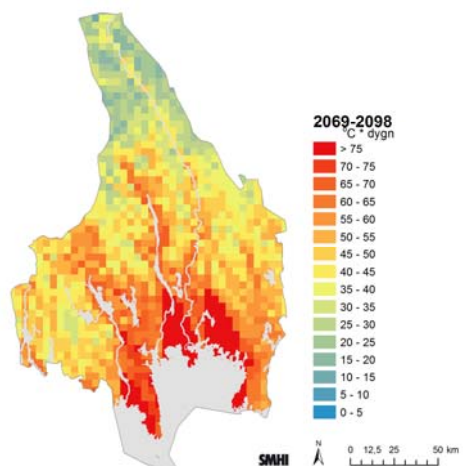
Beräknat 1961-1990 (graddagar)



Beräknat 2021-2050 (graddagar)

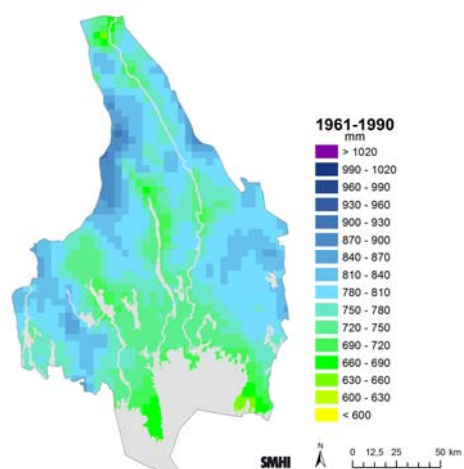


Beräknat 2069-2098 (graddagar)

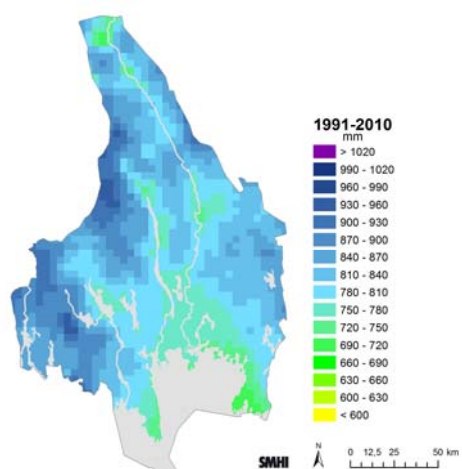


Bilaga 13 – Årsmedelnederbörd (se kap. 5.2.1)

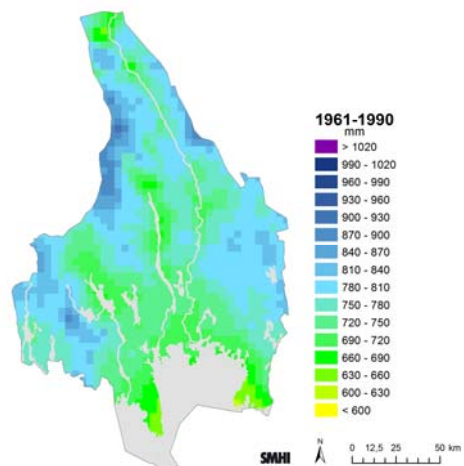
Observerat 1961-1990 (mm/år)



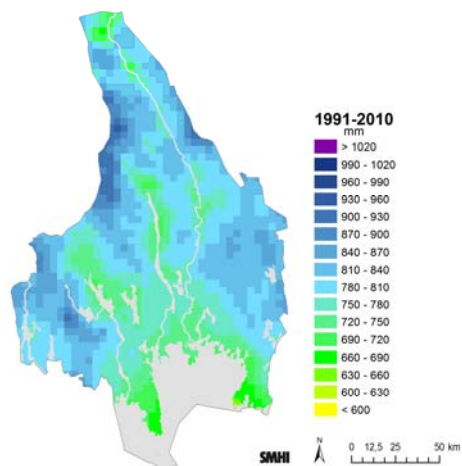
Observerat 1991-2010 (mm/år)



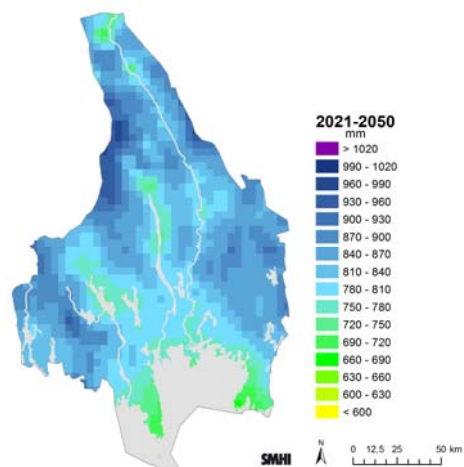
Beräknat 1961-1990 (mm/år)



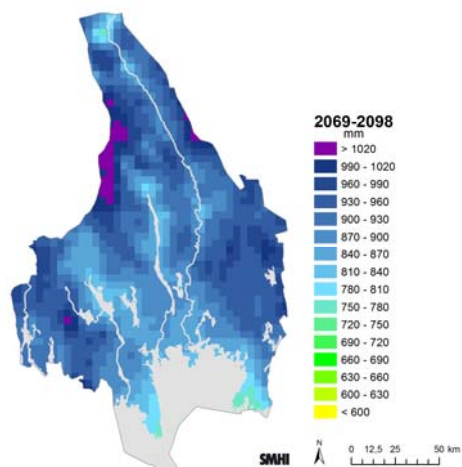
Beräknat 1991-2010 (mm/år)



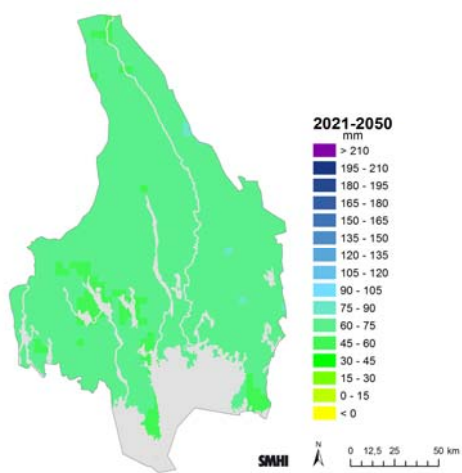
Beräknat 2021-2050 (mm/år)



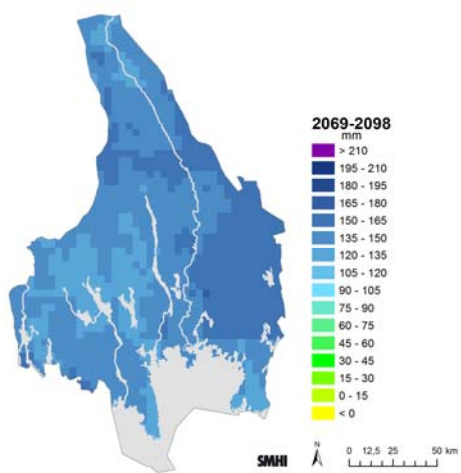
Beräknat 2069-2098 (mm/år)



Differens 2021-2050 vs. 1961-1990 (mm/år)

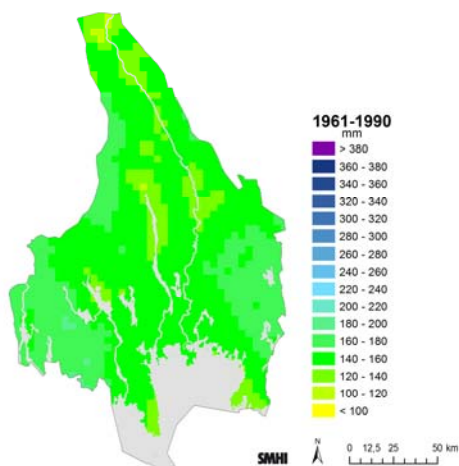


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (mm/år)

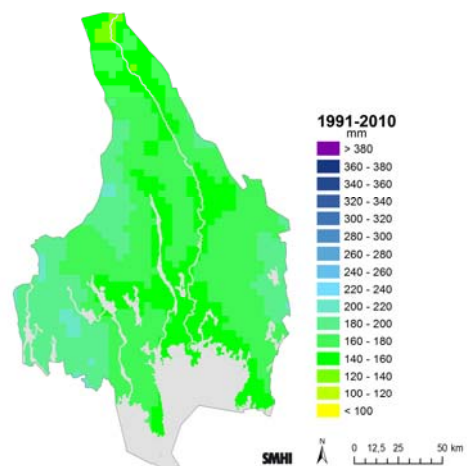


Bilaga 14 – Vintermedelnederbörd (december-februari) (se kap. 5.2.1)

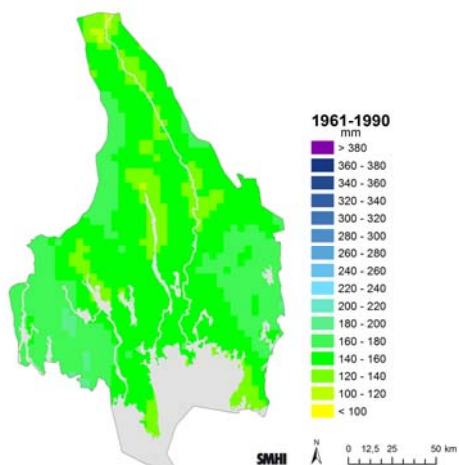
Observerat 1961-1990 (mm/säsong)



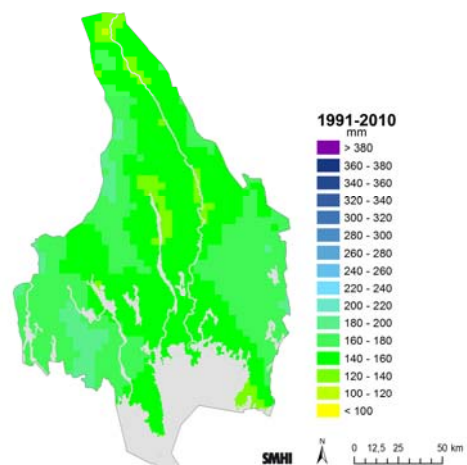
Observerat 1991-2010 (mm/säsong)



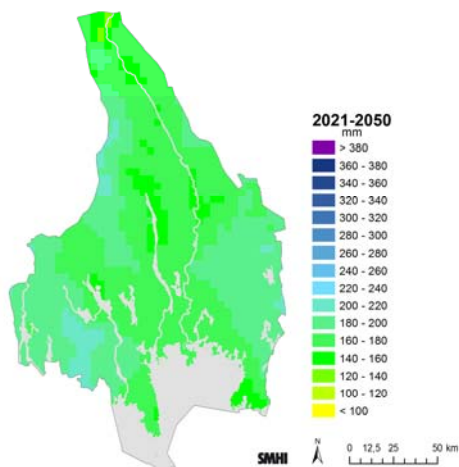
Beräknat 1961-1990 (mm/säsong)



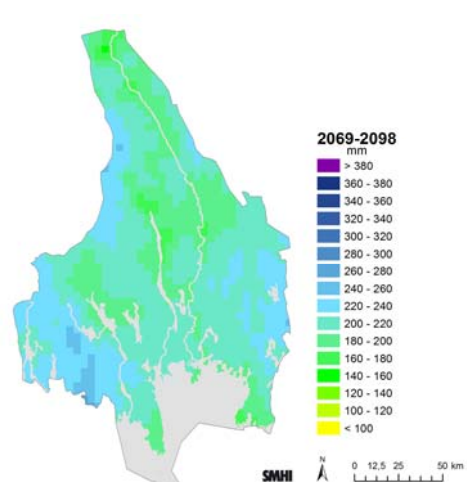
Beräknat 1991-2010 (mm/säsong)



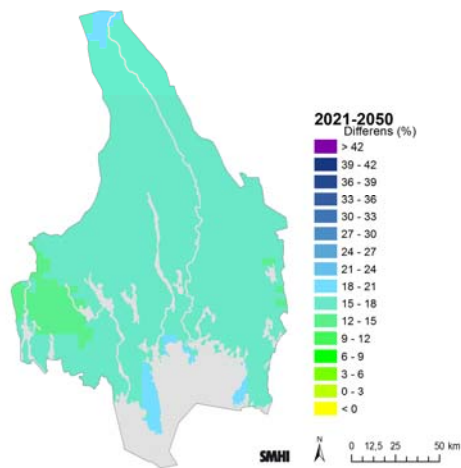
Beräknat 2021-2050 (mm/säsong)



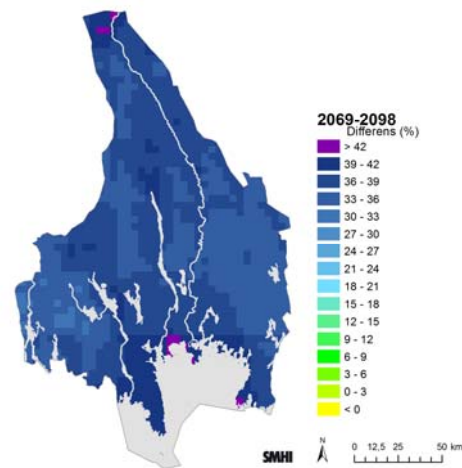
Beräknat 2069-2098 (mm/säsong)



Differens 2021-2050 vs. 1961-1990 (%)

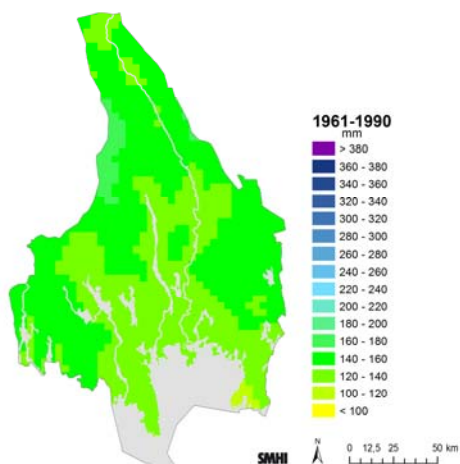


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (%)

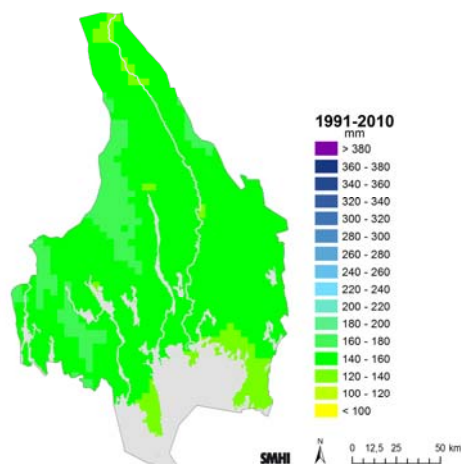


Bilaga 15 – Värmedelnederbörd (mars-maj) (se kap. 5.2.1)

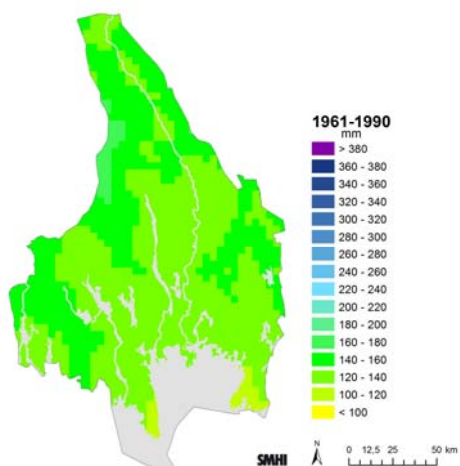
Observerat 1961-1990 (mm/säsong)



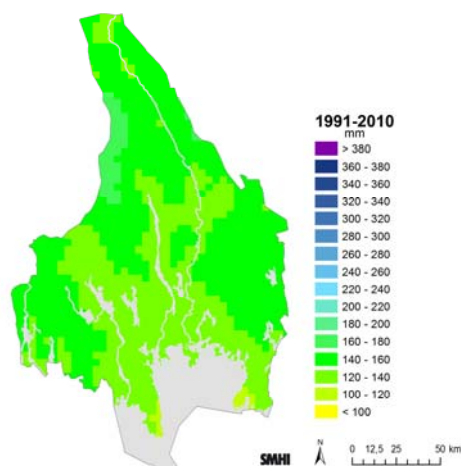
Observerat 1991-2010 (mm/säsong)



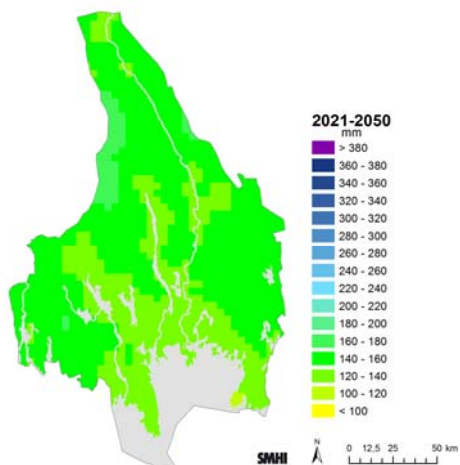
Beräknat 1961-1990 (mm/säsong)



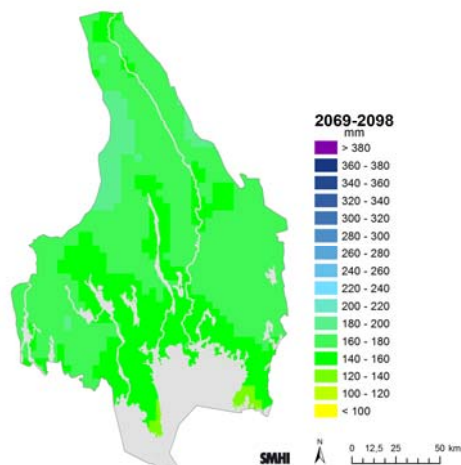
Beräknat 1991-2010 (mm/säsong)



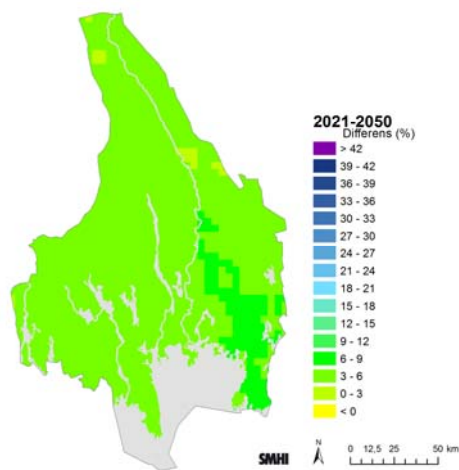
Beräknat 2021-2050 (mm/säsong)



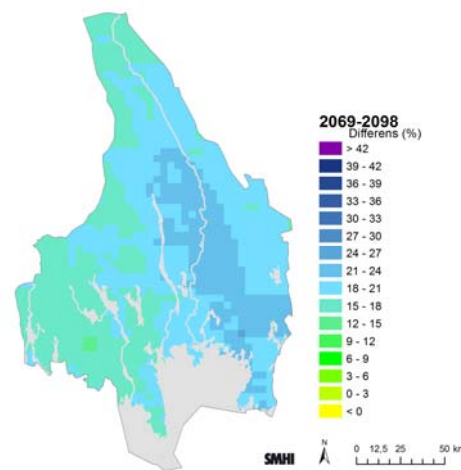
Beräknat 2069-2098 (mm/säsong)



Differens 2021-2050 vs. 1961-1990 (%)

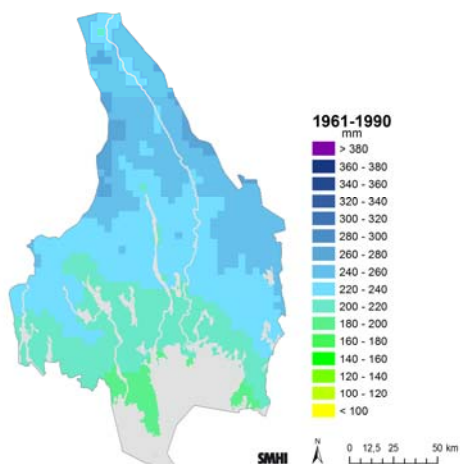


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (%)

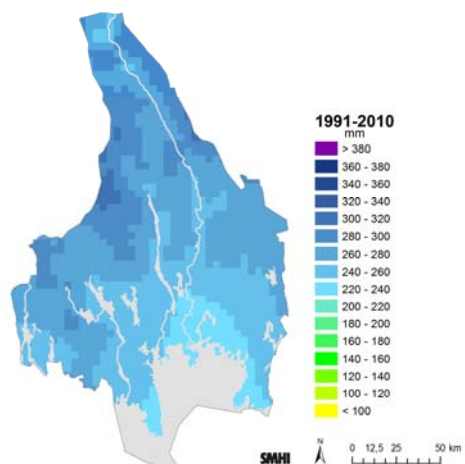


Bilaga 16 – Somarmedelnederbörd (juni-augusti) (se kap. 5.2.1)

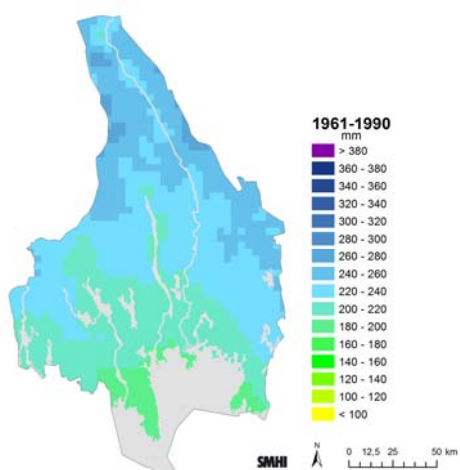
Observerat 1961-1990 (mm/säsong)



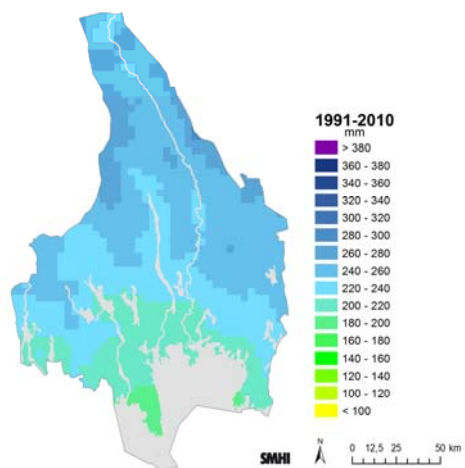
Observerat 1991-2010 (mm/säsong)



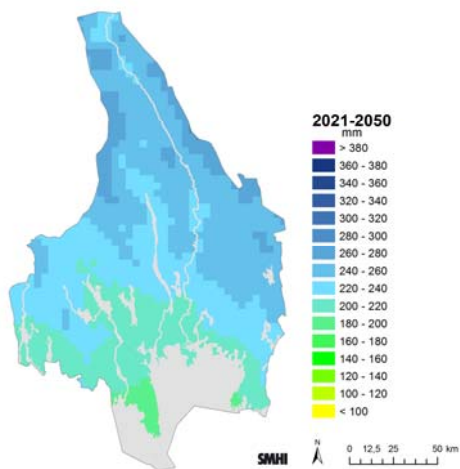
Beräknat 1961-1990 (mm/säsong)



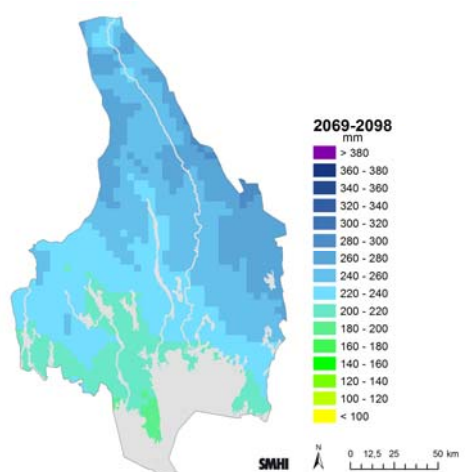
Beräknat 1991-2010 (mm/säsong)



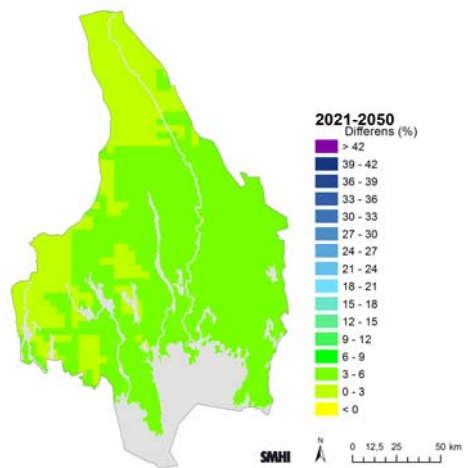
Beräknat 2021-2050 (mm/säsong)



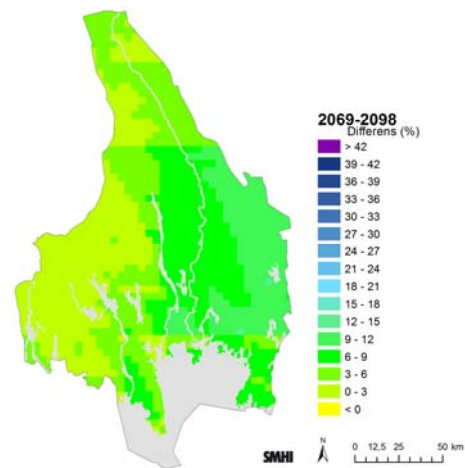
Beräknat 2069-2098 (mm/säsong)



Differens 2021-2050 vs. 1961-1990 (%)

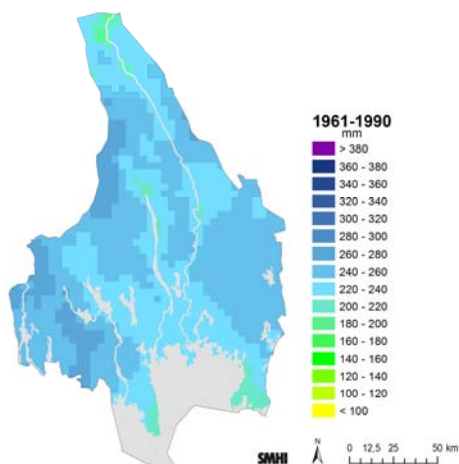


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (%)

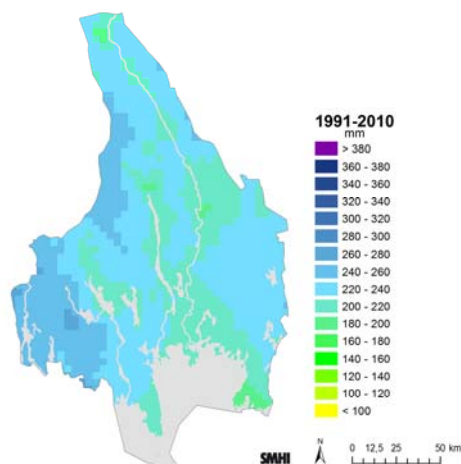


Bilaga 17 – Höstmedelnederbörd (september-november) (se kap. 5.2.1)

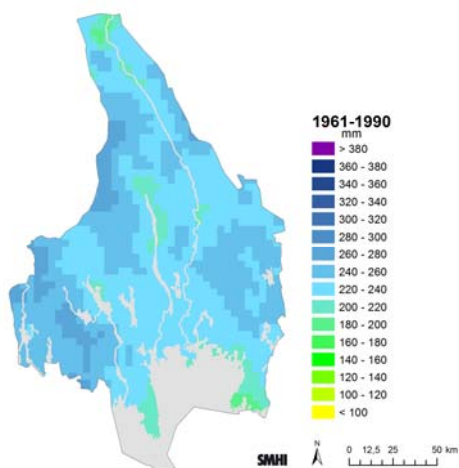
Observerat 1961-1990 (mm/säsong)



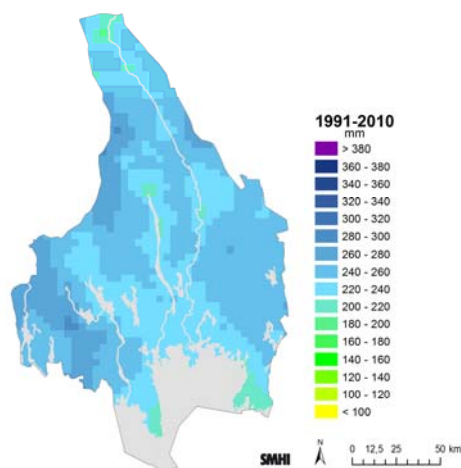
Observerat 1991-2010 (mm/säsong)



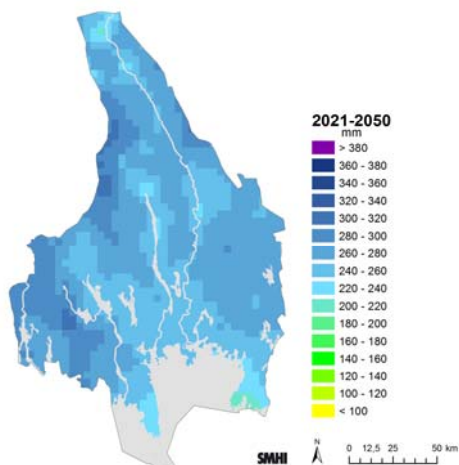
Beräknat 1961-1990 (mm/säsong)



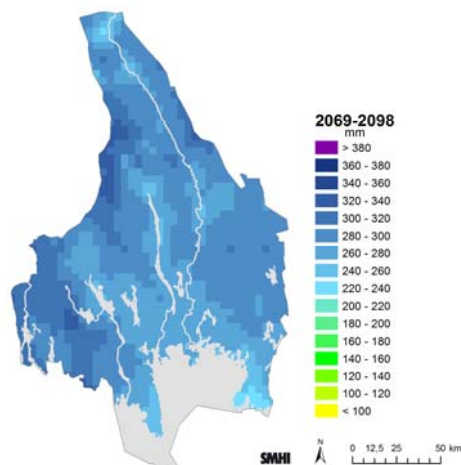
Beräknat 1991-2010 (mm/säsong)



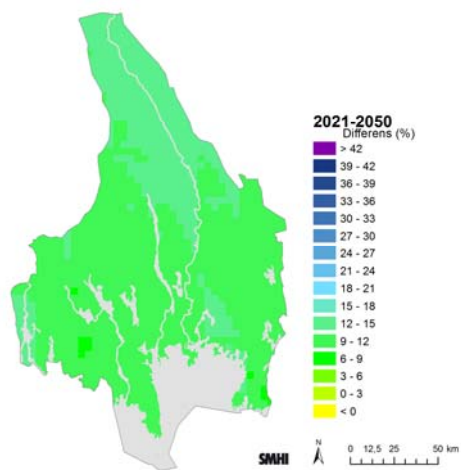
Beräknat 2021-2050 (mm/säsong)



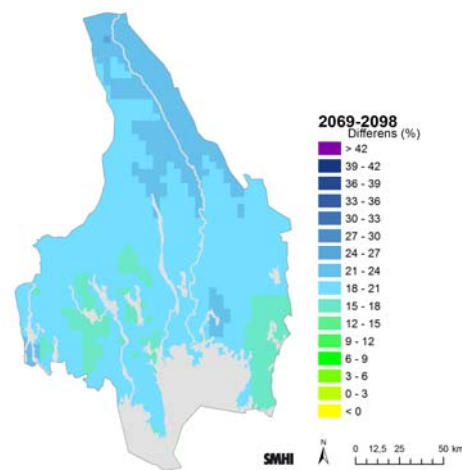
Beräknat 2069-2098 (mm/säsong)



Differens 2021-2050 vs. 1961-1990 (%)

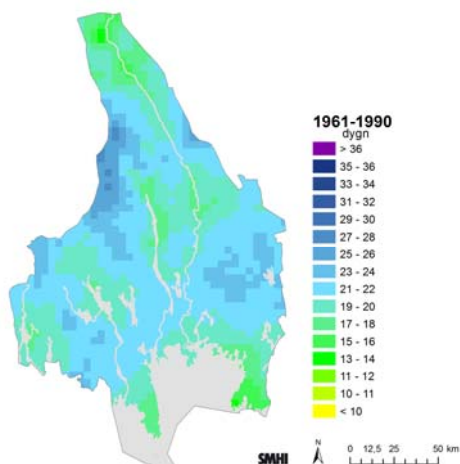


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (%)

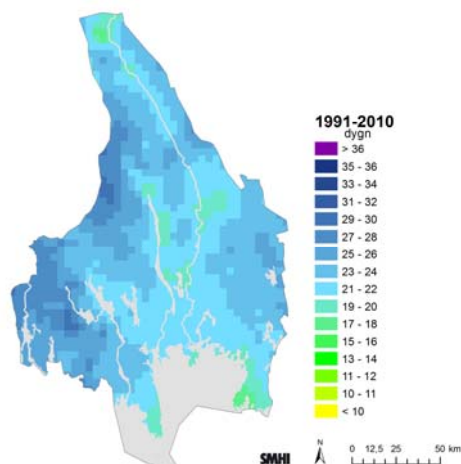


Bilaga 18 – Antal dygn per år med nederbörd > 10 mm (se kap. 5.2.2)

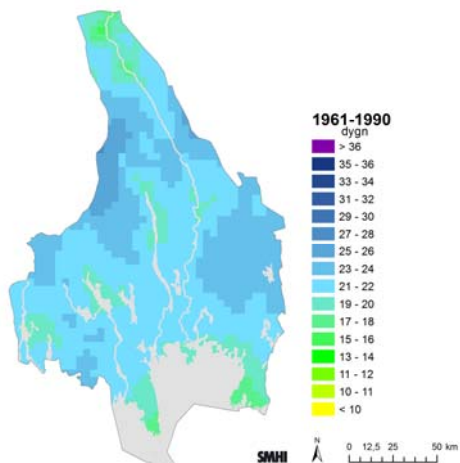
Observerat 1961-1990 (dygn)



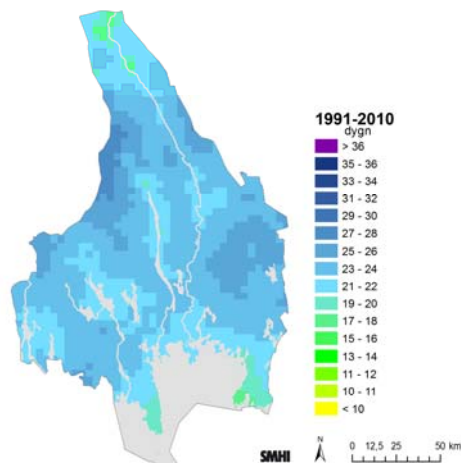
Observerat 1991-2010 (dygn)



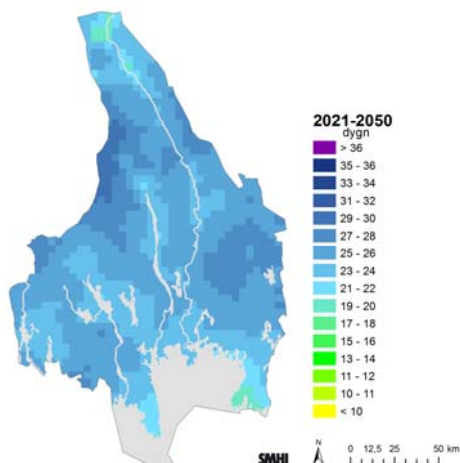
Beräknat 1961-1990 (dygn)



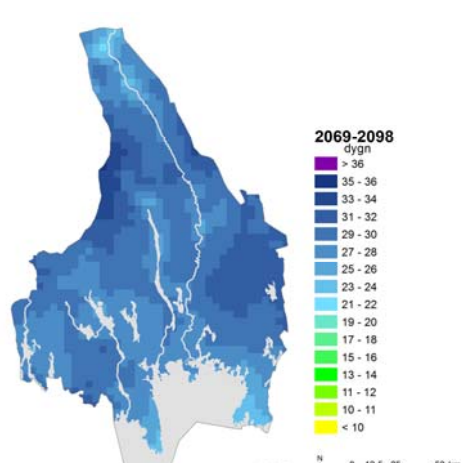
Beräknat 1991-2010 (dygn)



Beräknat 2021-2050 (dygn)

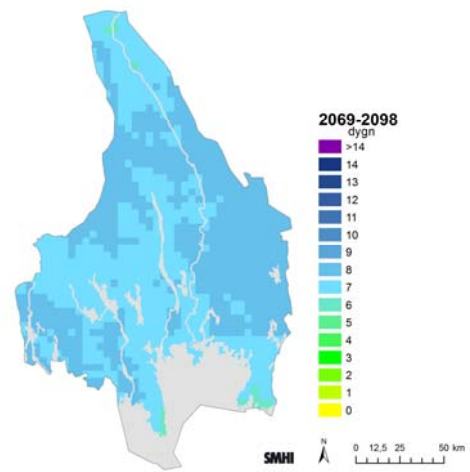
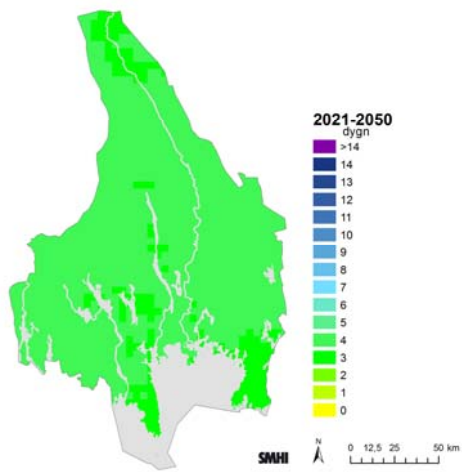


Beräknat 2069-2098 (dygn)



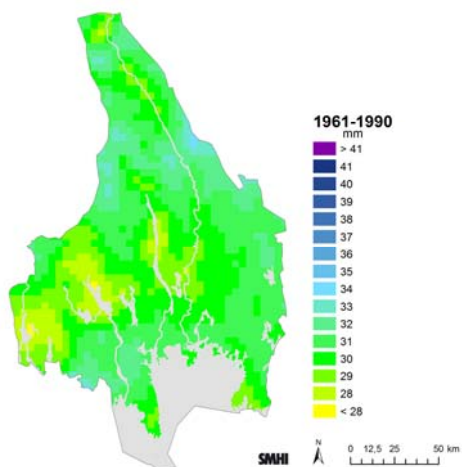
Differens 2021-2050 vs 1961-1990 (dygn)

Differens 2069-2098 vs 1961-1990 (dygn)

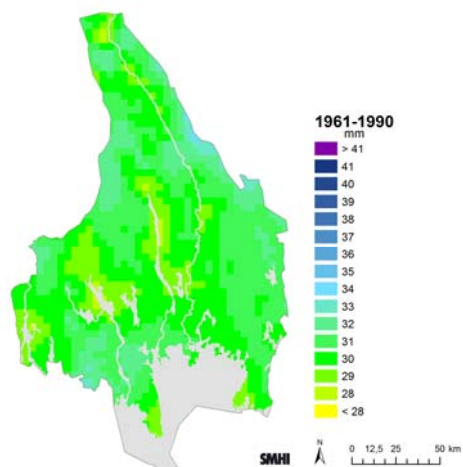


Bilaga 19 – Största 1-dygnsnederbörd (se kap. 5.2.2)

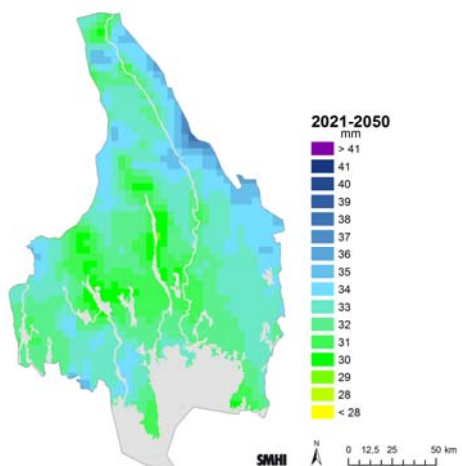
Observerat 1961-1990 (mm)



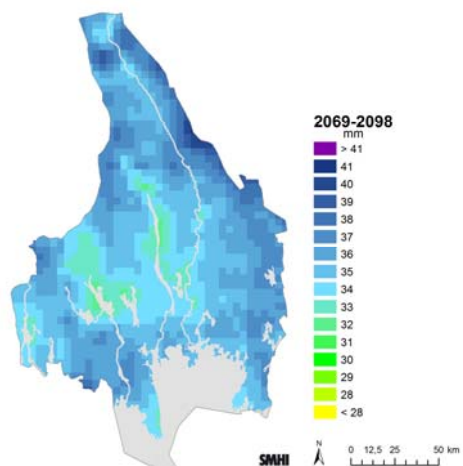
Beräknat 1961-1990 (mm)



Beräknat 2021-2050 (mm)

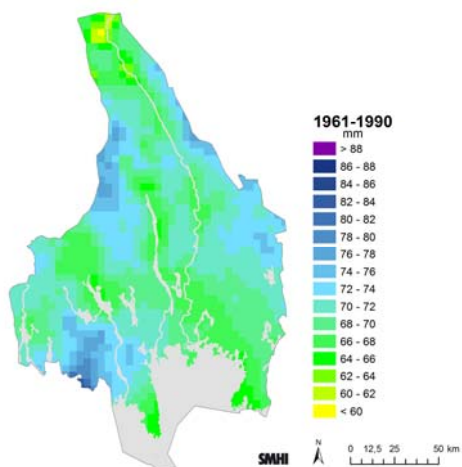


Beräknat 2069-2098 (mm)

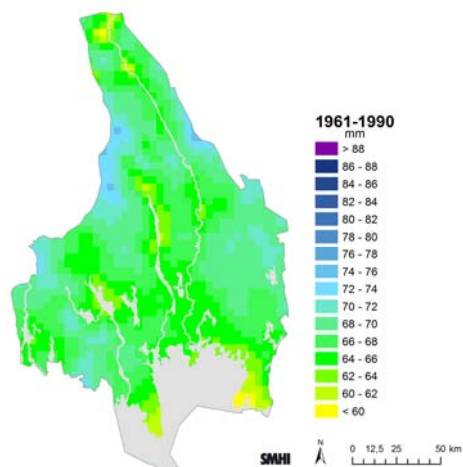


Bilaga 20 – Största 7-dygnsnederbörd (se kap. 5.2.2)

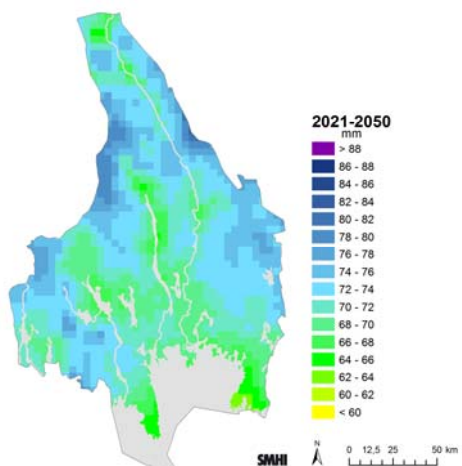
Observerat 1961-1990 (mm)



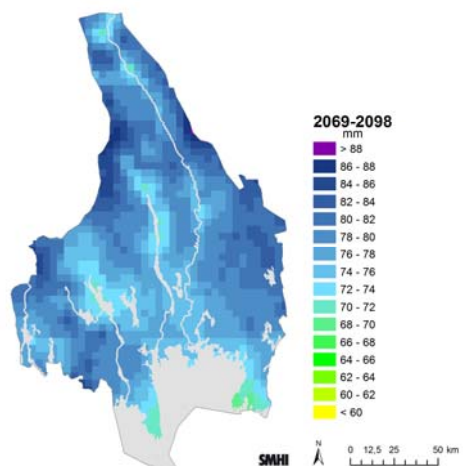
Beräknat 1961-1990 (mm)



Beräknat 2021-2050 (mm)

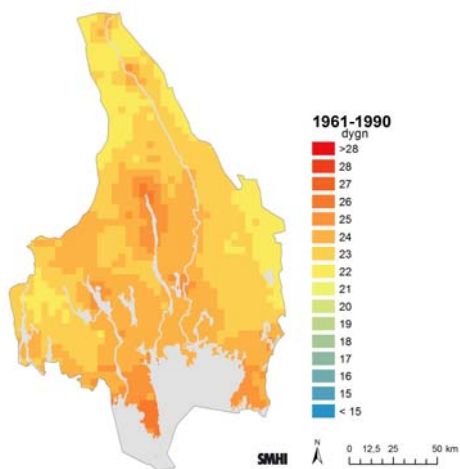


Beräknat 2069-2098 (mm)

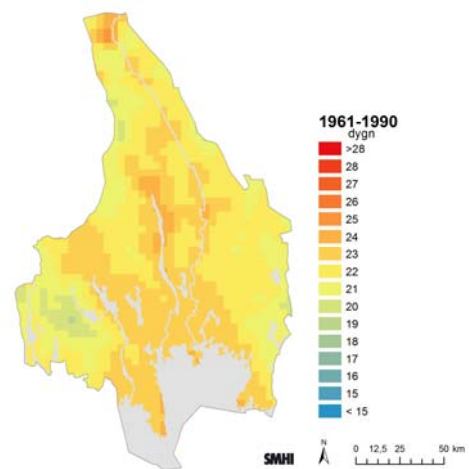


Bilaga 21 – Antal sammanhängande dygn med < 1mm nederbörd (se kap. 5.2.3)

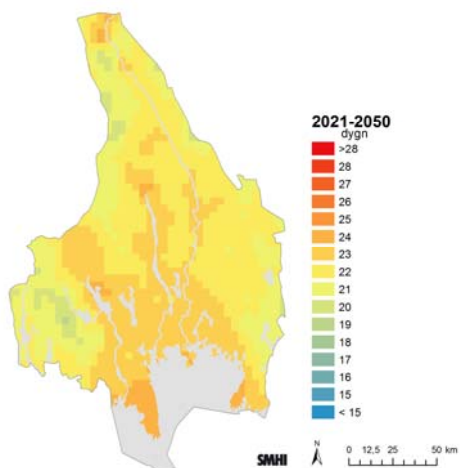
Observerat 1961-1990 (dygn)



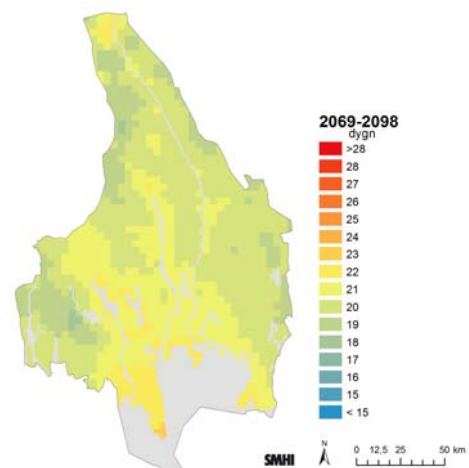
Beräknat 1961-1990 (dygn)



Beräknat 2021-2050 (dygn)

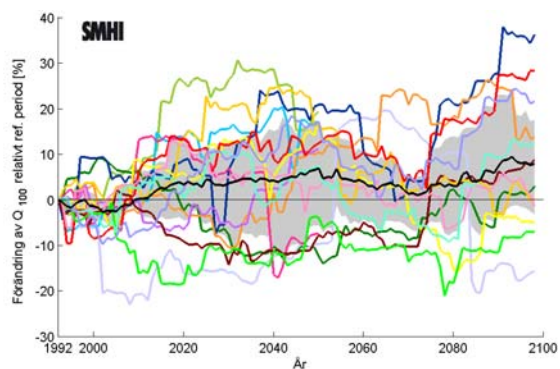


Beräknat 2069-2098 (dygn)

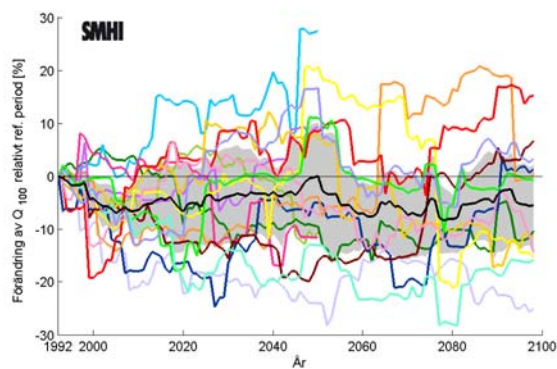


Bilaga 22 – Förändring av 100-årstillrinning (se kap. 5.3.3)

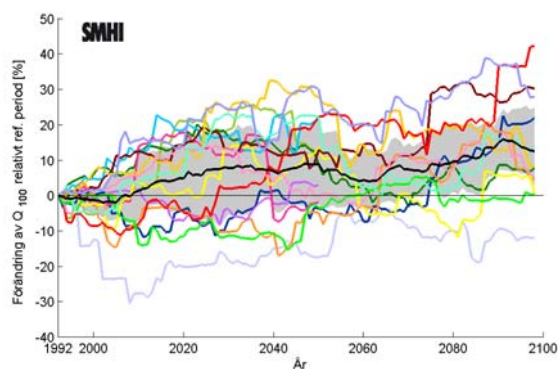
Upperudsälven 108022



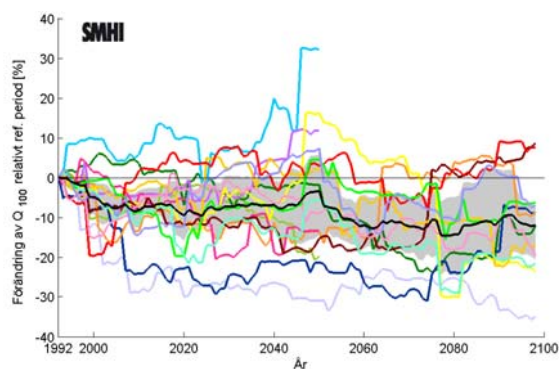
Byälven 108033



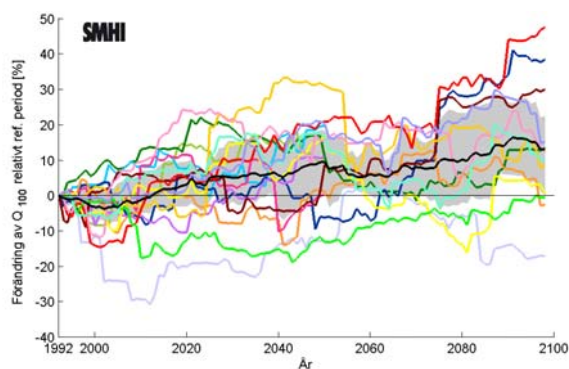
Upperudsälven 108024



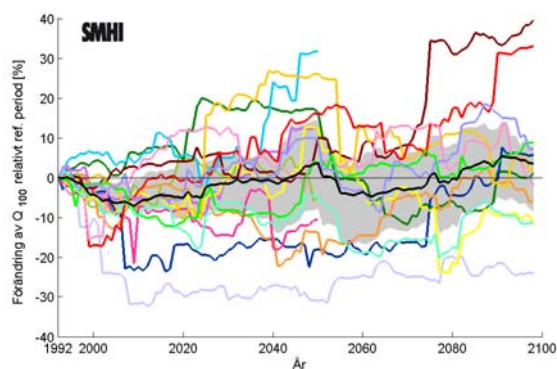
Byälven 108034



Upperudsälven 108027



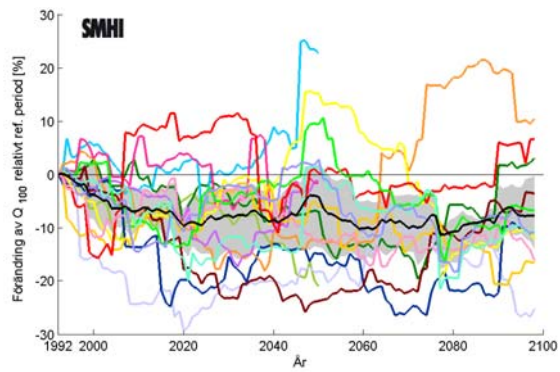
Byälven 108038



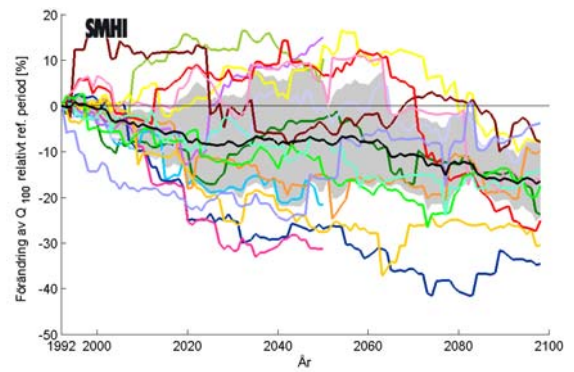
C4I-E53-25-A2
 C4I-HCQ16-25-A1B
 CNRM-AR-25-A1B
 DMI-E53-25-A1B
 HC-HCQ0-25-A1B
 KNMI-E53-25-A1B
 METNO-BCM-25-A1B
 METNO-HCQ0-25-A1B

MPI-E53-25-A1B
 SMHI-CCSM3-50-A1B
 SMHI-CNRM-50-A1B
 SMHI-E51-50-A1B
 SMHI-E51-50-B1
 SMHI-E52-50-A1B
 SMHI-E53-25-A1B
 SMHI-E53-50-A1B
 Medelvärde

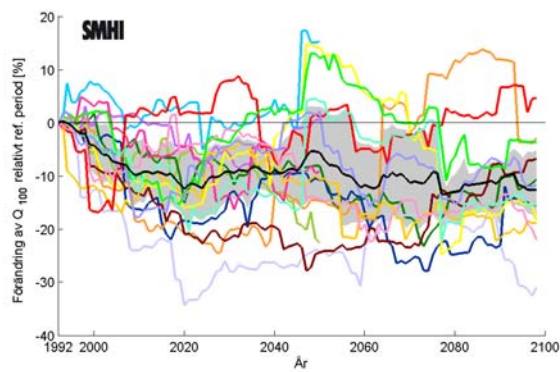
Norsälven 108048



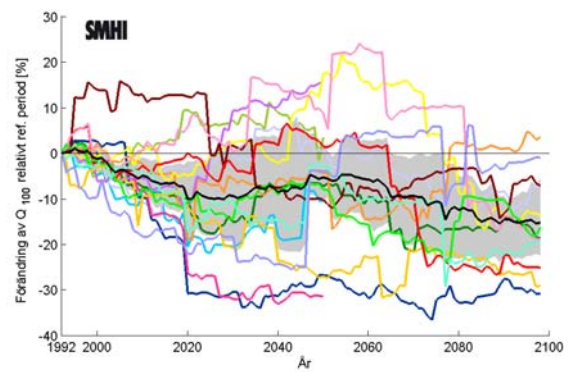
Klarälven 108003



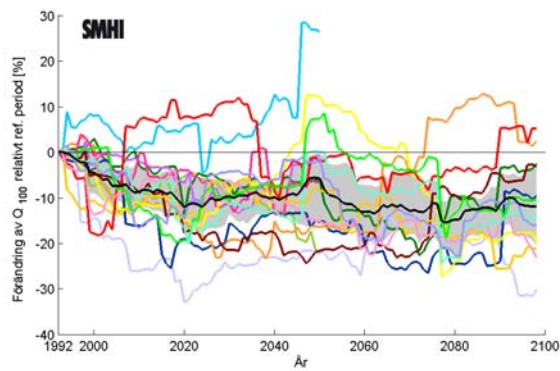
Norsälven 108051



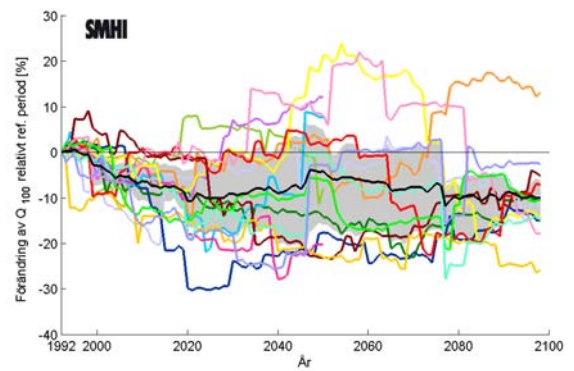
Klarälven 108009



Norsälven 108053



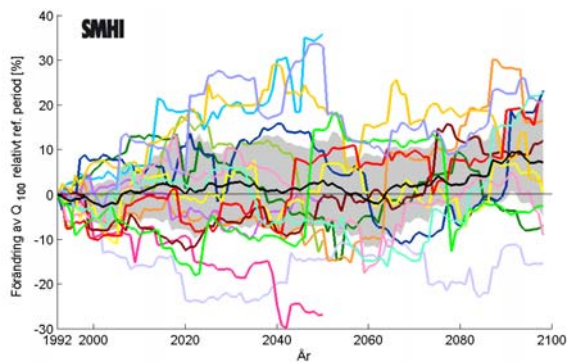
Klarälven 108018



C4I-E53-25-A2
 C4I-HCQ16-25-A1B
 CNRM-AR-25-A1B
 DMI-E53-25-A1B
 HC-HCQ0-25-A1B
 KNMI-E53-25-A1B
 METNO-BCM-25-A1B
 METNO-HCQ0-25-A1B

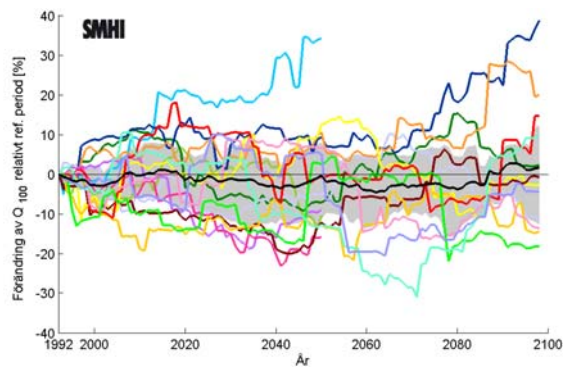
MPI-E53-25-A1B
 SMHI-CCSM3-50-A1B
 SMHI-CNRM-50-A1B
 SMHI-E51-50-A1B
 SMHI-E51-50-B1
 SMHI-E52-50-A1B
 SMHI-E53-25-A1B
 SMHI-E53-50-A1B
 Medelvärde

Borgvikeälven 108041



- C4I-E53-25-A2
- C4I-HCQ16-25-A1B
- CNRM-AR-25-A1B
- DMI-E53-25-A1B
- HC-HCQ0-25-A1B
- KNMI-E53-25-A1B
- METNO-BCM-25-A1B
- METNO-HCQ0-25-A1B

Alsterälven 108054



- MPI-E53-25-A1B
- SMHI-CCSM3-50-A1B
- SMHI-CNRM-50-A1B
- SMHI-E51-50-A1B
- SMHI-E51-50-B1
- SMHI-E52-50-A1B
- SMHI-E53-25-A1B
- SMHI-E53-50-A1B
- Medelvärde



Länsstyrelsen
Värmland

Länsstyrelsen Värmland, 651 86 Karlstad, 010-224 70 00
www.lansstyrelsen.se/varmland