

Gunn Persson, Elin Sjökvist, Linda Nylén, Maria Andersson, Håkan Persson, Jonas Sjögren
och Kristoffer Hallberg

Rapport Nr 2013-9

Klimatanalys för Uppsala län



Pärmbild: Björns skärgård Foto: Länsstyrelsen i Uppsala län



Författare:

Gunn Persson m.fl.

Uppdragsgivare:

Länsstyrelsen Uppsala län

Rapportnr:

2013-9

Granskningsdatum:

2013-03-01

Granskare:

Johan Andréasson

Dnr:

2012/1810/9.5

Version:

1.1

Klimatanalys för Uppsala län

Uppdragstagare

**SMHI
601 76 Norrköping**

Projektansvarig

**Sten Lindell
011-495 8594
sten.lindell@smhi.se**

Uppdragsgivare

Länsstyrelsen Uppsala län

Kontaktperson

Karin von Sydow

Distribution

Klassificering

(x) Allmän

Nyckelord

Klimatanalys, klimatsammanställning, klimatscenarier, hydrologiska förändringar

Övrigt

Sammanfattning

Länsstyrelsen i Uppsala län har av SMHI beställt en klimatanalys inriktad på vattenflöden och havsnivåhöjningar. SMHI har utfört en regional klimatanalys för perioden fram till slutet av detta sekel för Uppsala län. Syftet var att klargöra konsekvenserna av ett förändrat klimat, speciellt med avseende på temperatur, nederbörd, vattenföringsdynamik och havsnivåer utgående från ett underlag baserat på de senast tillgängliga klimatscenerierna.

Arbetet grundar sig på observationer och analyser från SMHI samt klimatscenerier från den internationella klimatforskningen. Framtidsberäkningarna avser i första hand tidsperioden fram till år 2100. För att ge en bild av de osäkerheter som råder om framtidens klimat har ett flertal klimatscenerier 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.

Rapporten har utarbetats vid SMHIs avdelning för affärsverksamhet. Följande huvuddrag framgår av beräkningarna för Uppsala län:

För perioden 1961-1990 var länets årsmedeltemperatur 5°C. Klimatberäkningarna visar en successiv och tydlig ökning av årsmedeltemperaturen under det innevarande seklet med i medeltal ca 4°C. Alla säsonger visar en temperaturuppgång men den är mest framträdande för vintern (i medeltal ca 6 grader över länet). Det regionala mönstret med varmare förhållanden i Mälardalen och svalare i nordväst kvarstår i framtiden.

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 dock öka.

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. De flesta av de studerade vattendragen uppvisar en liten minskning i flöden med 100-års återkomsttid.

Snötäcket minskar radikalt i länet. Vid slutet av seklet ses ca 70% av det maximala vatteninnehållet relativt referensperioden och varaktigheten har minskat från ca 100 dagar till ca 20 dagar i medeltal.

Beräkningar av medelhavsvattenstånd visar en ökning med 28 cm från 2012 till 2100 förutsatt en havsnivåhöjning på 100 cm från 1990 till 2100 och en bibehållen landhöjning. Ett havsvattenstånd med 10-års återkomsttid i dagens klimat motsvarar ungefär ett havsvattenstånd med 2-års återkomsttid i framtida klimat.

Ett stort antal övriga klimatberoende förhållanden kommer också att förändras efterhand som klimatet ändras.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
2	BAKGRUND	1
3	UPPSALA LÄN	1
3.1	Vattenområden	2
3.2	Klimatet	4
3.2.1	Temperatur	4
3.2.2	Nederbörd	5
3.2.3	Snö och is	5
3.2.4	Avrinning	6
3.2.5	Vindar	7
4	METOD FÖR FRAMTIDSANALYS	8
4.1	Studerade parametrar	8
4.2	Geografiskt analysområde	9
4.3	Tidsperioder	9
4.4	Variation och osäkerhet	9
4.5	Beräkningsmodeller	10
4.6	Klimatdata för effektstudier	11
4.7	Utsläppsscenarier	12
4.8	Klimatscenarier	13
4.8.1	Klimatscenarier i denna studie	14
5	UPPSALA LÄNS FRAMTIDSKLIMAT	16
5.1	Temperatur	16
5.1.1	Medeltemperatur för år och säsong	16
5.1.2	Värmeböljor	18
5.1.3	Vegetationsperiod	20
5.2	Nederbörd	22
5.2.1	Medelnederbörd för år och säsong	22
5.2.2	Kraftig nederbörd	25
5.2.3	Intensiv korttidsnederbörd	26
5.3	Torka och markfuktighet	27
5.4	Vattenföring	31
5.4.1	Vattenföringens säsongsvariation	32
5.4.2	Medelvattenföring	37
5.4.3	100-årsflöden	41
5.5	Snö	50

6	HAVSVATTENSTÅND	54
6.1	Det globala havsvattenståndet.....	54
6.2	Havsvattenstånd längs Uppsala läns kust i dagens klimat	56
6.2.1	Vattenståndsvariationer	57
6.2.2	Medelvattenstånd.....	59
6.2.3	Beräknade extrema vattenstånd	60
6.3	Havsvattenstånd längs Uppsala läns kust i framtidens klimat.....	60
6.3.1	Medelvattenstånd.....	60
6.3.2	Beräknade extrema vattenstånd	61
7	GRUNDVATTEN OCH SALTVATTENINTRÄNGNING	63
7.1	Saltvatteninträngning - teori	63
7.2	Saltvatteninträngning - Svealandskusten	64
7.3	Påverkan av förändrat klimat	64
8	SLUTSATSER	66
9	REFERENSER.....	67
10	BILAGOR	70

1 Inledning

Länsstyrelsen i Uppsala län 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 Uppsala 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 översvämningsproblematiken 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).

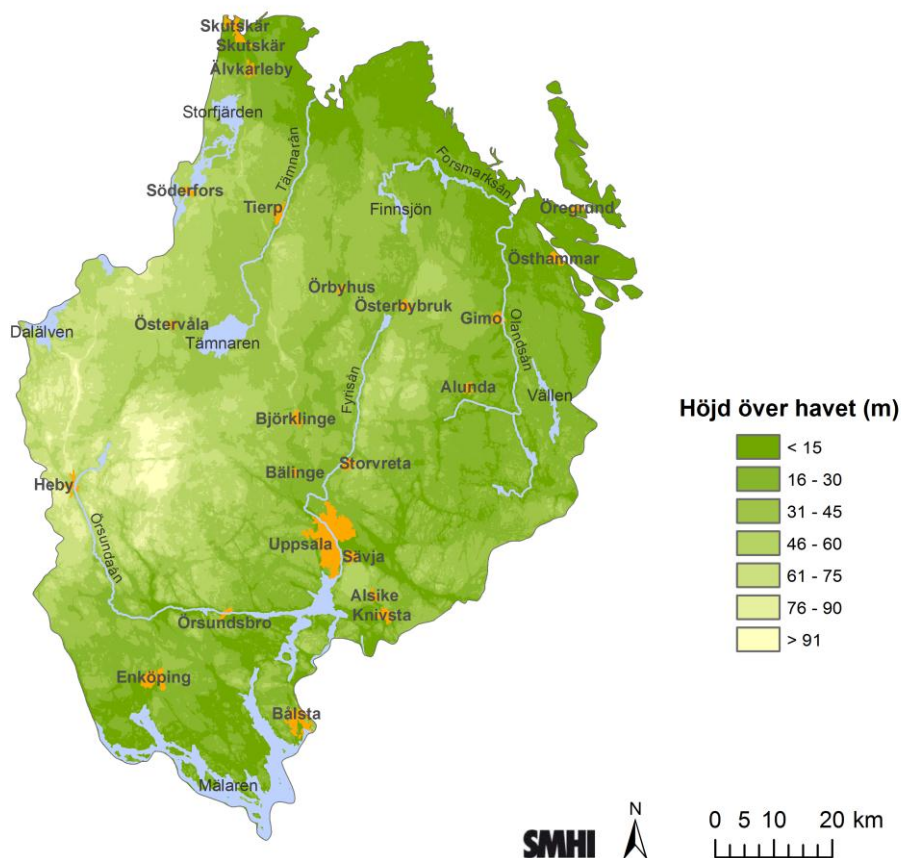
Inom det EU-finansierade projektet ENSEMBLES (van der Linden and Mitchell, 2009) har ett ensemblesystem utvecklats för beräkning av klimatförändringar baserat på de bästa europeiska globala och regionala klimatmodellerna med hög upplösning. Idag finns fler klimatscenarier tillgängliga än tidigare, och 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 4.6, och att presentera klimatdata i diagram och kartor.

3 Uppsala län

I detta kapitel beskrivs Uppsala 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.

Uppsala läns areal är 8 202 km² (se figur 3-1). Länet är uppdelat i åtta kommuner med totalt ca 325 000 invånare. Nästan två tredjedelar av länets befolkning bor i Uppsala kommun. Övriga kommuner är Heby, Enköping, Håbo, Tierp, Knivsta, Älvkarleby och Östhammar. Uppgifterna är tagna från länsstyrelsernas GIS-tjänster.



Figur 3-1. Uppsala 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

Uppsala län kännetecknas av små höjdskillnader. Kusten är varierande med öppna havsområden i norr som söderut övergår i en sammanhängande skärgård. Uppsala län ligger inom de stora slätterna norr om Mälaren och har, i jämförelse med övriga landet, få sjöar (SMHI, 2002a). De sänkningar och utdikningar som gjorts i landskapet för att vinna mer jordbruksmark har förstärkt detta faktum. Det finns dock flera vattendrag i jordbrukslandskapet.

I Sverige har totalt för landet 119 huvudavrinningsområden definierats som vattendrag vilka rinner ut i havet och med avrinningsområden större än 200 km². Uppsala län berörs av nio av dessa och Norrström är det dominerande nationella huvudavrinningsområdet i Uppsala län med Fyrisån och Örsundaån. Övriga huvudvattendrag mynnar i havet och är Dalälven, Tämnaån, Forsmarksån, Olandsån och Skeboån (figur 3-2, figur 3-3 och tabell 3-1). Dalälven, Norrtäljeån och Åkersströms avrinningsområden berör mycket små arealer i länet.

Tabell 3-1. Avrinningsområden i Uppsala län, deras totala areal, den procentuella andelen sjö i avrinningsområdet och vart vattendragen rinner ut (mynning). Avrinningsområdena är angivna i den ordning resultaten presenteras i denna rapport.(SMHI statistikdatabas)

Huvudavrinningsområdets nummer	Avrinningsområde	Total area (km ²)	Sjöandel (%)	Mynning
55	Forsmarksån	376	5	Bottenhavet
61	Fyrisån	2006	2	Mälaren
56	Olandsån	881	2	Bottenhavet
54	Tämnarån	1258	4	Bottenhavet
61	Örsundaån	736	1	Mälaren

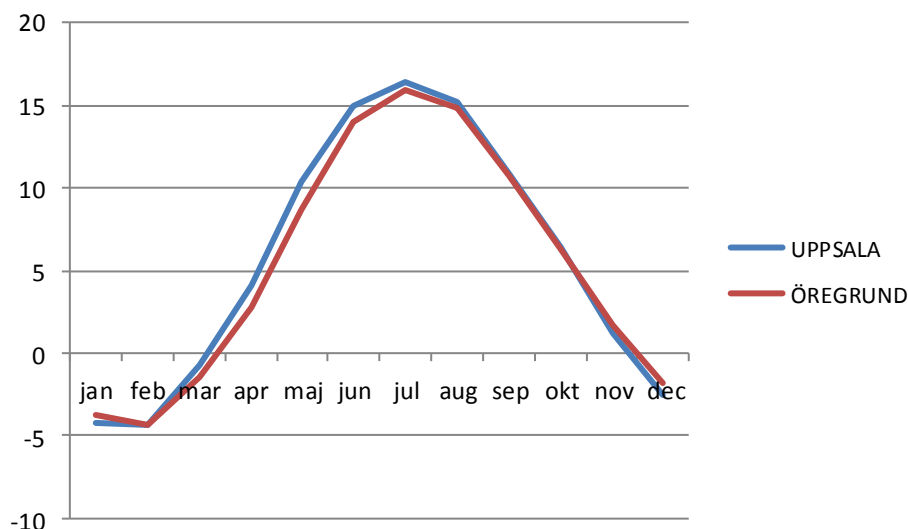
3.2 Klimatet

Klimatet i länet styrs till största delen av avståndet till havet i öster och till viss del även av Mälaren i söder. Det är små höjdskillnader i länet vilket gör att temperatur och nederbörd fördelar sig ganska lika över länet.

3.2.1 Temperatur

Temperaturmönstret över länet är likartat. Årsmedeltemperaturen för normalperioden 1961-1990 varierar mellan 4,7° i Väsby (i norr) och 5,6° i Uppsala. Variationerna i temperatur mellan år och inom år kan dock vara stora. Medeltemperaturen under de kallaste månaderna varierar från -3° på öarna i februari och till -5° de inre norra delarna i januari (SMHI, 2009). Under den varmaste månaden, juli, är medeltemperaturen omkring 16° i länet.

Mätstationerna Uppsala och Öregrund får här representera länets temperaturvariationer över året (figur 3-4). Temperaturvariationen under året för de två stationerna följer varandra väl men Uppsala uppvisar en snabbare och större uppvärmning under våren än den mer kustnära stationen Öregrund.

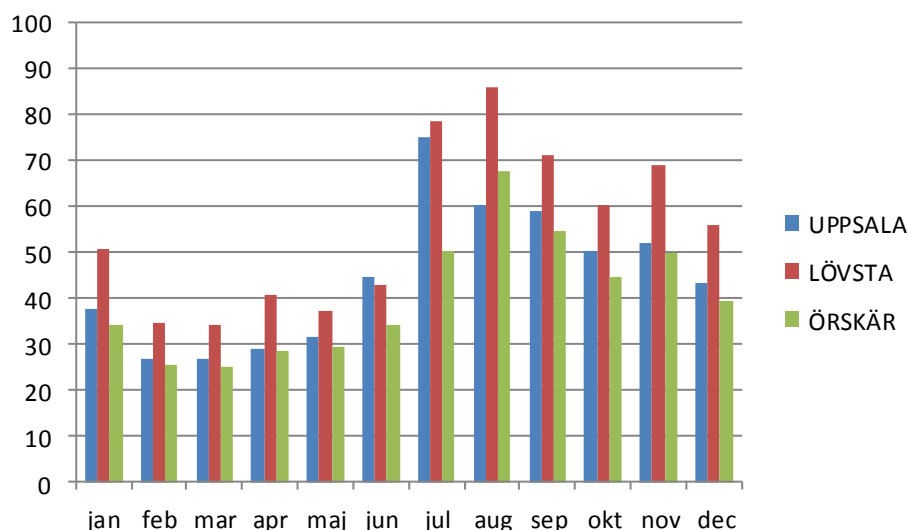


Figur 3-4. Månadsmedeltemperaturer (°C) för perioden 1961-1990 (s.k. normalperiod) för mätstationerna Uppsala och Öregrund. Källa: SMHIs Klimatarkiv.

Den i länet högst uppmätta temperaturen är 38,0°, vilket också är Sverigerekord. Noteringen gjordes i Ultuna 9 juli 1933 (avläst med en halv grads noggrannhet). I Målilla (Småland) uppmättes samma maxtemperatur 1947. Den i länet lägst noterade temperaturen är -39,5 ° i Uppsala 24 januari 1875.

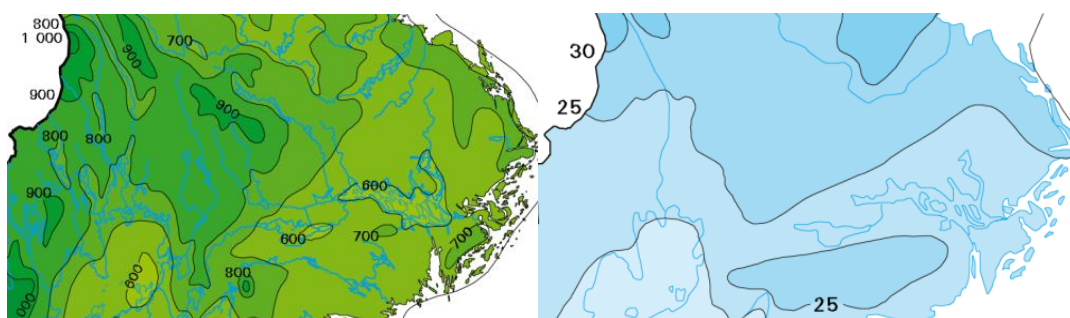
3.2.2 Nederbörd

Topografin har en avgörande betydelse för hur nederbörden fördelas. I figur 3-5 visas den uppmätta månadsmedelnederbörden vid mätstationerna Uppsala, Lövsta (i norra delen av länet) och Örsjär (vid kusten) för perioden 1961-1990. Lövsta är den nederbördsrikaste mätstationen både sett över året som helhet och för respektive månad (med undantag av juni). Som för större delen av Sverige är sommarmånaderna juli och augusti den nederbördsrikaste tiden på året men även under höstarna kommer mycket regn. Perioden februari-maj är den nederbördsfattigaste. Detta är det generella mönstret men det är stora variationer mellan åren.



Figur 3-5. Uppmätt månadsmedelnederbörd (mm) 1961-1990 för stationerna Uppsala 9752, Lövsta 10725 och Örsjär 10832 i Uppsala län. Den uppmätta årsmedelnederbörden är 537 mm i Uppsala, 662 mm i Lövsta och 484 mm i Örsjär. 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 20-30% i länet (figur 3-5).



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)

Lövsta har rekordet för största dygnsnederbörd med 134 mm som uppmättes 13-14 juli 1989. Den största delen av dygnsnederbörden föll på morgonen den 14:e. Största månadsnederbörd har noterats för Lundås (Hallstavik) med 273 i augusti 1930 (SMHI, 2009). Ett exempel på extrem nederbörd under kort tid är den 17 augusti 1997 då det under 10 minuter föll 28,5 mm i Uppsala (SMHI, 2005a).

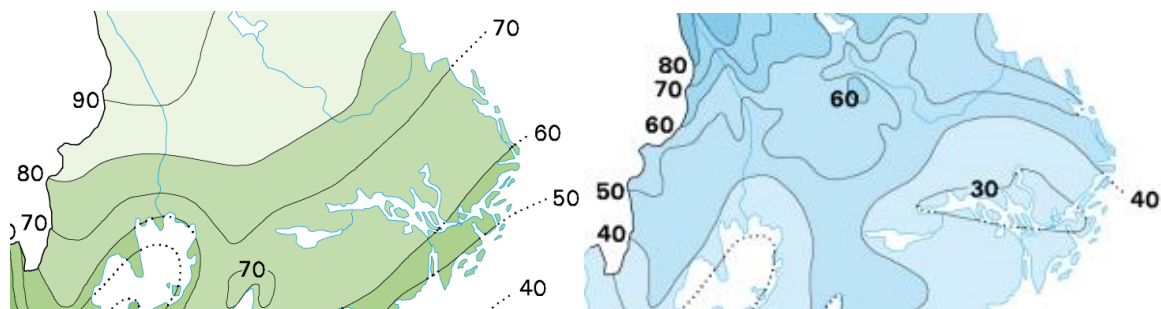
3.2.3 Snö och is

Nordöstra Uppland är känt för svåra snöstormar. Vid nord-nordostlig vind med vindar som tagit upp mycket fukt från Bottenhavet kan mycket snö falla över området. Minnesvärt är 3 januari 1954 då Nordöstra Uppland drabbades av orkanvindar och kraftigt snöfall. Mängden snö var inte

anmärkningsvärd men vinden orsakade svår trädfällning. Medelvinden uppmätt på Örskär var 34 m/s (SMHI, 2009). Ett annat tillfälle var nyårsafton 1970 då intensivt snöfall ökade snödjupet från 0 till 80 cm under kvällen (SMHI, 2000).

Medelvärde av årets största snödjup under vintern 1961-1990 är 30-50 cm (figur 3-6) men variationerna mellan åren är mycket stor. Det största uppmätta snödjupet är 118 cm från Untra vid Dalälven februari 1956 (SMHI, 2005b).

Frekvensen av vita jular, dvs. chansen att vakna på julafton med snötäcke på marken, var perioden 1931-1980 ca 65% (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).

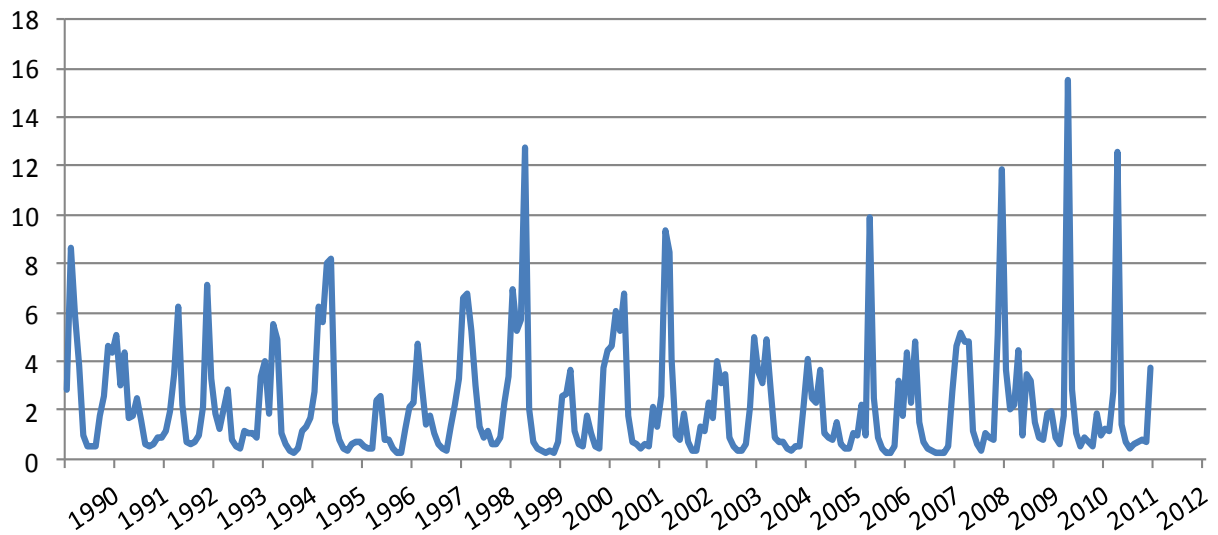
För Mälaren finns tre platser där tidpunkter för isläggning och islossning studerats: Kyrkfjärden (Stockholm) 5 januari respektive 3 april, Ulvhällsfjärden (Strängnäs) 12 december respektive 15 april och Garnsviken (Sigtuna) 2 december respektive 13 april (SMHI, 2006).

3.2.4 Avrinning

För Uppsala län finns en gradient av högre avrinning i norra delen av länet ($8-10 \text{ l/s*km}^2$) och lägre i den södra ($< 6 \text{ l/s*km}^2$) (SMHI, 2002b).

En jämförelse mellan torra och blöta år 1961-2005 presenteras i ett SMHI faktablad (SMHI, 2007). Torra år (1963, 1976, 1996 och 2003) är medelavrinningen $< 6 \text{ l/s*km}^2$ för i princip hela länet. För de våta åren (1985, 1998, 2000 och 2001) syns gradienten över länet tydligt. Skillnaden över länet är störst under våren dvs. den är snöbetingad. Nederbörd, lagrad som snö, i de mer nordligt belägna delarna av länet smälter av på våren och ökar därmed avrinningen. I studien görs också en jämförelse mellan 1991-2005 och 1961-1990 som visar att avrinningen minskat längs kustområdet med -20- -10% och för övriga delar uppemot -10%.

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 drygt 20 år. Lägsta vattenföringen uppmäts vanligen i juli då växterna är aktiva och därför omhändertar nederbörden. Flödestopparna uppträder oftast i samband med snösmältning på våren (april) men höga flöden kan även uppstå till följd av rikligt regnande andra tider på året.



Figur 3-8. Exempel på vattenföringens variation mellan olika år. Vattenföring (m^3/s) vid mätstation Vattholma 2 som är ett delavrinningsområde ($58,6 \text{ km}^2$) till Norrström (delavrinningsområdet ID:665736-160757). Källa: vattenweb.smhi.se

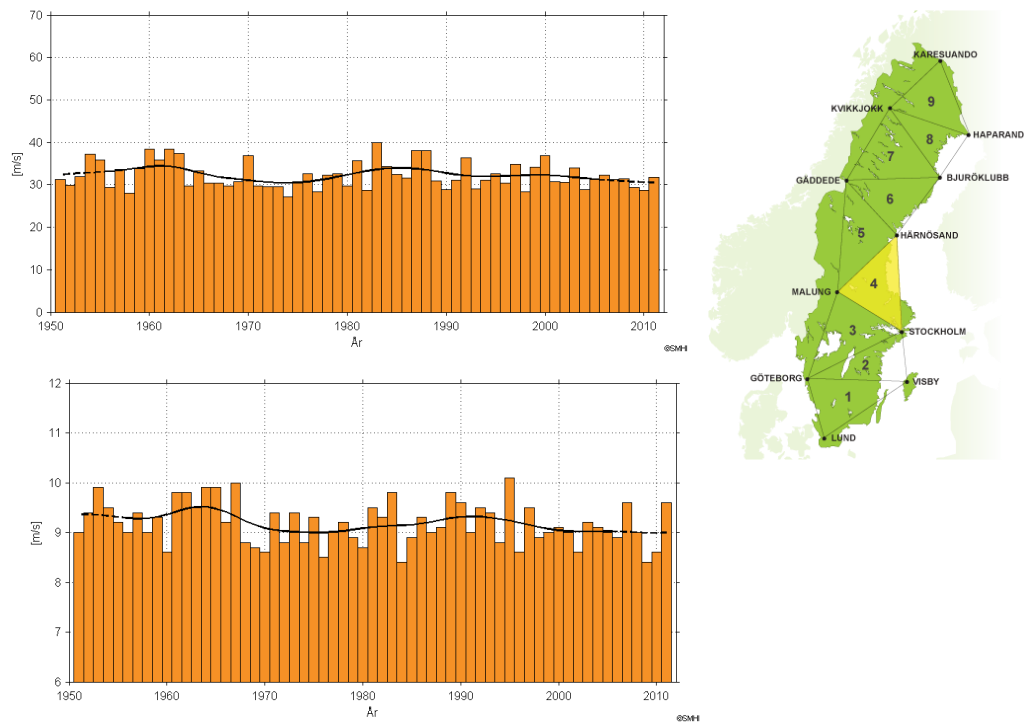
3.2.5 Vindar

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, 2011b). 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 baseras därför på förändring i geostrofisk vind, som utgår från tryckmätningar. Landet indelas 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. 2011. SMHI påpekar att första halvan av tidsperioden innehåller osäkrare värden än den senare halvan (figur 3-9).

Uppsala län ligger främst inom triangel 4. Linjär förändring av geostrofisk vindhastighet 1951-2010 visar för triangel 4 en minskad medelvind på -4% (5% signifikansnivå) (figur 3-9) medan förekomst av vindhastigheter på över 25 m/s visar ickesignifikant minskning på -4% och för maxvind icke-signifikant minskning på -5%.

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 (SMHI, 2011b). 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 Malung-Härnösand-Stockholm (triangel 4) 1951-2011. Källa: <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/vind/1.3971>

4 Metod för framtidsanalys

Klimatsammanställningen för Uppsala län har gjorts avseende temperatur, nederbörd, markfuktighet, snö, vattenföring, och havsvattenstånd. De studerade parametrarna, inklusive de klimatindex som baseras på temperatur och nederbörd, beskrivs kortfattat i kap 4.1.

4.1 Studerade parametrar

Beräkningar och analyser av framtida klimatscenarier har gjorts för olika meteorologiska, hydrologiska och oceanografiska parametrar.

- Kapitel 5.1 Temperatur (medeltemperatur för år och säsong; värmeböljor definierade som antal sammanhängande dygn med temperatur $>20^{\circ}\text{C}$; vegetationsperiodens längd och starttidpunkt)
- Kapitel 5.2 Nederbörd (medelnederbörd för år och säsong; kraftig nederbörd i form av antal dagar med $> 10 \text{ mm}$). I avsnittet presenteras också en analys av förändrad intensiv korttidsnederbörd avseende återkomsttider och varaktigheter i framtidens klimat.
- Kapitel 5.3 Torka (baserat på beräkningar av markvattenhalt har ett index beräknats utifrån platsspecifika förhållanden med låg markvattenhalt)
- Kapitel 5.4 Vattenföring (säsongsvariation och medelvattenföring; flöden med 100 års återkomsttid)
- Kapitel 5.5 Snö (varaktighet dvs antal dagar med snö och snöns maximala vatteninnehåll)
- Kapitel 6 Havsvattenstånd idag och i framtiden.
- Kapitel 7 Inverkan av klimatförändringar för grundvattenförhållanden.

4.2 Geografiskt analysområde

Det analyserade området avser Uppsala län (figur 3-1) och resultaten presenteras främst i form av kartor (ex. bilaga 1-14). I diagrammen visas resultat för hela länet. Analyser gällande vattenföring presenteras för utvalda punkter men också i kartformat. Det område eller den plats som avses för respektive karta, diagram eller tabell framgår i figurerna eller i figurtexterna.

4.3 Tidsperioder

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 1991-2010 tagits med (se bilaga 1-5 och 9-14).

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.

4.4 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

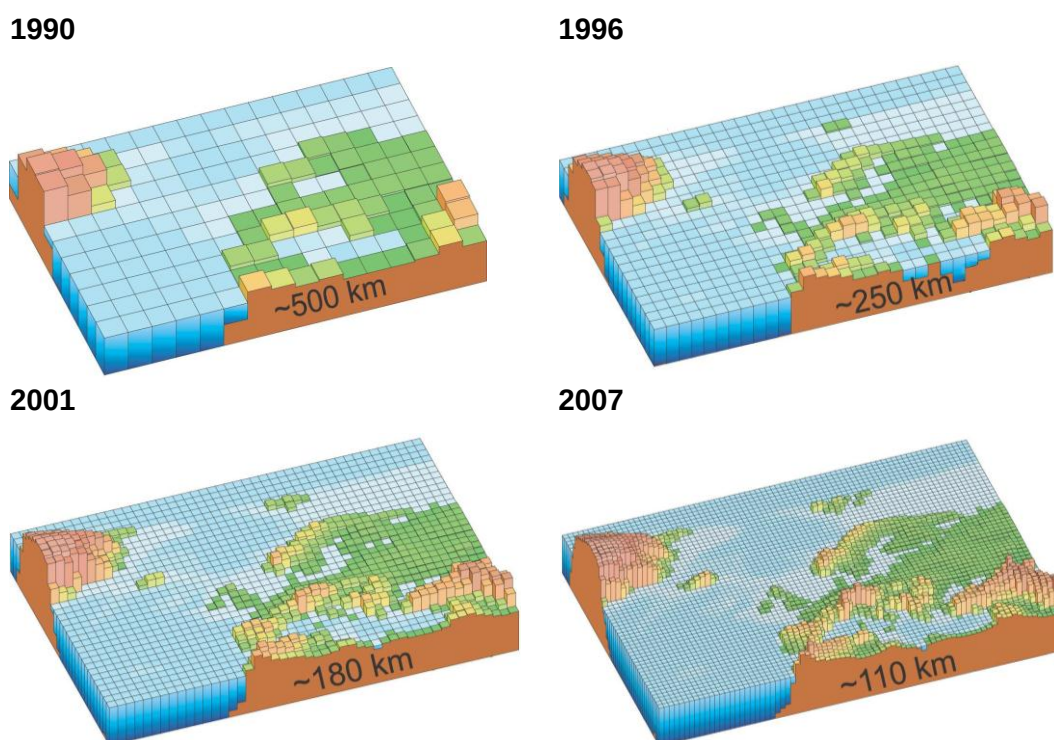
Spridningen i resultat kan vara betydande för en del klimatvariabler, vilket delvis beror på att olika modeller beskriver klimatologiska processer på olika sätt, exempelvis återkopplingen mellan atmosfärisk koncentration av växthusgaser och temperatur.

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 uppnåtts 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.

4.5 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.

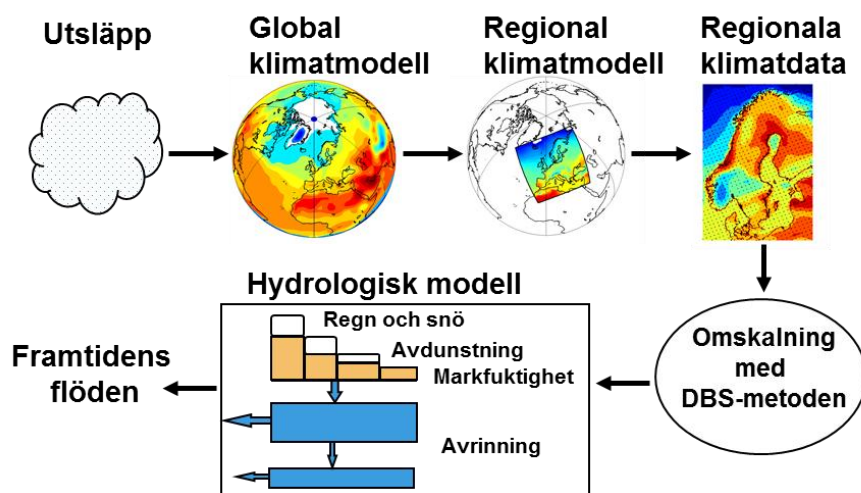


Figur 4-1. Horisontell upplösning i olika generationer av klimatmodeller som använts inom IPCC (modifierad efter IPCC 2007). Vertikal upplösning visas inte i figuren men följer en liknande utveckling mot finare upplösning.

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, m.fl., 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-skalering, som beskrivs i avsnitt 4.6.

Analyser med HBV-modellen är gjorda 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.

4.6 Klimatdata för effektstudier

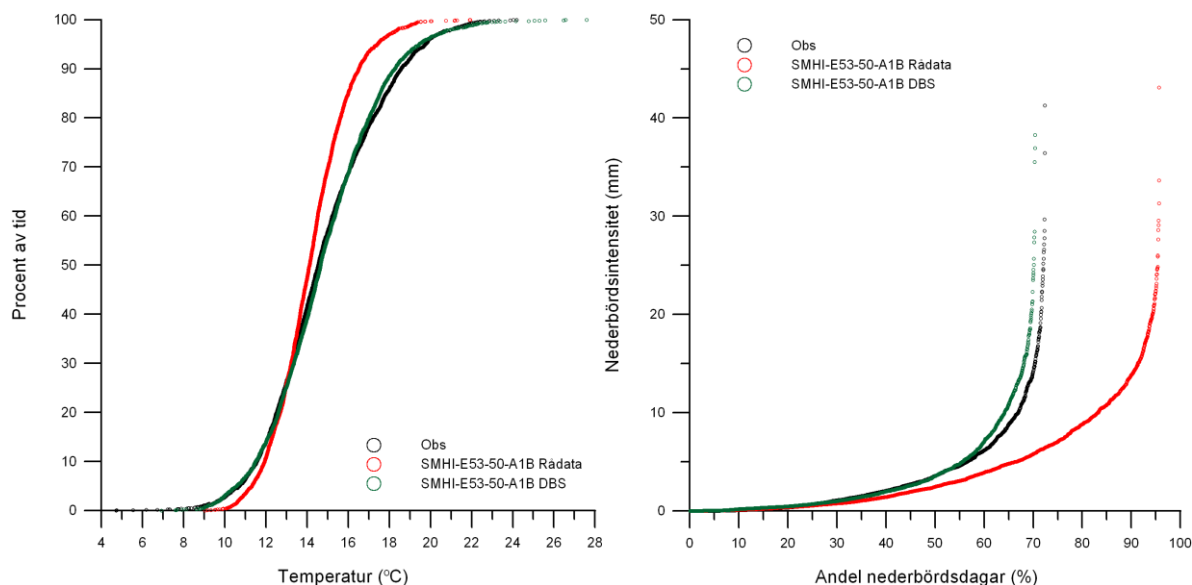
För att använda klimatmodellernas utdata till att studera exempelvis hydrologiska effekter, krävs ett gränssnitt mellan klimatmodellen och den hydrologiska modellen. Anledningen är att klimatmodellerna inte kan beskriva det nutida klimatet tillräckligt väl för att ge en trovärdig hydrologisk respons, 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 m.fl., 2010) och innebär att data från meteorologiska observationer används till att justera klimatmodellens resultat för att ta bort de systematiska felen. De korrigeringsfaktorer som då införs bibehålls vid beräkningen av framtidens 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 m.fl. (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. Till vänster dygnsmedeltemperatur (procent av tiden som viss dygnsmedeltemperatur underskrids och till höger nederbörd (andel dagar med olika nederbörsintensitet).

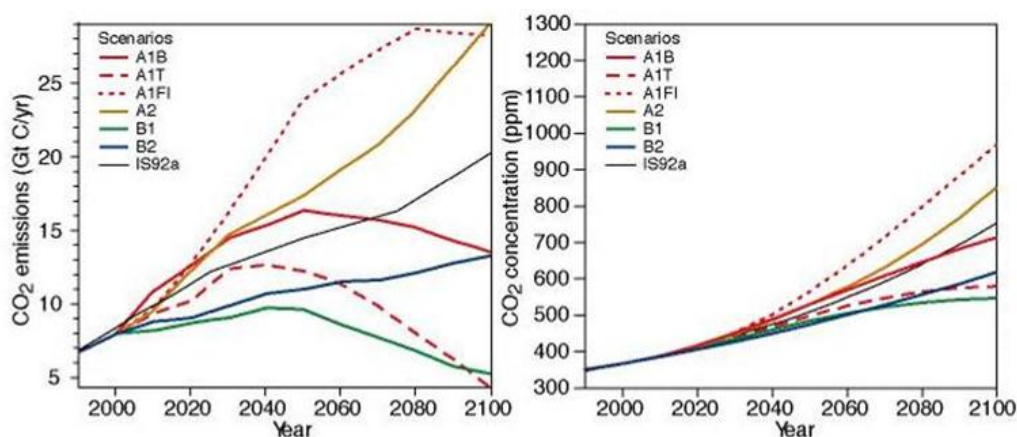
Databasen innehåller interpolerade värden på nederbörd och temperatur, vilka anges i ett rikstäckande rutnät (gridrutor) med upplösningen 4 km × 4 km. Data från SMHIs meteorologiska stationer har i denna databas interpolerats till gridrutor med hjälp av en geostatistisk interpolationsmetod som benämns 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.

4.7 Utsläppsscenarioer

För att kunna göra beräkningar av framtida klimat behövs antaganden om framtida utsläpp av växthusgaser. Vanligtvis används utsläppsscenarioer som utarbetats av FN:s 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.

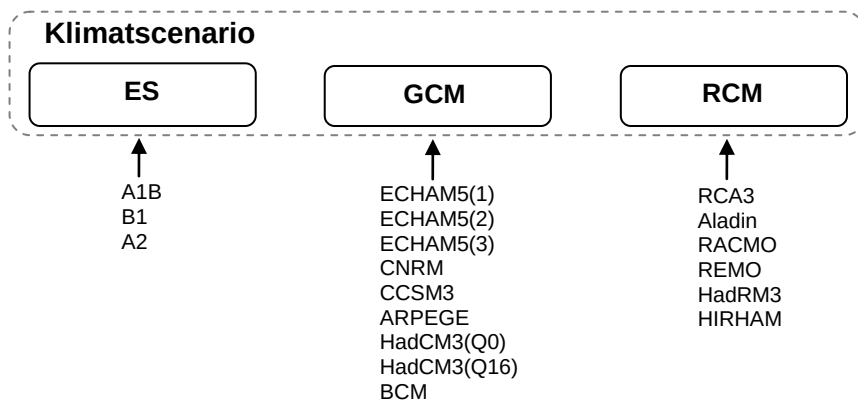


Figur 4-4. Antagande om framtida utsläpp av CO₂ (vänster) och resulterande CO₂-koncentrationer (höger) enligt olika scenarier (modifierad från IPCC, 2001).

4.8 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 (se vidare avsnitt 4.8.1).

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 m.fl. (2000). De regionala klimatmodeller som användes benämns RCAO och RCA3 och kommer från Rossby Centre vid SMHI:s 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. För Östersjön finns dock inga senare resultat än de som fanns tillgängliga vid tidpunkten för Klimat- och sårbarhetsutredningen. 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 utsläppsscenarioer, 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 utsläppsscenarioer är liten fram till mitten av seklet och ökar därefter.

4.8.1 Klimatscenarier i denna studie

De sammanställningar som gjorts av temperatur, nederbörd, vattenföring och snö (Kap. 5.1- 5.5) bygger på DBS-skalerade data från klimatscenarierna i tabell 4-1. Tabellen innehåller klimatscenarier från ENSEMBLES-projektet samt några från Rossby Centre vid SMHI. Observera att endast 12 av dessa 16 klimatscenarier 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 klimatscenarier som använts är de som funnits tillgängliga vid genomförandet, dvs. inget aktivt urval av scenarier har gjorts. Allt eftersom fler klimatscenarier blir tillgängliga kan fler fall med höga respektive låga utsläppsscenarioer inkluderas i klimatscensimuleringar. 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 Uppsala läns framtidsklimat

Analysen av Uppsala läns framtidsklimat har gjorts utgående från de klimatscenarier som beskrivits i kap. 4.8.1. 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. 4.6, 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 1-14 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 9. 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 omräknade klimatscenarierna som lagrats med upplösning 4km × 4km.

5.1 Temperatur

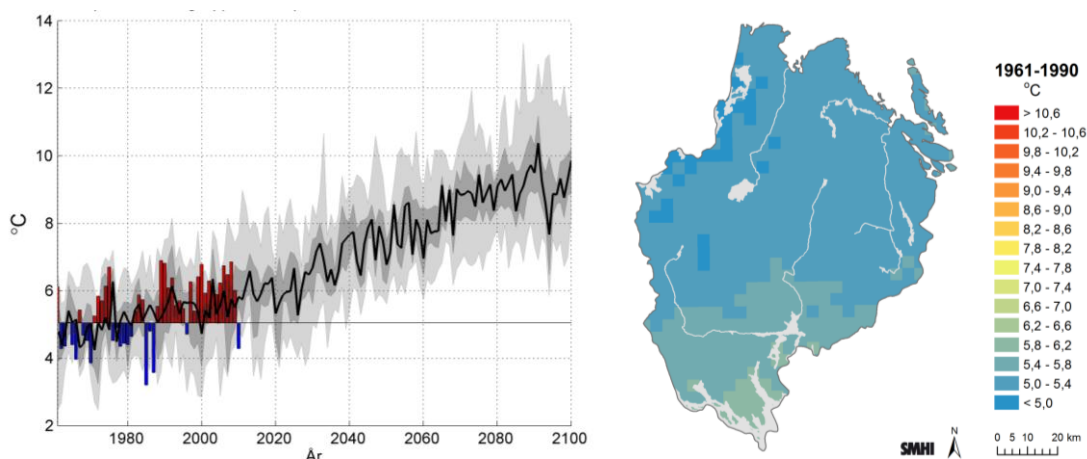
Statistik över dagens klimat för Uppsala län har sammanställts utifrån SMHIs areellt interpolerade databas PTHBV (Johansson, 2000; Johansson och Chen, 2003 och 2005). Databasen innehåller optimalt interpolerade observationer med en upplösning på 4 km x 4 km och med data från 1961 till och med 2010. Databasen uppdateras vartefter, med nya år. Databasen är beskriven i kap. 4.6.

5.1.1 Medeltemperatur för år och säsong

Årsmedeltemperaturen i Uppsala län för referensperioden 1961-1990 (30 år) baserad på PTHBV-databasen var 5,0°C. För perioden 1991-2010 (20 år) var medeltemperaturen för länet 6,0°C, dvs. 1,0°C varmare.

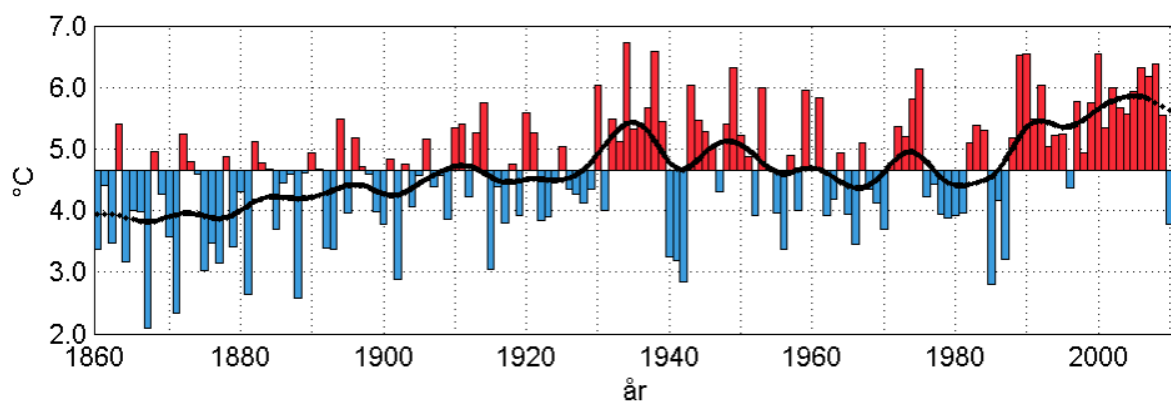
Den beräknade temperaturutvecklingen för Uppsala län baserat på samtliga klimatscenarier i tabell 4-1 framgår av figur 5.1-1. Årsmedeltemperaturen ökar successivt och når temperaturer i medeltal runt 9°C i slutet av seklet. Variationen mellan år är dock stor och spridningen visar att relativt kalla år 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.



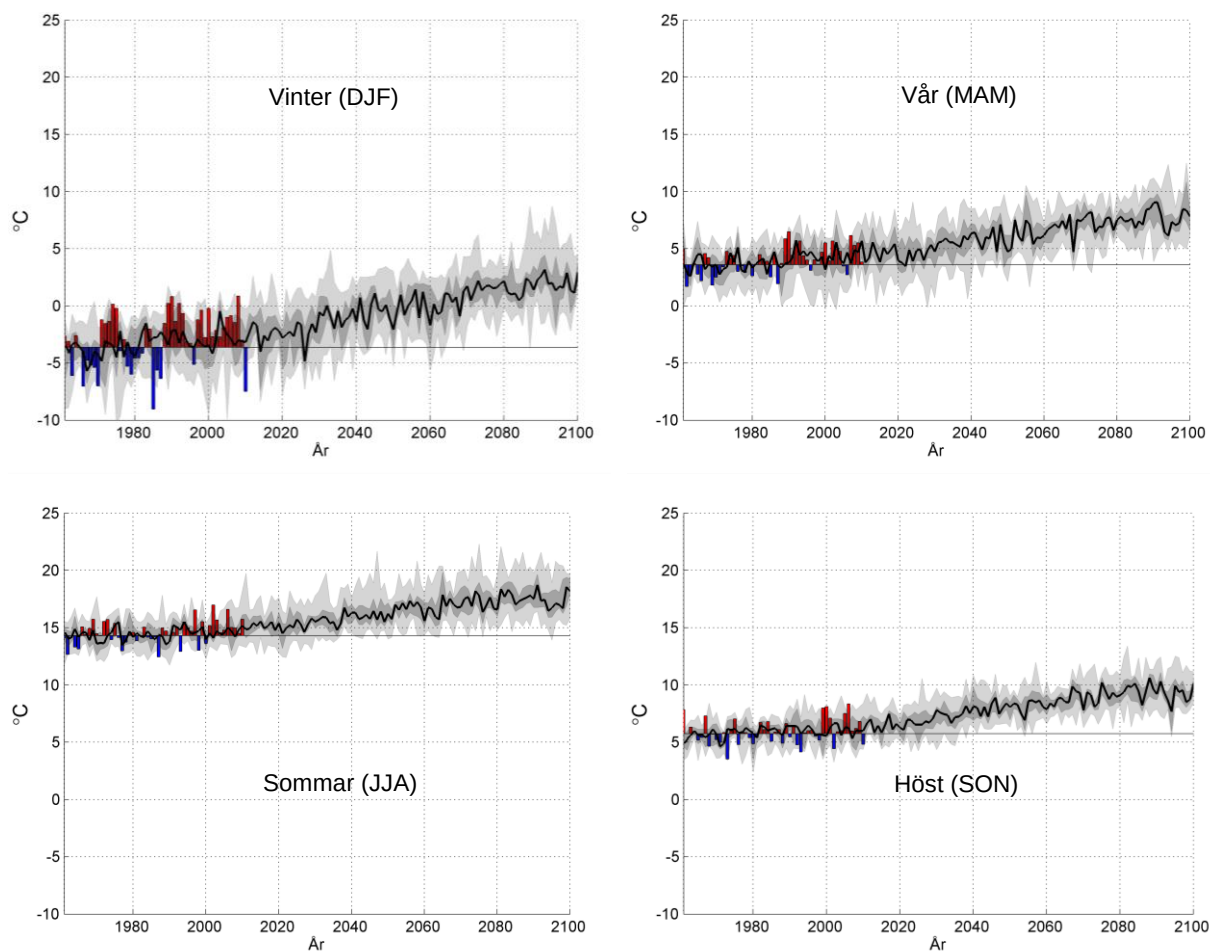
Figur 5.1-1. Beräknad utveckling av årsmedeltemperaturen i Uppsala län baserat på samtliga klimatscenarier i tabell 4-1. Årsmedeltemperaturen 1961-1990 (5,0°C) visas som en horisontell linje. Observerade årsvärden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och observerade lägre årsvärden 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 Uppsala 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 2011, beräknad utifrån 37 stationer spridda över landet (figur 5.1-2). Fördelningen mellan varma och kalla år stämmer väl överens med Uppsala (figur 5.1-1) för perioden 1961-2011 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 1860-2011 (°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 Uppsala 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 (1961-2010) mellan åren är störst för vintern (ca 10 grader). Medeltemperatur för referensperioden 1961-1990 är -3,6°C för vintern, 3,6°C för våren, 14,3°C för sommaren och 5,8°C för hösten. För samtliga säsonger syns en temperaturuppgång under seklet och den är mest framträdande för vintern.

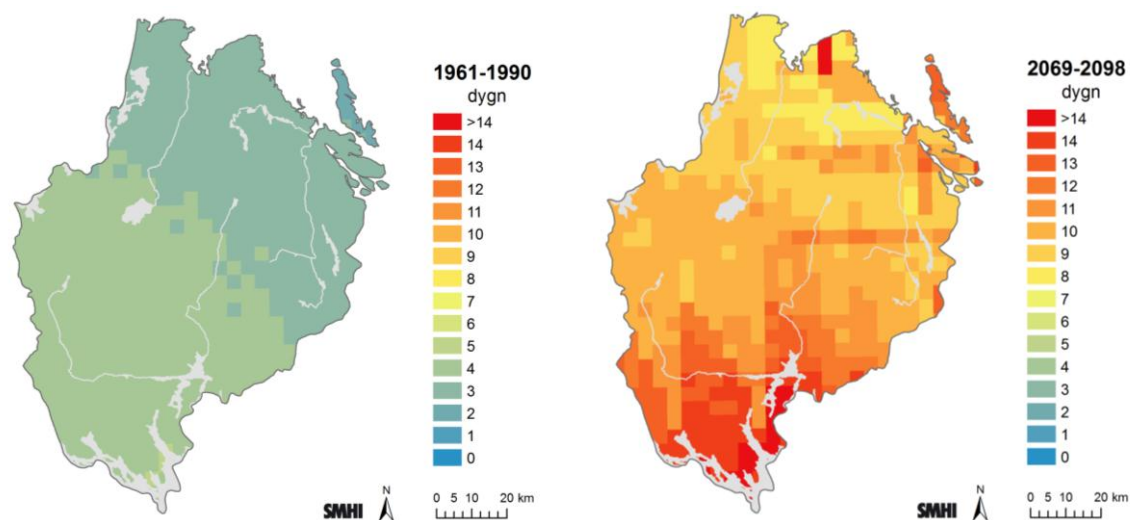
I beräkningarna över framtidsklimatet, avseende årsmedeltemperaturer, kvarstår det regionala mönstret med varmare förhållanden i Mälardalen och svalare på de mer höglänta områdena i nordväst (se bilaga 1). Det syns också i säsongskartorna. Differenskartorna bekräftar att temperaturuppgången är störst för vintern, mot slutet av seklet sker en ökning med upp mot 6°C (se bilaga 2).

5.1.2 Värmeböljor

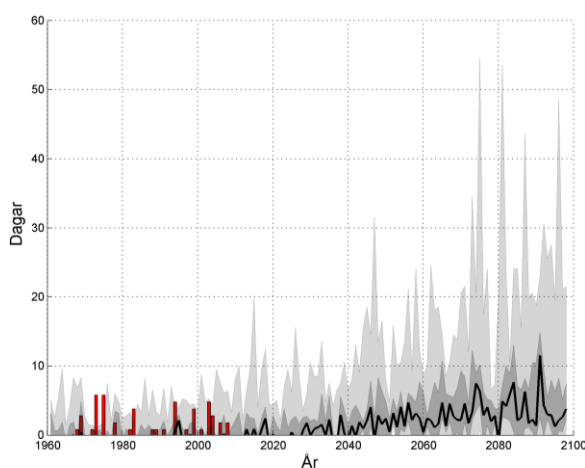
Varma perioder kan definieras på olika sätt, utifrån dygnsmedeltemperatur eller dygnets högsta temperatur. Ofta används begreppet värmebölja, som är ett vagt begrepp för en längre period med, för aktuell plats, varma förhållanden. Det finns ingen allmänt vedertagen gemensam definition för värmebölja. I kapitel 3.2.1 nämndes ett faktablad som SMHI sammanställt över värmeböljor där även olika definitioner omnämns (SMHI, 2011a). 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 påbörjat ett arbete för att kunna utfärda värmevarningar vid behov. Det testades sommaren 2012 för 1:a gången men sommaren var kall och endast ett tillfälle inträffade, vilket systemet fångade. Försöken återupptas sommaren 2013.

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.



Figur 5.1-4. Antal sammanhängande dygn per år med dygnsmedeltemperatur $>20^{\circ}\text{C}$, observerat för 1961-1990 (vänster karta) och beräknat för 2069-2098 (höger karta). Värdena avser 30-årsmedelvärden.



Figur 5-1.5 Maximalt antal sammanhängande dygn med dygnsmedeltemperatur över 20°C beskrivet som avvikelse från medelvärdet för 1961-1990 (1,2 dygn). Observerade värden, medianvärden, percentiler, min- och maxvärden visas i enlighet med figur 5.1-1.

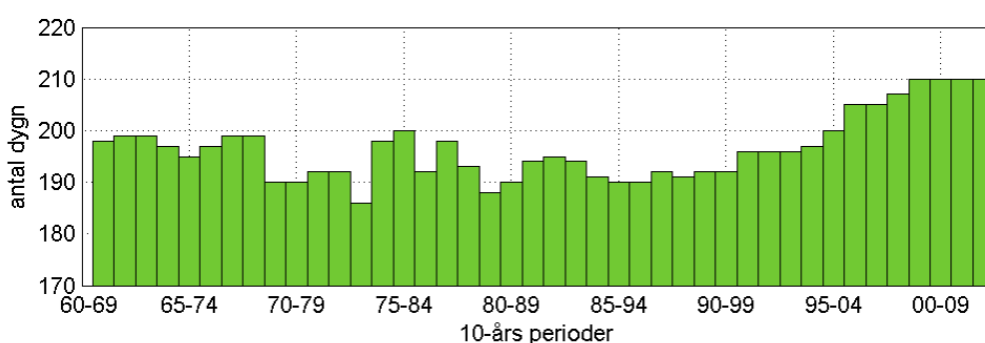
I denna analys används antal sammanhängande dygn per år med medeltemperatur över 20°C som ett mått på varma perioder för att analysera hur framtidens klimat ter sig i jämförelse med dagens klimat avseende värme. Här presenteras de observerade värdena för perioderna 1961-1990 och beräknade för 2069-2098 (figur 5.1-4). Övriga kartor återfinns i bilaga 6. I dagens klimat förekommer endast ett

fåtal varma dagar enligt ovanstående definition varje år. Perioden 2021-2050 visar upp mot 6-8 dagar från norr till söder (bilaga 6). Detta förstärks för perioden 2069-2098, då större delen av länet får upp mot 10 varma dagar i sträck i medeltal och längs Mälarens kustremsa upp mot 14 dagar.

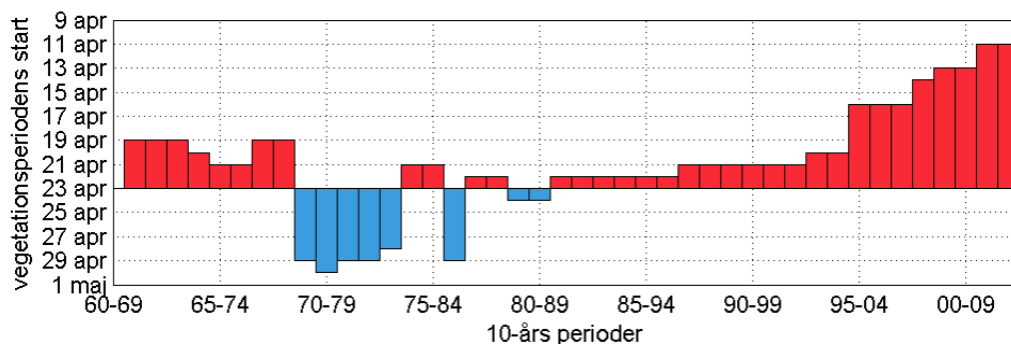
I figur 5.1-5 kan ses att ökningen blir tydlig från mitten på seklet och att variationen mellan scenarierna är stor mot slutet av seklet. Det är värt att påpeka att kartorna representerar medelvärden över 30 år. När värmeböljor inträffar kan de vara avsevärt längre än medelvärdet, vilket kan ses i figur 5.1-5.

5.1.3 Vegetationsperiod

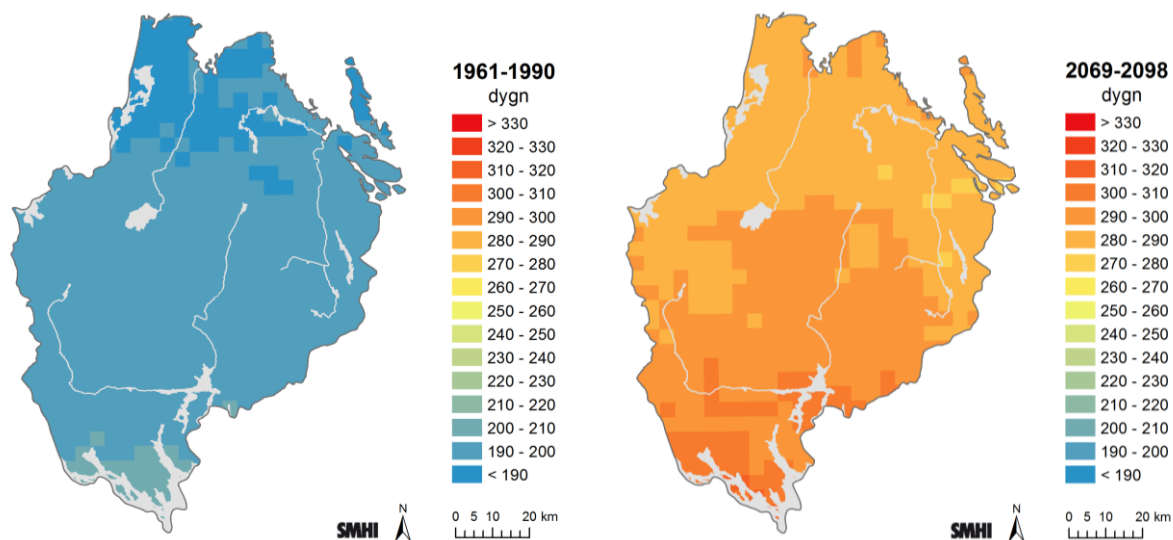
För norra Sverige har vegetationsperiodens längd ökat med ungefär två veckor under de senaste 40 åren (www.smhi.se/klimat). Även i södra Sverige har längden av vegetationsperioden ökat, men inte lika mycket. I södra Sverige är ökningen dessutom i huvudsak koncentrerad till det senaste årtiondet (figur 5.1-6). Ökningen beror främst på en tidigare starttidpunkt vilket ses i figur 5.1-7. Södra Sverige definieras här som Götaland och södra Svealand.



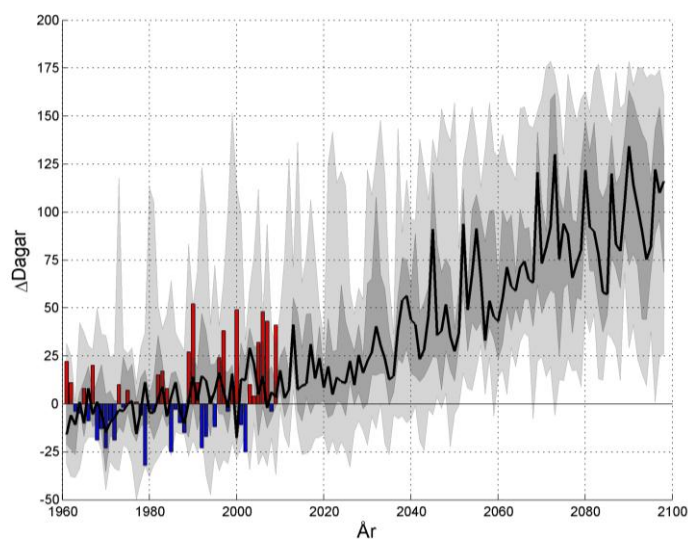
Figur 5.1-6 Den observerade vegetationsperiodens längd (antal dagar) 1961-2011 för södra Sverige baserat på data från 20 stationer i Götaland och södra Svealand. Tröskelvärde är 5°C. Staplarna visar löpande 10-årsmedelvärden så att den första stapeln avser 1961-1970, den andra stapeln 1962-1971 osv. Källa: www.smi.se/klimat



Figur 5.1-7. 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



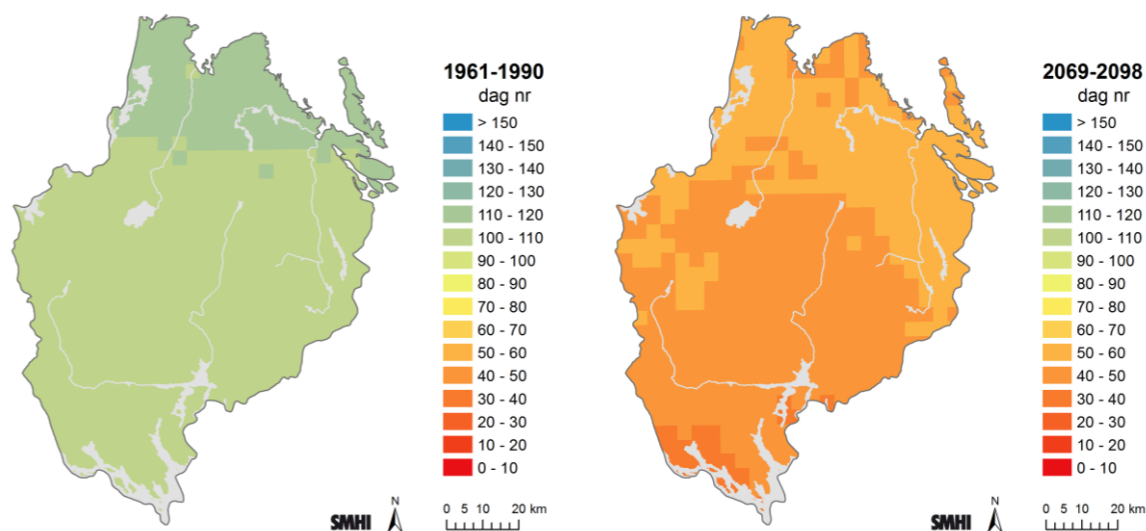
Figur 5.1-8. Vegetationsperiodens längd med tröskelvärde 5°C (antal dygn per år), observerat för 1961-1990 (vänster karta) och beräknat för 2069-2098 (höger karta). Värdena avser 30-årsmedelvärden.



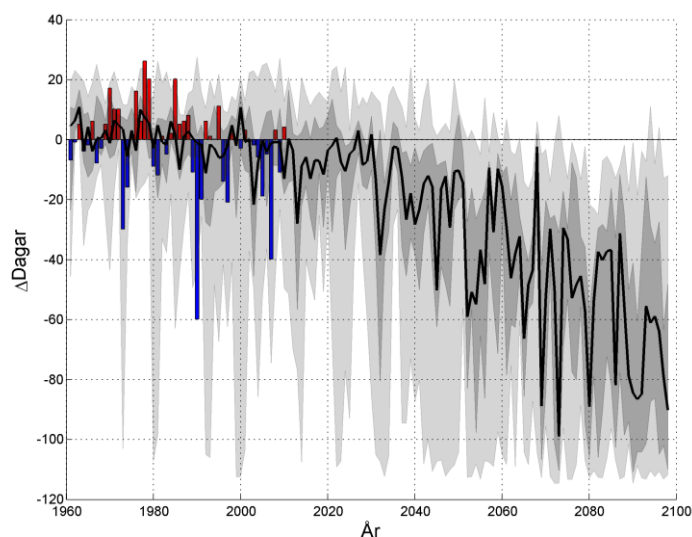
Figur 5.1-9. Vegetationsperiodens längd beräknad för Uppsala län 1961-2100, uttryckt som avvikelse från medelvärdet för 1961-1990 (186 dagar). Observerade värden, medianvärden, percentiler, min- och maxvärden visas i enlighet med figur 5.1-1

Vegetationsperiodens längd för länet som helhet är 186 dagar (tröskelvärde 5°) under referensperioden 1961-1990. Variationen mellan år är dock stor, från ca 160 till 240 dagar. Ökningen av vegetationsperiod är i beräkningarna stor mot slutet av seklet, ca 100 dagar (figur 5.1-8) och ökningen tar fart vid mitten av seklet (figur 5.1-9).

Medelvärdet för vegetationsperiodens start är 113 (dvs. 13 april) för referensperioden 1961-1990. Starttidpunkten vid slutet av seklet är i medeltal ca 2 månader tidigare enligt beräkningarna (figur 5.1-10 och 5.1-11).



Figur 5.1-10. Vegetationsperiodens start (dagnummer) observerat för 1961-1990 (vänster karta) och beräknat för 2069-2098 (höger karta). Värdena avser 30-årsmedelvärden.



Figur 5.1-11. Vegetationsperiodens starttidpunkt beräknad för Uppsala län 1961-2100, uttryckt som avvikelse från medelvärdet för 1961-1990 (dagnummer 113). Observerade värden, medianvärden, percentiler, min- och maxvärden visas i enlighet med figur 5.1-1

5.2 Nederbörd

Statistik över dagens klimat för Uppsala 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.

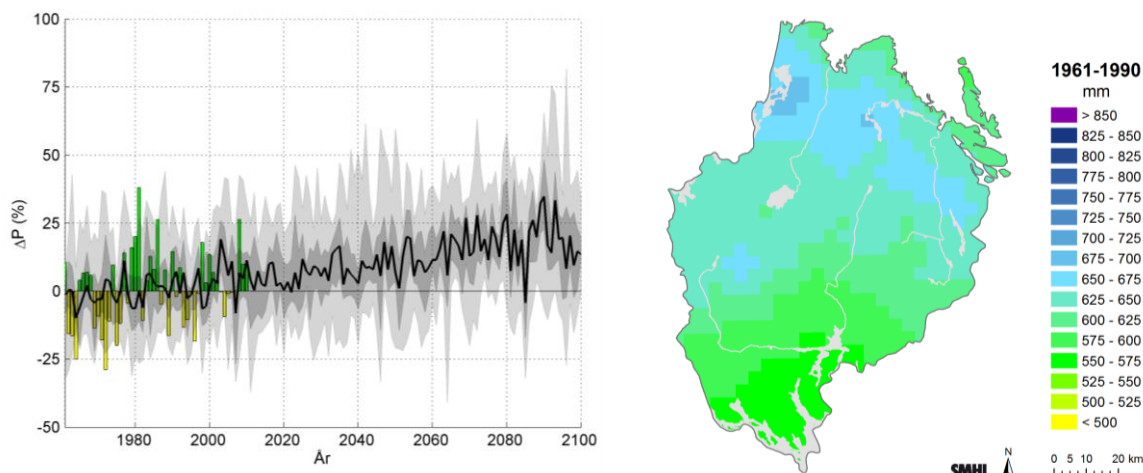
5.2.1 Medelnederbörd för år och säsong

Årsmedelnederbörden i Uppsala län för referensperioden 1961-1990 (30 år) baserad på PTHBV-databasen var 585 mm. För perioden 1991-2010 (20 år) var årsmedelnederbörden för länet 596 mm, dvs. en ökning på knappt 2%. För landet som helhet syns en ökning på ca 10% för samma period.

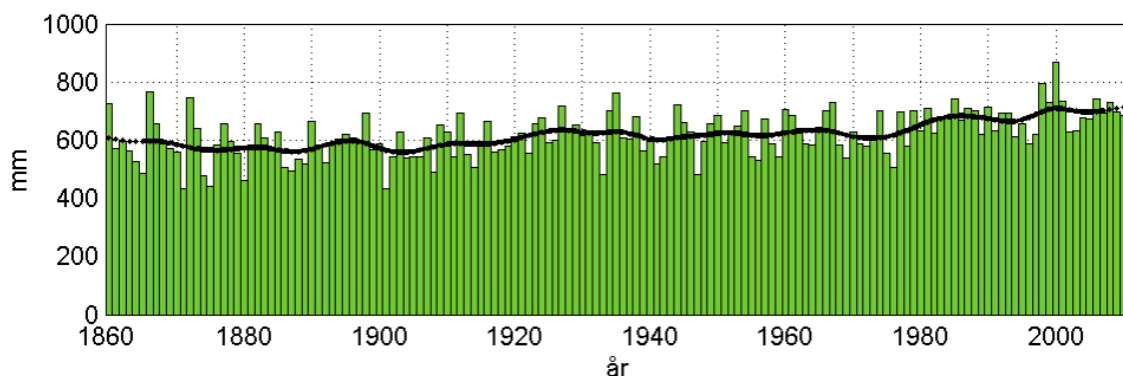
Den beräknade utvecklingen för årsnederbörd i Uppsala län baserat på samtliga klimatscenarier i tabell 4-1 framgår av figur 5.2-1. Årsmedelnederbörden ökar successivt om än med stor variation

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 en ökning från söder mot norr men med något lägre nederbörd längs kusten.



Figur 5.2-1. Beräknad utveckling av årsmedelnederbörden i Uppsala län baserat på samtliga klimatscenarier i tabell 4-1 och uttryckt som avvikelse (%) från medelvärdet för 1961-1990 (585 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).

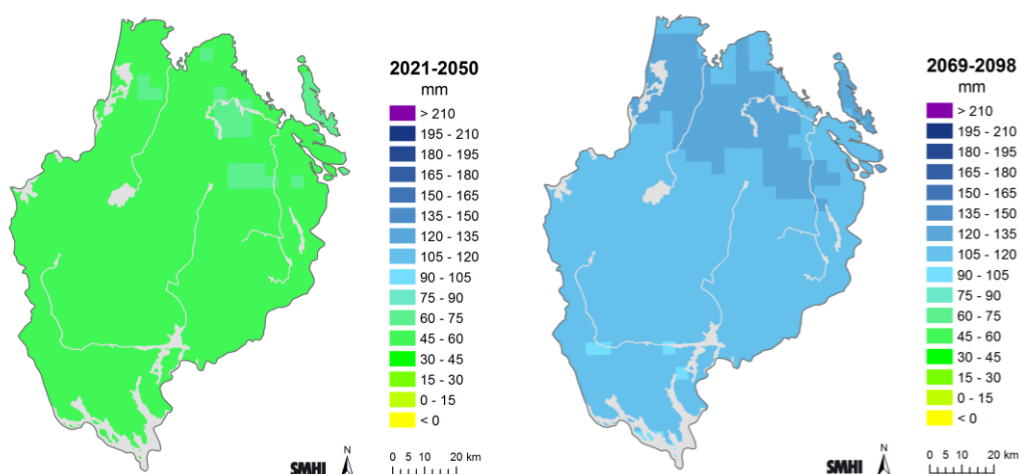


Figur 5.2-2. Årsmedelnederbörd för Sverige 1860-2011, baserad på 87 stationer. Den svarta kurvan visar ungefär ett tio-årigt löpande medelvärde. Källa: www.smhi.se/klimatdata

Det finns inte tillgängliga nederbördsdata för Uppsala län för att kunna beskriva tidigare 30-årsperioder före 1960. Som jämförelse över nederbördens utveckling visas här istället, i figur 5.2-2, årsmedelnederbörden för Sverige som helhet. 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 perioden referensperioden 1961-1990 var årsnederbörden knappt 4% större jämfört med perioden 1931-1960.

I bilagorna 9-13 visas kartor över årsmedelnederbörd och säsongsmedelnederbörd 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.



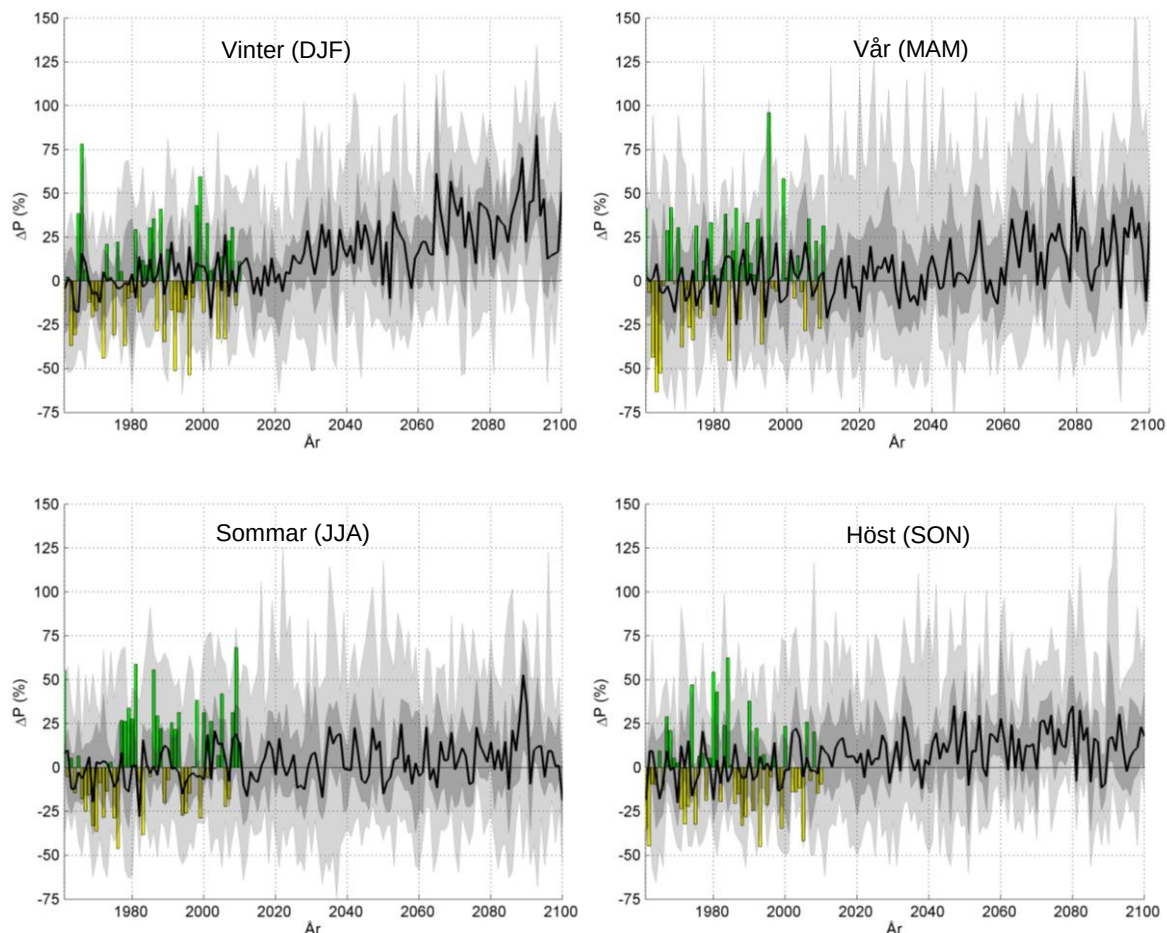
Figur 5.2-3. Förändring i årsmedelnederbörd (mm) jämfört med 1961-1990 beräknat för 2021-2050 (vänster) och 2069-2098 (höger).

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 nordvästra del och beräknas i slutet av seklet till upp mot 150 mm.

Nederbördsutvecklingen för de fyra säsongerna visas i figur 5.2-4. Medelnederbörd för referensperioden 1961-1990 är 124 mm för vintern, 100 mm för våren, 187 mm för sommaren och 174 mm för hösten.

Vintern visar den tydligaste framtida nederbördsökningen men även för höst och vår syns en ökning (se även kartorna i bilaga 10-13). För vintern pekar medianvärdena på en ökning med över 35% i 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 1991-2010 varit blötare än referensperioden, vilket framförallt märkts i medelnederbörden för sommaren men också för våren. För Uppsala län kan en svagt ökat nederbörd ses för vår och sommar 1991-2010 men medianvärdena för höstsäsongen pekar på torrare förhållanden (bilaga 11-13). Observeras bör dock att perioden enbart är 20 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.



Figur 5.2-4. Beräknad nederbördsutveckling för de fyra årstiderna i Uppsala 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 årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Medianvärdena presenteras som svart linje.

5.2.2 Kraftig nederbörd

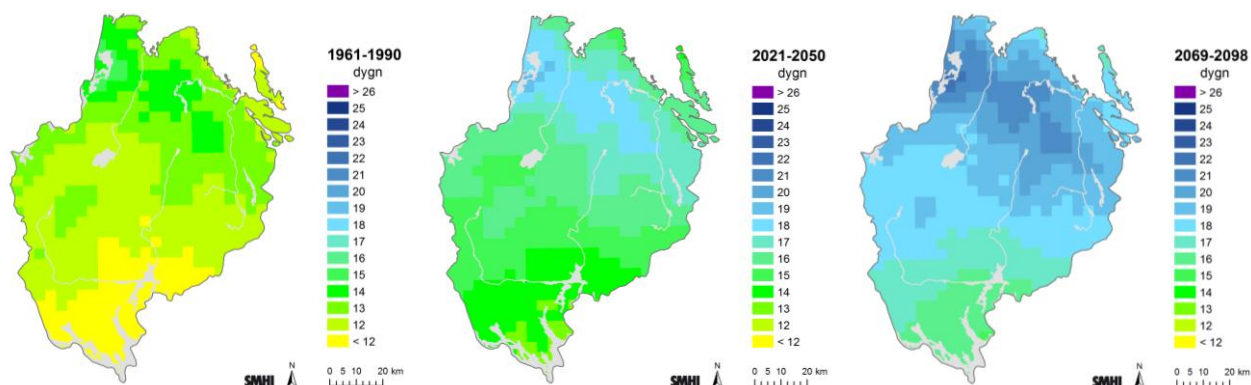
I bilaga 14 visas antal dagar per år med nederbörd över 10 mm. Kartor finns som medelvärden för 30-årsperioderna 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 tillsammans med differenskartor för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990. Observerade värden för 1961-1990 och 1991-2010 visas också. Här visas tre av kartorna från bilaga 14 (figur 5.2-5).

Dygnsnedelnederbörd på 10 mm i beräkningsrutorna betyder ett kraftigt regn över området. Beräkningarna visar en successiv ökning av antalet dygn och i slutet av seklet ligger ökningen på mellan 5 och 6 dygn per år enligt medianvärdena (se differenskarta i bilaga 14 och figur 5.2-6). Den gradient över länet med färre dagar i södra delen och fler i norra delen av länet, som ses för perioden 1961-1990, kvarstår i framtiden enligt beräkningarna.

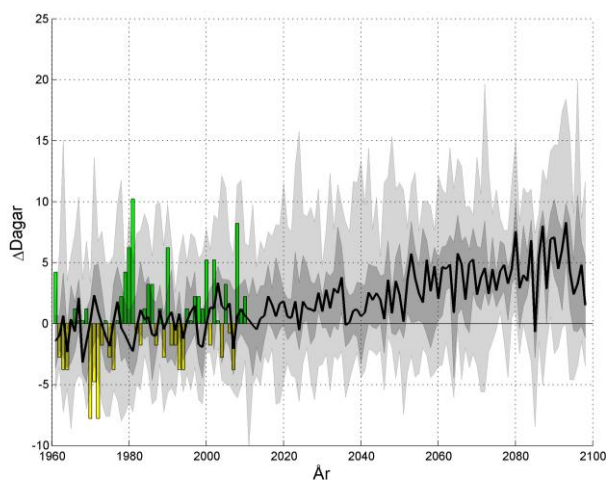
Observerade värden 1961-1990

Beräknade värden 2021-2050

Beräknade värden 2069-2098



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).



Figur 5.2-6. Antal dagar med nederbörd över 10 mm beskrivet som avvikelse från medelvärdet för perioden 1961-1990 (9,8 dagar). Observerade värden, medianvärden, percentiler, min- och maxvärden visas i enlighet med figur 5.2-1.

5.2.3 Intensiv korttidsnederbörd

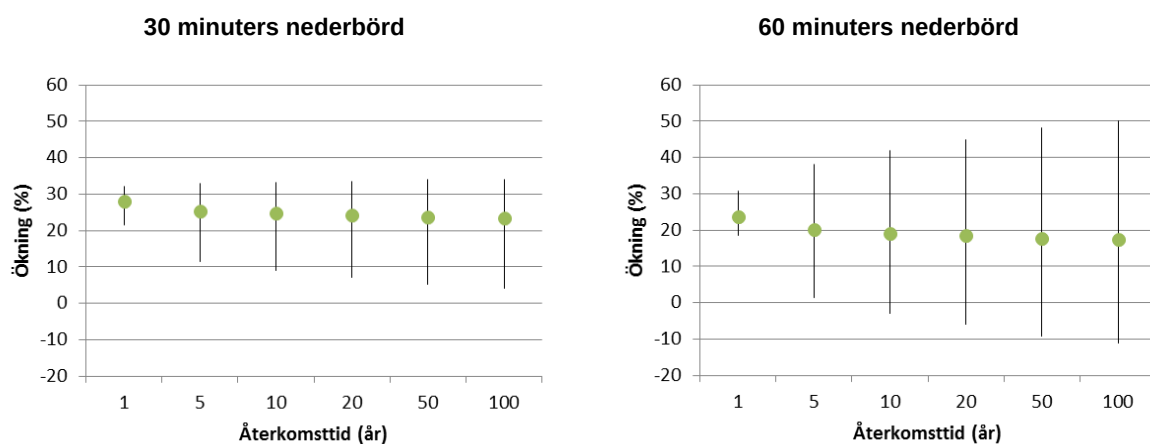
För att bedöma hur klimatförändringen kan komma att påverka kortvariga intensiva regn har 30-minuters och 60-minuters nederbördsdata från klimatscenarier analyserats. 30-minuters data är den högsta tidsupplösning som sparas från de regionala klimatmodellkörningarna. Data från sex globala klimatscenarier har använts, samtliga körda för perioden 1961-2100 och nedskalade av SMHI med den regionala klimatmodellen RCA3 till 50×50 km. Av dessa har fyra drivits av utsläppsscenario A1B, en med utsläppsscenario A2 och en med utsläppsscenario B2 (tabell 5.2-1). Se även tabell 4-1.

Tabell 5.2-1 Regionala klimatscenarier analyserade med avseende på intensiv korttidsnederbörd.

Global klimatmodell	Regional klimatmodell	Utsläppsscenario
ECHAM5(1)	RCA3	A1B
ECHAM5(2)	RCA3	A1B
ECHAM5(3)	RCA3	A1B
HadCM3(Q0)	RCA3	A1B
ECHAM4	RCA3	A2
ECHAM4	RCA3	B2

För att studera korttidsnederbörden i Uppsala har de närmaste fem modellgridrutorna valts ut. För var och en av gridrutorna har tidsserier med 30- och 60-minuters nederbörd extraherats ur modellresultaten för de två 30-årsperioderna; 1961-1990 (referensperiod) och 2071-2100. För varje serie har en extremvärdesanalys gjorts genom att beräkna varje års högsta 30-minuters intensitet. Serierna över de högsta 30-minutersvärdena har anpassats till en fördelningsfunktion (Gumbel) och därur beräknades värdena motsvarande 1, 5, 10, 20, 50 och 100 års återkomsttider. På samma sätt analyserades 60-minutersvärdena. Metoden finns beskriven av Olsson och Foster (2013).

I figur 5.2-7 visas differensen mellan den framtida perioden 2071-2100 och referensperioden uttryckt som procent.



Figur 5.2-7. Den beräknade procentuella förändringen av korttidsnederbörd (varaktighet 30- respektive 60-minuters) från perioden 1961-1990 till 2071-2100 för återkomsttiderna 1, 5, 10, 20, 50 och 100 år. Punkterna avser medelvärden för de sex klimatscenerierna som använts och linjerna visar spridningen mellan scenarierna.

Resultaten visar att den intensiva korttidsnederbörden kan förväntas öka. Särskilt för den kortare varaktigheten (30-minuters) där alla scenarier pekar på en ökning och i medeltal mellan 20 och 30%. För 60-minuters nederbörd är ökningen i medeltal mindre, runt 20%, spridningen mellan scenarierna är också större och det finns även scenarier som för de längre återkomsttiderna visar på en svag minskning. Det ska också tilläggas att för de längre återkomsttiderna är det mycket osäkra beräkningar. Huvudintrycket är dock att den intensiva korttidsnederbörden som är årligt återkommande visar en tydlig (och störst) ökning både för 30- och 60-minuters nederbörd. De mer sällan förekommande extrema skurarna ser även de ut att öka avseende mängd nederbörd.

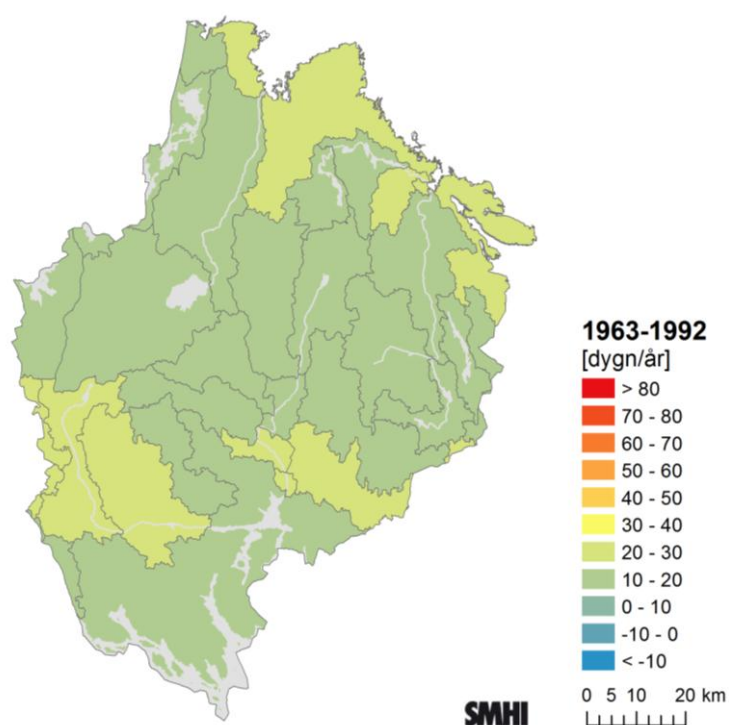
Att förhöjd temperatur leder till ökade skurar stöds av en nyligen dokumenterad undersökning (Berg et al., 2013). Författarna undersökte beteendet hos olika typer av regnskuror vid varierande temperaturer. De kom fram till att typen konvektiv nederbörd (som vid sommaråskväder) intensifierades mycket 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.

5.3 Torka och markfuktighet

Den hydrologiska HBV-modellen, som har använts för att beräkna förändringar av hydrologiska förhållanden i Uppsala län, erbjuder också möjlighet att studera framtida förändringar av markfuktighet. Modellens beräknade markfuktighet är i viss mån modellspecifik och beskriver inte till fullo de lokala förhållandena avseende jordarter, jordlager och markanvändning. Modellen ger ändå en god bild av hur blöt marken är från markytan ner till grundvattnet, dvs. den omättade markzonen. För Uppsala län pekar klimatanalysen på att årsnederbörden generellt kommer att öka (se kap 5.2). Det är dock inte samma sak som att risken för torka kommer att minska. För att bedöma risken för

torka måste också förändringar av avdunstning vägas in och relateras till nederbördens fördelning över året, vilket görs av den hydrologiska modellen. Grovt sett kan man säga att avdunstningen ökar ca 5-10 procent för varje grads ökning av temperaturen. Detta motverkar effekten av ökad nederbörd och kan medföra att avrinningen minskar trots att nederbörden ökar.

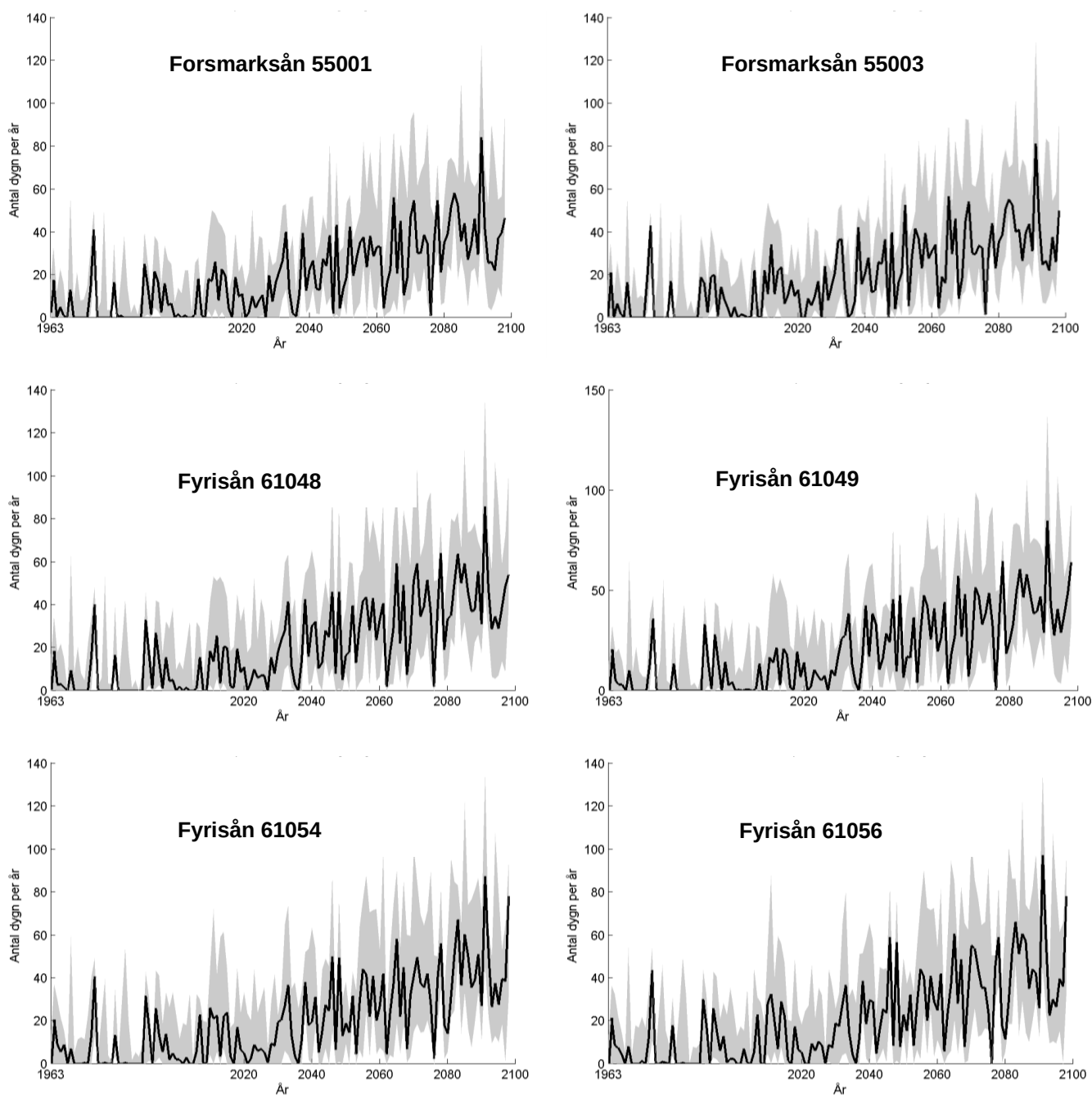
För att kunna analysera hur risken för torka förändras i framtiden måste först ett mått på torka tas fram. Det finns inget vedertaget begrepp som med enkelhet kan överföras till den hydrologiska modellen. I denna analys har därför medelvärdet av varje års lägsta markfuktighet under 30-årsperioden 1963-1992 använts som ett representativt mått på när det är torrt i marken. I den fortsatta texten benämns detta som torka. Detta mått relaterar alltså till dagens variationsmönster av markfuktighet i Uppsala län. Under referensperioden 1963-1992 rådde torka, enligt det beskrivna måttet, i genomsnitt från ca 10 till 30 dagar per år (figur 5.3-1). Notera att vissa år har fler torra dagar och andra år kan helt sakna torra dagar. Det kan alltså vara så att ett område som har ca en månad med torka i genomsnitt per år kan ha vissa år med mycket långa perioder då markvattenhalten understiger värdet (dvs. medelvärdet av varje års lägsta markfuktighet) och andra år då värdet inte underskrider alls.



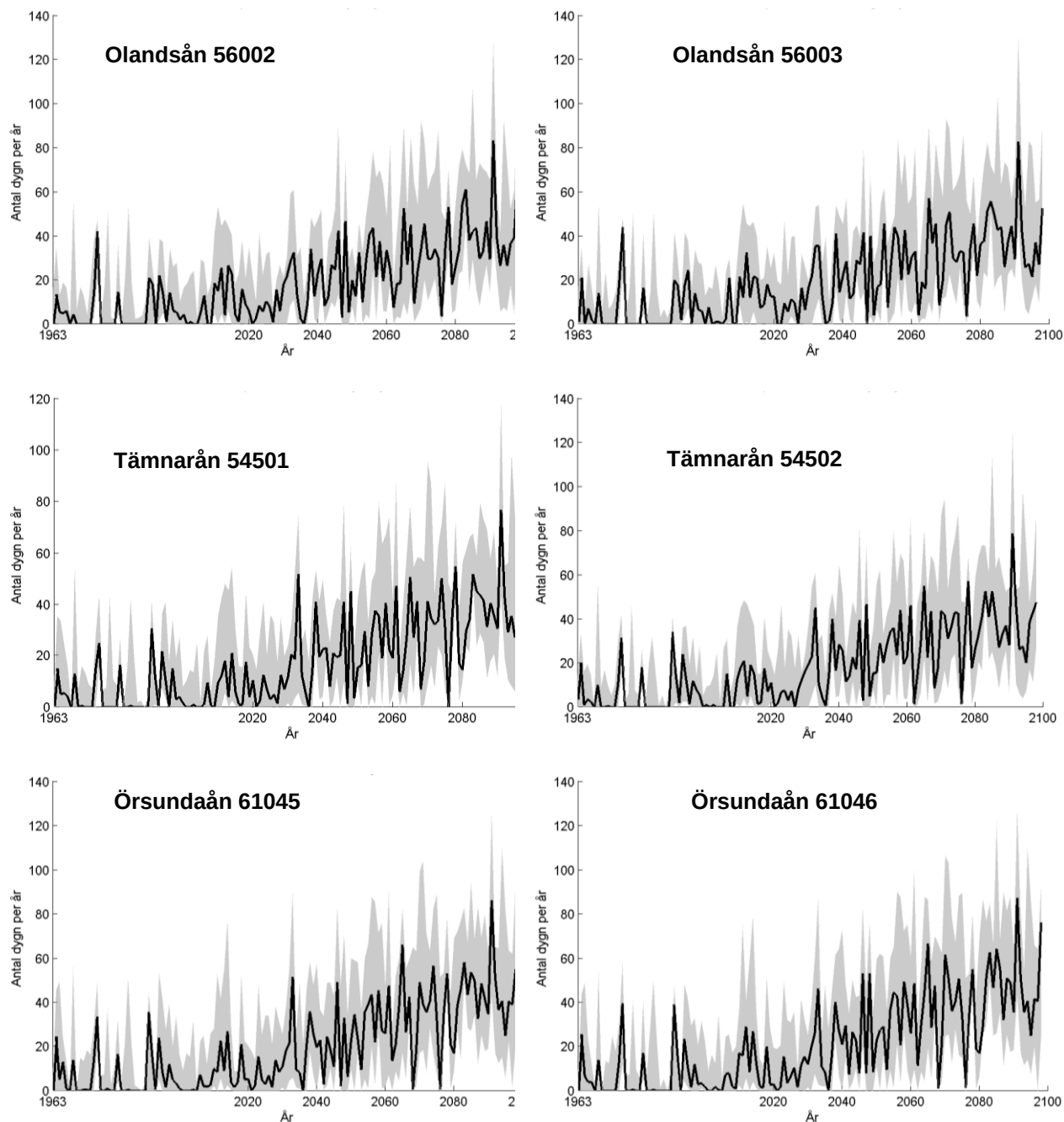
Figur 5.3-1. Antal dagar per år under referensperioden (1963-1992) då markfuktigheten är lägre än medelvärdet av varje års lägsta värde. Kartan visar medelvärdet för de 16 klimatscenariernas referensperiod.

För att studera hur förekomsten av dagar med torka förändras fram till slutet på det innevarande seklet har beräkningar gjorts för de tolv delområden som används i den hydrologiska analysen (figur 5.3-2 och 5.3-3). I diagrammen visas för respektive område antal dagar per år då markfuktigheten är lägre än medelvärdet av varje års lägsta värde beräknat för referensperioden 1963-1992. Analysen redovisas för perioden 1963-2100, så som den beskrivs av klimatsimuleringarna. Det innebär att beräkningarna beskriver klimatvariationen över tiden, men inte det direkta utfallet för varje år. Det är därför inte möjligt att jämföra verkliga inträffade torrår (exempelvis 1977) med de som redovisas i diagrammen.

För samtliga områden syns en liknande signal med successivt ökande förekomst av dagar med torka. Variationen fram till ca 2040 liknar den historiska, med vissa år med torka och andra helt utan. Därefter ökar frekvensen av torka och praktiskt taget samtliga år uppvisar perioder med torka.

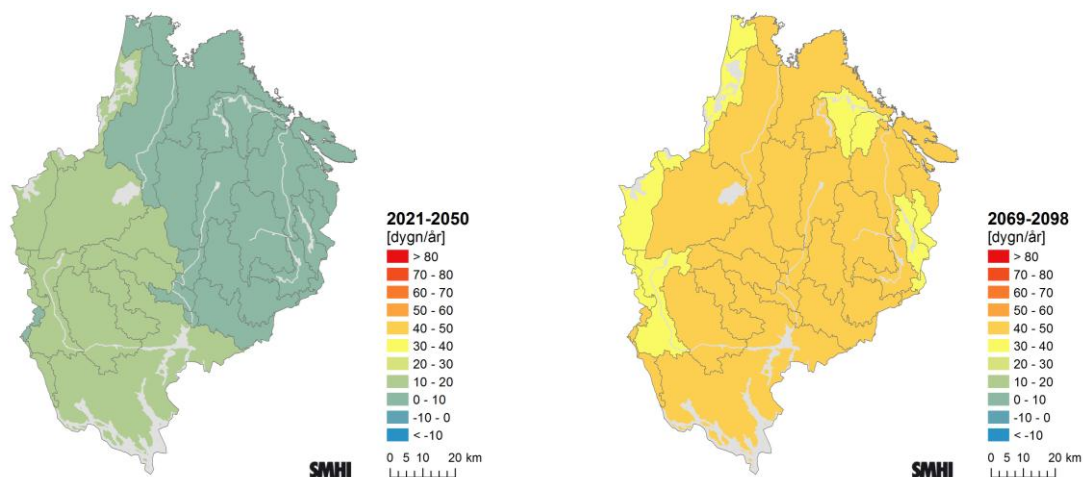


Figur 5.3-2. Antal dagar per år då markfuktigheten är lägre än medelvärdet, beräknat av varje års lägsta värde, för referensperioden 1963-1992. Beräkningarna avser respektive delavrinningsområden för Forsmarksån och Fyrisån. 16 klimatscenarier har använts fram till 2050 och därefter 12 klimatscenarier till slutet på seklet. Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen och den svarta linjen visar medianen.



Figur 5.3-3. Antal dagar per år då markfuktigheten är lägre än medelvärdet, beräknat av varje års lägsta värde, för referensperioden 1963-1992. Beräkningarna avser respektive delavrinningsområden för Olandsån, Tämnrån och Örsundaån. 16 klimatscenarier har använts fram till 2050 och därefter 12 klimatscenarier till slutet på seklet. Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen och den svarta linjen visar medianen.

Figur 5.3-4 redovisar den geografiska fördelningen över länet avseende förändringen av antalet dagar med torka för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden 1963-1992. En viss tendens kan ses till att för den västra delen av länet ökar antalet dagar lite snabbare än för den östra delen. I slutet på seklet (2069-2098) är ökningen av antalet dagar med torka mellan 30 och 50 dagar jämfört med referensperioden (figur 5.3-4). Spännvidden i scenarierna framgår delvis av diagrammen för de respektive delavrinningsområdena (figur 5.3.2-3), som visar 25:e och 75:e percentilerna.



Figur 5.3-4. Skillnad mellan perioden 2021-2050 och 1963-1992 (vänster) och mellan perioden 2069-2098 och 1963-1992 (höger) för antal dagar per år då markfuktigheten är lägre än medelvärdet av varje års lägsta värde beräknat för referensperioden 1963-1992. I kartorna redovisas medianvärdena av den beräknade förändringen i relation till referensperioden.

Det finns många olika mått på torka och de varierar stort beroende på vilken tillämpning som avses. I detta fall har ett mått använts som relaterar till markfuktigheten och dagens förhållanden. I framtiden kan val av grödor och bruksmetoder förändras liksom uppfattningen om torka.

5.4 Vattenföring

Vattenföring är benämningen för den mängd vatten som rinner fram i ett vattendrag och mäts ofta i kubikmeter per sekund (m^3/s). Områdets avrinningsområde definieras som hela det område som kan bidra till flödet i området vattendrag. 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 (se ex. fig. 3-8). 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. Vattendragen har en tydlig årstidsvariation med låga flöden under sommaren (se även kapitel 3.2.4).

I följande kapitel presenteras framtida förändringar av vattenföringens säsongsvariation, medelvattenföringen samt lokal och total vattenföring med en återkomsttid på 100 år.

5.4.1 Vattenföringens säsongsvariation

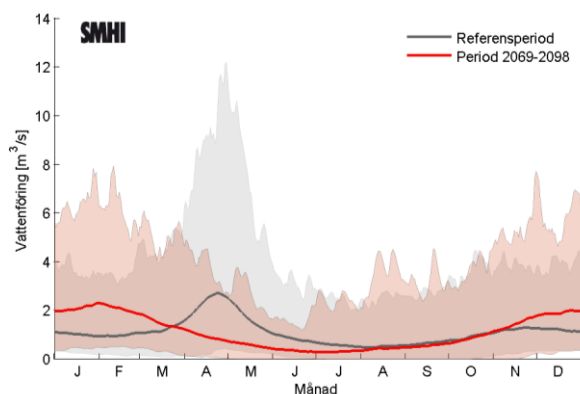
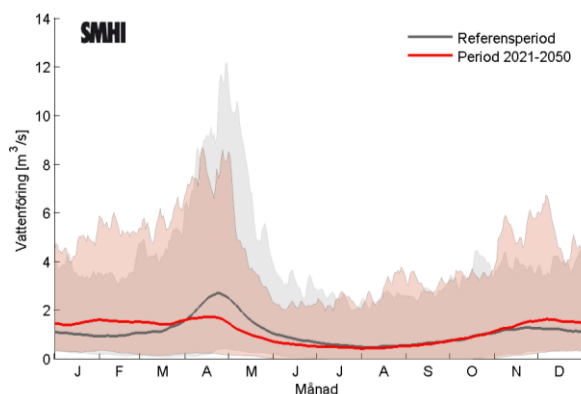
Med en ökande temperatur kommer i framtiden en ökande vinternederbörd att falla mer som regn. Mindre vatten magasineras som snö vilket leder till förändrad säsongsdynamik i våra vattendrag. Den idag vanliga vårfloden, flödestoppen under våren då snön smälter undan, kommer i framtiden att ersättas med högre flöden under längre perioder vintertid (figur 5.4-1 t.o.m. 5.4-4). För samtliga vattendrag ökar vattenföringen i början och slutet på året och minskar under våren och vanligen också under sommaren. Förändringarna orsakas av den ökade vinternederbörden och temperaturökningen som ger en längre växtsäsong. Växterna kommer igång tidigare på våren och är aktiva längre in på hösten vilket leder till ökad avdunstning och mindre mängd av nederbörden når vattendragen. Perioderna med låga vattenföringar ser ut att bli längre.

För varje vattendrag visas beräkningar för perioden 2021-2050 och 2069-2098 tillsammans med referensperioden 1963-1992. Notera att även referensperioden 1963-1992 har beskrivits med drivdata från klimatsimuleringarna. Vattendragen uppvisar mycket likartade förändringsmönster. Observera dock att det är olika skalor i figurerna så de kvantitativa skillnaderna består.

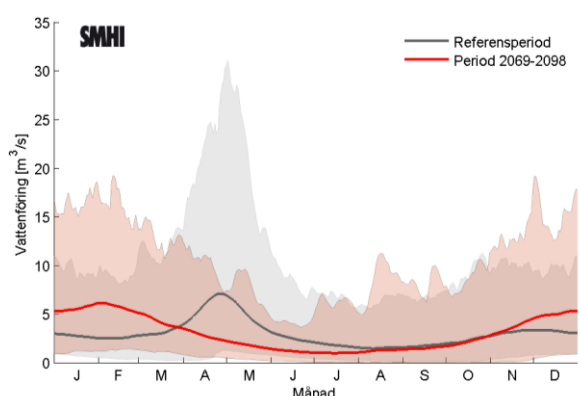
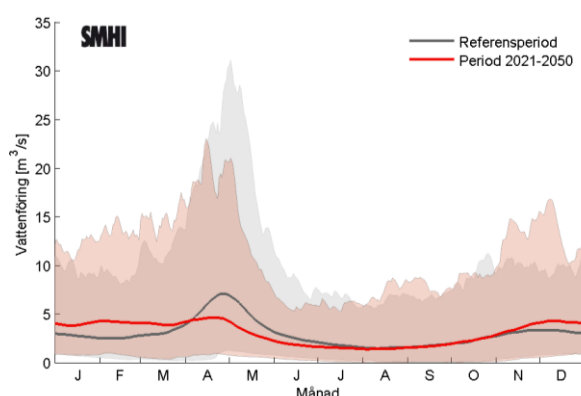


Fyrisån 29 oktober 2012. Foto: Gunn Persson, SMHI

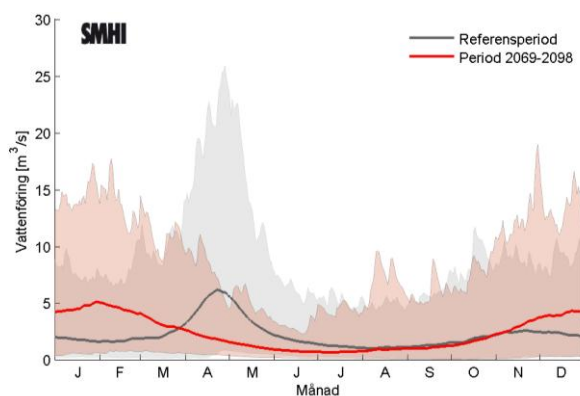
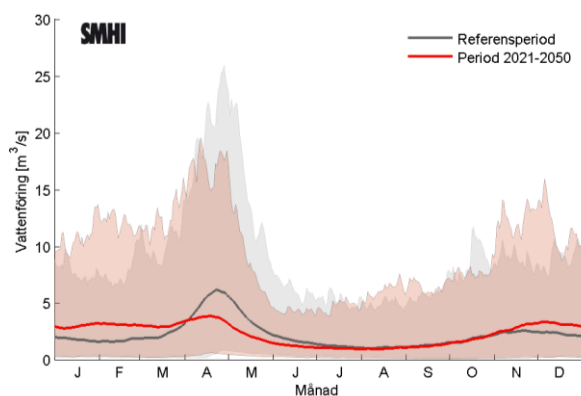
Forsmarksån 55001



Forsmarksån 55003

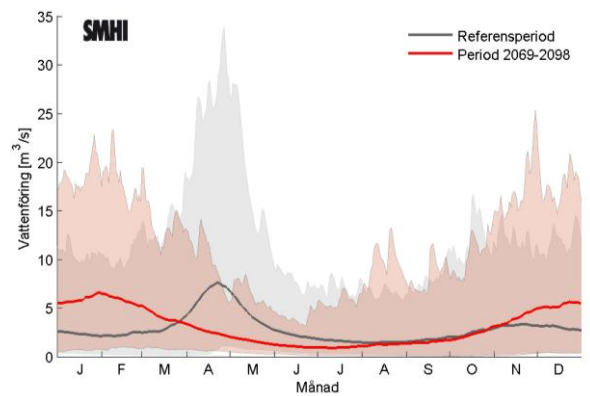
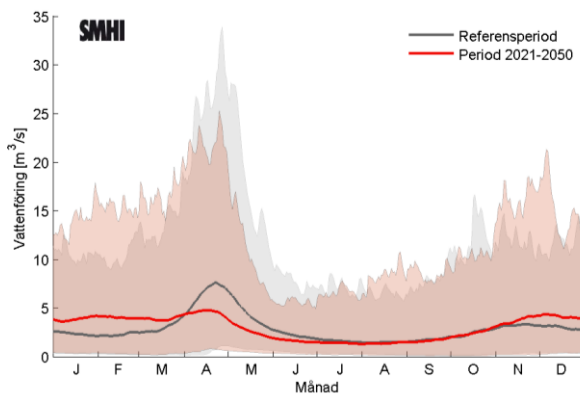


Fyrisån 61048

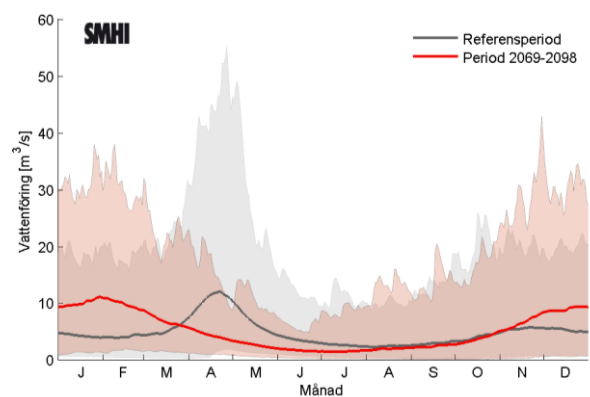
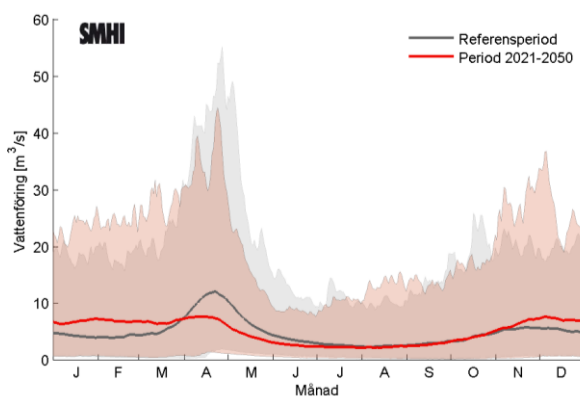


Figur 5.4-1. Den vänstra figuren visar dygnsmedelsvattenföring för perioden 1963-1992 och 2021-2050 baserat på 16 klimatsimuleringar. Den högra figuren visar motsvarande baserat på 12 klimatsimuleringar för slutet på seklet (2069-2098). Heldragen svart linje visar medelvattenföring för referensperioden och heldragen röd linje visar medelvattenföring för den framtida tidsperioden. Det grå fältet 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. De två övre raderna avser Forsmarksån och den nedersta Fyrisån.

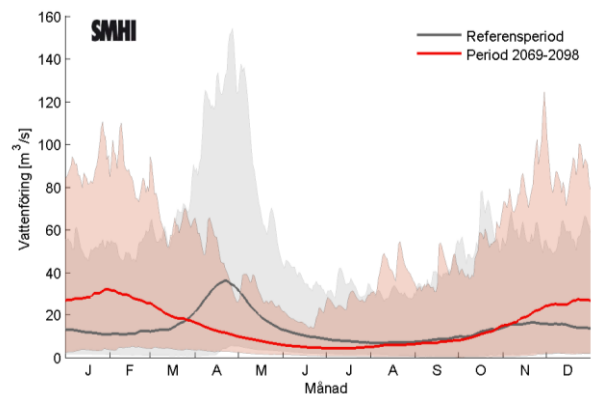
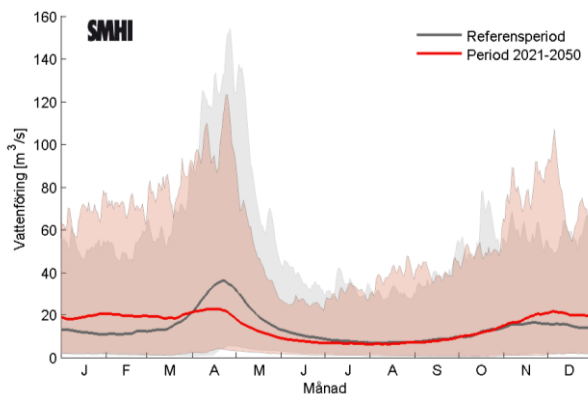
Fyrisån 61049



Fyrisån 61054

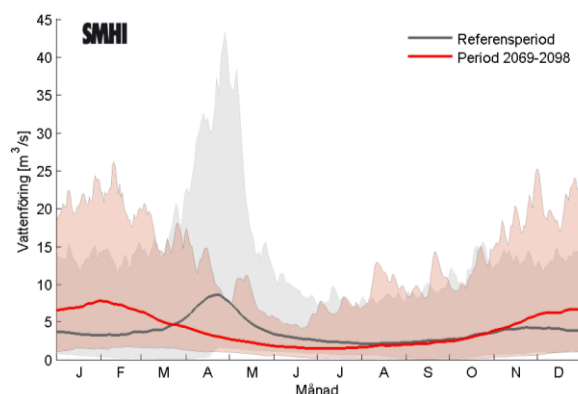
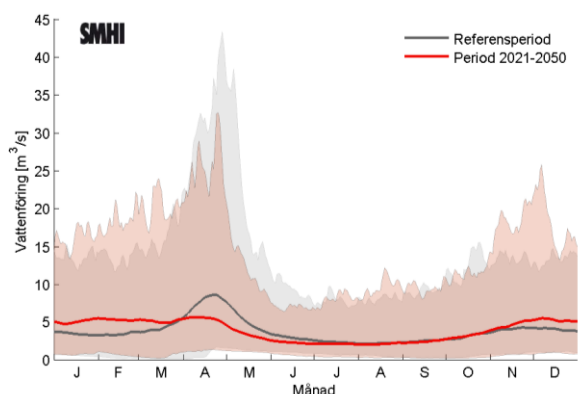


Fyrisån 61056

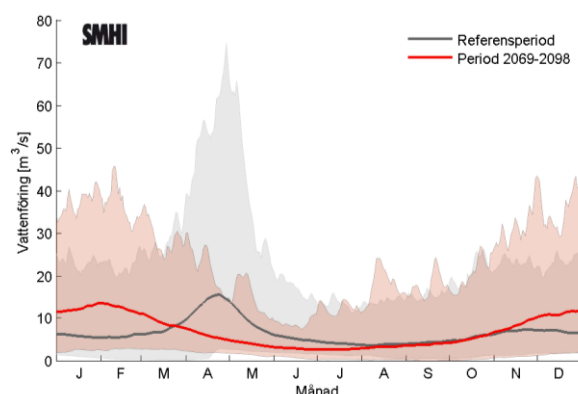
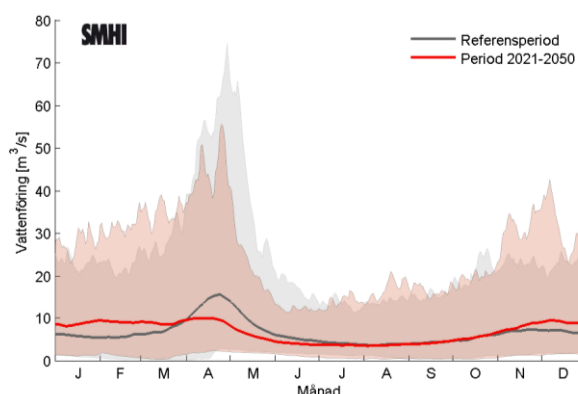


Figur 5.4-2. Den vänstra figuren visar dygnsmedelvattenföring för perioden 1963-1992 och 2021-2050 baserat på 16 klimatsimuleringar. Den högra figuren visar motsvarande baserat på 12 klimatsimuleringar för slutet på seklet (2069-2098). Heldragen svart linje visar medelvattenföring för referensperioden och heldragen röd linje visar medelvattenföring för den framtida tidsperioden. Det grå fältet 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. Samtliga diagram avser Fyrisån.

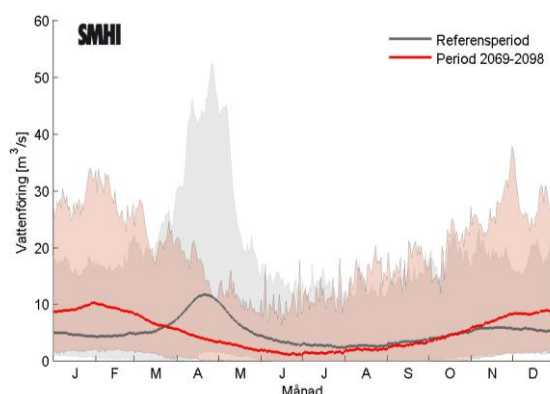
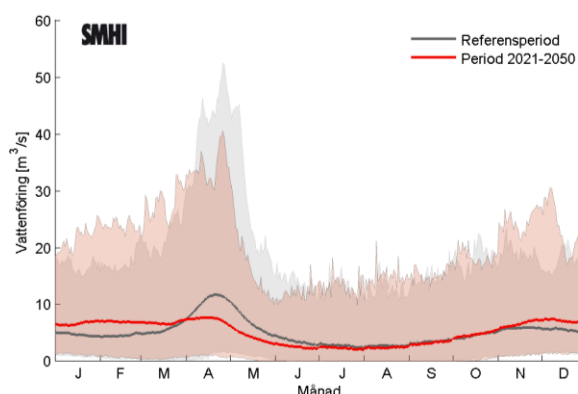
Olandsån 56002



Olandsån 56003

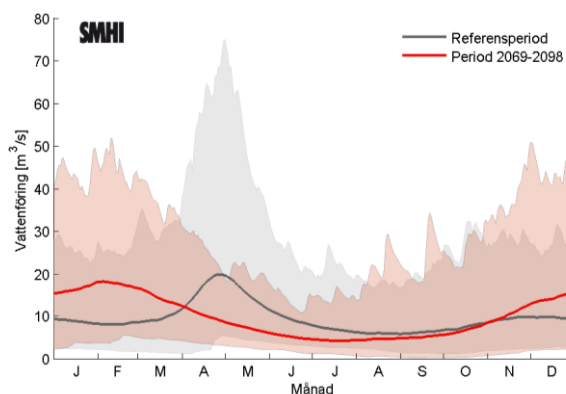
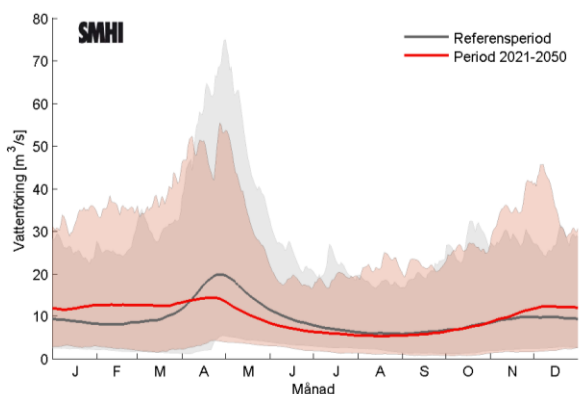


Tämnarån 54501

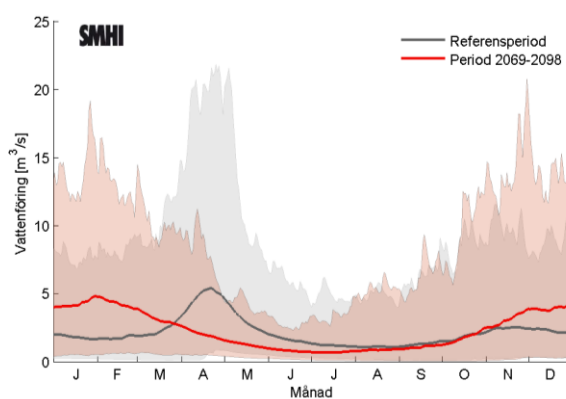
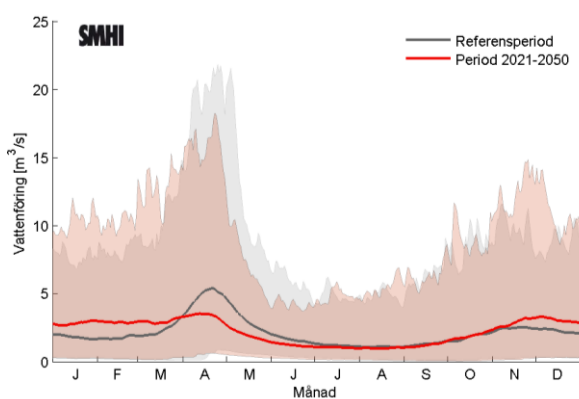


Figur 5.4-3. Den vänstra figuren visar dygnsmedelvattenföring för perioden 1963-1992 och 2021-2050 baserat på 16 klimatsimuleringar. Den högra figuren visar motsvarande baserat på 12 klimatsimuleringar för slutet på seklet (2069-2098). Heldragen svart linje visar medelvattenföring för referensperioden och heldragen röd linje visar medelvattenföring för den framtida tidsperioden. Det grå fältet 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. De två övre raderna visar Olandsån och den nedersta Tämnarån.

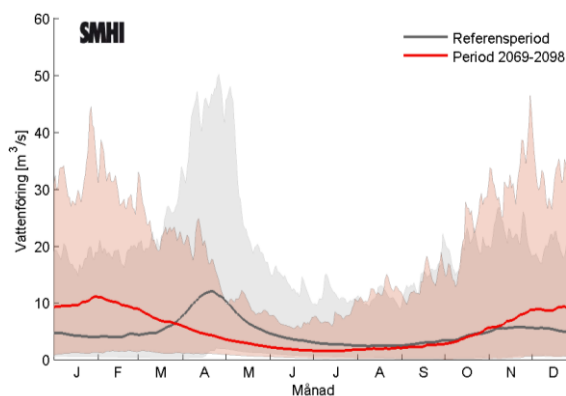
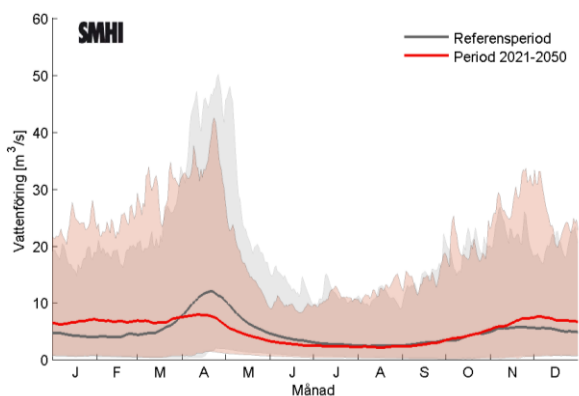
Tämnarån 54002



Örsundaån 61045



Örsundaån 61046



Figur 5.4-4. Den vänstra figuren visar dygnsmedelvattenföring för perioden 1963-1992 och 2021-2050 baserat på 16 klimatsimuleringar. Den högra figuren visar motsvarande baserat på 12 klimatsimuleringar för slutet på seklet (2069-2098). Heldragen svart linje visar medelvattenföring för referensperioden och heldragen röd linje visar medelvattenföring för den framtida tidsperioden. Det grå fältet 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. Den övre raden visar Tämnarån och de två under raderna visar Örsundaån.

5.4.2 Medelvattenföring

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

Tabell 5.4-1. Medelvattenföring enligt SMHIs flödesstatistik.

Nr	Vattendrag	Plats	Medelvattenföring (m ³ /s)
55001	Forsmarksån	Utlopp Åsjön	1,5
55003	Forsmarksån	Mynning i Östersjön	2,8
61048	Fyrisån	Mynning i Vattholma	1,4
61049	Fyrisån	Vendelå mynning	2,7
61054	Fyrisån	Mynning i Fyris-Sävja	14,2
61056	Fyrisån	Mynning i Ekoln	14,3
56002	Olandsån	Ovan Olandsån	2,0
56003	Olandsån	Mynningen i Östersjön	6,6
54001	Tämnarån	Utlopp Tämnaren	5,2
54002	Tämnarån	Mynning i Östersjön	9,5
61045	Örsundaån	Härnevi	2,7
61046	Örsundaån	Mynning i Ekoln	6,0

Medelvattenföringen har beräknats för löpande 30-årsperioder efter tidsperioden 1963-1992 (dvs. 1964-1993, 1965-1994, ..., 2069-2098). Detta har gjorts för samtliga klimatscenarier.

Medelvattenföringen beräknad för perioden 1963-1992 utgör referensvärdet mot vilket beräknad medelvattenföring för övriga 30-årsperioder jämförs med. Förändringen uttrycks i procent.

I figur 5.4-5 visas säsongsmedelvattenföringens förändring för Fyrisåns mynning (61056).

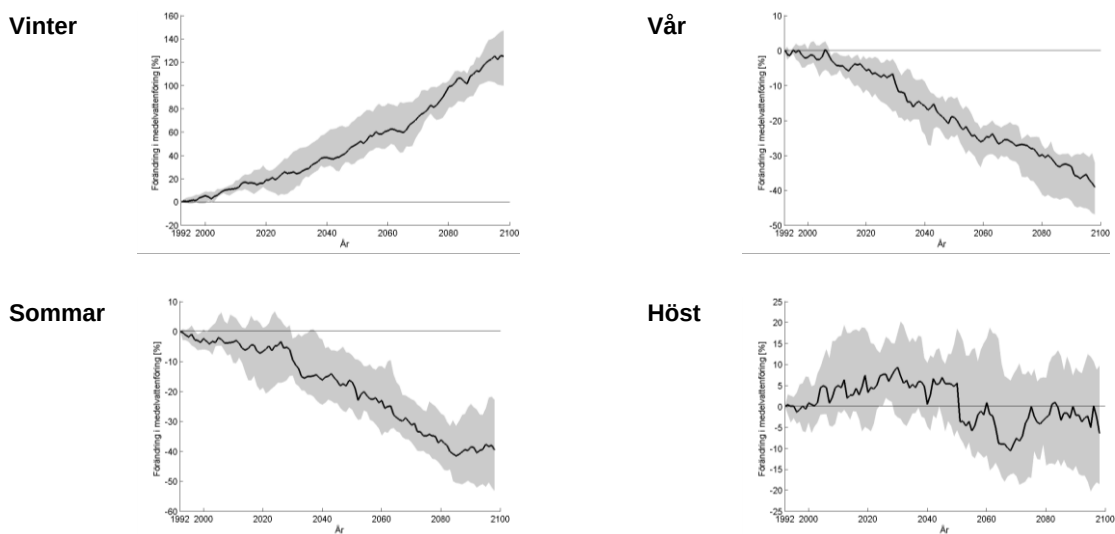
Motsvarande diagram för samtliga vattendrag finns i bilaga 15. De uppvisar samma mönster dvs.

ökning under vintern (december-februari) på mellan 80% och 140% vid seklets slut. För sommaren

(juni-augusti) ses en lika tydlig minskning på runt 40% för samtliga vattendrag. För hösten

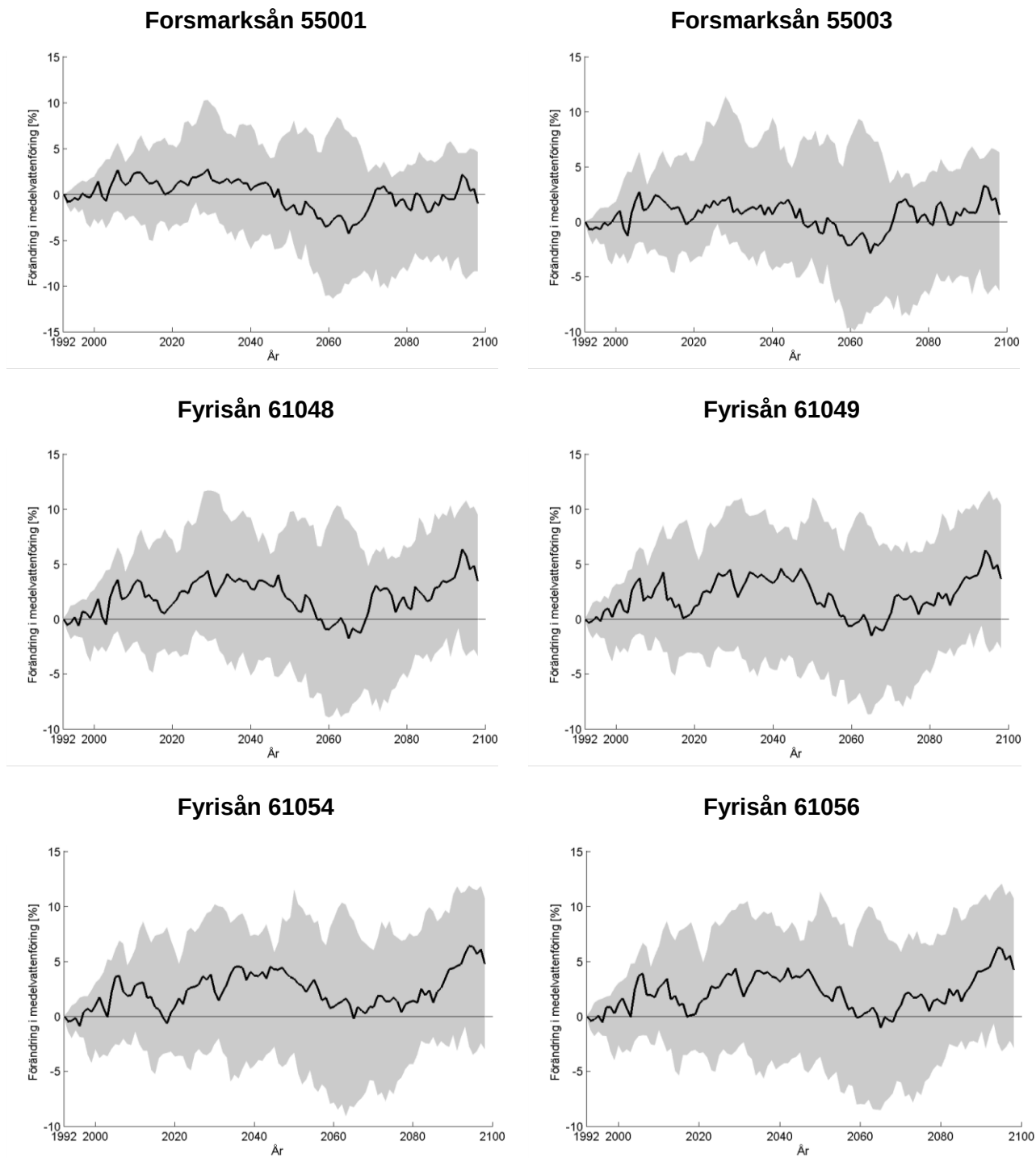
(september-november) ser förändringen ut att vara mindre och är mer otydlig avseende ökning-

minskning. Under våren ser medelvattenföringen ut att vara minskande, med 30-40% vid seklets slut.

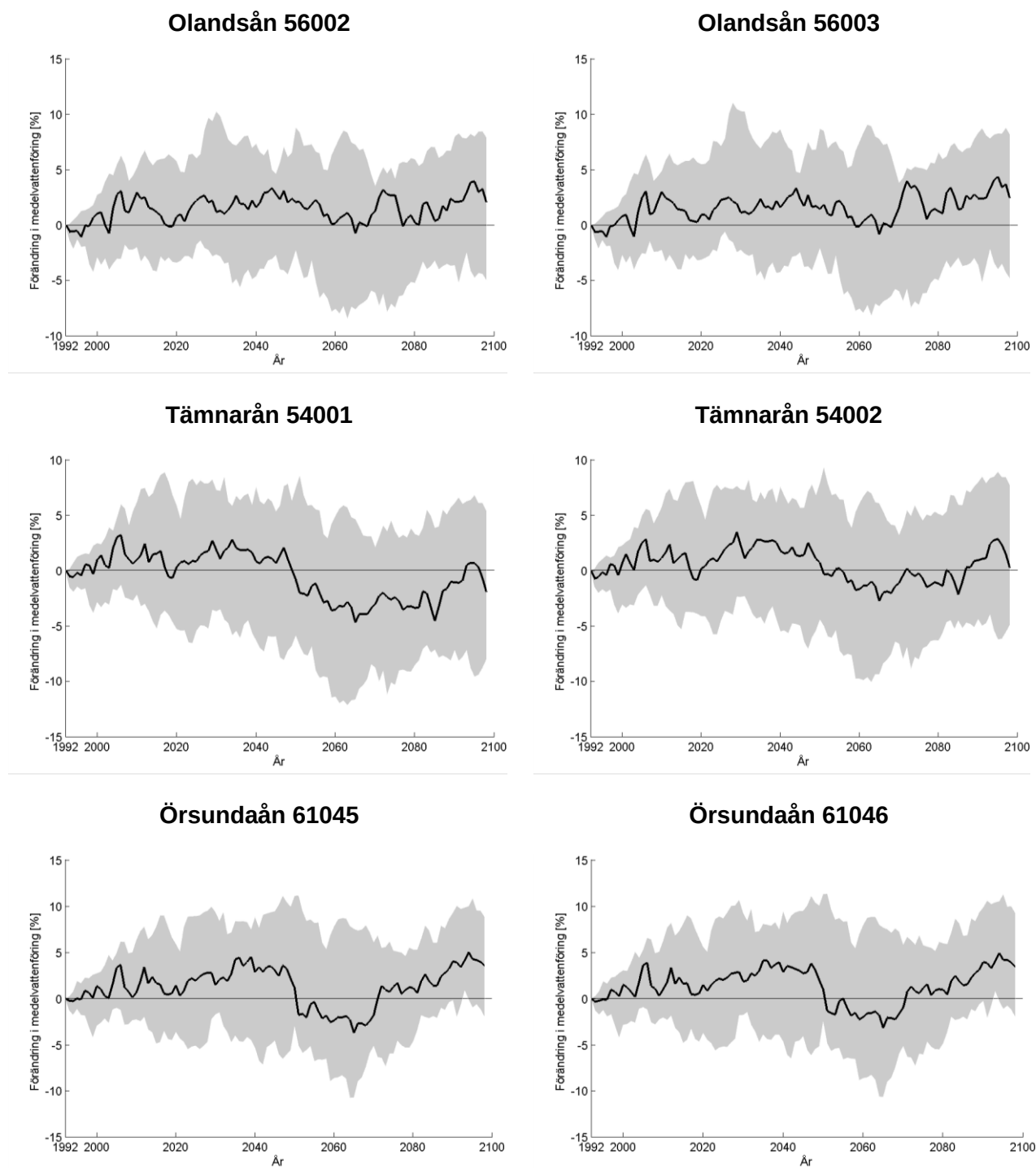


Figur 5.4-5. Den beräknade förändringen av medelvattenföring per säsong för Fyrisåns mynning.

Årsmedelvattenföringens förändring för de fem vattendragen visas i figur 5.4-6 och 5.4-7. Vattendragen i Uppsala län uppvisar stora likheter. Det finns ingen tydlig tendens till ökande eller minskande medelvattenföring på årsbasis. Perioder med ökande och minskande vattenföring kan ses över den studerade tiden .

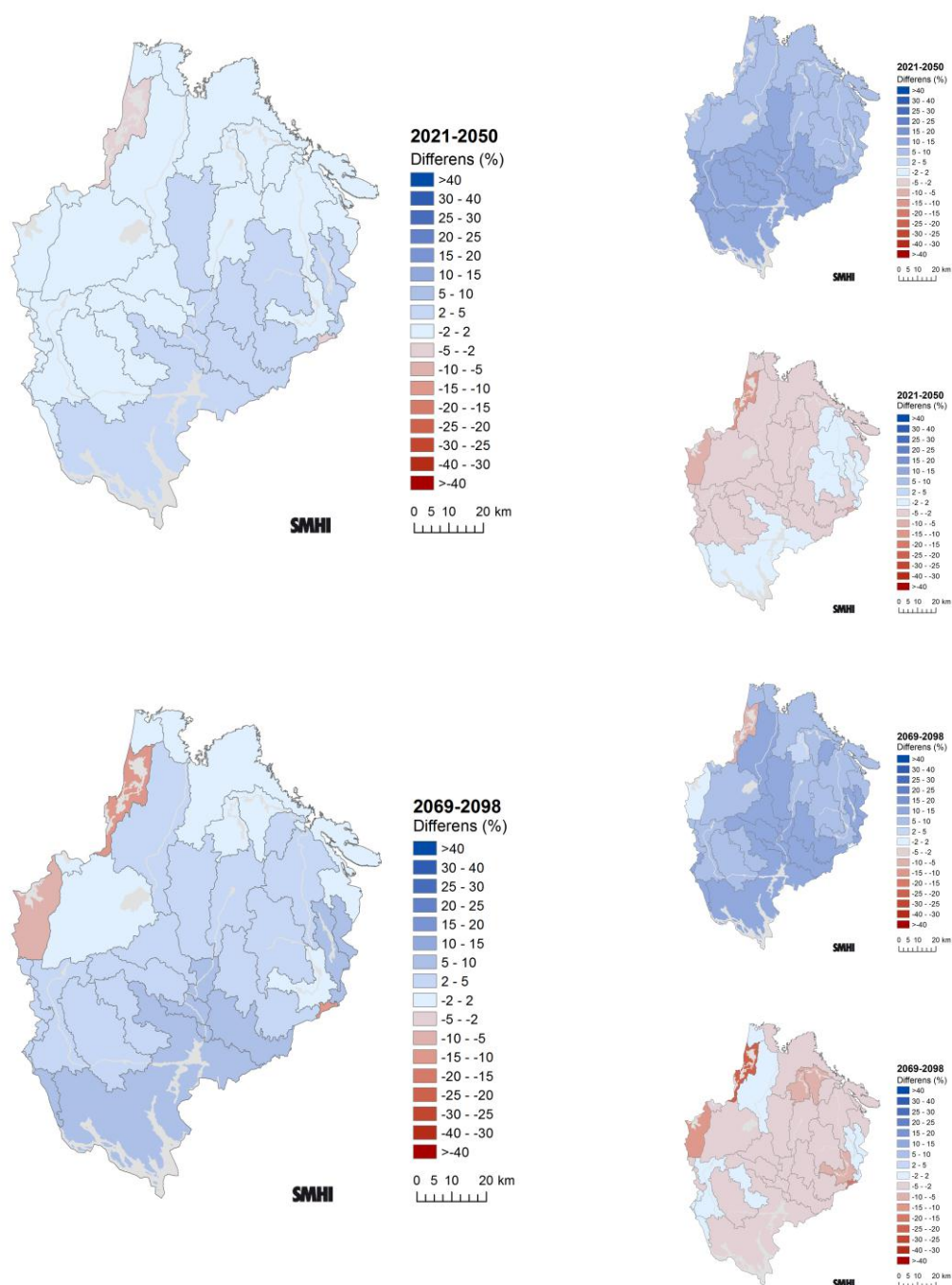


Figur 5.4-6. Procentuell förändring av årsmedelvattenföring i **Forsmarksån och Fyrisån** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års medianvärde (svart linje) är beräknat över de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 medelvärdet av perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.



Figur 5.4-7. Procentuell förändring av årsmedelvattenföring i **Olandsån**, **Tämnrån** och **Örsundaån** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt referensperioden 1963-1992. Varje års medianvärde (svart linje) är beräknat 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.

I figur 5.4-8 visas i kartform medianvärdet av förändringen av den lokala årsmedelvattenföringen i 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 lokala årsmedelvattenföring för samma perioder.



Figur 5.4-8. Förändring av **lokal årsmedelvattenföring** i Uppsala län för perioderna 2021-2050 och 2069-2098 jämfört med referensperioden 1963-1992 (%). De stora kartorna visar medianvärdena medan den övre högra kartan för respektive period visar 75:e percentilen och den nedre högra kartan för respektive period visar 25:e percentilen av samtliga scenariers 100-årsvärden.

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

Den lokala årsmedelvattenföringen enligt klimatscenariemedianen visar en svag ökning i nästan hela länet för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden. Mot slutet av seklet syns en något tydligare ökning av den lokala årsmedelvattenföringen i klimatscenariemedianen på uppemot 5 - 10 % för stora delar av länet. Några mindre delavrinningsområden pekar på en minskad lokal medelvattenföring. Percentilkartorna pekar åt bägge håll för perioderna dvs. ökning respektive minskning men för vissa delområden är signalen mer tydlig.

5.4.3 100-årsflöden

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 och dimensionerad för att klara en 100-årsnivå 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 5.4-2 visar sambandet mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikheten under 100 år. Beräkningen av 100-årsflödets storlek görs med en statistisk beräkning, s.k. 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 5.4-2. 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	39	92	99	100	100	100
5	18	63	86	98	100	100
10	10	39	63	86	99	100
50	2	10	18	33	63	86
100	1	5	10	18	39	63
1000			1	2	5	10
10 000						1

I tabell 5.4-3 visas 100-årsvattenföringen för Forsmarksån, Fyrisån, Olandsån, Tämnrån och Örsundaån beräknad enligt SMHIs flödesstatistik som avser att spegla 1900-talets förhållanden. I tabellen anges också den beräknade 100-årsvattenföringen vid 2000-talets slut som 25-75 percentilerna.

Generellt tyder beräkningarna av 100-årsflöden på att inga större förändringar kan förväntas under kommande sekel i jämförelse med referensperioden 1963-1992 (tabell 5.4-3). De flesta områden visar på en liten, men dock minskning utom möjligen för Örsundaån (61046). Den största minskningen se för Olandsån (56003).

Beräkningarna är gjorda för oreglerade förhållanden och avser vattenföringen dvs. den totala tillrinningen. Att beräkningarna inte tar hänsyn till eventuella regleringar har liten betydelse i detta sammanhang eftersom det rör sig om så pass stora flöden att effekterna inte kan regleras bort.

100-årsflödena 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. Diagram med de enskilda scenarioberäkningarna finns i bilaga 16.

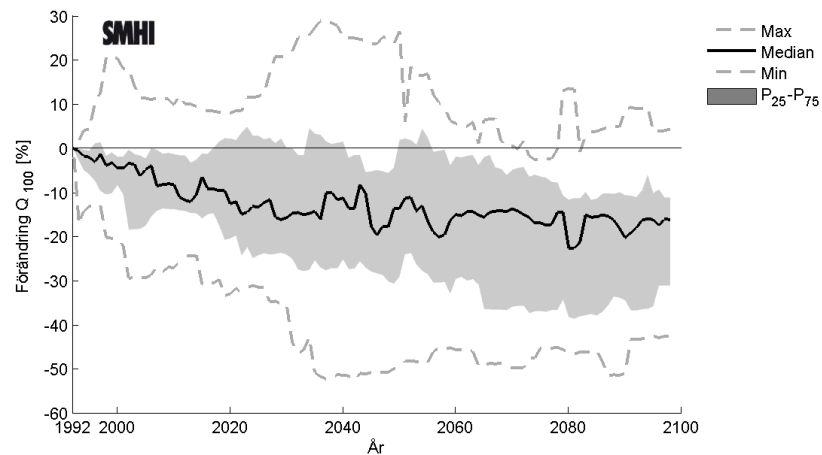
Tabell 5.4-3. Beräknad 100-årsvattenföring för utvalda vattendrag i Uppsala län enligt SMHIs flödesstatistik (HQ 100) för 1900-talet. Den beräknade 100-årsvattenföringen vid århundradets mitt och slut är angiven enligt 25:e och 75:e percentilen av klimatscenarierna.

Nr	Vattendrag	Plats	100-års vattenföring (m ³ /s)		
			Idag flödesstatistik	Seklets mitt beräknade 25- 75 percentiler	Seklets slut beräknade 25- 75 percentiler
55001	Forsmarksån	Utlopp Åsjön	17	12-17	12-15
55003	Forsmarksån	Mynningen i Östersjön	33	22-33	22-29
61048	Fyrisån	Mynning i Vattholma	24	18-24	17-22
61049	Fyrisån	Vendelå Mynning	42	31-43	34-40
61054	Fyrisån	Mynning i Fyris-Sävja	154	116-157	131-157
61056	Fyrisån	Mynningen i Ekoln	155	116-160	127-157
56002	Olandsån	Ovan Olandsån	32	21-32	23-29
56003	Olandsån	Mynningen i Östersjön	78	51-80	55-69
54001	Tämnarån	Utlopp Tämnaren	50	38-50	36-46
54002	Tämnarån	Mynning i Östersjön	120	94-114	94-115
610045	Örsundaån	Härnevi	59	54-60	49-62
61046	Örsundaån	Mynningen i Ekoln	105	86-108	100-113

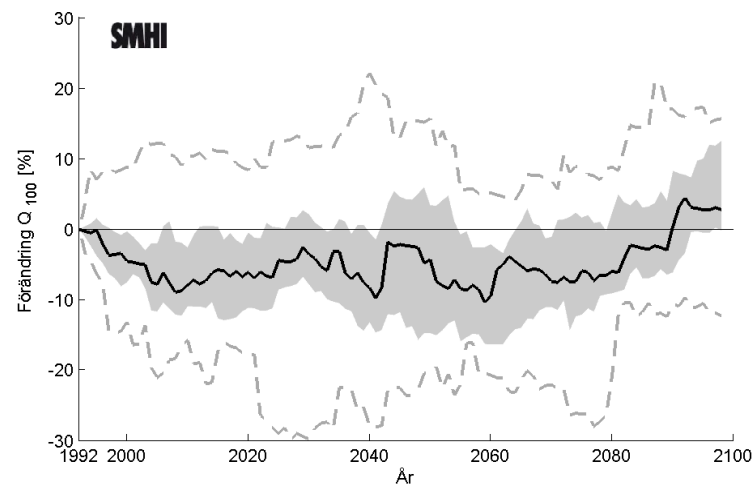


Olandsån svämmar över. Foto: Länsstyrelsen i Uppsala län

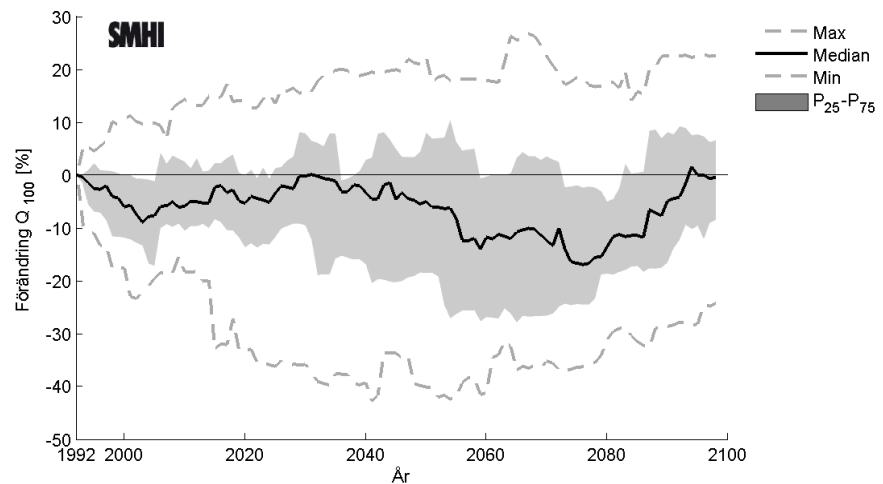
**Forsmarksån
55001 utlopp
Åsjön**



**Forsmarksån
55003 mynning
i Östersjön**

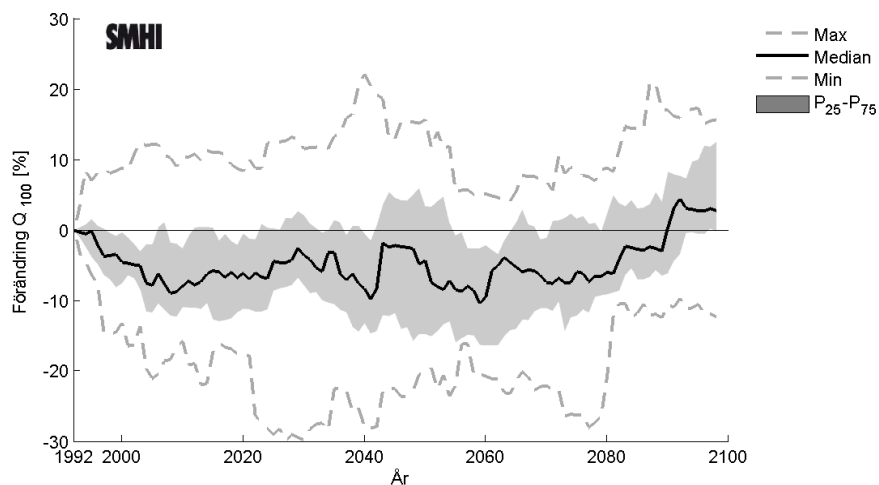


**Fyrisån
61048 mynning
Vattholma**

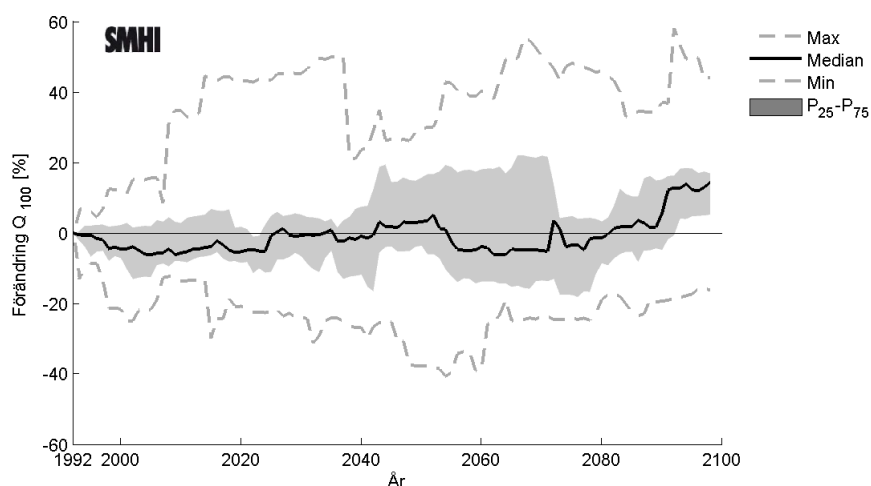


Figur 5.4-9. Procentuell förändring av 100-årsvattenföringen i **Forsmarksån och Fyrisåns mynningen i Vattholma** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årsvattenföringen beräknat för referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats utifrån de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen. Den svarta linjen visar medianen och de streckade linjerna visar max- och minvärde av samtliga klimatscenarier.

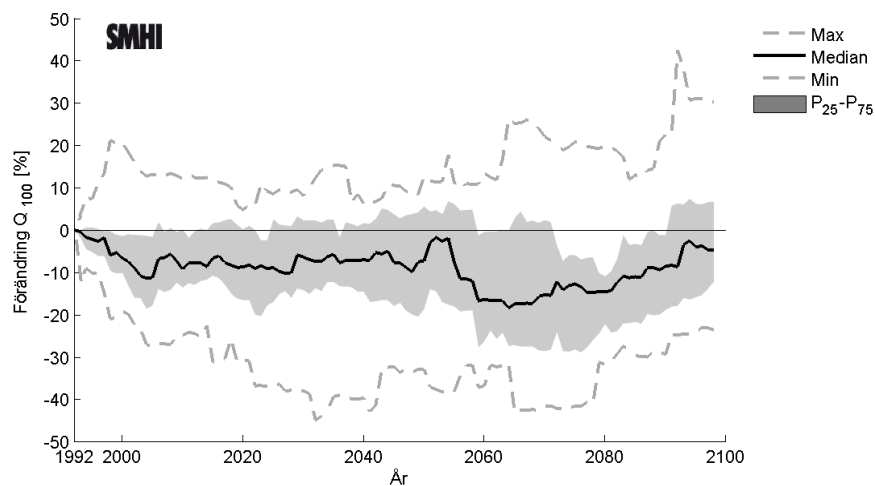
**Fyrisån
61049 Vendelå
mynning**



**Fyrisån
61054 mynning
i Fyris-Sävja**

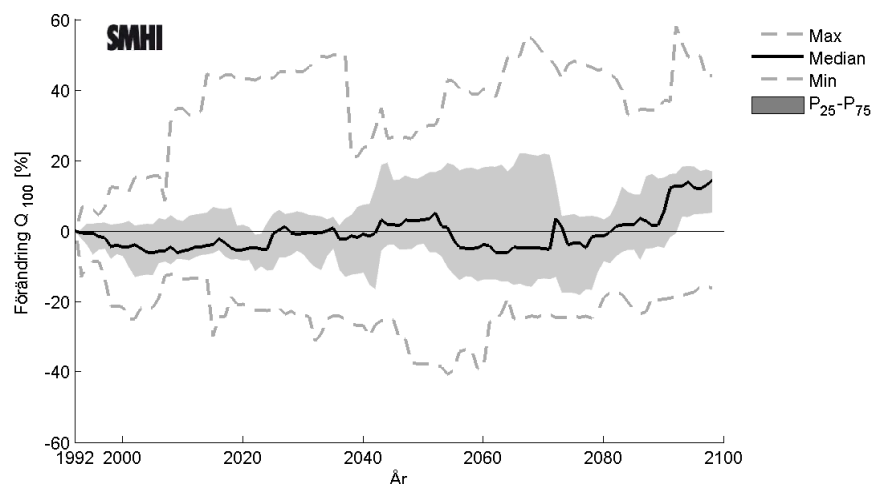


**Fyrisån
61056 mynning
i Ekoln**

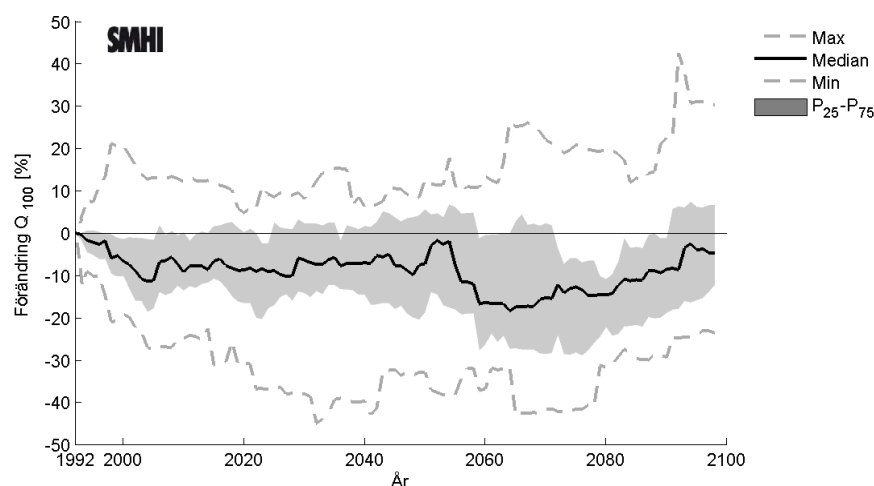


Figur 5.4-10. Procentuell förändring av 100-årsvattenföringen i **Fyrisån** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årsvattenföringen beräknat för referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats utifrån de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen. Den svarta linjen visar medianen och de streckade linjerna visar max- och minvärde av samtliga klimatscenarier.

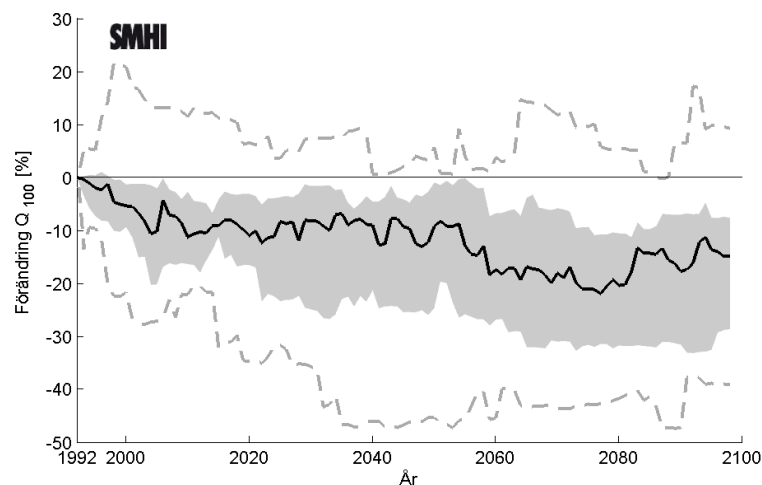
Olandsån
56002 ovan
Olandsån



Olandsån
56003 mynning i
Östersjön

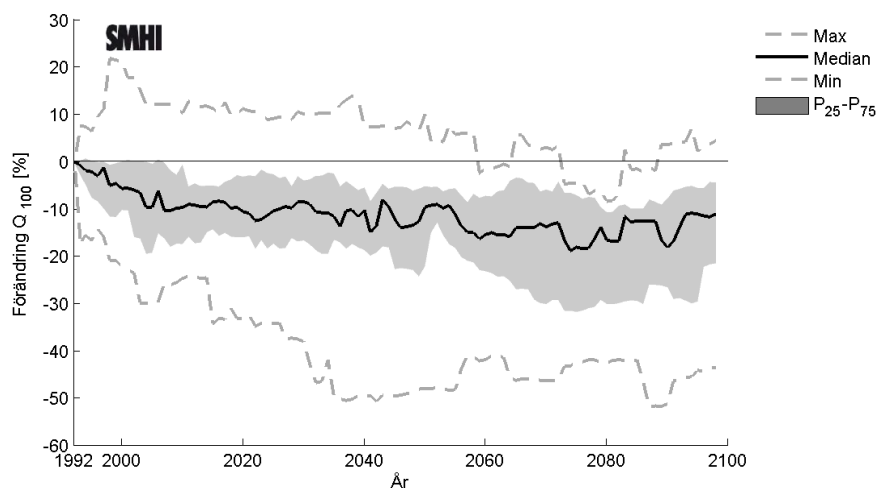


Tämnarån
54001 utlopp
Tämnaren

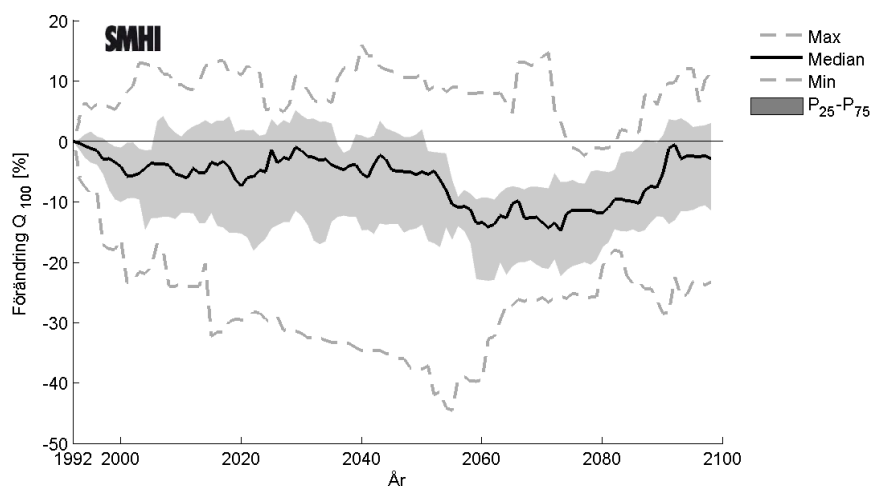


Figur 5.4-11. Procentuell förändring av 100-årsvattenföringen i **Olandsån och Tämnarens utlopp i sjön Tämnaren** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årsvattenföringen beräknat för referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats utifrån de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen. Den svarta linjen visar medianen och de streckade linjerna visar max- och minvärde av samtliga klimatscenarier.

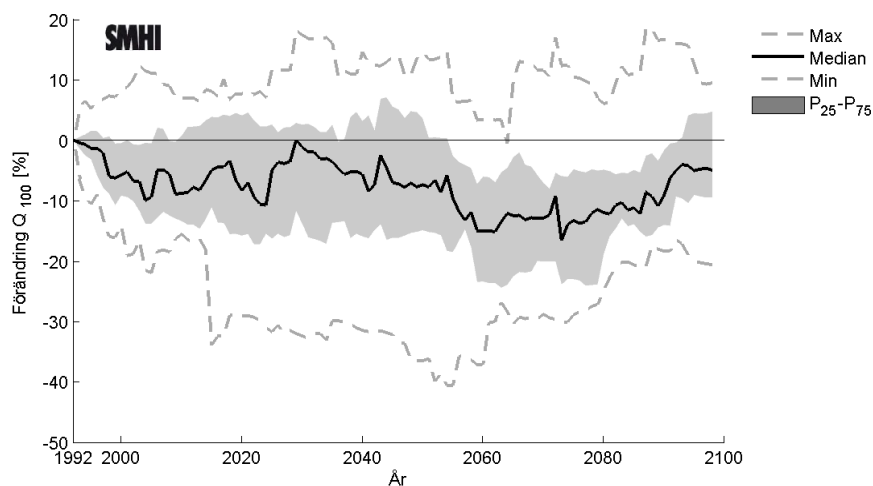
**Tämnarån
54002 mynning
i Östersjön**



**Örsundaån
61045 vid
Härnevi**



**Örsundaån
61046 ymning i
Ekoln**



Figur 5.4-12. Procentuell förändring av 100-årsvattenföringen i **Tämnaråns mynning i Östersjön** och i **Örsundaån** enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årsvattenföringen beräknat för referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats utifrån de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen. Den svarta linjen visar medianen och de streckade linjerna visar max- och minvärde av samtliga klimatscenarioer.

I figur 5.4-13 visas medianvärdet av förändringen av den **lokala 100-årsvattenföringen** i hela länet beräknat från samtliga klimatscenarier för perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098. De mindre kartorna visar 25:e percentilen och 75:e percentilen av samtliga scenariers förändring av den lokala 100-årsvattenföringen för samma perioder.

I kartbilderna visas den lokala 100-årsvattenföringen, på samma sätt som för den lokala medelvattenföringen i figur 5.4-8, det vill säga bara det bidrag av vatten som rinner från varje enskilt delavrinningsområde visas. Det ger en bild av hur mindre vattendrag, vars vattenföring endast beror av lokala förhållanden, påverkas.

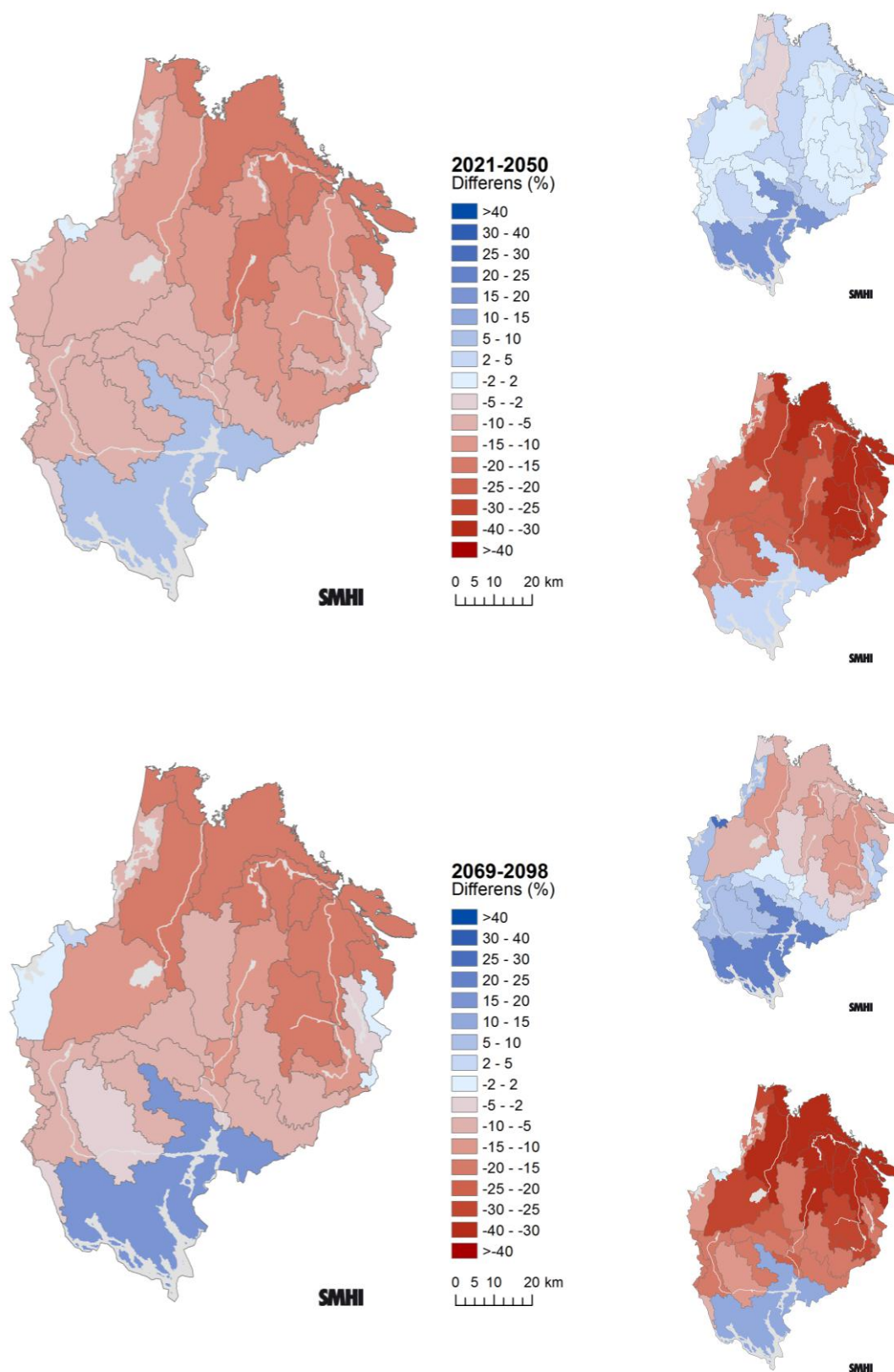
För perioden 2021-2050 ses en minskning för större delen av länet men en ökning för den södra delen av länet. Percentilkartorna pekar i princip åt varsitt håll men för den södra delen av länet är bilden samstämmig dvs. en ökning av den lokala 100-årsvattenföringen. Denna generella bild förstärks mot slutet av seklet enligt både median och percentilkartorna för 2069-2098.

I figur 5.4-14 visas i kartform medianvärdet av förändringen av den **totala 100-årsvattenföring** i hela länet beräknat från samtliga klimatscenarier för perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098. De mindre kartorna visar 25:e percentilen och 75:e percentilen av samtliga scenariers totala 100-årsvattenföring för samma perioder. I dessa kartbilder visas alltså det ackumulerade flödesbidraget från alla uppströms avrinningsområden.

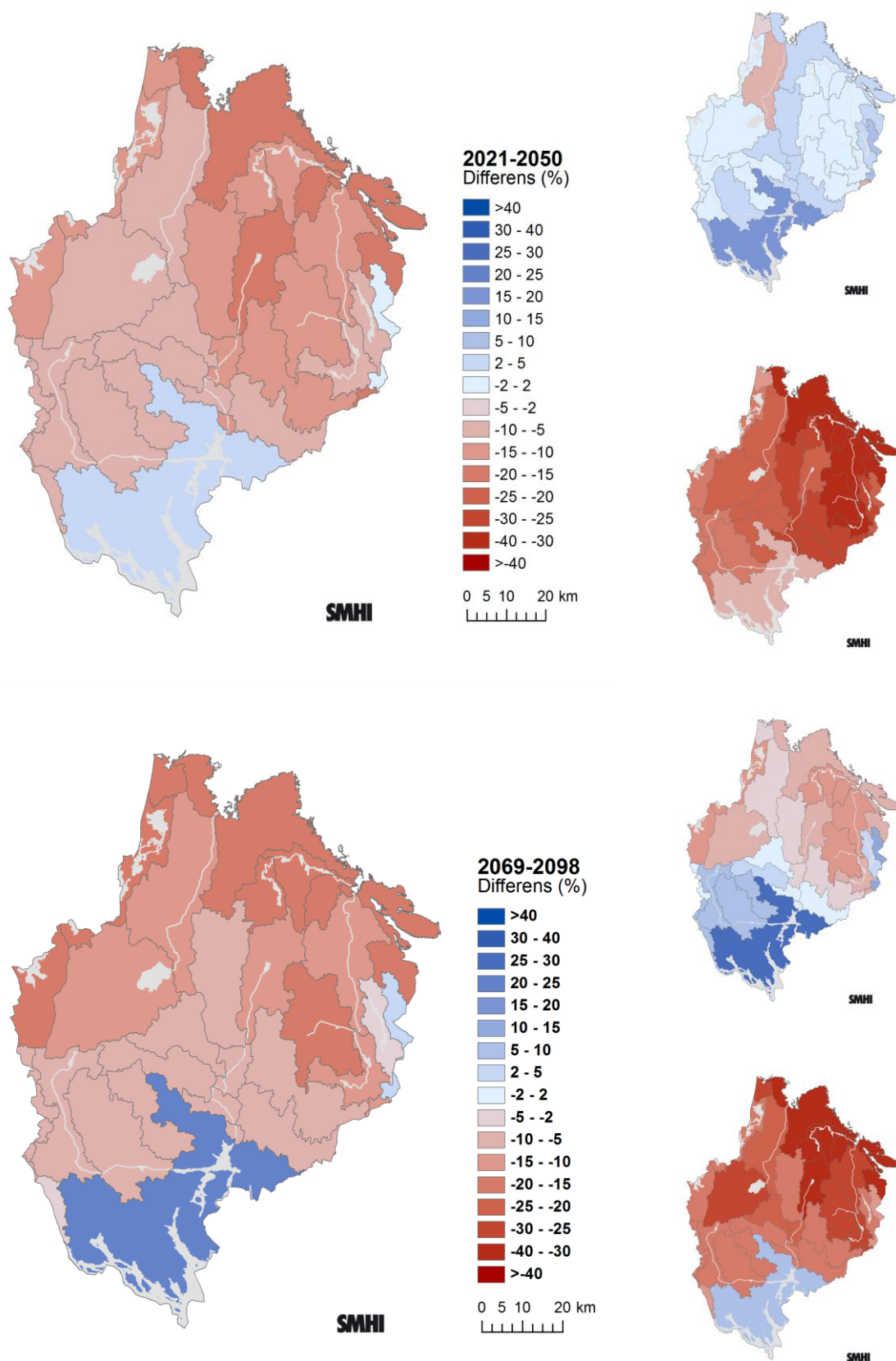
I kartorna syns ett mönster som liknar det för den lokala 100-årsvattenföringen med smärre variationer.



Högt vatten vid Ensjödammen i Forsmarksån, Foto: Länsstyrelsen i Uppsala län.



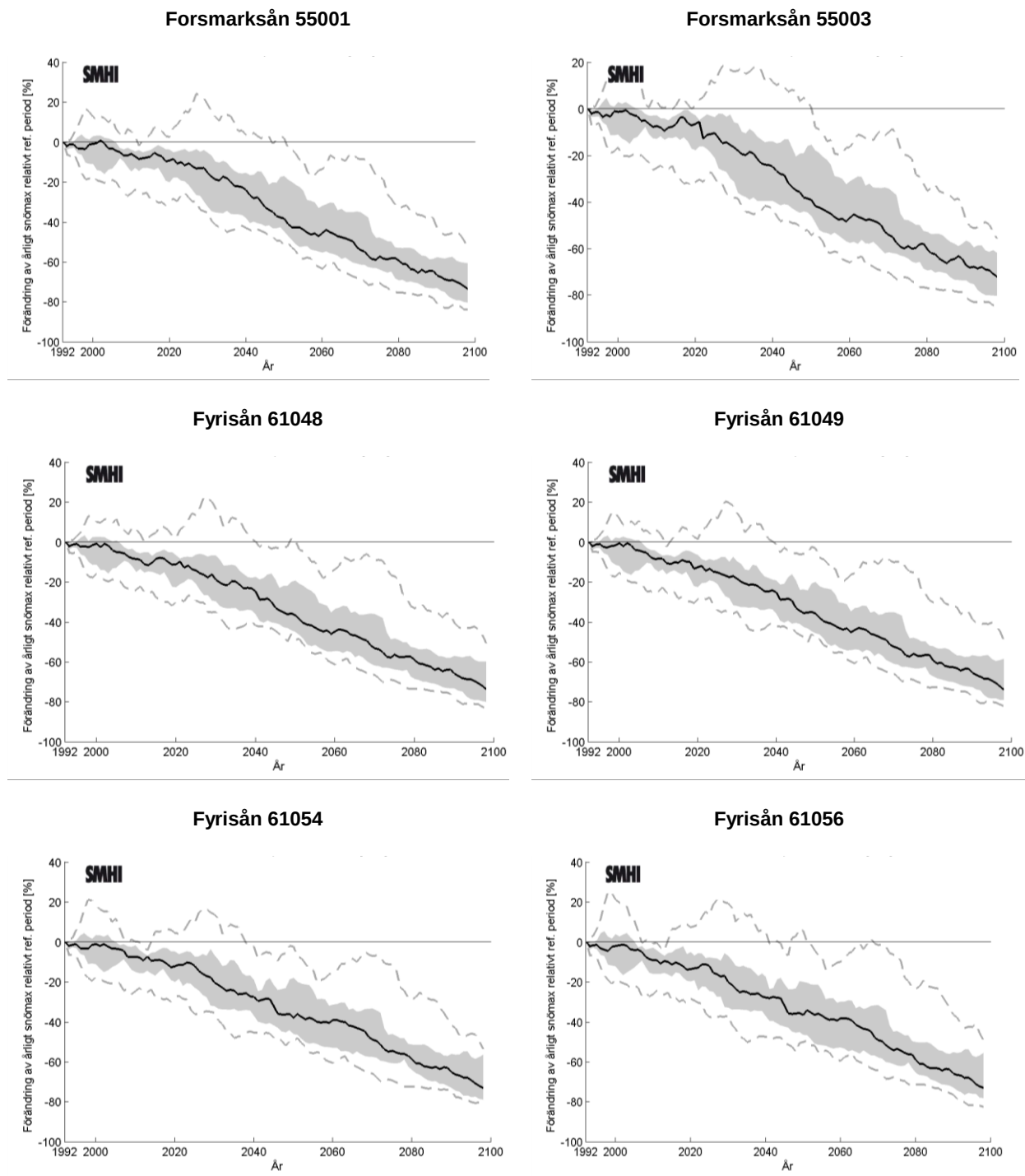
Figur 5.4-13. Förändring av **lokal 100-årsvattenföring** i Uppsala län för perioderna 2021-2050 (överst) och 2069-2098 (nederst) jämfört med referensperioden 1963-1992. De stora kartorna visar medianvärdena för respektive tidsperiod. De övre högra kartorna för respektive tidsperiod visar 75:e percentilen och de nedre högra kartorna för respektive tidsperiod visar 25:e percentilen av samtliga scenariers 100-årsvärden.



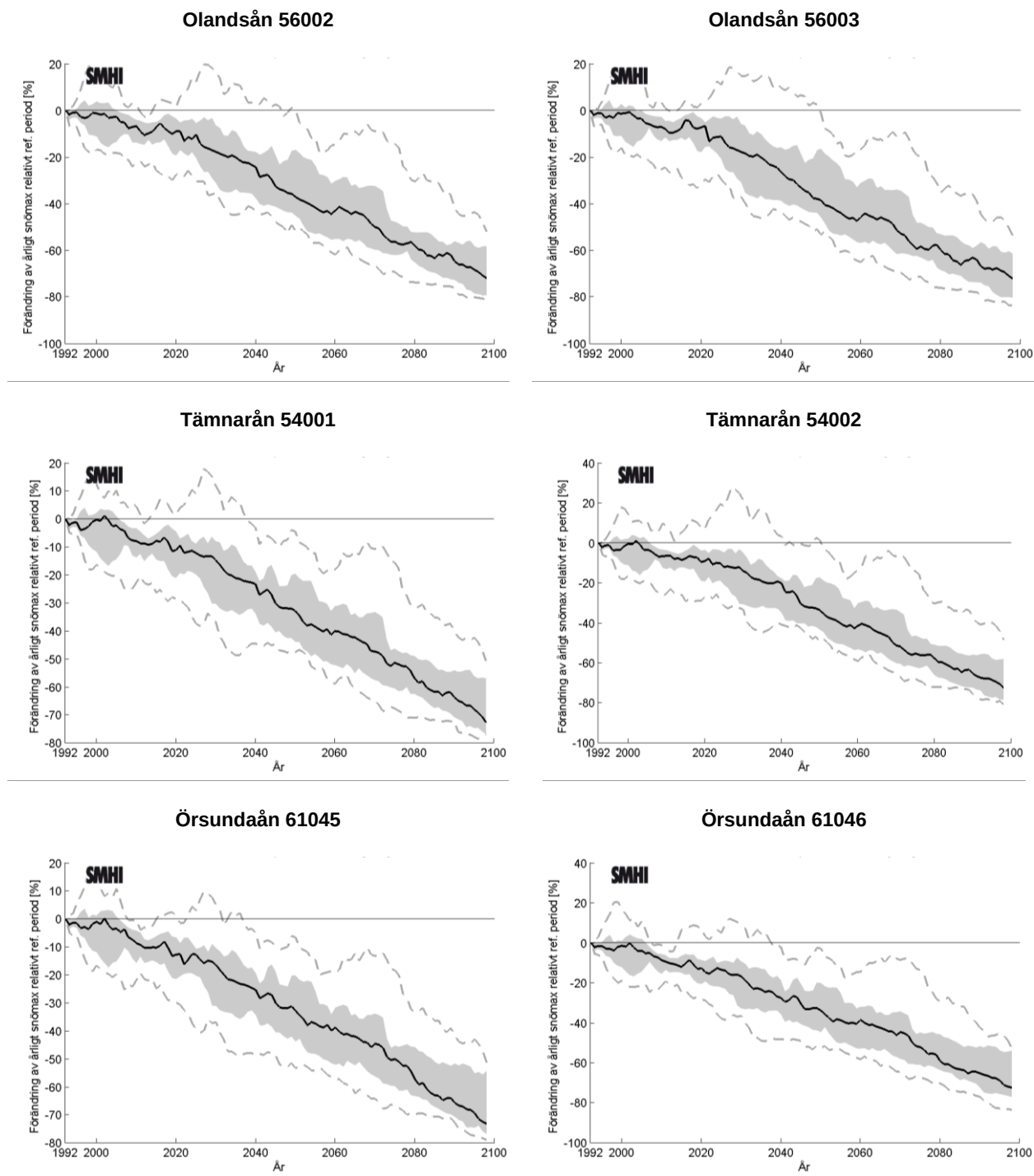
Figur 5.4-14. Förändring av **total 100-årsvattenföring** i Uppsala län för perioderna 2021-2050 (överst) och 2069-2098 (nederst) jämfört med referensperioden 1963-1992. De stora kartorna visar medianvärdena för respektive period. De övre högra kartorna för respektive period visar 75:e percentilen och de nedre högra kartorna för respektive period visar 25:e percentilen av samtliga scenariers 100-årsvärden.

5.5 Snö

Framtida maximalt vatteninnehåll i snön under året och framtida snödaggar har beräknats med HBV-modellen för olika delavrinningsområden med klimatindata som beskrivs i kapitel 4.6.



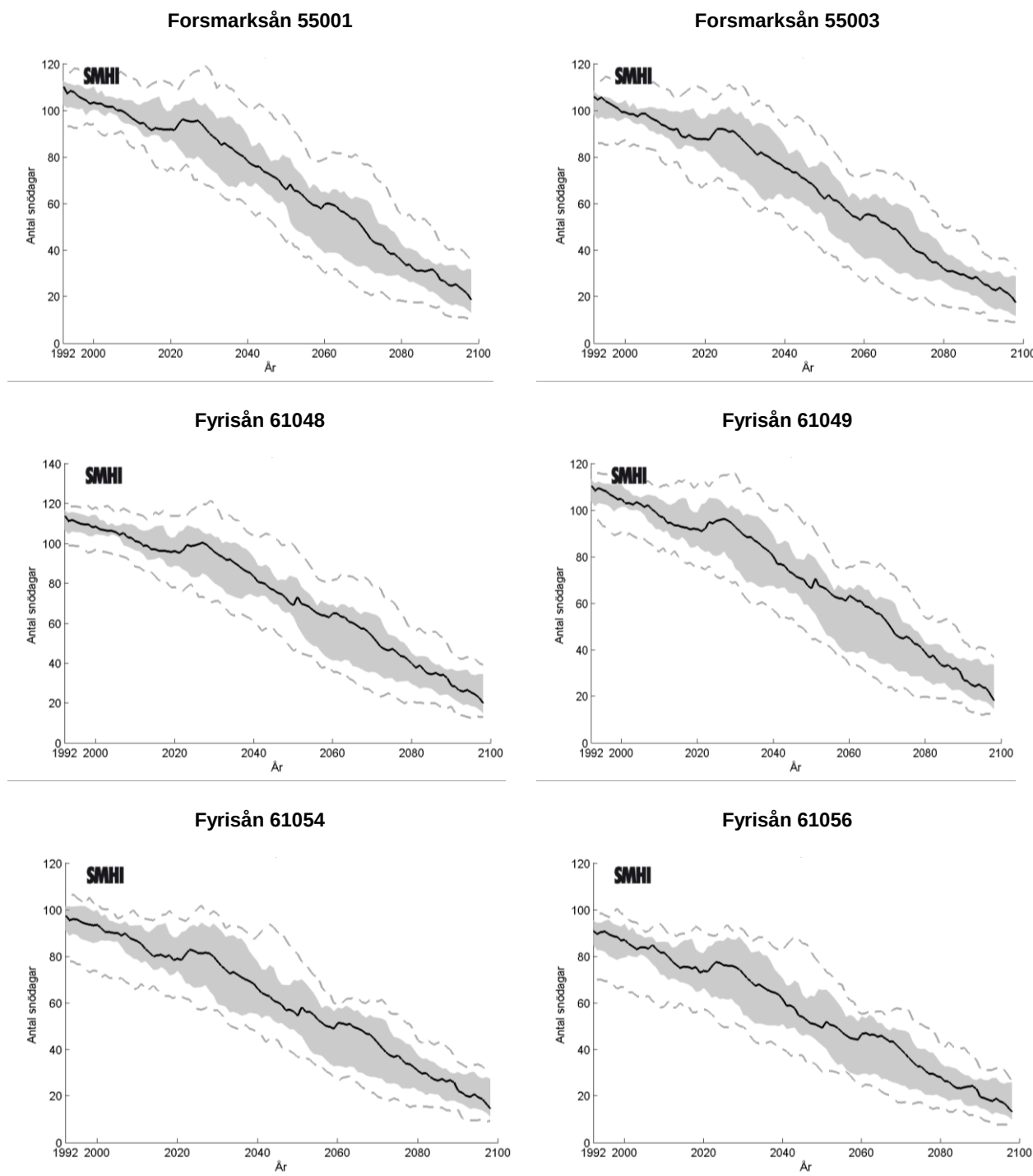
Figur 5.5-1. Framtida förändring av snöns maximala vatteninnehåll i olika delavrinningsområden till Forsmarksån och Fyrisån jämfört med referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från medel av snömax för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet från 1963-1992). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Det skuggade området markerar spannet mellan 25:e och 75:e percentilen av scenarioensembeln. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar.



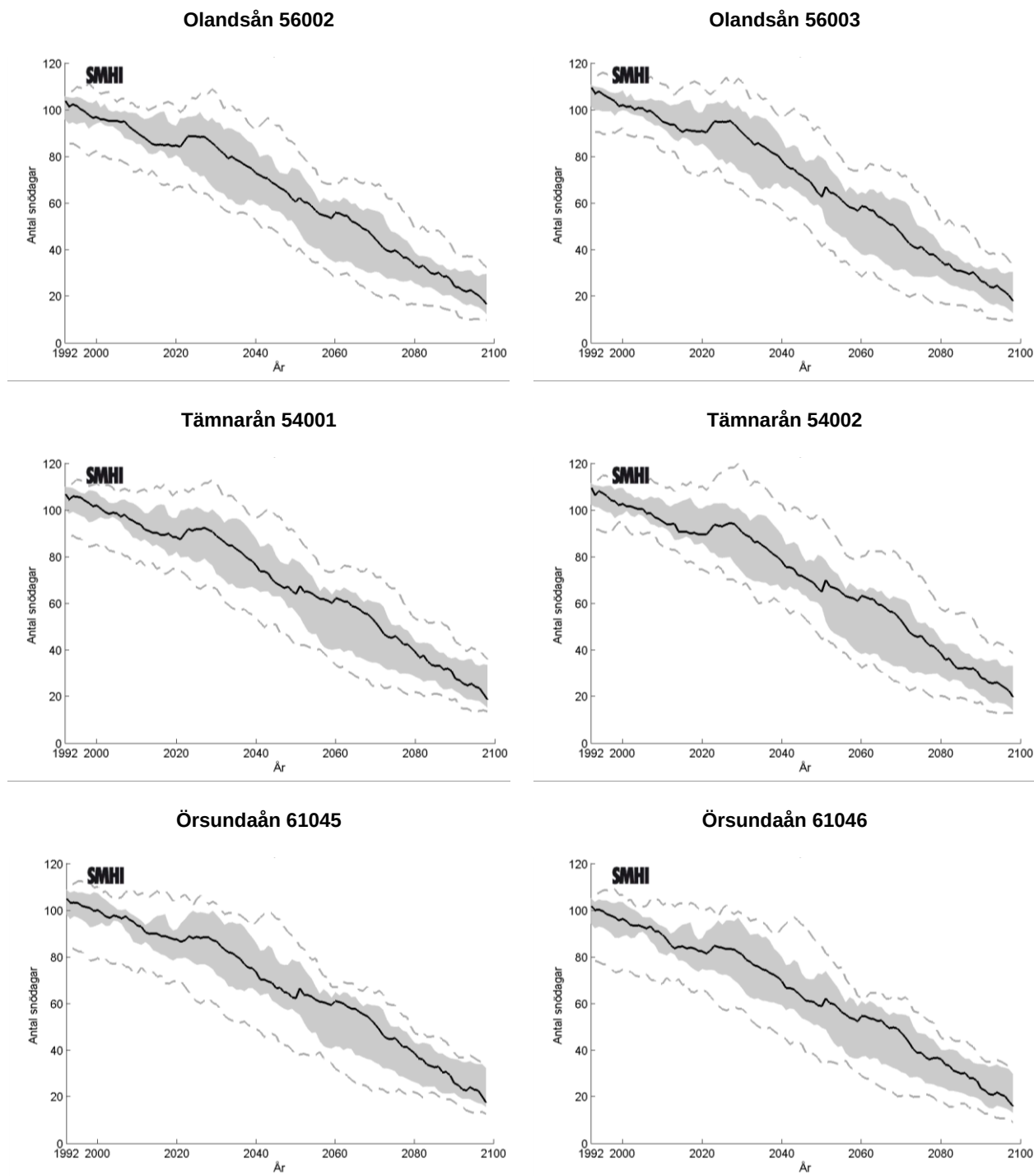
Figur 5.5-2. Framtida förändring av snöns maximala vatteninnehåll i olika delavrinningsområden till Olandsån, Tämnrån och Örsundaån, jämfört med referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från medel av snömax för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet från 1963-1992). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Det skuggade området markerar spannet mellan 25:e och 75:e percentilen av scenarioensembeln. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar.

Den största mängden snö under vintersäsongen uttrycks som snöns maximala vatteninnehåll. Det är vatteninnehållet i snön under det dygn som har störst snötäcke, dvs. varje års maximala snötäcke. I figur 5.5-1 och 5.5-2 visas tidsförloppet för glidande 30-årsperioder. Samtliga 12 delavrinningsområden visar en kraftig minskning av snöns maximala vatteninnehåll. I mitten på seklet har snötäcket

minskat med 30-40% och vid slutet av seklet med ca 70% jämfört med referensperioden 1963-1992. Förändringen ser ut att starta efter 2020 (figur 5.5-1 och 5.5-2). Utvecklingen är kopplad till temperaturutvecklingen under vintern (se figur 5.1-3).



Figur 5.5-3. Snöns varaktighet (antal dagar) i olika delavrinningsområden till Forsmarksån och Fyrisån. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Det skuggade området markerar spannet mellan 25:e och 75:e percentilen av scenarioensembeln. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar.



Figur 5.5-4. Snöns varaktighet (antal dagar) i olika delavrinningsområden till Olandsån, Tämnrån och Örsundaån. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Det skuggade området markerar spannet mellan 25:e och 75:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar.

Antal dagar med snötäckning med vatteninnehåll > 5mm visas för de olika delområdena i figur 5.5-3 och 5.5-4. Antalet dagar visas som glidande 30-årsperioder. Samtliga delavrinningsområden visar likartade förlopp. Forsmarksån går i medeltal från ca 110 dagar i dagens klimat till ca 70 dagar i mitten av seklet och vid slutet av seklet är det endast ca 20 snöddagar. För Fyrisån är motsvarande siffror från 90-110 dagar i nuvarande klimat till 60-80 dagar i mitten på seklet och 10-20 dagar i slutet av seklet. Det är alltså markant nedgång av antalet snöddagar.

6 Havsvattenstånd

6.1 Det globala havsvattenståndet

Havsvattenståndets variation beror av många faktorer. Globalt sett är de viktigaste den termiska expansionen (havets utvidgning vid uppvärmning) och bidrag från smältande glaciärer och de stora landisarna på Grönland och Antarktis. Ändrade nederbördsförhållanden på dessa stora isar har också stor betydelse. Det finns även stora lokala skillnader, som beror på ändrade salthaltsförhållanden, ändringar i det lokala vindklimatet, ändrade gravitationsfält när de stora isarna smälter samt ändrade landhöjnings- och landsänkningsförhållanden när belastningen på jordskorpan förändras om trycket från de stora isarna minskar. Eftersom de mest extrema vattennivåerna oftast är mest intressanta lokalt så betyder ändrad frekvens, intensitet och riktning hos stormar mycket. Ännu kvarstår en hel del frågetecken rörande framtidens havsnivåer.

I början på 1990-talet skickades flera satelliter upp vars syfte var att mäta jordytan med stor precision. Dessa mätningar visar att havsytan globalt i medeltal stigit drygt 3 mm/år under perioden 1991-2003. Detta syns även i svenska mätserier. Det finns samtidigt områden som stigit mer, eller mindre, bland annat beroende på variationer i temperatur.

Frågan om framtidens havsnivåer har blivit alltmer aktuell under de år som gått sedan IPCC presenterade sin fjärde Assessment Report (AR4) i januari 2007 (IPCC, 2007) och som utgick från den då tillgängliga klimatforskningen. AR4 angav 18-59 cm som ett intervall för höjningen av havsnivån, med regionala variationer. I bedömningen ingick effekten av havets volymexpansion orsakad av uppvärmningen och bidrag från smältande landbaserade isar. IPCC noterade att det inte fanns tillräckligt underlag för att bedöma huruvida landisarnas avsmältning skulle ytterligare accelerera i framtiden. Sedan dess har flera vetenskapliga artiklar publicerats som betonar risken för att isavsmältningen kan komma att ske snabbare och att världshavet kan komma att stiga mer än vad som tidigare antagits.

Nyare uppgifter från den internationella forskningen presenteras i tabell 6-1. Den är baserad på de uppgifter som nått SMHI hittills och gör inte anspråk på att vara fullständig. Observera att siffrorna inte är helt jämförbara eftersom de utgår från olika referensperioder. Därför har den aktuella referensperioden angivits i tabellen. Samtliga referenser bygger på vetenskapliga studier SMHI har presenterat en kunskapssammanställning över framtidens havsnivåer i ett hundraårsperspektiv i en rapport (Bergström, 2012).

Senare bedömningar av havets framtida nivåer skiljer sig från IPCC:s siffror från 2007. En del av skillnaden är dock skenbar och kan till en del bero på att uppgifterna presenteras på ett annat sätt i Assessment Report AR4 (IPCC, 2007) än i IPCC:s tredje Assessment Report (TAR) (IPCC, 2001). IPCC tolkas också ibland alltför bokstavligt utan att man tar hänsyn till att IPCC - som det uttryckligen skrivs i sammanfattningen för beslutsfattare - inte medräknat effekterna av isflöden från inlandsisarna till havet, så kallade dynamiska effekter (Naturvårdsverket, 2007).

Ytterligare en orsak är att de olika källorna använder olika sannolikhetsnivåer som ofta skiljer sig åt. Jämförelsen mellan IPCC AR4 och den holländska Deltakommitténs bedömningar diskuteras ingående av Vellinga m.fl. (2008) i ett underlagsdokument till Deltakommittén. Man betonar att det holländska arbetet fokuserar på den övre gränsen av tänkbara utvecklingar genom att använda A1F1-scenariot för framtida utsläpp. En stor skillnad ligger också i bedömningen av hur isarna på Antarktis och Grönland kommer att utvecklas. IPCC:s högsta siffra (59 cm) och det högsta värdet från UK Climate Projections science report (75,8 cm) har gemensamt att de representerar 95-percentilen, vilket i detta sammanhang alltså inte kan ses som en övre gräns (Lowe et al., 2009).

I Köpenhamns klimatanpassningsplan som kom ut på hearing i februari 2011 anges också en medelvattenhöjning på strax under 1 m som sannolik fram till 2100 (Københavns Kommune, 2011).

I en kunskapssammanställning av AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme) 2011 (AMAP, 2011) behandlas bl.a. havsnivåns utveckling. Författarna bedömer att havsnivån kan stiga mellan 0,9 m och 1,6 m från 1990 till 2100 och att en stor del av höjningen beror på avsmältning från Arktiska isen. Vad gäller bidraget från värmeutvidgningen följer bedömningen IPCC:s AR4. I den svenska kunskapssammanställningen som publicerades 2011 (Rummukainen & Källén, 2009) konstateras att flera studier pekar på att landisarna bidrar till havsnivåhöjningen, om än i lägre grad än vad som bedöms i AMAP (2011). Man poängterar att betydande osäkerheter kvarstår om hur stor havsnivåhöjningen blir till år 2100, och givetvis även därefter. Studier under senare år av de landbaserade isarna visar att deras framtida bidrag gör den högre bedömningen i AR4 mer trolig än den lägre.

Tabell 6-1. Sammanställning av internationella utredningar avseende stigande havsnivå.

Datum	Källa	Referensperiod	Höjning till ungefär 2100 (cm)
Januari 2007	IPCC (2007)	1980-1999	18-59 (exkl. isdynamik)
Hösten 2008	Deltacommissie (2008) (Holland)	1990	55-120
April 2009	Rummukainen och Källén (2009)	2009	<i>"det kan röra sig om en meter under de närmaste 100 åren"</i>
Juni 2009	Ministry of Natural Resources and Environment (2009), Vietnam	1980-1999	75 (65-100)
Juni 2009	UK Climate Projections science report (Lowe et al., 2009)	1980-1999	11,6-75,8 runt Storbritannien och Irland
September 2009	Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap i Norge (2009)	2000	80
November 2009	Copenhagen Diagnosis, (2009)	1980-1999	<i>"at least twice as much as projected by Working Group 1 of the IPCC AR4", "it may well exceed 1 m"</i>
November 2009	NOAA, 2009		3-4 fot (90-120 cm)
November 2009	Netherlands Environmental Assessment Agency PBL et al. (2009)	1990	55-110 (45-105 lokalt för Holland)
Februari 2010	Australian Department of Climate Change, (2010)	1990	110
Februari 2011	Köpenhamns klimatanpassningsplan (Københavns Kommune, 2011)	2010	100
2011	SWIPA 2011 Assessment (AMAP, 2011)	1990	90-160
November 2012	Turn Down the Heat (World Bank, 2012)		<i>"0.5 to 1 m and possibly more"</i>

Världsbanken utkom med en rapport i november 2012 som skrivits av en grupp vid Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics (PIK), med stöd av flera vetenskapliga granskare (World Bank, 2012). Rapporten belyser riskerna med en global temperaturhöjning på 4 grader. Rapporten sammanfattar riskerna med att en uppvärmning på 4°C sannolikt leder till en

havsnivåhöjning på 0.5 till 1 meter och möjligen högre fram till 2100, samt att inom kommande århundraden kan en havsnivåhöjning med ytterligare flera metrar förverkligas.

Det är viktigt att notera att de flesta uppskattningar som förekommer rörande framtida havsnivåer bygger på något eller några av IPCC:s utsläppsscenarier. Det innebär att effekterna av eventuella utsläppsbegränsningar till följd av internationella avtal inte medräknats. Om man lyckas genomföra utsläppsbegränsningar så minskar stigningstakten, men den upphör inte helt på grund av klimatsystemets stora tröghet.

Sammantaget pekar de internationella sammanställningar och bedömningar, som SMHI tagit del av, på att en övre gräns för hur mycket havsytans nivå kan komma att stiga är ungefär 1 m under perioden 1990-2100 sett som ett globalt medelvärde. Utifrån detta värde och antaganden om lokala effekter har framtida medelnivåer och extremnivåer beräknats för Uppsala län.

6.2 Havsvattenstånd längs Uppsala läns kust i dagens klimat

Havspeglar observerar vattenståndet i havet. I Uppsala län startade mätningar av havsvattenståndet redan 1849 med dygnsnoteringar vid Djursten. Mätstationen vid Björn startade 1891 och lades ner 1978. Vid Forsmark startade mätningarna 1975 (figur 6-1).

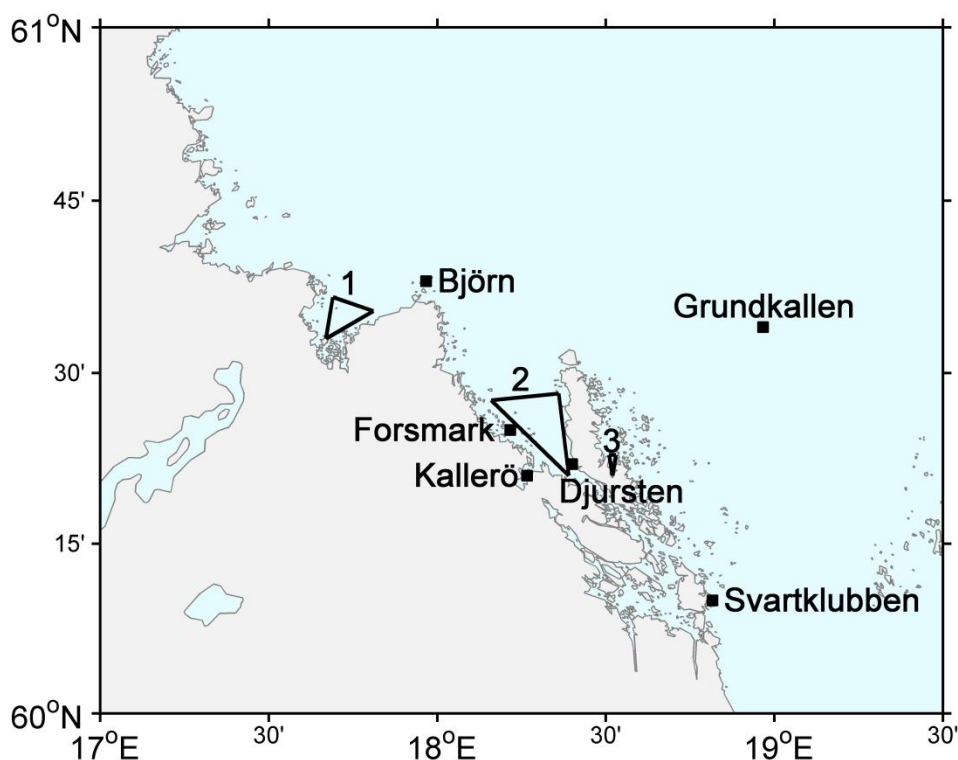


Figur 6-1 Havspegeln i Forsmark. Mätningar av havsvattenstånd i Forsmark startade år 1975. Foto: SMHI.

Tabell 6-2 visar vattenståndsstationer från Svartklubben i söder till Björn i norr. Idag mäts havsvattenstånd vid Forsmark i Uppsala län. I rapporten används mätningar från Björn tillsammans med mätningarna från Forsmark för att ge ett bra underlag för analys. Denna sammanslagning är möjlig för att båda stationerna är avvägda mot det gamla höjdsystemet RH00 samt att de är körda parallellt.

Tabell 6-2. Stationslista över svenska mätstationer för havsvattenstånd från Svartklubben i söder till Björn i norr. Årtal inom parentes betyder att värden inte finns lagrade digitalt. Då det endast finns dygnsvärden mellan angivna årtal anges detta med *. Övriga data är timvärden eller, på senare år, ännu högre tidsupplösning.

Stationsnamn	Start	Slut	Latitud	Longitud
Björn	1891	1978	60° 38'	17° 58'
Grundkallen	1960 (1970)	1979	60° 34'	18° 58'
Forsmark	1975	Pågående	60° 25'	18° 13'
Djursten	1849*	1882*	60° 22'	18° 24'
Kallerö	1972	1976	60° 21'	18° 16'
Svartklubben	1849*	1875*	60° 10'	18° 49'



Figur 6-2. Havspeglar kring Uppsala län. De markerade områdena är 1-Lövstabukten, 2-Öregrundsgrepen och 3-Högklyksfjärden för vilka uppstuvningseffekten beräknats.

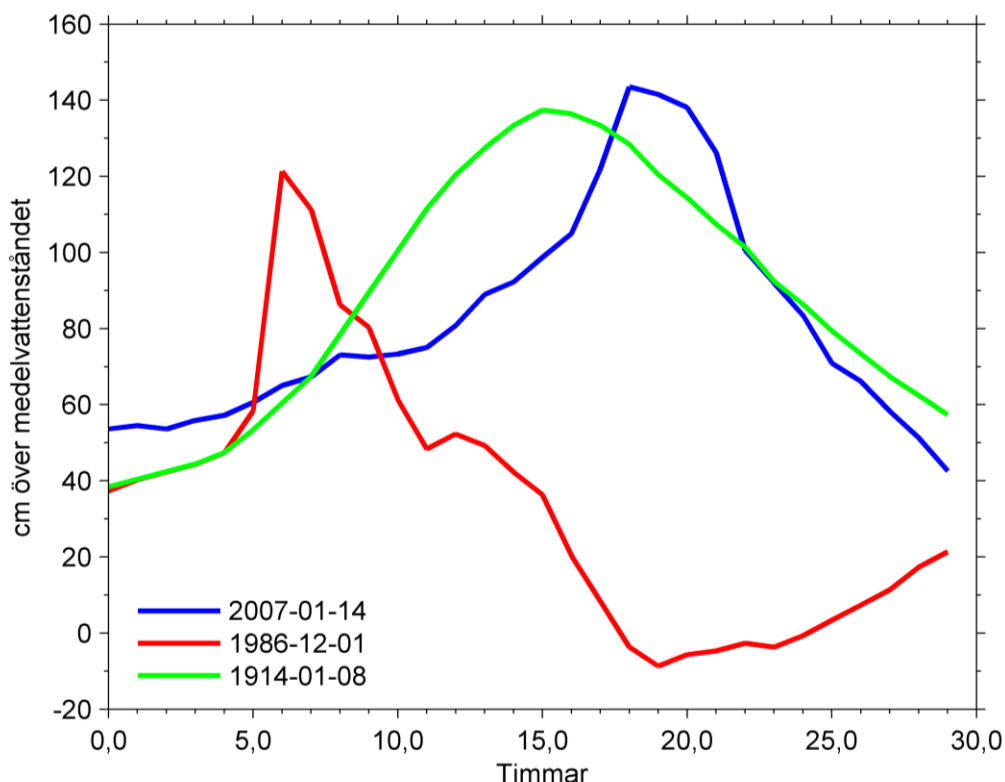
6.2.1 Vattenståndsvariationer

Analyser av långa tidsserier av havsvattenstånd visar att havet stiger. En analys av data från 1886 fram till idag visar att höjningen varit ungefär 1,5 mm/år. Sedan 1980 har den varit ungefär 3 mm/år. Satellitobservationer visar på en global höjning av havsvattenståndet på ca 3 mm/år från 1993-2005, och en något lägre höjning efter 2005 på 2,5 mm/år.

I Sverige pågår en landhöjning, som är störst i norra Sverige och avtar succesivt söderut. Noll-linjen, dvs. det område där varken höjning eller sänkning sker, passerar genom södra Skåne. Historiskt sett har vattenståndet i södra Sverige höjts relativt land, medan vattenståndet i norra Sverige sjunkit relativt land på grund av denna landhöjningsprocess som fortfarande pågår. I och med den kraftiga

landhöjningen i norra Sverige tar det längre tid där innan effekterna av den globala vattenstandsökningen märks. I områden med mindre landhöjning höjs vattenståndet relativt land.

Vattenståndet på en plats är effekten av många faktorer som verkar med olika kraft och variation över tiden, exempelvis vindar, lufttryck, vattnets densitet, landhöjningen och världshavens vattenstånd. Medelvattenståndet är en viktig faktor för hur hög vattennivå som uppnås vid varje tillfälle med extrema nivåer eftersom det bestämmer vattenståndets utgångsläge. Medelvattenståndet i Östersjön beror delvis på hur högt vattenståndet är i Nordsjön och i Skagerrak, men också på om de rådande vindarna ger inflöde eller utflöde. Ett exempel på en period med höga medelvattenstånd är vintern 2006-2007 då ihållande västvindar ledde till mycket högre vattenstånd än normalt i Östersjön, och då också rekordet från Forsmark uppmättes (se figur 6-3). Förhållanden som ger kortvariga höga vattenstånd är till exempel kraftiga lågtryck och kraftig vind mot kusten som ger vindstuvning in mot land.



Figur 6-3. Tre exempel på höga vattenstånd vid Forsmark/Björn. Den blå linjen visar vattenståndet under orkanen Per 2007.

Det finns inget enkelt förlopp eller samband mellan vindriktning, hastighet och lufttryck som ger högt vattenstånd eftersom man behöver känna till det storskaliga vädret i kombination med topografi för att kunna göra en exakt beskrivning.

En förutsättning för extrema vattenstånd, speciellt i Östersjön, är att en kraftig storm behöver föregås av ett högt medelvattenstånd orsakat av västliga och sydvästliga vindar under lång tid (några månader). Detta sker efter sommaren, då vattenståndet oftast pendlar kring det normala. Under hösten kan då mycket vatten pressas in i Östersjön och medelvattenståndet kan stiga till runt +50 cm, ibland ännu mer. När det sedan blåser kraftiga pålandsvindar kan mycket vatten pressas in mot kusten och vi får höga vattenstånd. Detta är en förenklad bild, vindarna ändrar ofta riktning under lågtryckspassagen och det finns många förlopp som leder till extremer.

Vinduppstuvning av vatten längs kusten kan leda till att vattenståndet tillfälligt blir ännu högre. I samband med att vind blåser över en vattenyta, i t.ex. en vik, förs vatten i vindens riktning från en sida av viken till den motsatta. Det transporterade vattnet strömmar sedan tillbaka, vanligen längs botten. Beroende på djupförhållandena sker denna återströmning mer eller mindre lätt och vatten kan ”stuvras” upp i de inre vindutsatta delarna av viken. Uppstuvningseffekten, dvs. den stationära

vinduppstuvningen eller snedställningen av vattenytan, kan beräknas för aktuellt vattenområde och vindhastighet. I samband med att en stationär vinduppstuvning etableras kan vattenytan kortvarigt (ca 5-10 min) svänga över sitt jämviktsläge. Detta kallas den dynamiska vinduppstuvningen.

Effekten av vinduppstuvning i 3 vikar i Uppsala län har analyserats. Uppstuvningens storlek styrs av vindhastigheten, längden på viken (beräkningsområdet) och medeldjupet mellan områdets ändar. För vindhastigheter med 50 års återkomsttid beräknas vinduppstuvningen till:

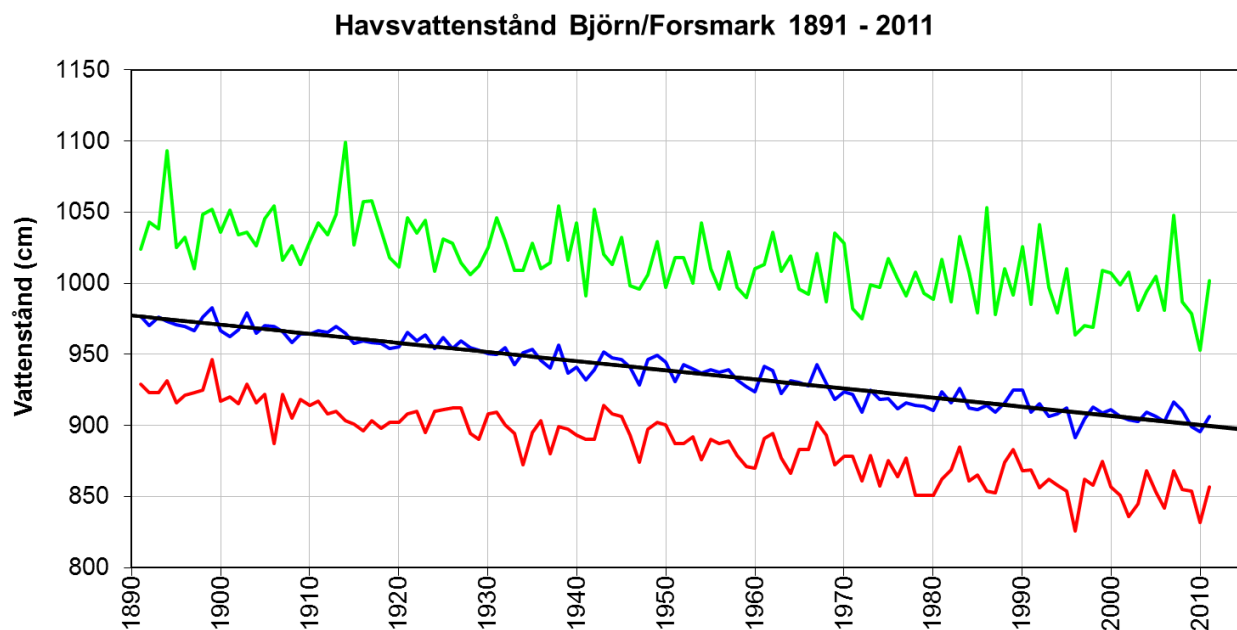
- Lövsbukten: 0,3-0,4 m
- Öregrundsgrepen: 0,3-0,4 m
- Högklyksfjärden: ca 0,1 m

Vid mycket hastiga vindökningar kan värdena kortvarigt bli 50 till 75 procent högre än de angivna. Områdena är markerade i figur 6-2. Risken för stor vinduppstuvningseffekt vid Östhammarsfjärden väster om Grundkallen, bedöms vara liten eftersom trånga passager (såsom Tuskösundet) stryper denna effekt.

6.2.2 Medelvattenstånd

SMHI mäter och redovisar havsvattenståndet relativt ett beräknat medelvattenstånd. Detta bestäms genom statistisk analys av många årsmedelvärden (trendlinje).

Det beräknade medelvattenståndet varierar från år till år beroende på havets höjning och på landhöjningen som varierar regionalt. Årets medelvattenstånd är ett beräknat värde bestämt genom regression av många års årsmedelvärden. Det krävs mer än 30 års värden för att någorlunda väl kunna bestämma regressionslinjen. Respektive års medelvattenstånd betraktas som respektive års värde på regressionslinjen. Vid Björn/Forsmark finns värden från 1891, vilket innebär ett gott statistiskt underlag. För ett specifikt år skiljer sig det beräknade medelvattenståndet från årets genomsnittliga vattenstånd, beräknat utifrån mätningar under året. I figur 6-4 visas årsmedelvärden, högsta och lägsta vattenstånd för respektive år samt årets beräknade medelvattenstånd vid Björn/Forsmark 1891-2011. Nivåerna visas i mätstationens lokala höjdsystem. Lutningen på trendlinjen kan förändras något under tiden beroende på att ny data samlas in. Detta gör att en gammal uppgift om högsta uppmätta vattenstånd kan skilja sig något från en nyare uppgift för ett och samma år eftersom värdet anges i relation till en ny trendlinje.



Figur 6-4. Årsmedelvattenstånd (blå) och årets högsta (grön) och lägsta (röd) vattenstånd vid Björn/Forsmark (1891-2011). Nivåerna anges i lokalt höjdsystem. En regressionslinje (svart) för hela perioden är inlagd och motsvarar det beräknade medelvattenståndet.

Den absoluta landhöjningen är 0,78 cm/år vid Forsmark. I tabell 6-3 visas årets beräknade medelvattenstånd 1990 och 2012 för mätstationen vid Forsmark. I tabellen listas även den absoluta och den synbara (apparenta) landhöjningen. Med den synbara landhöjningen avses landhöjningen i förhållande till havets medelnivå. För att kunna beskriva havets relation till land används fasta höjdsystem. I denna rapport anges vattennivåer, om inget annat anges, i höjdsystemet RH2000 vilket är Sveriges nya nationella höjdsystem.

Tabell 6-3. Årets beräknade medelvattenstånd 1990 och 2012 i höjdsystemet RH2000 vid Forsmark.

	Medelvattenstånd RH2000 1990 (cm)	Medelvattenstånd RH2000 2012 (cm)	Absolut landhöjning (cm/år)	Synbar landhöjning 2012 (cm/år)
Forsmark	22	8	0,78	0,64

6.2.3 Beräknade extrema vattenstånd

Begreppet återkomsttid används ofta som mått på översvämningsrisker och betecknar den genomsnittliga tiden mellan två översvämnningar av samma omfattning. I själva verket uttrycker begreppet en procentuell sannolikhet för att en händelse inträffar varje enskilt år. Begreppet återkomsttid ger därför en falsk känsla av säkerhet, eftersom det anger sannolikheten för ett enda år och inte den sammanlagda sannolikheten för en period av flera år. I kapitel 5.4.3 finns tabell 5.4-2 som visar sambandet mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikhet i procent. Ett vattenstånd med återkomsttiden 100 år har t.ex. 5 % sannolikhet att inträffa under 5 år, 39 % sannolikhet att inträffa under en 50-årsperiod och en sannolikhet på 63 % att inträffa under en 100-årsperiod.

Beräknade nivåer med återkomsttider på flera hundra år innehåller stora osäkerheter. I Flödeskommitténs ”Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar” (Svensk Energi m.fl., 2007) anges tumregeln att den beräknade återkomsttiden inte bör vara mer än dubbelt så lång som den underliggande tidsserien. Om återkomsttider långt utöver detta beräknas blir osäkerheten i beräkningen mycket stor. Forsmark och Björn utgör tillsammans en dataserie om 120 år och därför kan vattenstånd med 200 års återkomsttid beräknas.

Havsvattenstånd med återkomsttiderna 5, 10, 50, 100 och 200 års återkomsttid i dagens klimat (t.o.m 2011) har analyserats för Björn/Forsmark (tabell 6-4).

Tabell 6-4. Beräknade vattenstånd med återkomsttid 5, 10, 50, 100 och 200 år för dagens klimat. Vattenstånden anges i cm i RH2000. De kursiverade siffrorna inom parentes anger 95 % konfidensintervall.

Återkomsttid	5 år	10 år	50 år	100 år	200 år
Björn/Forsmark	101 (97-107)	113 (107-121)	138 (127-158)	148 (134-176)	157 (140-195)

6.3 Havsvattenstånd längs Uppsala läns kust i framtidens klimat

Havsvattenståndet i Uppsala län i framtidens klimat har beräknats från en förväntad global höjning av vattenståndet med 1 m från 1990 fram till år 2100 med kompensation för lokal landhöjning.

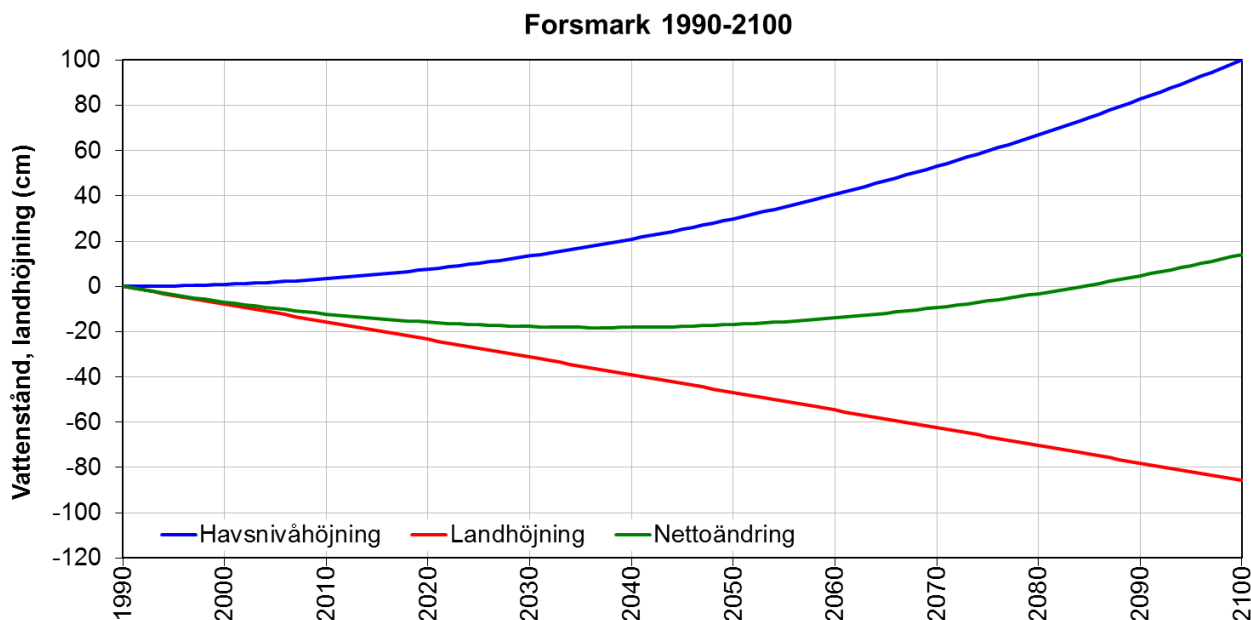
6.3.1 Medelvattenstånd

Eftersom havsvattenståndshöjningen beskrivs relativt 1990 är alla framtida nivåer beräknade utifrån 1990. Ekvationen nedan visar hur medelvattenytan 2100 har beräknats.

$$MW_{2100} = MW_{1990} + SLR_{1990-2100} - LH_{1990-2100}$$

Där *MW* är medelvattenståndet, *SLR* är Sea Level Rise (havsnivåhöjning) och *LH* är landhöjningen.

Figur 6-5 visar en teoretisk förändring av medelvattenståndet 1990-2100 för Forsmark, förutsatt att havet stiger 30 cm fram till 2050 och 100 cm fram till 2100, med kompensation för lokal landhöjning. Figuren visar att mellan 1990 till 2080 är landhöjningen större än havshöjningen med en sådan utveckling. Medelvattenståndet idag ligger ca 15 cm lägre än 1990. Detta är konsistent med det uppmätta medelvattenståndet. Fram till ca 2035 sjunker medelvattenståndet i förhållande till 1990 års värde. Nettoändringen är ca 15 cm från 1990 till 2100 och ca 30 cm från 2012 till 2100. Tabell 6-5 visar medelvattenytan 2012 och 2100 i RH2000 samt den relativa förändringen.



Figur 6-5. Relativ förändring av medelvattenståndet från 1990 till 2100 för Forsmark. Utvecklingen av medelvattenytan (blå) förutsätter en global havsnivåhöjning med ca 30 cm fram till 2050 och 100 cm fram till 2100. Den absoluta landhöjningen (röd) är ca 85 cm från 1990 till 2100. Nettoändringen (grön) blir ca 15 cm från 1990 till 2100.

Tabell 6-5. Medelvattenståndet i RH2000 år 2012 och 2100 förutsatt en havshöjning om 100 cm från 1990 till 2100 och en bibehållen landhöjning.

	Medelvatten 2012 RH2000 (cm)	Medelvatten 2100 RH2000 (cm)	Relativ förändring 2012- 2100 (cm)
Forsmark	8	36	28

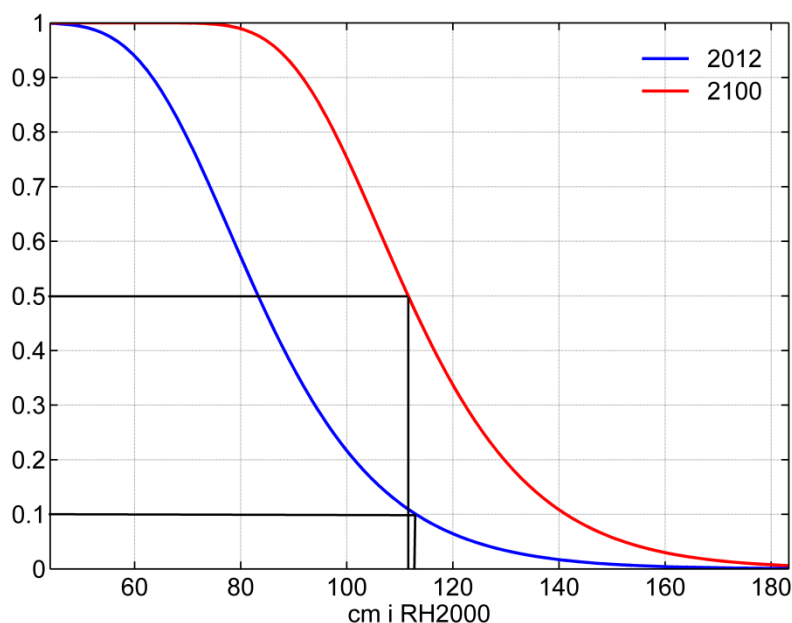
6.3.2 Beräknade extrema vattenstånd

För beräkningen av extrema vattenstånd har årshögsta vattenstånd använts för hela dataserien. Metodiken bygger på ett antagande om att fördelningen av extrema vattenstånd är densamma som idag och att hela höjningen av vattenståndet beror på medelvattenytans höjning. De senaste forskningsresultaten från Rossby Centre/ENSEMBLES-projektet visar ingen tendens att stormar varken blir vanligare eller mer ovanliga och stödjer därmed detta förhållningssätt.

Sannolikhetsfördelningar av årshögsta vattenstånd i RH2000 har beräknats för 2012 och 2100 för Forsmark/Björn, figur 6-6. Avsikten med denna grafiska presentation är att åskådliggöra hur vattennivåerna förändras i tiden. Sannolikhetsfördelningen 2100 ligger ca 30 cm högre än 2012. En sannolikhet på 0,5 är detsamma som 50 % sannolikhet vilket motsvarar en återkomsttid på 2 år. En sannolikhet på 0.1 motsvarar 10 års återkomsttid. Ett havsvattenstånd med en återkomsttid på 10 år i

dagens klimat motsvarar ungefär ett havsvattenstånd med en återkomsttid på 2 år i framtida klimat (2100).

Havsvattenstånd med upp till 200 års återkomsttid i framtidens klimat (2100) har tagits fram för Forsmark/Björn, tabell 6-6. Resultaten visar att år 2100 kommer vattenstånd med återkomsttiden 100 år att vara ca 30 cm högre än idag, detsamma gäller vattenstånd med 200 års återkomsttid.



Figur 6-6. Sannolikhetsfördelning av årshögsta vattenstånd i dagens klimat (blå) och i framtida klimat (röd). Sannolikheten 0.5 är detsamma som 50 % sannolikhet, vilket motsvarar 2 års återkomsttid. En sannolikhet på 0.1 motsvarar 10 års återkomsttid.

Tabell 6-6. Beräknade havsvattenstånd med återkomsttid 5, 10, 50, 100 och 200 år för framtidens klimat 2100. Havsvattenståndet anges i cm i RH2000. Kursiverade siffror anger 95 % konfidensintervall.

Återkomsttid	5 år	10 år	50 år	100 år	200 år
Björn/Forsmark	130 (125-135)	141 (135-150)	166 (155-187)	176 (162-205)	186 (168-223)

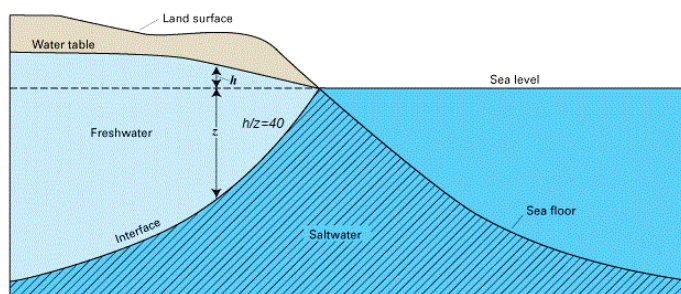
I bilaga 17 presenteras kartor över havsvattenstånd i nutida och framtida klimat.

7 Grundvatten och saltvatteninträngning

Dricksvatten tas i många områden från markens grundvatten. Förorening av salt är då ett relativt vanligt förekommande problem. För hög salthalt innebär att vattnet blir otjänligt som dricksvatten samt orsakar korrosion på hushållsapparater, rör och pumpar. Saltet kommer oftast från relik saltvatten inlagrat i marken men även från saltvatten som tränger in från havet (Naturvårdsverket, 2006). Det relikta saltvattnet finns i områden som någon gång legat under hav och förekommer alltså även i inlandet. Saltvatteninträngning från havet, vilket är det som i denna text diskuteras vidare, sker endast i kustområden och är sällan ett problem längre än 300 m från havet (Naturvårdsverket, 2006).

7.1 Saltvatteninträngning - teori

Eftersom saltvatten har högre innehåll av salt och mineraler än sötvatten är det också tyngre. Denna densitetsskillnad skapar i kustområden en obalans i markens vattentryck, vilken utjämnas genom att salt havsvatten strömmar in under markens grundvatten. Denna inträngning begränsas inåt landet av att grundvattennivåerna där är högre, vilket hänger samman med att markytans nivå ökar från kusten och inåt landet. Eftersom grundvattennivåerna ökar inåt land ökar där också djupet till det salta vattnet, och saltvatteninträngningen får formen av en kil (se figur 7-1). Ett typiskt förhållande är att sött grundvatten finns till ett djup under havsnivån som är 40 gånger större än grundvattennivåns höjd över havsnivån.



Figur 7-1. Principskiss över saltvatteninträngning (modifierad från Wikipedia (2013))

Brunnar som når ned till saltvattenkilen förorenas av saltvatten. Bergborrade brunnar behöver dock inte nå ned till saltvattenkilen för att förorenas av saltvatten. Detta eftersom vattnet i berget transporteras genom sprickor vilka kan tömmas om grundvattentillförseln till dessa är begränsad. I områden där dessa sprickor når den djupare liggande saltvattenkilen finns därför risk att saltvatten sugas in i sprickorna och transporteras upp till brunnen. Områden med tunna eller täta jordlager kan därför vara extra utsatta för saltvatteninträngning eftersom de vattenförande sprickorna där inte hinner fyllas på av nytt grundvatten (Naturvårdsverket, 2006).

Vid borrning av brunnar finns risk att grundvattenförande sprickzoner förenas. Detta kan leda till saltvattenförorening i gamla brunnar som tidigare inte haft problem med detta. Risken för sådana effekter är störst vid borrning av dricksvattenbrunnar eftersom man ur dessa tar vatten som påverkar grundvattenströmningen, men kan även uppkomma vid borrning av energibrunnar.

Saltvattenkilens läge påverkas av grundvattennivåerna i kustområdet. Om nivåerna sjunker tränger saltvattenkilen längre in från kusten och saltvattnet når närmare markytan. Sänkta grundvattennivåer fås exempelvis vid ökat uttag av grundvatten eller under torra somrar med låg tillförsel av grundvatten. De flesta grundvattenmagasin i Sverige är små och grundvattennivåerna i dessa varierar med en tydlig säsongsvariation, där nivåerna är lägst på sensommaren och magasinerna fylls med regn- och smältvatten under vinterhalvåret. Detta innebär att det inte är möjligt att långsiktigt överutnyttja dessa magasin (Sundén m.fl., 2010).

7.2 Saltvatteninträngning - Svealandskusten

I många kustområden finns problem med saltvattenförorenade brunnar. Det havsnära läget är naturligtvis grundorsaken till problemen men dessa förvärras av den stora mängden enskilda brunnar i området. I Östra Svealand tar omkring 280 000 människor vatten från egen brunn (Ojala m.fl., 2007). I Uppsala län har drygt 23 000 hushåll egen brunn i sitt permanentboende, varav omkring 10% ligger i kustförsamlingar (Maxe, 2007). I Stockholms län är motsvarande antal 35 000 hushåll, varav hela 60% ligger i kustförsamlingar (Maxe, 2007). Antalet brunnar ökar med omkring 1-2% per år i såväl Uppsala län som Stockholms län och brunnarna i kustförsamlingarna är till den allra största delen bergborrade (Maxe, 2007). Under somrarna får stora delar av kusten en kraftigt ökad befolkning och det sker även en omvandling av fritidshus till permanentbostäder. Detta leder till en kraftigt ökad vattenanvändning som dessutom är störst under sommaren då marken naturligt är som torrast. Omvandlingen av fritidshus till permanentbostäder verkar ha varit störst i Stockholms län. Där finns hela 17% av de permanentboende hushållen med egen vattenförsörjning i s.k. fritidshusområden. Motsvarande andel för Uppsala län är 2%.

I Stockholms län gjordes en undersökning sommaren 2006 som visade på att ca 30% av de undersökta brunnarna i kustområdet hade problem med saltvatteninträngning (Länsstyrelsen i Stockholms län, 2013). Flera kommuner längs Svealandskusten påtalar på respektive hemsidor problem med saltvatteninträngning under somrarna. Problemen förefaller vara störst i Stockholmsområdet, vilket också den stora andelen egna brunnar längs kusten och i fritidsområden tyder på.

7.3 Påverkan av förändrat klimat

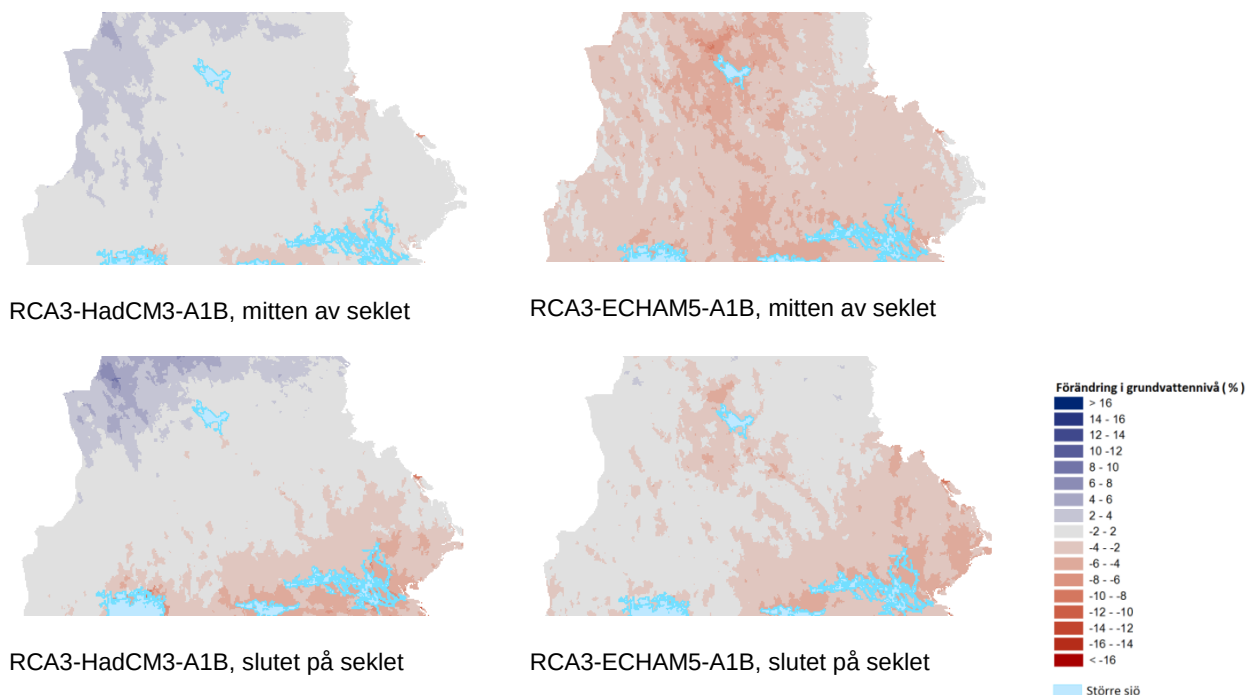
Ett förändrat klimat kan påverka saltvatteninträngningen i kustområdena huvudsakligen genom ändrade grundvatten- och havsnivåer. Ändringar av grundvattennivåer bedöms ske både som en direkt effekt av ett förändrat klimat samt till följd av ett ökat grundvattenanvändande i form av bl.a. bevattning.

SMHI har gjort en studie över ytliga grundvattennivåer baserat på dagliga beräkningar med nederbörd och temperatur från två olika klimatscenarier. Dessa baseras på de två globala klimatmodellerna HadCM3 och ECHAM5 som drivits med IPCCs utsläppsscenario A1B. De globala resultaten har skalats ner dynamisk med RCA3-modellen vid Rossby Centre/SMHI och därefter korrigerats och skalerats statistiskt med DBS metoden (Yang et al., 2010). Beräkningarna är gjorda på Sverigeskala (<http://vattenweb.smhi.se>).

Resultaten för referensperioden skiljer sig inte nämnvärt åt mellan de två klimatscenarierna, eftersom nederbörd och temperatur har skalerats mot samma observerade data. Modellerad förändring i klimat visar däremot i många fall stora skillnader och ibland motstridiga resultat sett över landet som helhet, speciellt för lokala förhållanden. De två scenarierna täcker inte på långt när det stora osäkerhetsintervallet, men sammanfaller relativt väl med 25 - 75 % av intervallet den ensemble av 16 klimatscenarier som används i föreliggande rapport.

För det aktuella området, Uppsala län, visar dock beräkningarna stora likheter (se figur 7-2), särskilt i slutet av seklet. Bägge scenarierna pekar på något lägre ytliga grundvattennivåer i framtiden. Beräkningarna tar inte hänsyn till eventuella havsnivåeffekter vid kusten.

Grundvattenbildningen i ett framtida klimat väntas öka under vintern och minska under sommaren (Sundén m.fl., 2010). Den ökade grundvattenbildningen under vintern är normalt sett inte till någon nytta för brunnsinnehavare eftersom grundvattenmagasinen ofta ändå är tämligen välfyllda då. Detta gäller speciellt i områden med fritidsbebyggelse som främst används sommartid. Den framtida havsnivåökningen kan dock under dessa blöta delar av året delvis kompenseras av ökade grundvattennivåer som därmed minskar saltvatteninträngningen. Tillgången på grundvatten i små grundvattenmagasin kan komma att minska under sensommaren då även behovet av vatten är som störst (Sundén m.fl., 2010; Ojala m.fl., 2007).



Figur 7-2. Beräknad förändring av grundvattennivåer vid mitten av seklet (2036-2065) respektive slutet av seklet (2071-2100) i relation till referensperioden 1981-2010. Beräkningarna har gjorts med SMHIs hydrologiska modell S-HYPE (version 2010) för 38000 områden som täcker Sveriges yta. I figuren visas utsnitt av kartor över hela Sverige. Medelvärdena bygger på dagliga beräkningar med nederbörd och temperatur från två olika klimatprojektioner. Dessa baseras på de två globala klimatmodellerna HadCM3 och ECHAM5 som drivits med utsläppsscenario A1B. Resultaten har skalats ner dynamisk med RCA3-modellen vid Rossby Centre/SMHI och därefter korrigerats och skalerats statistiskt med DBS-metoden (se kap. 4.6). Källa: www.vattenweb.smhi.se

Förutom minskad vattentillgång kan de lägre grundvattennivåerna orsaka försämrade vattenkvalitet (Sundén m.fl., 2010). Försämrade vattenkvalité tillsammans med ökad bevattning under torra somrar kan i sin tur förväntas öka uttaget av grundvatten (Sundén m.fl., 2010).

Havsnivåerna väntas framöver att öka snabbare än landhöjningen och leda till ökad saltvatteninträngning i kustområdena (Sundén m.fl., 2010; Ojala m.fl., 2007). Saltvattenkilen förs då längre in från kusten för att balansera den ökade havsnivån och saltvatten når närmare markytan. Djupet ned till saltvattenkilen kan då väntas minska enligt det generella samband som är beskrivet i anslutning till figur 7-1. Ökade havsnivåer kan även leda till att lågt liggande ytvattentäcker förorenas av saltvatten, vilket i så fall kan medföra ökat behov av grundvatten för dricksvattenförsörjning (Sundén m.fl., 2010).

I många kustnära områden är det idag ett stort problem med saltvatteninträngning i dricksvattenbrunnar. Detta främst i djupa bergborrade brunnar. Flera faktorer talar för att problemen kan komma att öka. Dels kan vi konstatera att risken för saltvatteninträngning ökar med ökade havsnivåer och med minskade grundvattennivåer. Klimatförändringarna väntas just ge ökade havsnivåer och speciellt under somrarna minskade grundvattennivåer. Omvandling av fritidsboende till permanentboende kan vara en faktor som förstärker problem med saltvatteninträngning i kustområdena om det sker ökade uttag av grundvatten som leder till minskade grundvattennivåer. Detta speciellt under somrarna då det även är en stor mängd fritidsboende. Problemen förefaller dock, längs Svealandskusten, vara störst i Stockholmsområdet.

Klimatförändringarna kan medföra en ökad grundvattenanvändning till följd av bl.a. ökad bevattning, försämrade grundvattenkvalité och färre ytvattentäcker. Klimatförändringarna bedöms också öka saltvatteninträngningen i kustområdena och öka problemen med saltvatten främst i djupa bergborrade brunnar.

8 Slutsatser

I denna rapport redovisas en stor mängd data och beräkningar som syftar till att ge en översiktlig bild av klimatförhållandena i Uppsala län såväl under dagens förhållanden som i framtidens förändrade klimat. Arbetet är baserat på observationer och analyser från SMHI samt klimatscenarier från den internationella klimatforskningen. Framtidsberäkningarna avser i första hand tidsperioden fram till år 2100.

För att ge en bild av de osäkerheter som råder om framtidens klimat har ett antal klimatscenarier utnyttjats i arbetet. 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. Följande resultat framgår av klimatanalyserna i denna rapport:

- 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°C till slutet av seklet. För perioden 1961-1990 var årsmedeltemperaturen 5°C.
- Vintern är den säsong som uppvisar störst variation i medeltemperatur mellan år. För perioden 1961-2010 var variationen ca 10 grader. Alla säsonger visar en temperaturuppgång under seklet men den är mest framträdande för vintern (i medeltal 6 grader över länet).
- Temperaturvariationen över länet är liten men det regionala mönstret med varmare förhållanden i Mälardalen och svalare i nordväst kvarstår i framtiden.
- Årsmedelnederbörden ökar successivt, men med stor variation mellan åren. I slutet av seklet visar medianvärdet på ca +20% i relation till referensperioden.
- Den tydligaste nederbördsökningen ses i beräkningarna för vintern. För sommaren ses ingen generell framtida nederbördsökning.
- De kraftiga regnen beräknas öka, det framgår tydligast för korttidsregn med återkomsttid 1 år (+20-30%).
- Vattenföringens säsongsvariation förändras mot högre vinterflöden och lägre vårflöden. Mot slutet av seklet ses en längre period med låga flöden i medeltal från april t.o.m. september
- De studerade vattendragen uppvisar mycket likartade beteenden.
- För 100-årsflödena syns inga större förändringar. De flesta områden uppvisar en liten minskning, vilket är tydligast för Tämnrån.
- Snötäcket minskar radikalt i länet både avseende maximalt vatteninnehåll och varaktighet. Vid slutet av seklet ses ca 70% av det maximala vatteninnehållet relativt referensperioden och varaktigheten har minskat från ca 100 dagar till ca 20 dagar i medeltal.
- Beräkningar av medelhavsvattenstånd visar en ökning med 28 cm från 2012 till 2100 förutsatt en havsnivåhöjning på 100 cm från 1990 till 2100 och en bibehållen landhöjning.
- Ett havsvattenstånd med en återkomsttid på 10 år i dagens klimat motsvarar ungefär ett havsvattenstånd med en återkomsttid på 2 år i framtida klimat.

Ett stort antal övriga klimatberoende förhållanden kommer också att förändras efterhand som klimatet ändras.

9 Referenser

- 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.
- Australian Department of Climate Change 2010. Climate Change Risks to Australia's Coast - A first pass national assessment. Updated version February 23, 2010.
- 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. 2012. Framtidens havsnivåer i ett hundraårsperspektiv- kunskapssammanställning 2012. *SMHI Klimatologi* nr 5.
- Bergström S., Hellström S.-S. och Andréasson J. 2006. Nivåer och flöden i Vänerens och Mälarens vattensystem – Hydrologiskt underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen. *SMHI Reports Hydrology*, No. 20, Norrköping.
- Copenhagen Diagnosis 2009. Updating the World on the Latest Climate Science. I. Allison, N.L. Bindoff, R.A. Bindaschadler, P.M. Cox, N. de Noblet, M.H. England, J.E. Francis, N. Gruber, A.M. Haywood, D.J. Karoly, G. Kaser, C. Le Quéré, T.M. Lenton, M.E. Mann, B.I. McNeil, A.J. Pitman, S. Rahmstorf, E. Rignot, H.J. Schellnhuber, S.H. Schneider, S.C. Sherwood, R.C.J. Somerville, K. Steffen, E.J. Steig, M. Visbeck, A.J. Weaver. *The University of New South Wales Climate Change Research Centre (CCRC)*, Sydney, Australian, 60pp.
- Deltacommissie 2008. Working together with water – A living land builds for its future. *Findings of the Deltacommissie 2008*. <http://www.deltacommissie.com/doc/summary.pdf>
- Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap 2009. Havsnivåstigning - Estimer av framtidig havsnivåstigning i norske kystkommuner. *Rapport från Det nasjonale klimatilpasningssekretariatet ved Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap*. Reviderad utgåva september 2009.
- 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.
- Københavns Kommune, 2011. Københavns Klimatilpasningsplan.

- 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.
- Lowe, J.A., Howard, T. P., Pardaens, A., Tinker, J., Holt, J., Wakelin, S., Milne, G., Leake, J., Wolf, J., Horsburgh, K., Reeder, T., Jenkins, G., Ridley, J., Dye, S., Bradley, S. 2009. *UK Climate Projections science report: Marine and coastal projections*. Met Office Hadley Centre, Exeter, UK. <http://ukclimateprojections.defra.gov.uk/>
- Länsstyrelsen i Stockholms län, 2013. Saltvatteninträngning sommaren 2006. *Länsstyrelsen i Stockholms län*. Hämtat från <http://www.lansstyrelsen.se> den 4 februari 2013.
- Maxe, L., 2007. Enskild vattenförsörjning – kunskapsunderlag inför uppföljning av ett nytt delmål. *SGU-rapport 2007:10*.
- Ministry of Natural Resources and Environment 2009. Climate Change, Sea Level Rise Scenarios for Vietnam. *Report from the Ministry of Natural Resources and Environment of Vietnam*, Hanoi.
- 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.
- Naturvårdsverket, 2006. *Övervakning av saltvatteninträngning i brunnar*. Version 1:0. 2006-12-22.
- Netherlands Environmental Assessment Agency, Royal Netherlands Meteorological Institute and Wageningen University and Research Centre 2009. News in Climate Science and Exploring Boundaries – A Policy brief on developments since the IPCC AR4 report in 2007. Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL), Bilthoven, November 2009 *PBL publication number 50011413*.
- NOAA 2009. *NOAA Response to Congressional Questions Regarding Climate Change*. The Honorable Joe Barton and the Honorable Fred Upton. Questions for the Record from March 25th, 2009 Hearing on Climate Adaptation. Response Updated November 2009 to Include Additional Graphic. (www.noaa.gov/images/climate_cooling_testimony111909.pdf)
- Ojala, L., Thunholm, B., Maxe, L., Persson, G., Bergmark, M., 2007. Kan grundvattenmålet klaras vid ändrade klimatförhållanden? – underlag för analys. *SGU-rapport 2007:9*.
- Olsson, J. and Foster, K. 2013. Short-term precipitation extremes in regional climate simulations for Sweden: historical and future changes. (submitted to *Hydrology Research*)
- Rummukainen M. och Källén E. 2009. Ny klimatvetenskap 2006-2009. En kort genomgång av forskningen om klimatfrågans naturvetenskapliga grunder sedan IPCC AR4/WG I från 2007. *Rapport till Kommissionen för hållbar utveckling*. Stockholm.
- SMHI 2000. Svåra snöoväder och några stora snödjup. *SMHI faktablad* nr 3.
- SMHI 2002a. Län och huvudavrinningsområden i Sverige. *SMHI faktablad* nr 10.
- SMHI 2002b. Avrinningen i Sverige. *SMHI faktablad* nr 12.
- SMHI 2005a. Extrem nederbörd 1900-2004. *SMHI faktablad* nr 4, 2001. Nytryck februari 2005.
- SMHI 2005b. Sveriges snöklimate under 100 år. *SMHI faktablad* nr 23.
- SMHI 2007. Avrinningens variation 1961-2005. *SMHI faktablad* nr 36.
- SMHI 2009. Sveriges landskapsklimat. *SMHI faktablad* nr 42.
- SMHI 2011a. Värmeböljor i Sverige. *SMHI faktablad* nr 49.
- SMHI 2011b. Vind och storm i Sverige 1901-2010. *SMHI faktablad* nr 51.

- SOU 2006. Översvämningsshot. 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.
- Sundén G, Maxe L. och Dahné J. 2010. Grundvattennivåer och vattenförsörjning vid ett förändrat klimat. *SGU-rapport* 2010:12
- Svensk Energi, Svenska Kraftnät och SveMin* 2007. Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar - Nyutgåva 2007. ISBN 978-91-7622-197-6.
- 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.
- Vellinga, P., Katsman C.A., A. Sterl and J.J. Beersma, (eds.) 2008. Exploring high end climate change scenarios for flood protection of the Netherlands: - an international scientific assessment. *International Scientific Assessment. Background document to Deltacommissie* 2008.
- Wern L. och Barring L. 2009. Sveriges vindklimat 1901-2008. Analys av förändring i geostrofisk vind. *SMHI Meteorologi* nr 138/2009.
- World Bank (2012). Turn Down The Heat - Why a 4°C Warmer World Must be Avoided. *A Report for the World Bank* by the Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics. November 2012, Washington DC.
- 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

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

www.lansstyrelsen.se/uppsala

SMHIs Klimatarkiv

SMHI vattenweb, vattenweb.smhi.se

Wikipedia, 2013. *Saltwater intrusion*. Hämtat från <http://en.wikipedia.org> den 5 februari 2013.

10 Bilagor

Analysen av Uppsala läns framtidsklimat har gjorts utgående från de klimatscenarier som beskrivits i kap. 4.8.1. 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. 4.6, har klimatscenarierna lagrats med samma upplösning som den observerade databasen, dvs. 4 km × 4 km. I bilagorna 1-14 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, 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, 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, 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, 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, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990.

Bilaga 6. Antal sammanhängande dygn med dygnsmedeltemperatur > 20°C. Observerade värden 1961-1990. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098.

Bilaga 7. Vegetationsperiodens längd (antal dagar). Observerade värden 1961-1990. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098.

Bilaga 8. Vegetationsperiodens starttidpunkt (dagnummer). Observerade värden 1961-1990. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098.

Bilaga 9. Årsmedelnederbörd (mm). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990.

Bilaga 10. Vintermedelnederbörd (december-februari) (mm). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990. Differensen uttrycks som procent.

Bilaga 11. Vårmedelnederbörd (mars-maj)(mm). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990. Differensen uttrycks som procent.

Bilaga 12. Sommarmedelnederbörd (juni-augusti) (mm). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990. Differensen uttrycks som procent.

Bilaga 13. Höstmedelnederbörd (september-november) (mm). Observerade värden 1961-1990 och 1991-2010. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990. Differensen uttrycks som procent.

Bilaga 14. Antal dygn med > 10 mm nederbörd (dygn). Observerade värden 1961-1990. Beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990.

Bilaga 15. Procentuell förändring av medelvattenföring per säsong 1992-2100 i relation till referensperioden 1963-1992. Varje års värde är baserat på de föregående 30 åren (exempelvis är värdet för år 2050 beräknat för perioden 2021-2050 jämfört med 1963-1992). Svarta linjer anger medianvärden och det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.

Bilaga 16. 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.

Bilaga 17. Havsvattenstånd längs Uppsala läns kust i dagens och framtidens klimat baserat på mätningar från stationerna Björn och Forsmark. Landhöjningen avser Forsmark.

Bilagorna 1-5 kommenteras i kap.5.1.1

Bilaga 6 kommenteras i kap.5.1.2

Bilaga 7 och 8 kommenteras i kap. 5.1.3

Bilagorna 9-13 kommenteras i kap. 5.2.1

Bilaga 14 kommenteras i kap. 5.2.2

Bilaga 15 kommenteras i kap. 5.4.2

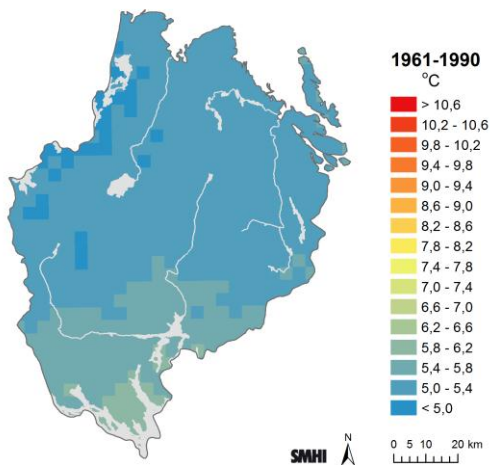
Bilaga 16 kommenteras i kap. 5.4.3

Bilaga 17 I kapitel 6 diskuteras havsvattenstånd längs Uppsala läns kust i dagens och framtidens klimat. Vinduppstuvning presenteras i kapitel 6.2.1.

Bilaga 1 – Årsmedeltemperatur (se kap. 5.1.1)

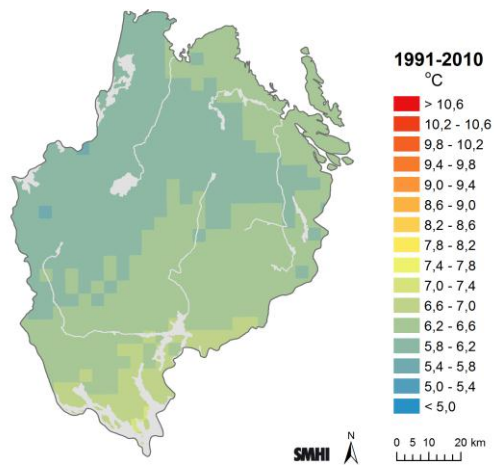
Observerat 1961-1990 (°C)

OBS_tav_1961to1990_Ref_Mean
Medeltemperatur



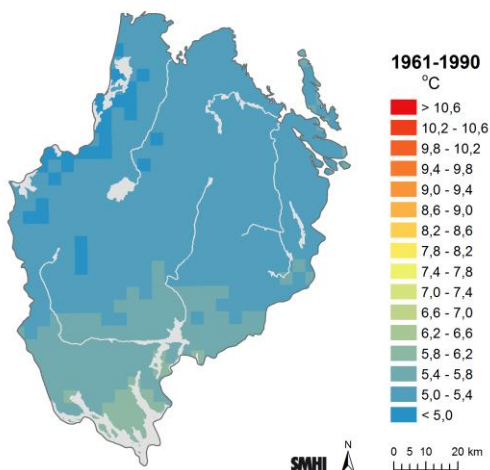
Observerat 1991-2010 (°C)

OBS_tav_1991to2010_Comp_Mean
Medeltemperatur



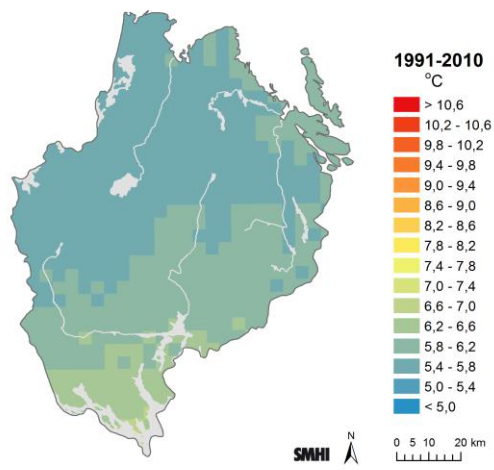
Beräknat 1961-1990 (°C)

Ensemble_tav_1961to1990_Ref_Mean
Medeltemperatur



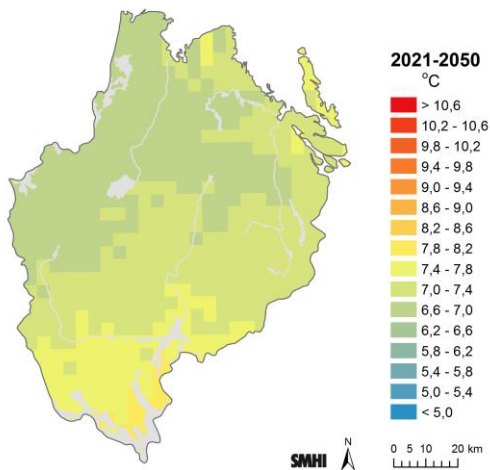
Beräknat 1991-2010 (°C)

Ensemble_tav_1991to2010_Comp_Mean
Medeltemperatur



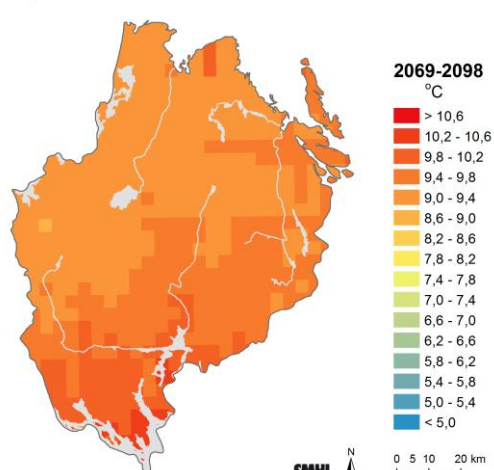
Beräknat 2021-2050 (°C)

Ensemble_tav_2021to2050_Comp_Mean
Medeltemperatur

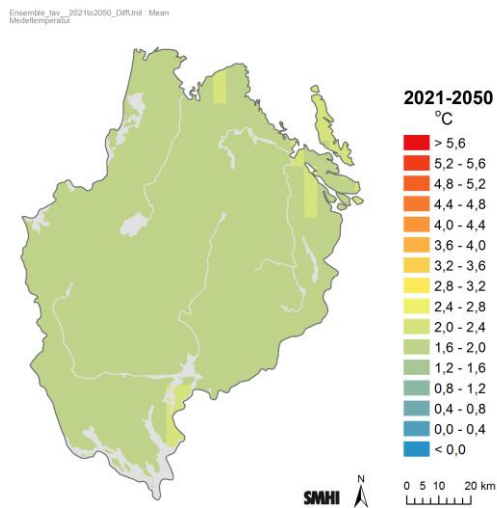


Beräknat 2069-2098 (°C)

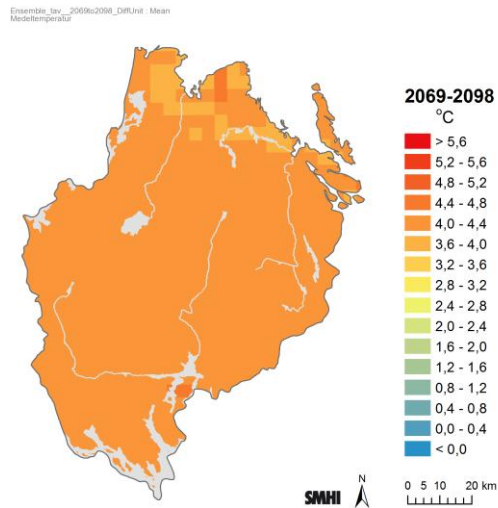
Ensemble_tav_2069to2098_Comp_Mean
Medeltemperatur



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

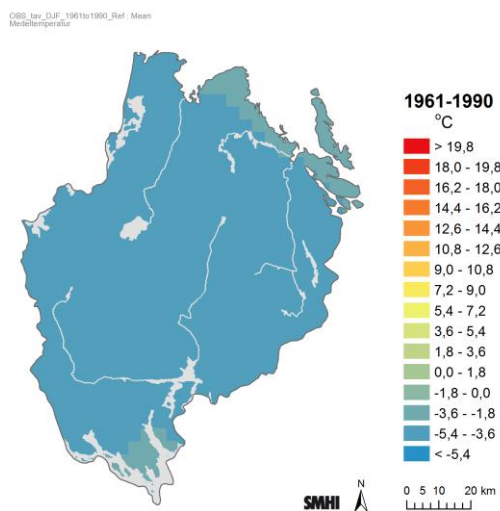


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 ($\Delta^{\circ}\text{C}$)

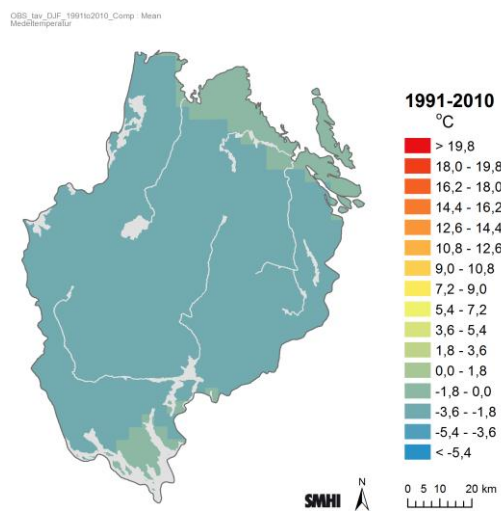


Bilaga 2 – Vintermedeltemperatur (december-februari) (se kap. 5.1.1)

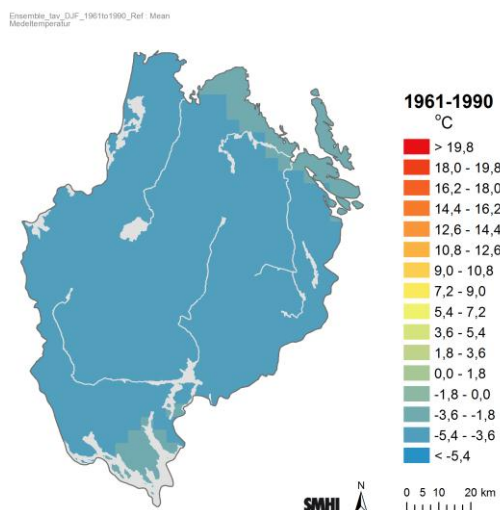
Observerat 1961-1990 (°C)



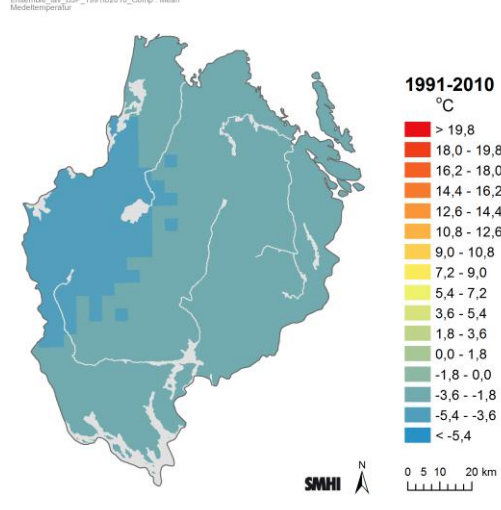
Observerat 1991-2010 (°C)



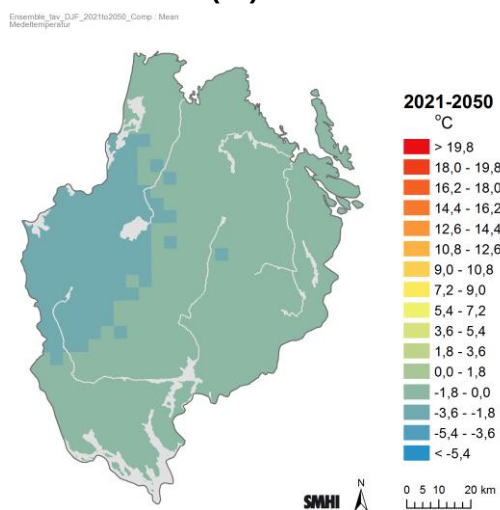
Beräknat 1961-1990 (°C)



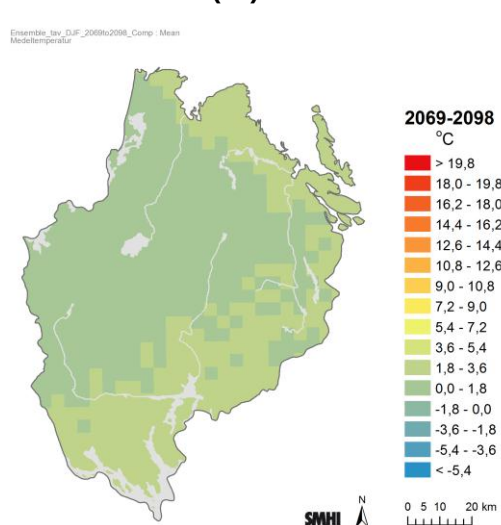
Beräknat 1991-2010 (°C)



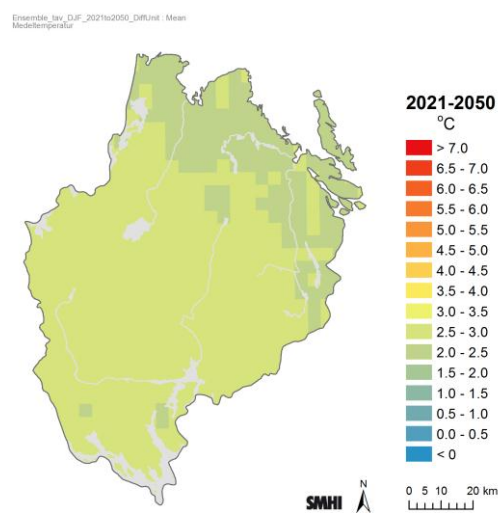
Beräknat 2021-2050 (°C)



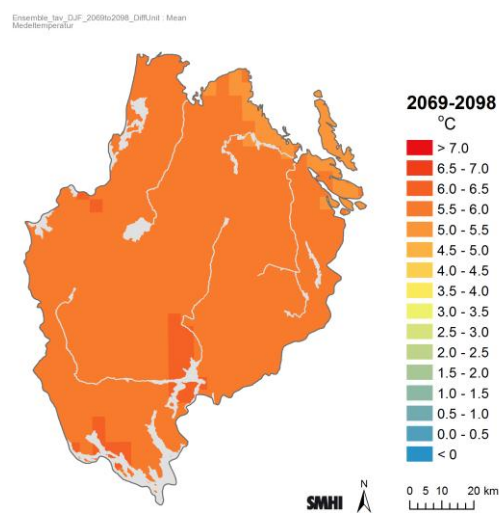
Beräknat 2069-2098 (°C)



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



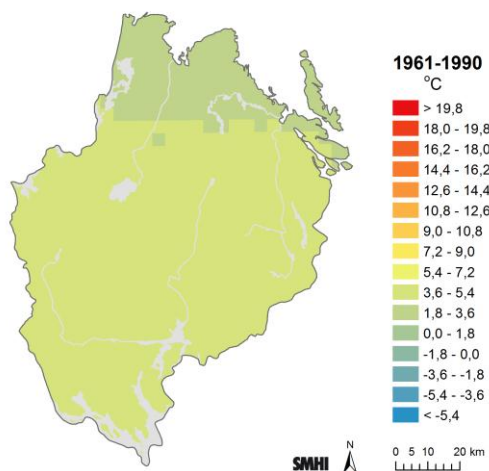
Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 ($\Delta^{\circ}\text{C}$)



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

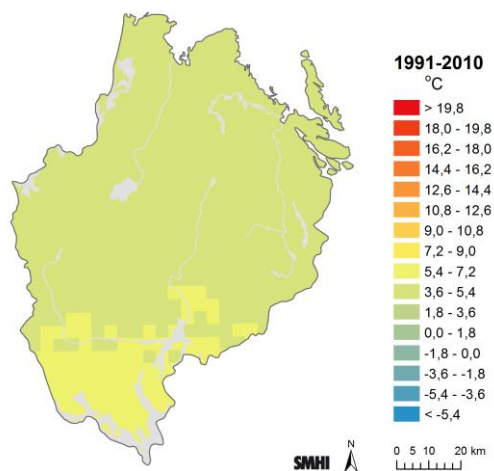
Observerat 1961-1990 (°C)

OBS_tav_MAM_1961to1990_Ref_Mean
Medeltemperatur



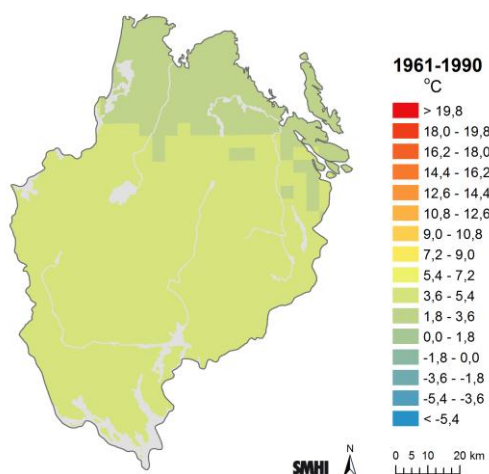
Observerat 1991-2010 (°C)

OBS_tav_MAM_1991to2010_Comp_Mean
Medeltemperatur



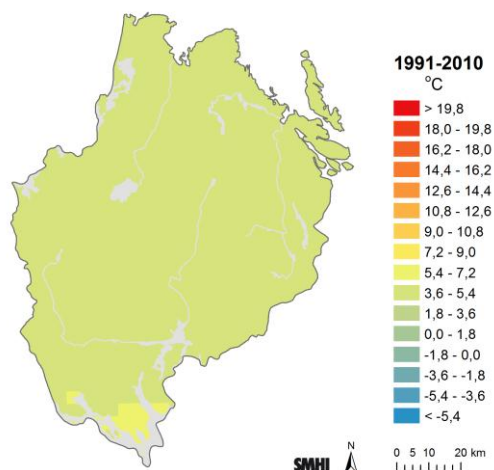
Beräknat 1961-1990 (°C)

Ensemble_tav_MAM_1961to1990_Ref_Mean
Medeltemperatur



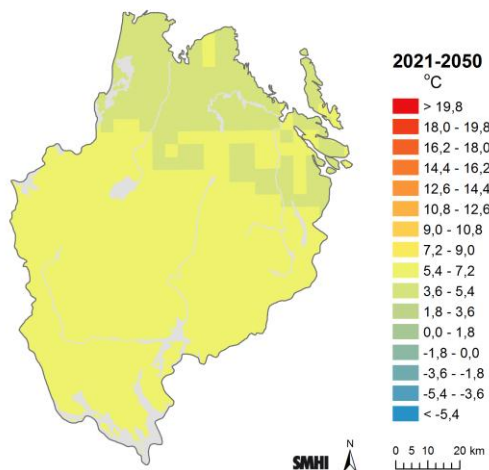
Beräknat 1991-2010 (°C)

Ensemble_tav_MAM_1991to2010_Comp_Mean
Medeltemperatur



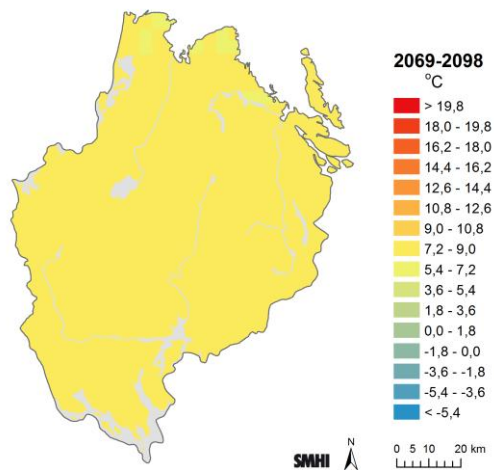
Beräknat 2021-2050 (°C)

Ensemble_tav_MAM_2021to2050_Comp_Mean
Medeltemperatur

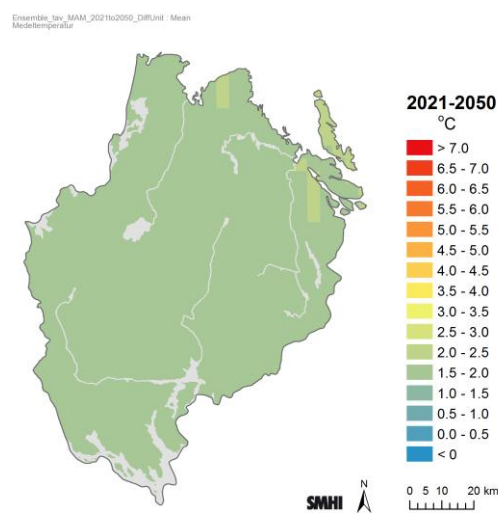


Beräknat 2069-2098 (°C)

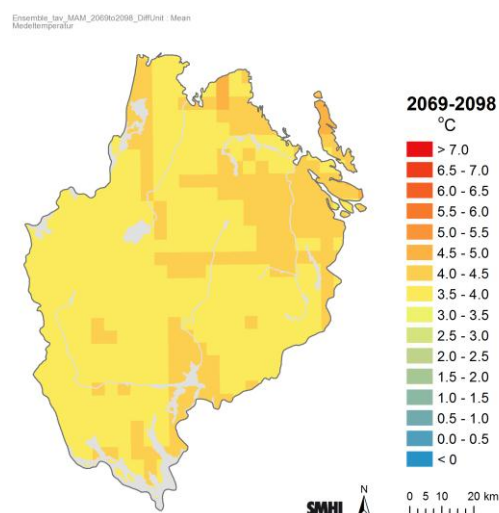
Ensemble_tav_MAM_2069to2098_Comp_Mean
Medeltemperatur



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

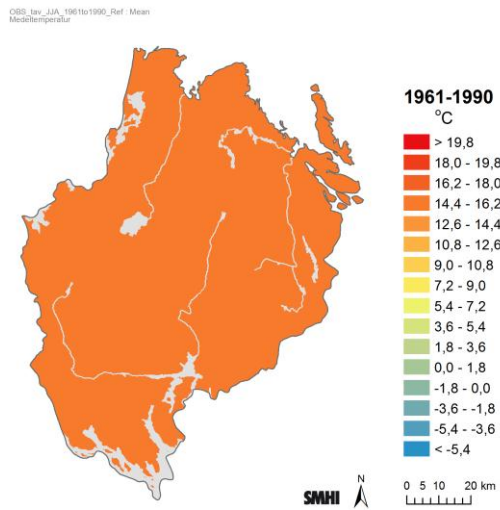


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 ($\Delta^{\circ}\text{C}$)

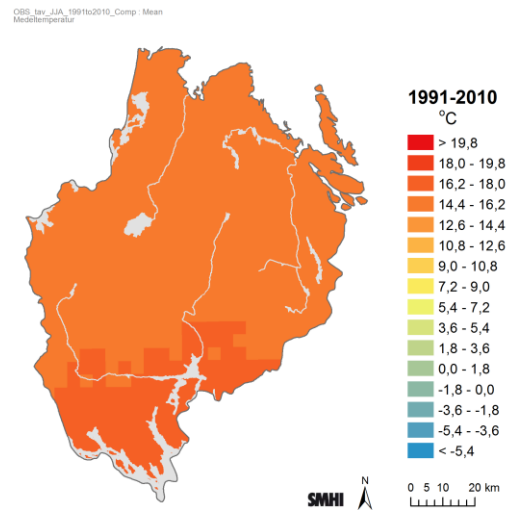


Bilaga 4 – Sommarmedeltemperatur (juni-augusti) (se kap. 5.1.1)

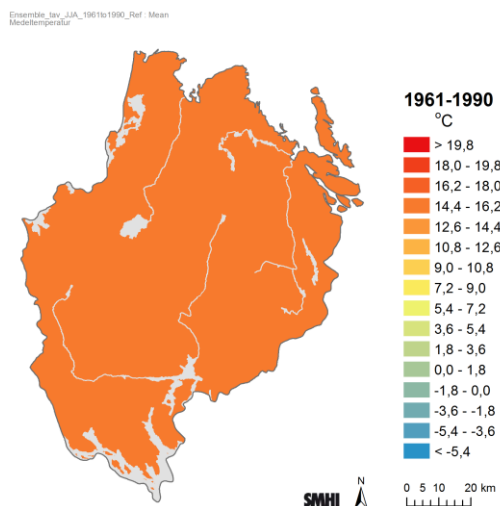
Observerat 1961-1990 (°C)



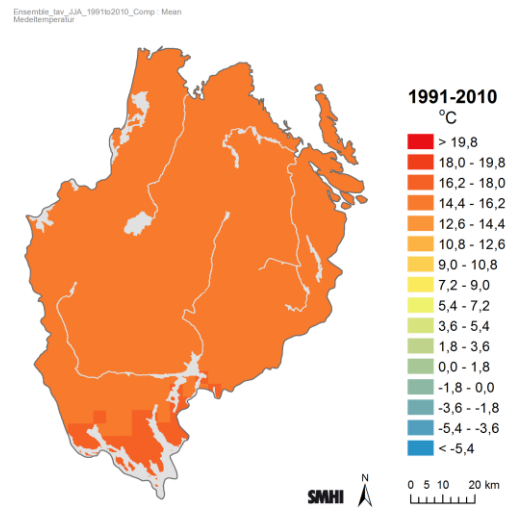
Observerat 1991-2010 (°C)



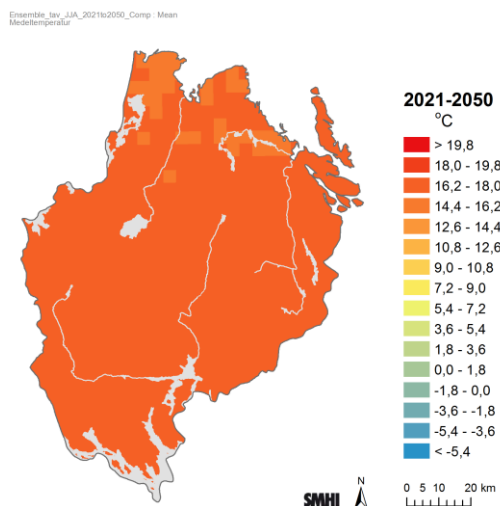
Beräknat 1961-1990 (°C)



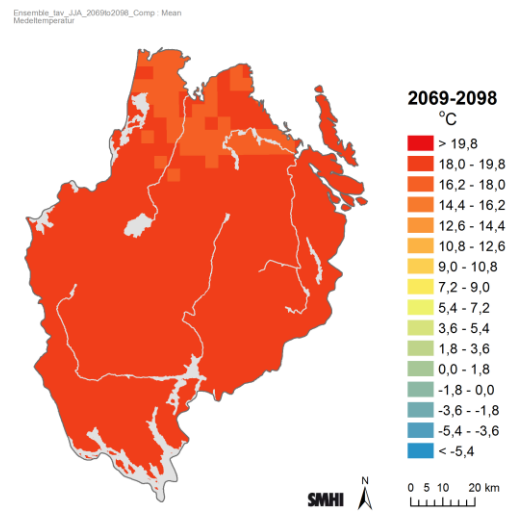
Beräknat 1991-2010 (°C)



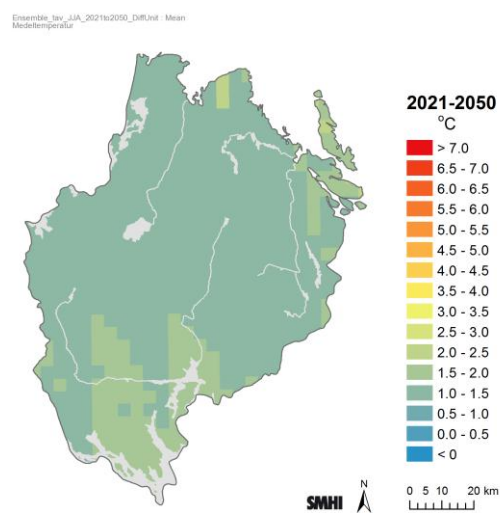
Beräknat 2021-2050 (°C)



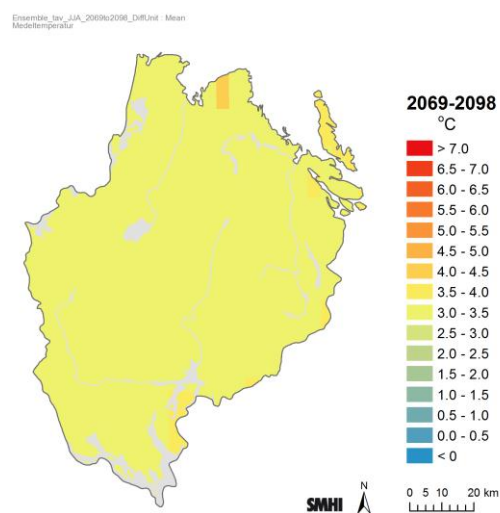
Beräknat 2069-2098 (°C)



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

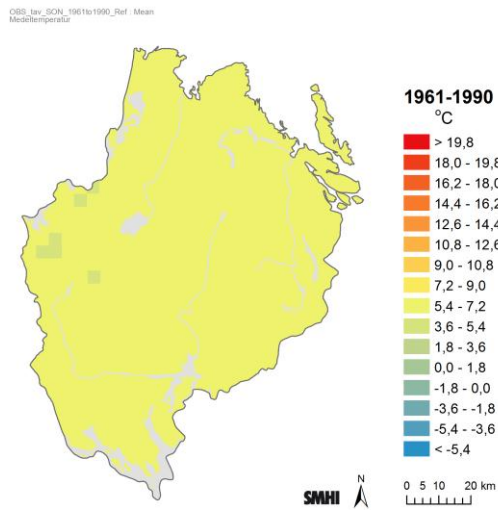


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 ($\Delta^{\circ}\text{C}$)

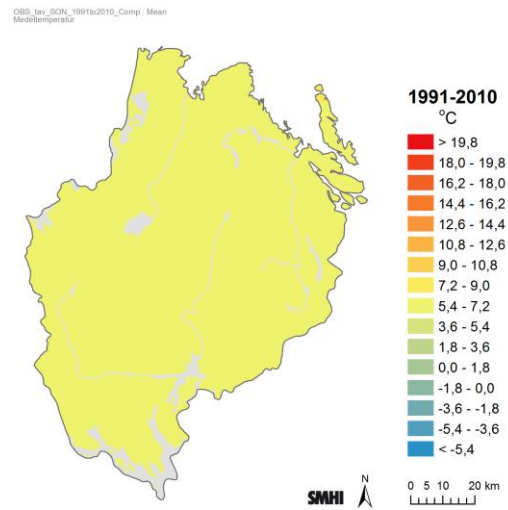


Bilaga 5 – Höstmedeltemperatur (september-november) (se kap. 5.1.1)

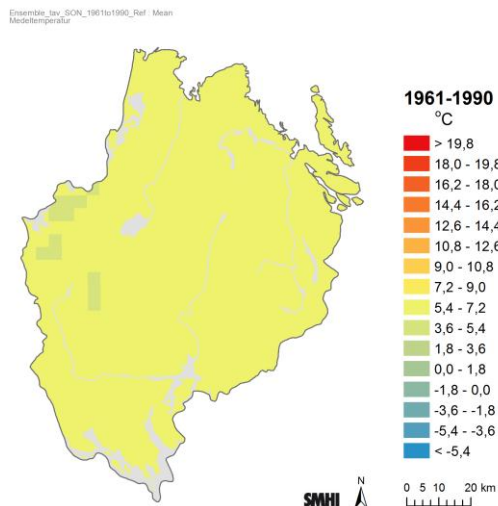
Observerat 1961-1990 (°C)



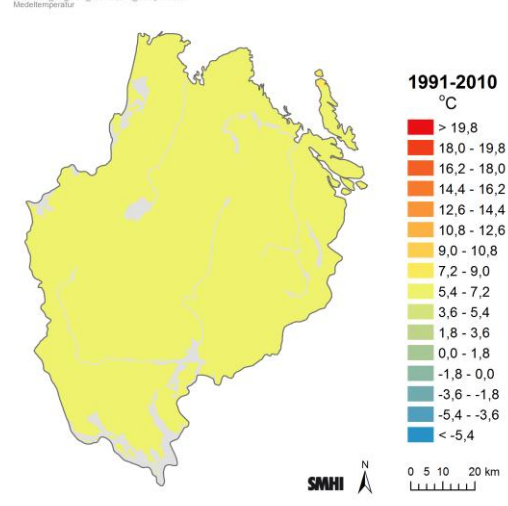
Observerat 1991-2010 (°C)



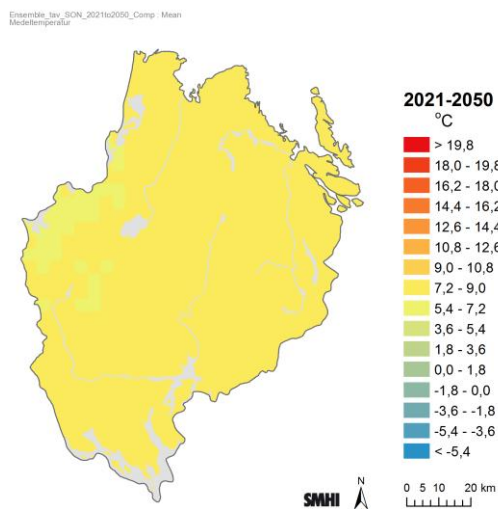
Beräknat 1961-1990 (°C)



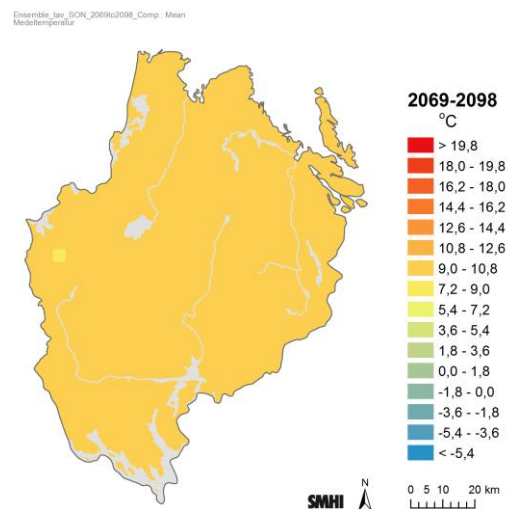
Beräknat 1991-2010 (°C)



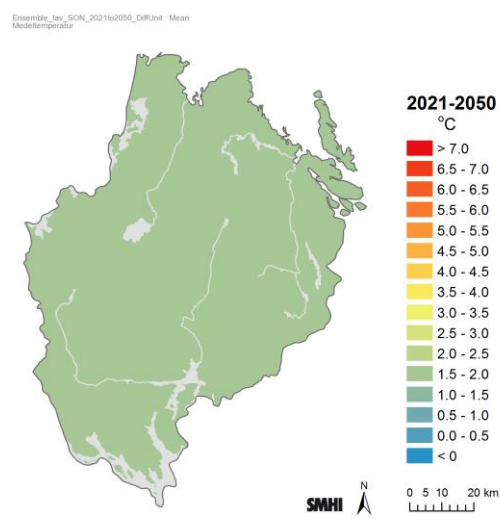
Beräknat 2021-2050 (°C)



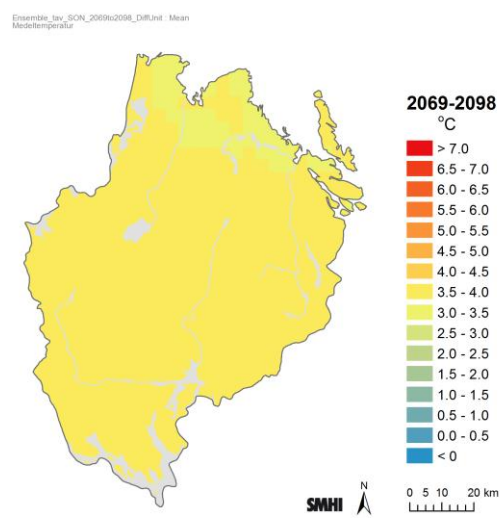
Beräknat 2069-2098 (°C)



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



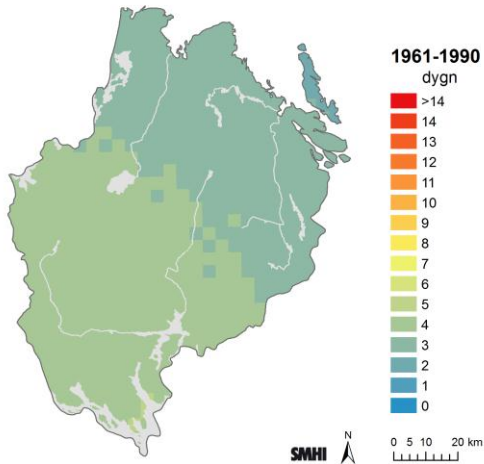
Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 ($\Delta^{\circ}\text{C}$)



Bilaga 6 – Antal sammanhängande dygn med dygnsmedeltemperatur över 20 °C (se kap. 5.1.2)

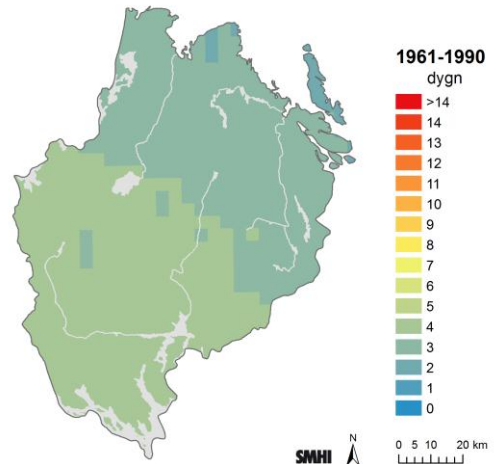
Observerat 1961-1990 (antal dygn)

OBS_tshw_1961s1990_Ref_Mean
Värmebolja längd > troskelvärde (20°C)



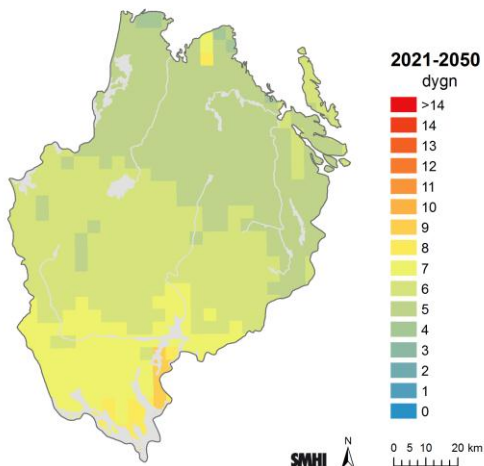
Beräknat 1961-1990 (antal dygn)

Ensemble_tshw_1961s1990_Ref_Mean
Värmebolja längd > troskelvärde (20°C)



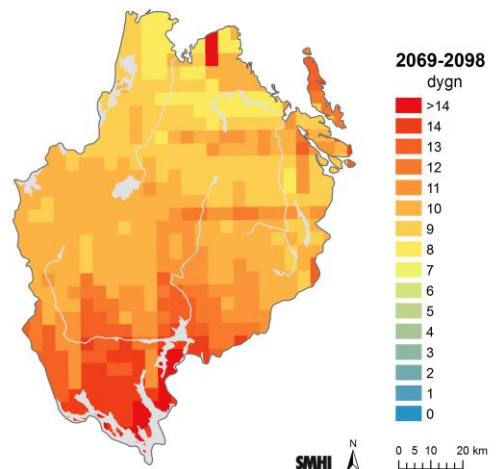
Beräknat 2021-2050 (antal dygn)

Ensemble_tshw_2021s2050_Comp_Mean
Värmebolja längd > troskelvärde (20°C)



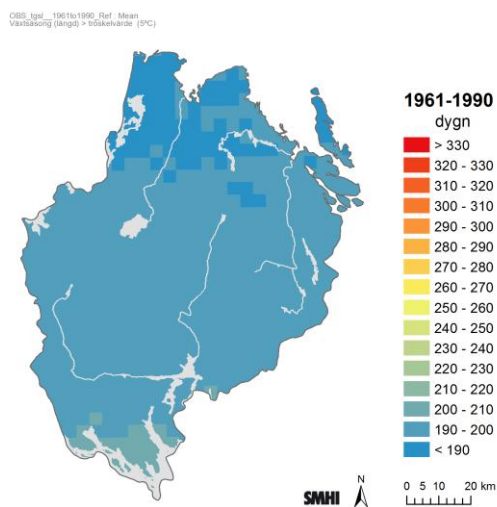
Beräknat 2069-2098 (antal dygn)

Ensemble_tshw_2069s2098_Comp_Mean
Värmebolja längd > troskelvärde (20°C)

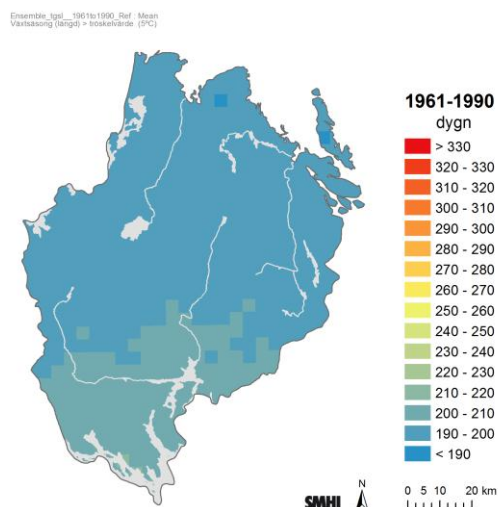


Bilaga 7 – Vegetationsperiodens längd, tröskelvärde 5 °C (se kap. 5.1.3)

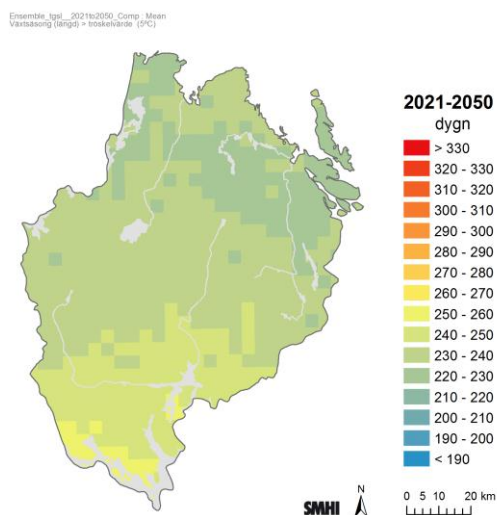
Observerat 1961-1990 (antal dygn)



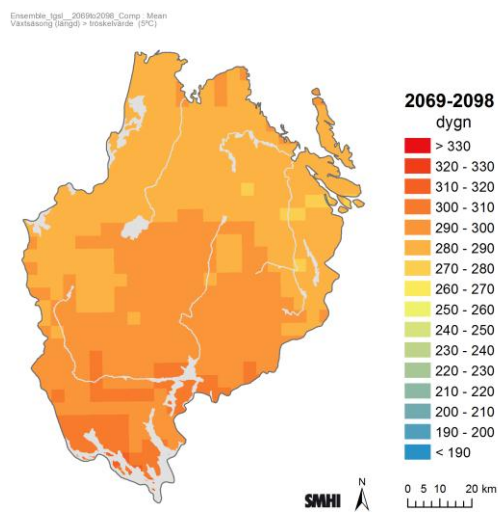
Beräknat 1961-1990 (antal dygn)



Beräknat 2021-2050 (antal dygn)

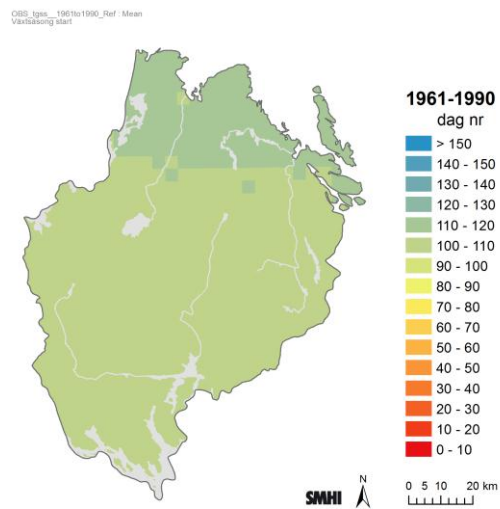


Beräknat 2069-2098 (antal dygn)

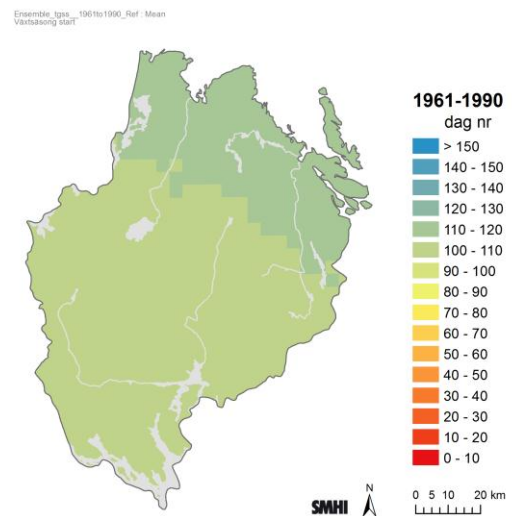


Bilaga 8 – Vegetationsperiodens start (se kap. 5.1.3)

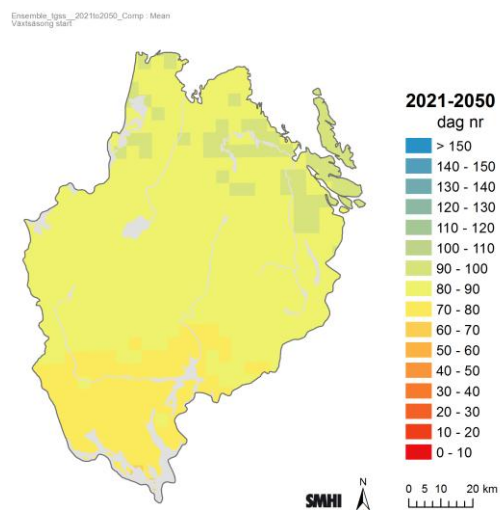
Observerat 1961-1990 (dagnummer)



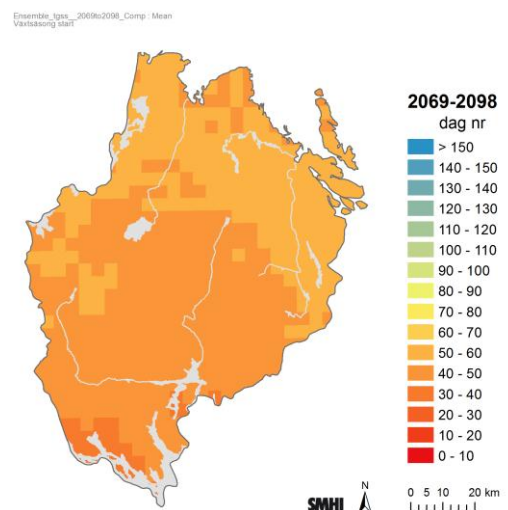
Beräknat 1961-1990 (dagnummer)



Beräknat 2021-2050 (dagnummer)

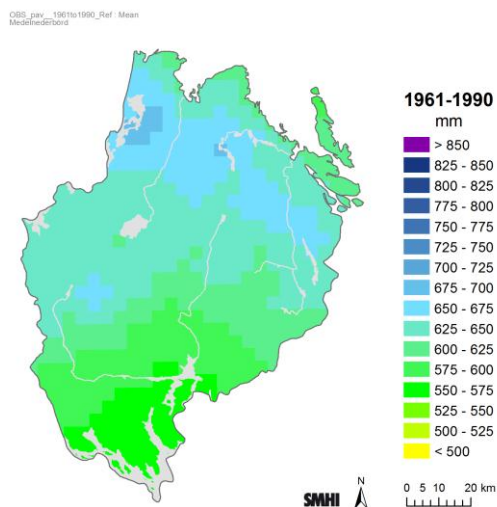


Beräknat 2069-2098 (dagnummer)

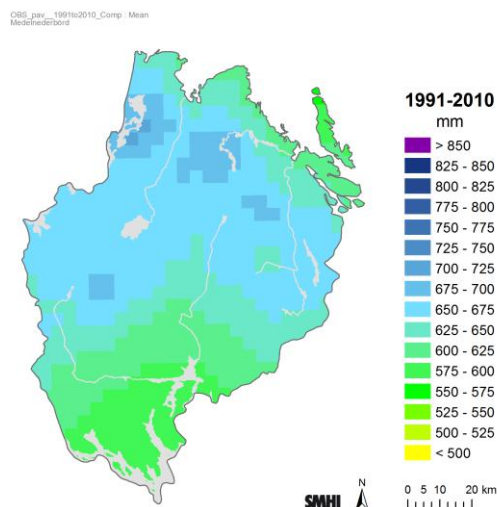


Bilaga 9 – Årsmedelnederbörd (se kap. 5.2.1)

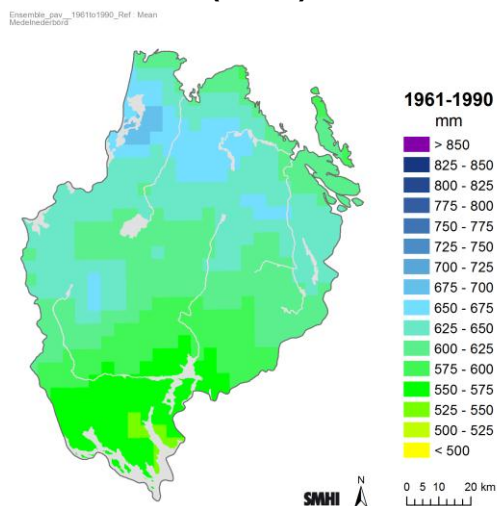
Observerat 1961-1990 (mm/år)



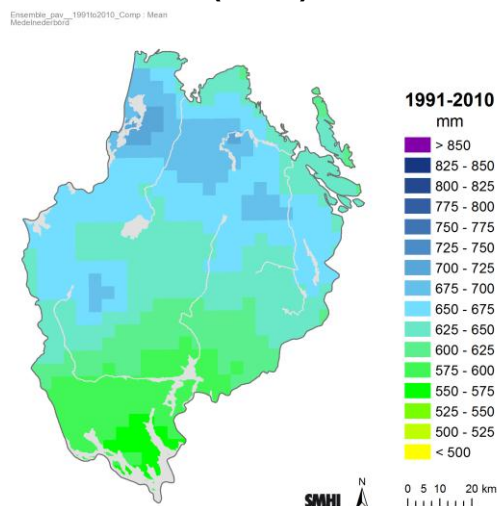
Observerat 1991-2010 (mm/år)



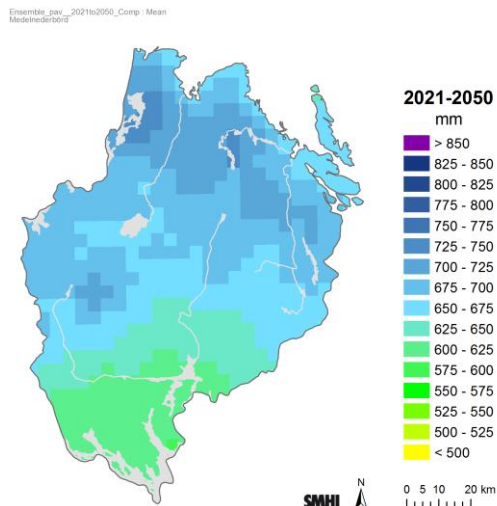
Beräknat 1961-1990 (mm/år)



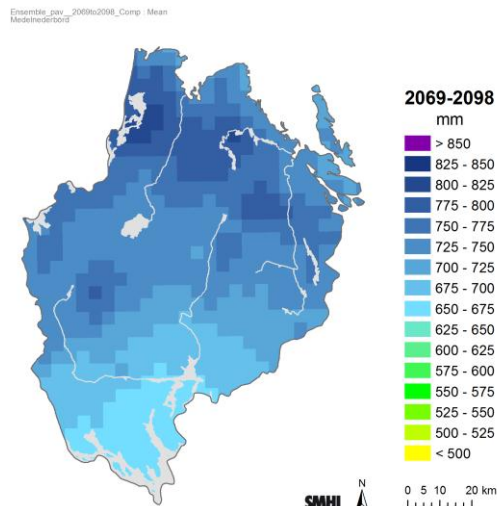
Beräknat 1991-2010 (mm/år)



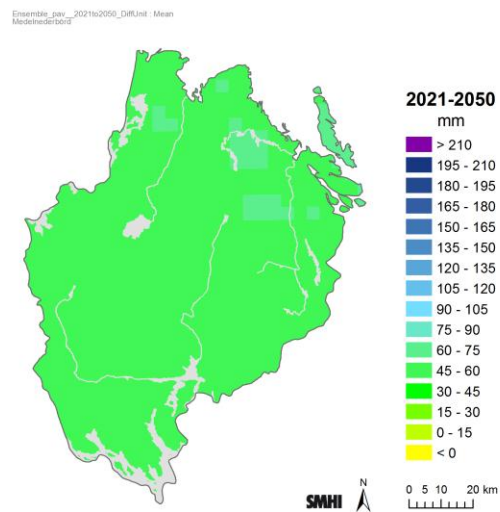
Beräknat 2021-2050 (mm/år)



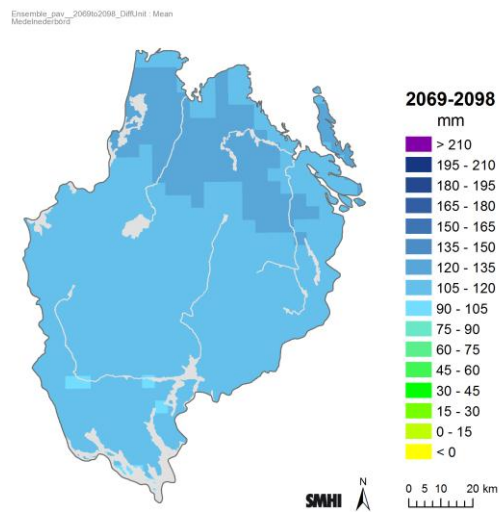
Beräknat 2069-2098 (mm/år)



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

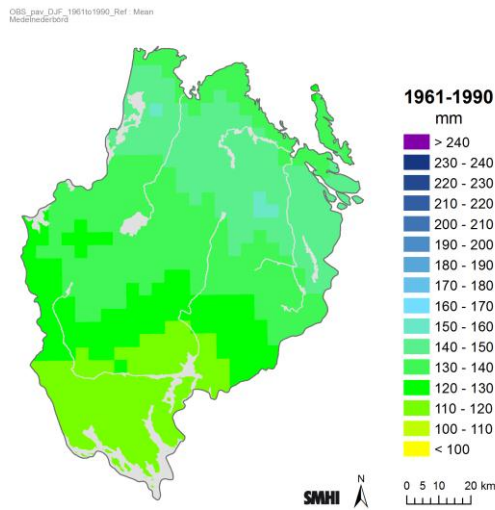


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (mm/år)

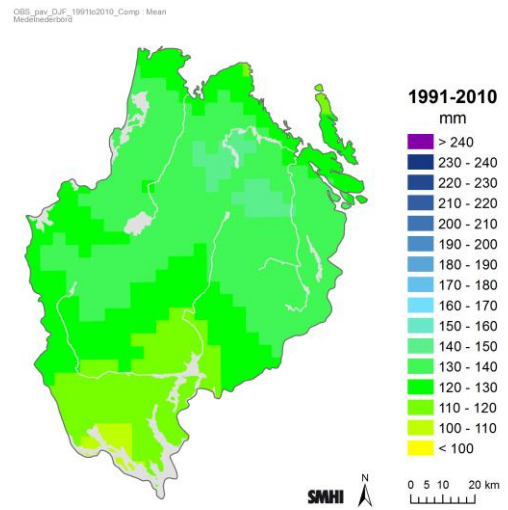


Bilaga 10 – Vintermedelnederbörd (december-februari) (se kap. 5.2.1)

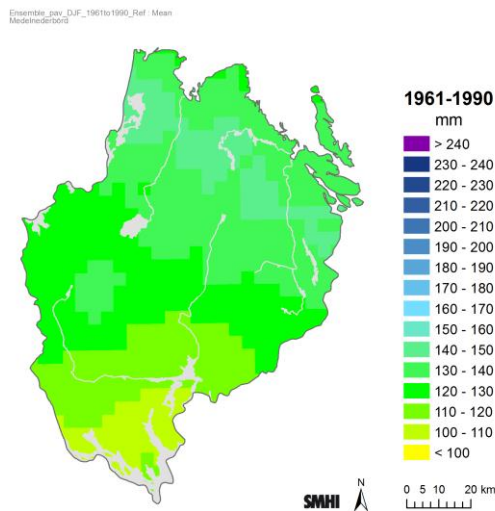
Observerat 1961-1990 (mm/säsong)



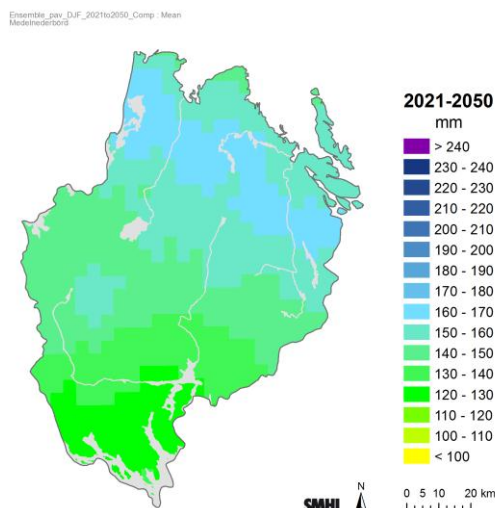
Observerat 1991-2010 (mm/säsong)



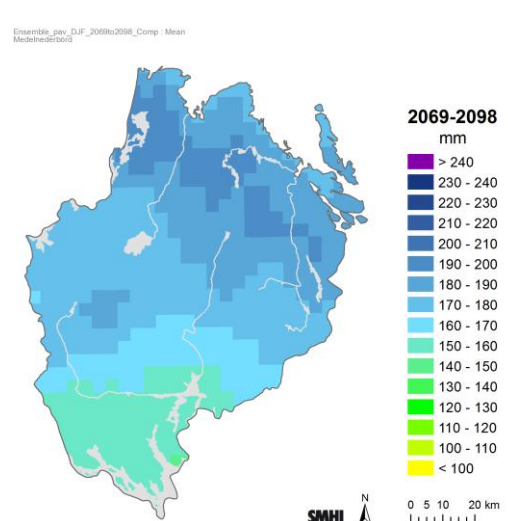
Beräknat 1961-1990 (mm/säsong)



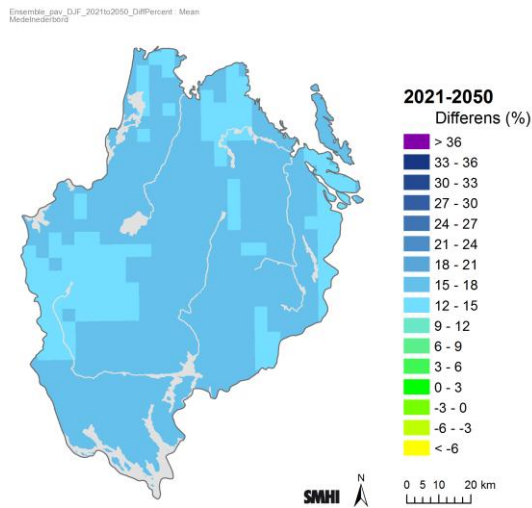
Beräknat 2021-2050 (mm/säsong)



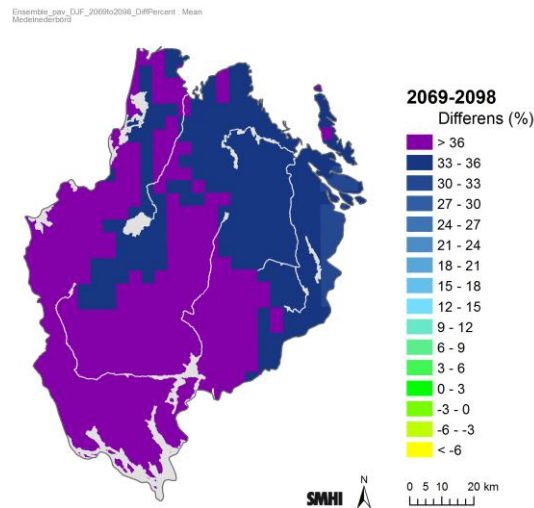
Beräknat 2069-2098 (mm/säsong)



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

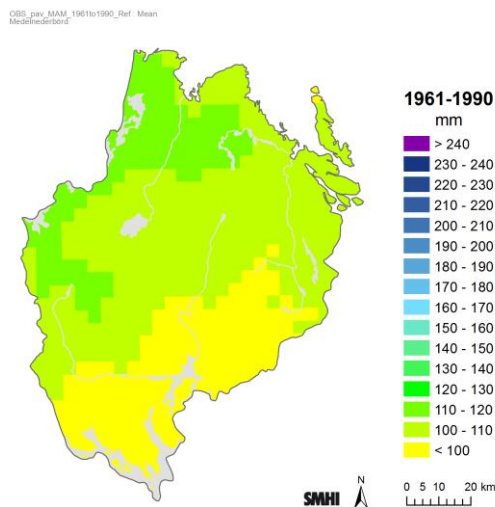


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (%)

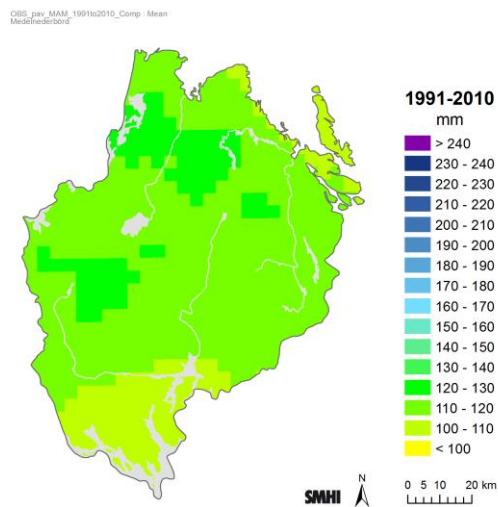


Bilaga 11 – Vårmedelnederbörd (mars-maj) (se kap. 5.2.1)

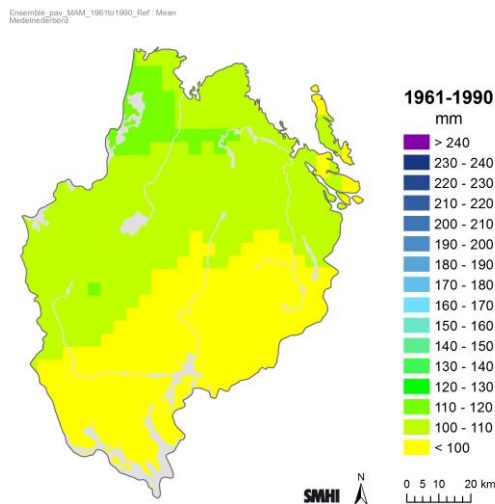
Observerat 1961-1990 (mm/säsong)



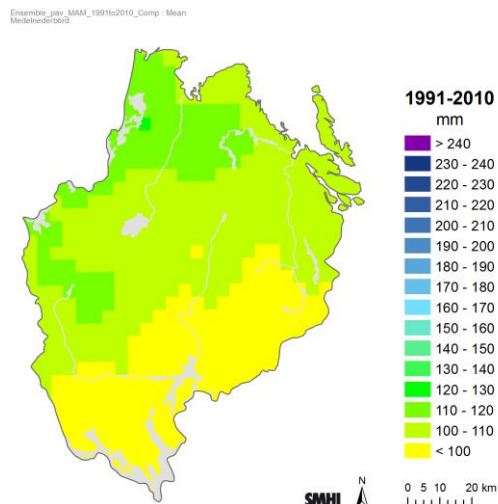
Observerat 1991-2010 (mm/säsong)



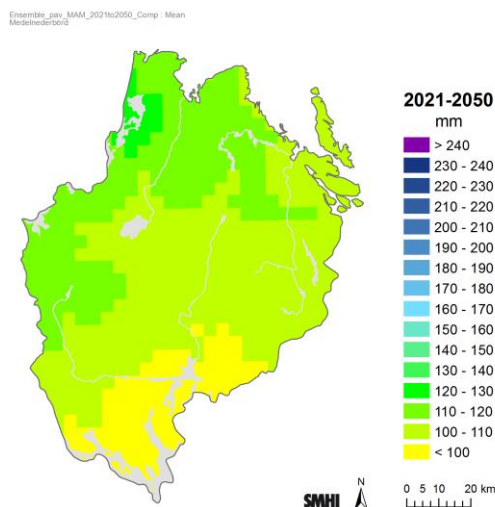
Beräknat 1961-1990 (mm/säsong)



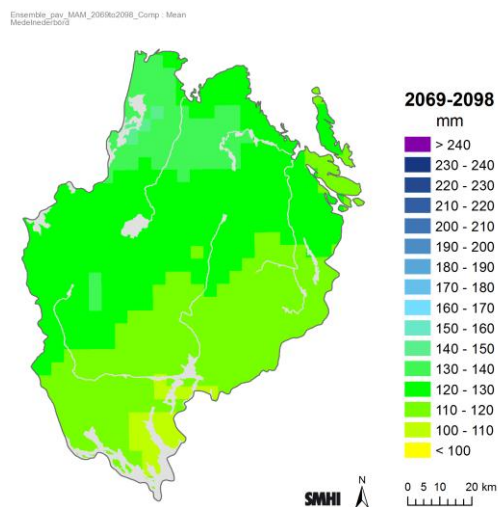
Beräknat 1991-2010 (mm/säsong)



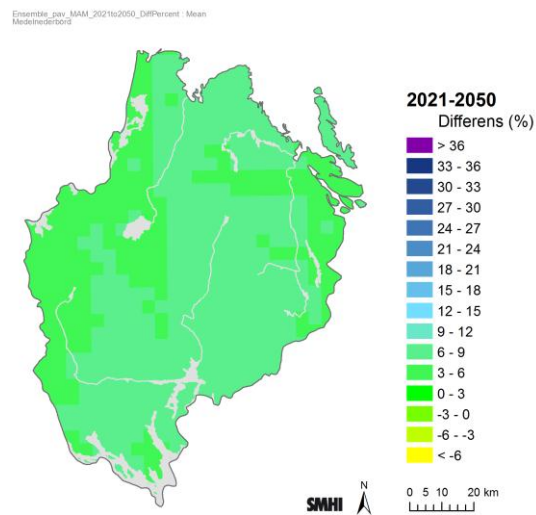
Beräknat 2021-2050 (mm/säsong)



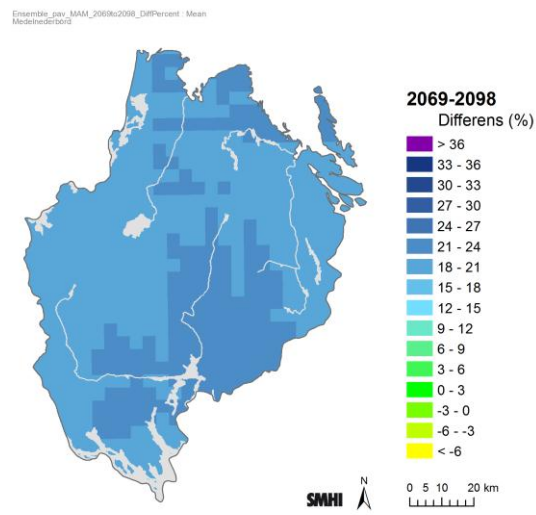
Beräknat 2069-2098 (mm/säsong)



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

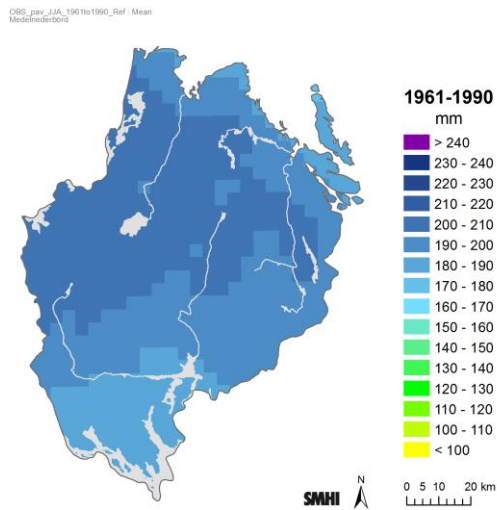


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (%)

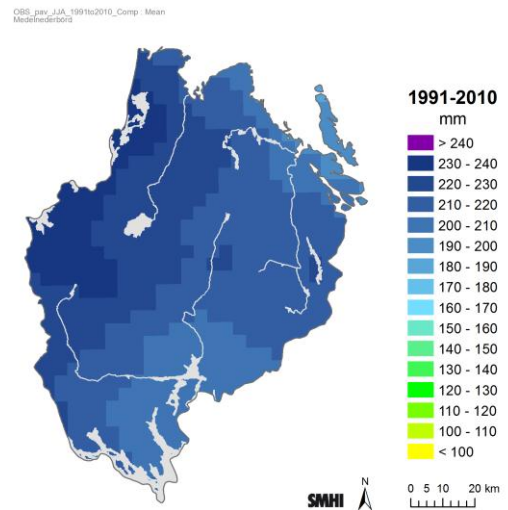


Bilaga 12 – Somarmedelnederbörd (juni-augusti) (se kap. 5.2.1)

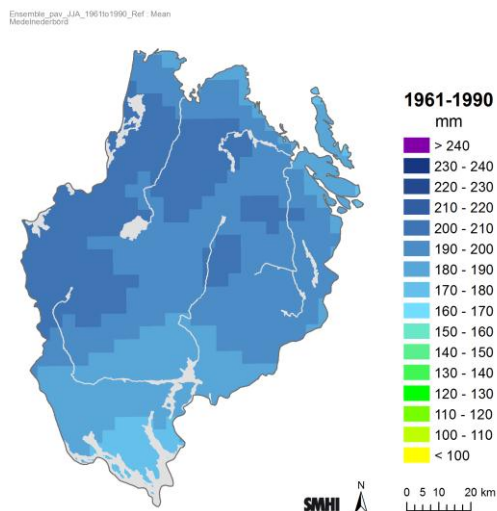
Observerat 1961-1990 (mm/säsong)



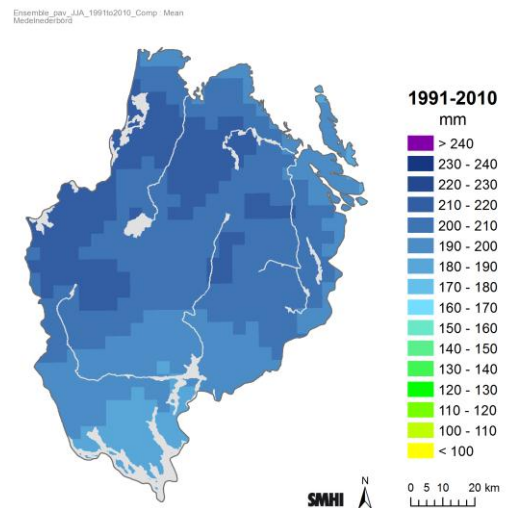
Observerat 1991-2010 (mm/säsong)



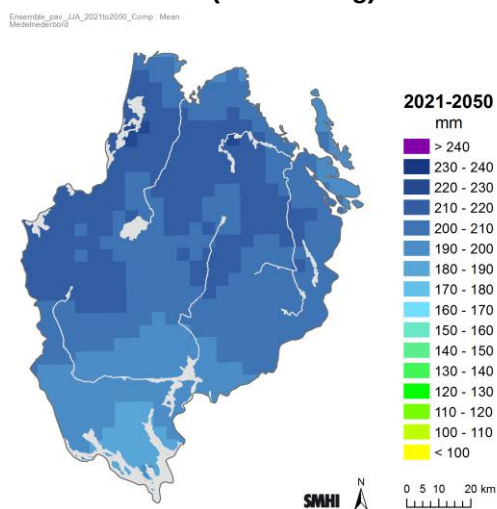
Beräknat 1961-1990 (mm/säsong)



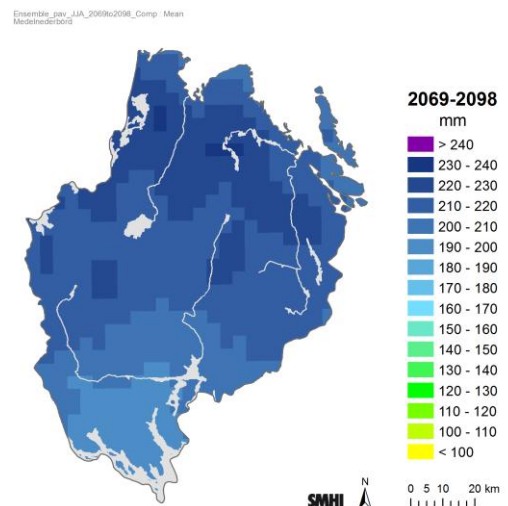
Beräknat 1991-2010 (mm/säsong)



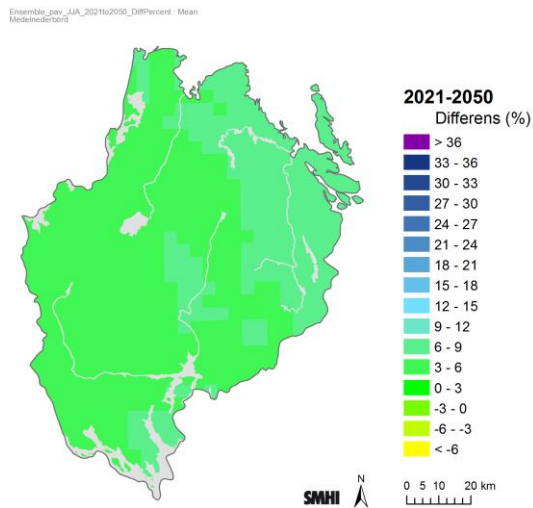
Beräknat 2021-2050 (mm/säsong)



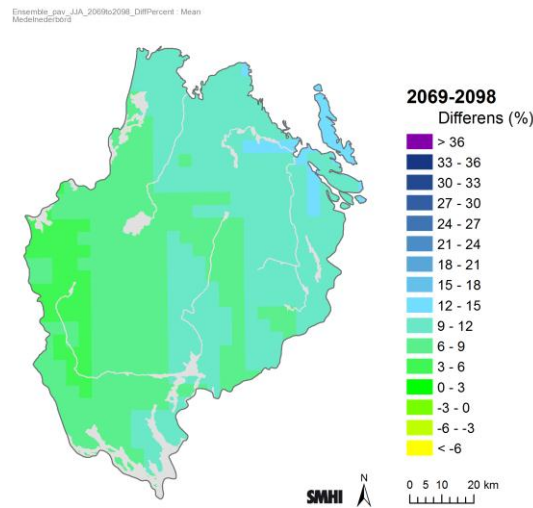
Beräknat 2069-2098 (mm/säsong)



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

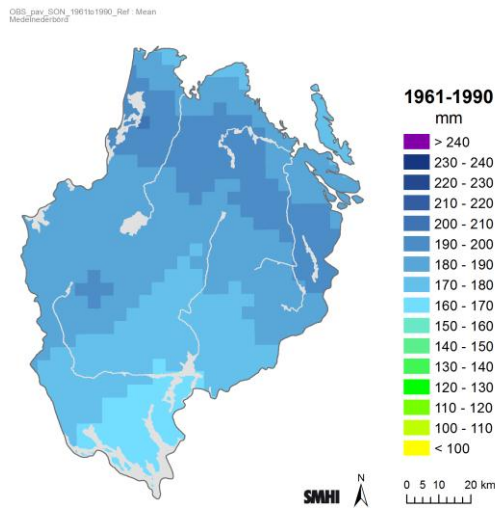


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (%)

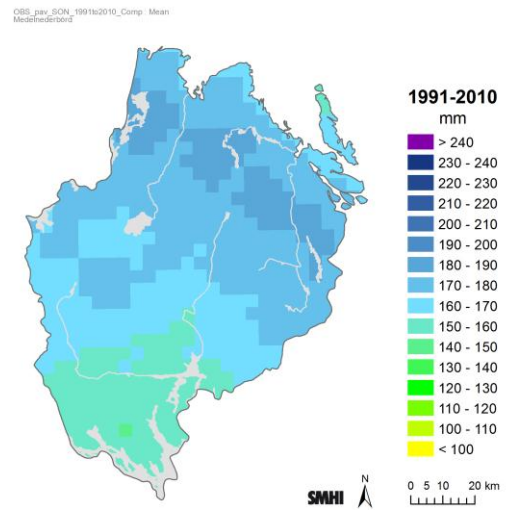


Bilaga 13 – Höstmedelnederbörd (september-november) (se kap. 5.2.1)

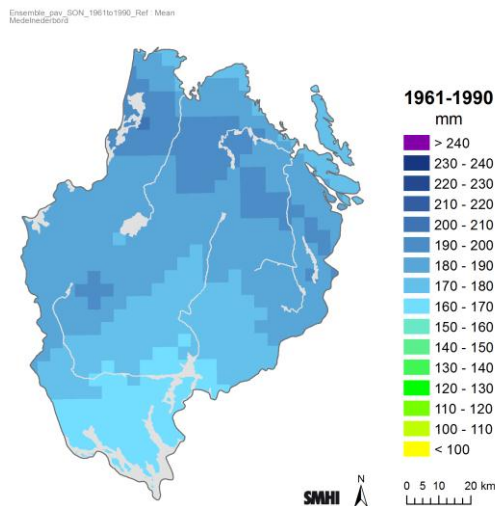
Observerat 1961-1990 (mm/säsong)



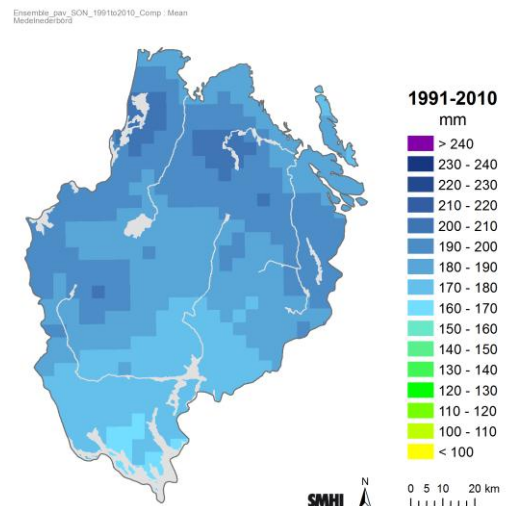
Observerat 1991-2010 (mm/säsong)



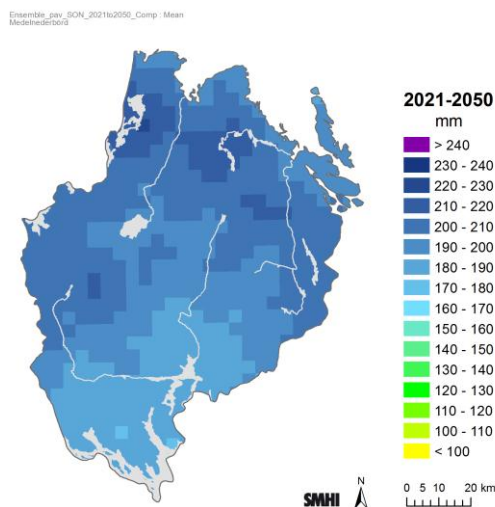
Beräknat 1961-1990 (mm/säsong)



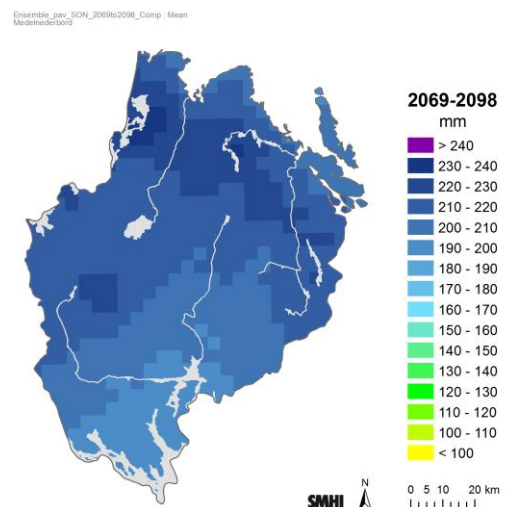
Beräknat 1991-2010 (mm/säsong)



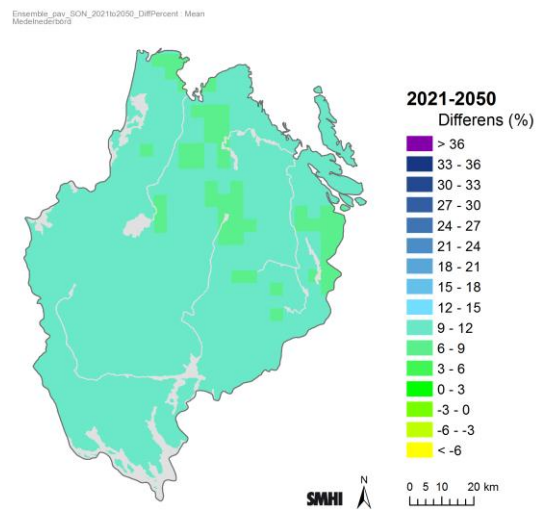
Beräknat 2021-2050 (mm/säsong)



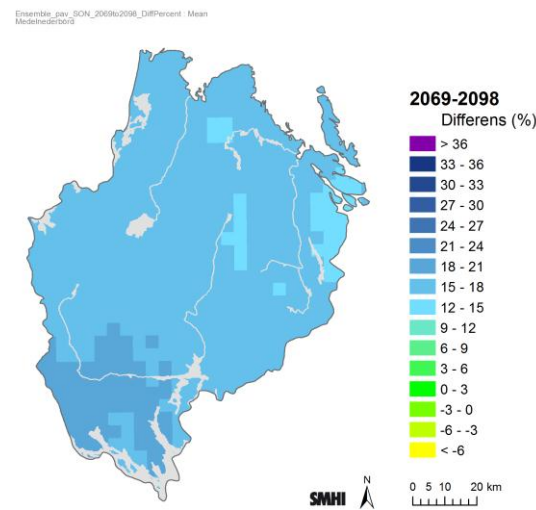
Beräknat 2069-2098 (mm/säsong)



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



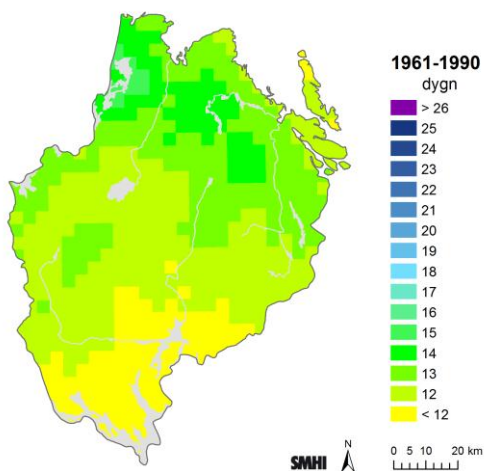
Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (%)



Bilaga 14 – Antal dygn per år med nederbörd > 10 mm (se kap. 5.2.2)

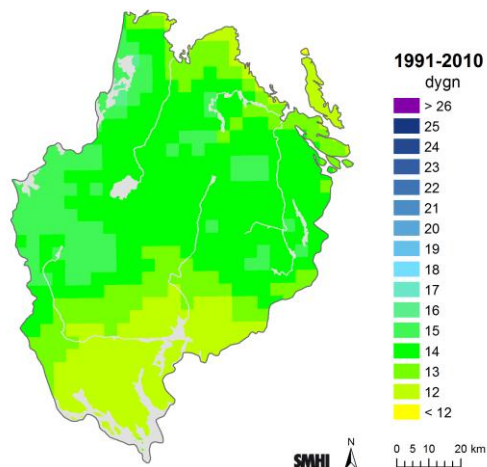
Observerat 1961-1990 (dygn)

OBS_pn10mm_1961to1990_Ref_Mean
Antal dagar med nederbörd > 10 mm



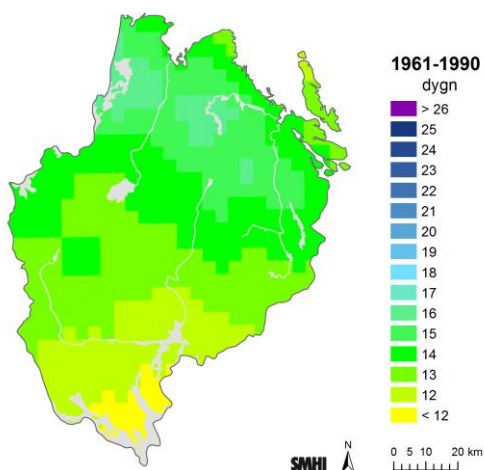
Observerat 1991-2010 (dygn)

OBS_pn10mm_1991to2010_Comp_Mean
Antal dagar med nederbörd > 10 mm



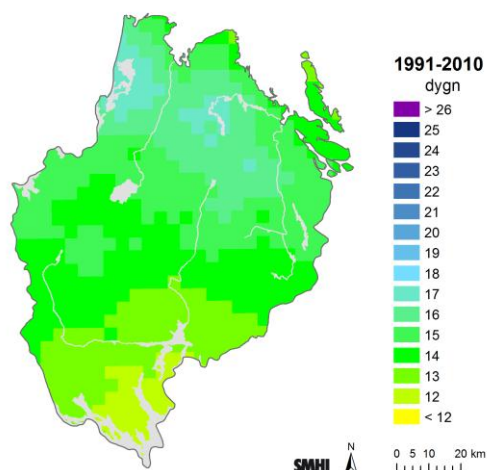
Beräknat 1961-1990 (dygn)

Ensemble_pn10mm_1961to1990_Ref_Mean
Antal dagar med nederbörd > 10 mm



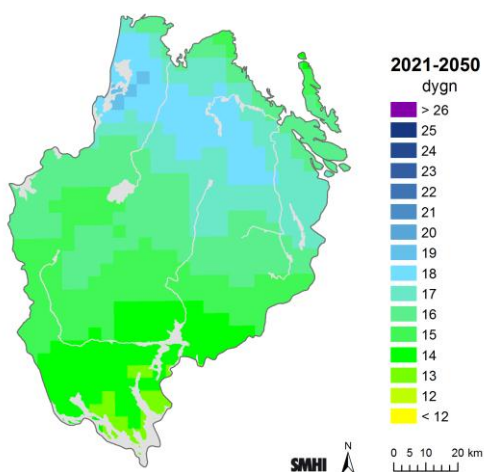
Beräknat 1991-2010 (dygn)

Ensemble_pn10mm_1991to2010_Comp_Mean
Antal dagar med nederbörd > 10 mm



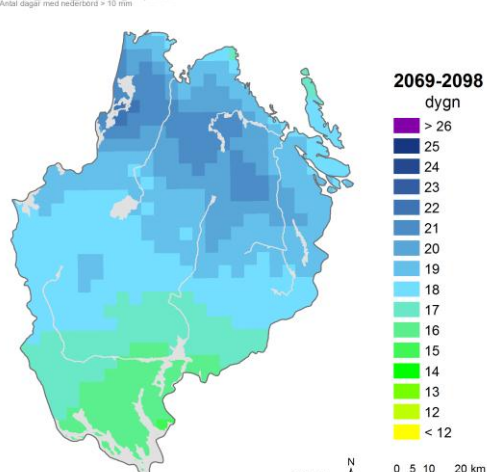
Beräknat 2021-2050 (dygn)

Ensemble_pn10mm_2021to2050_Comp_Mean
Antal dagar med nederbörd > 10 mm



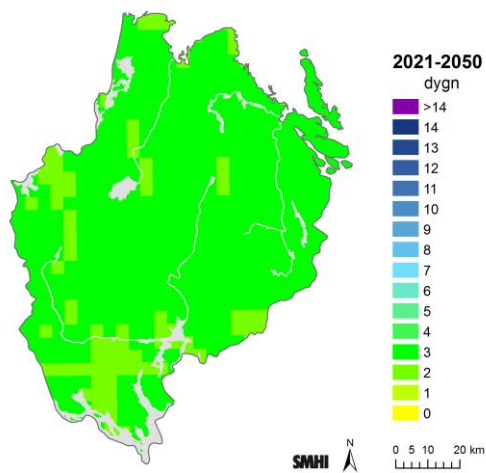
Beräknat 2069-2098 (dygn)

Ensemble_pn10mm_2069to2098_Comp_Mean
Antal dagar med nederbörd > 10 mm



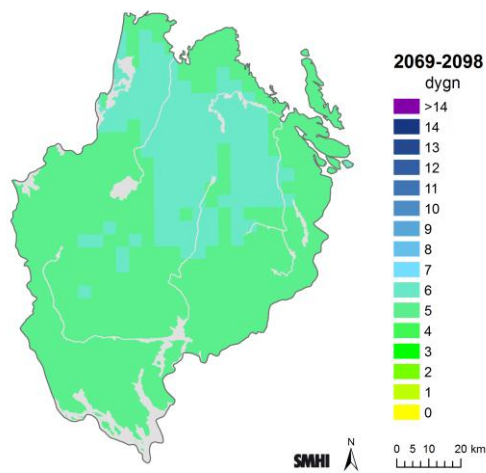
Differens 2021-2050 vs 1961-1990 (dygn)

Ensemble_perform_2021to2050_DIRLH1 - Mean
Antal dagar med nedbörd > 10 mm

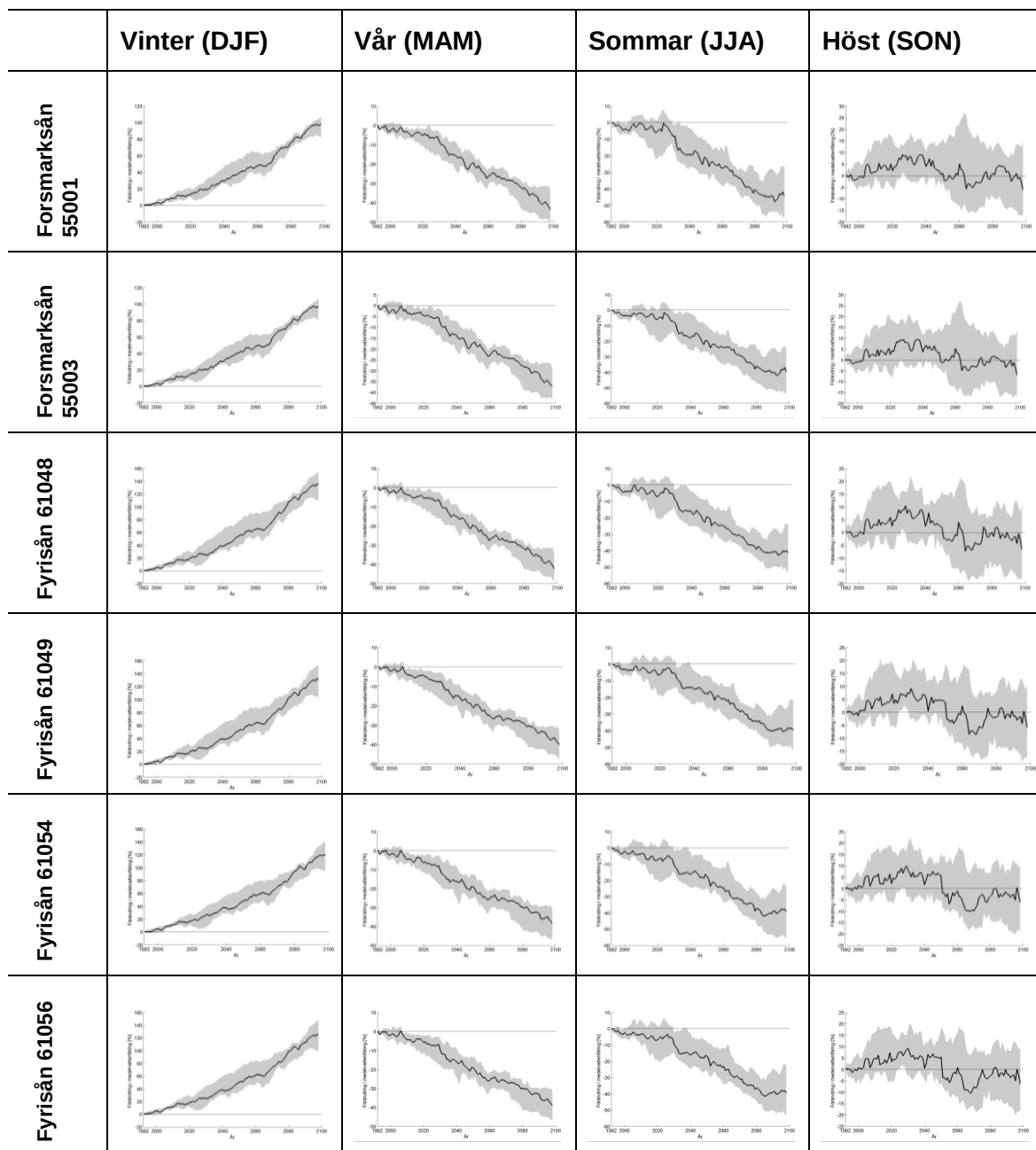


Differens 2069-2098 vs 1961-1990 (dygn)

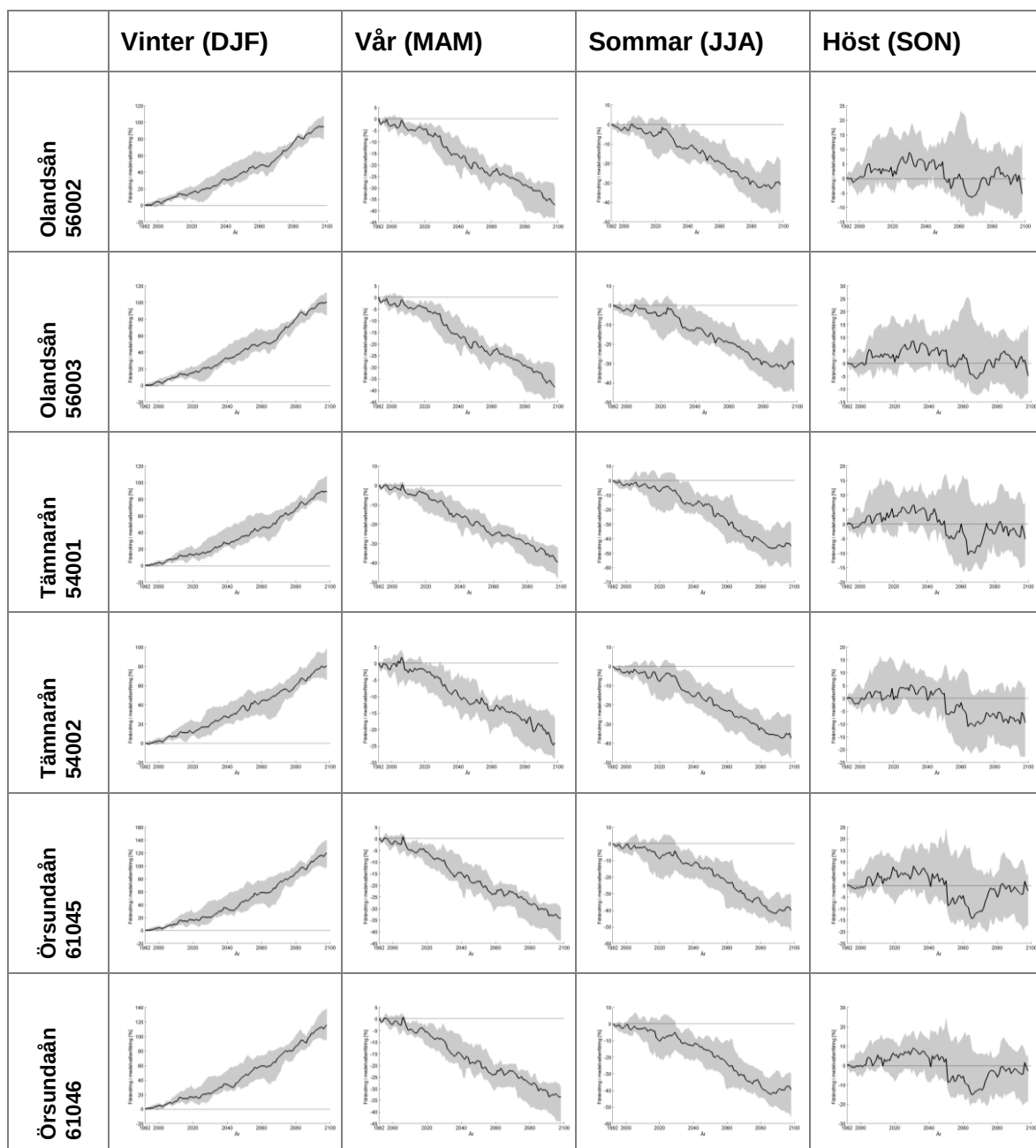
Ensemble_perform_2069to2098_DIRLH1 - Mean
Antal dagar med nedbörd > 10 mm



Bilaga 15 – Förändring av säsongmedelvattenföring (%) (se kap. 5.4.2)



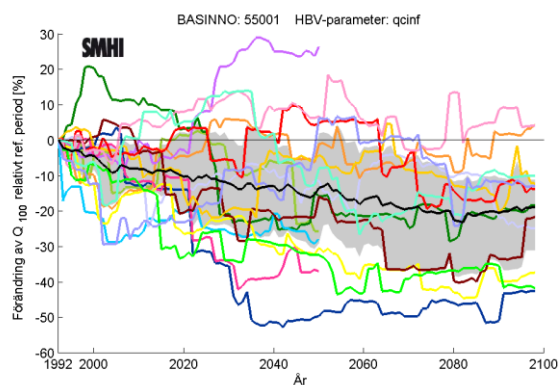
Figurerna visar procentuell förändring i medelvattenföring per säsong 1992-2100 i relation till referensperioden 1961-1992.



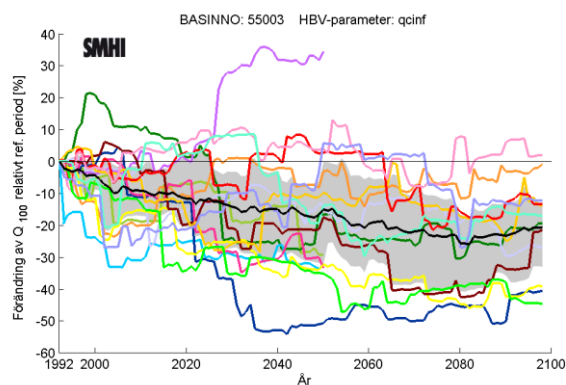
Figurerna visar procentuell förändring i medelvattenföring per säsong 1992-2100 i relation till referensperioden 1961-1992.

Bilaga 16 – Förändring av 100-årstillrinning (se kap. 5.4.3)

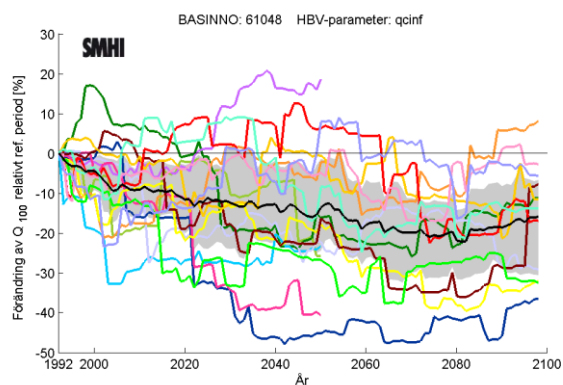
Forsmarksån 55001



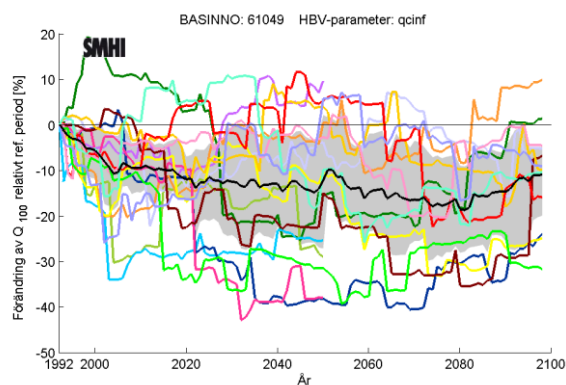
Forsmarksån 55003



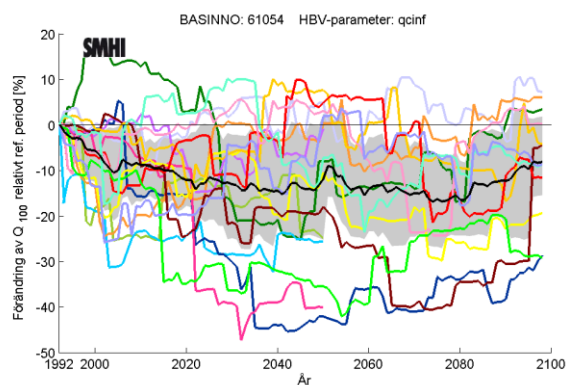
Fyrisån 61048



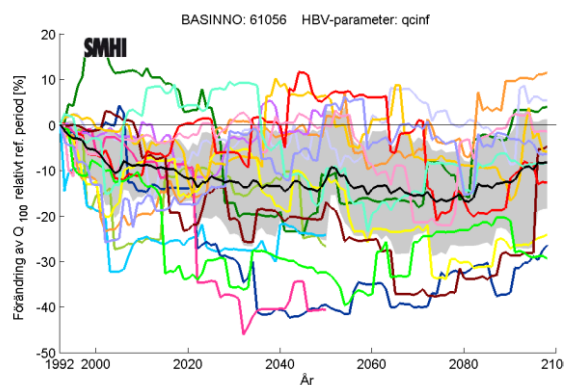
Fyrisån 61049



Fyrisån 61054



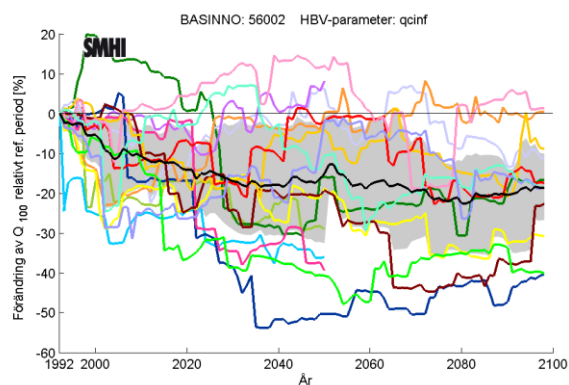
Fyrisån 61056



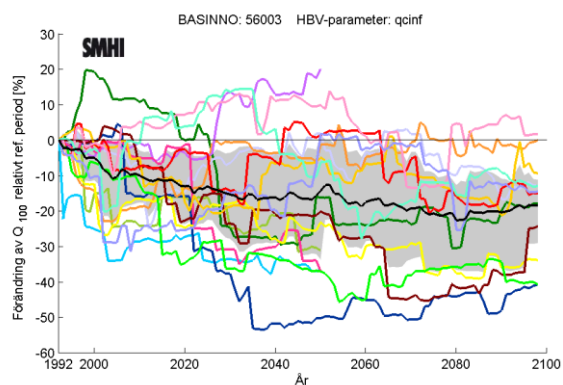
C4I-E53-25-A2
 C4I-HCQ16-25-A1B
 CNRM-AR-25-A1B
 DMI-E53-25-A1B
 HC-HCQ0-25-A1B
 KNMI-E53-25-A1B
 METNO-BCM-25-A1B
 METNO-HCQ0-25-A1B

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

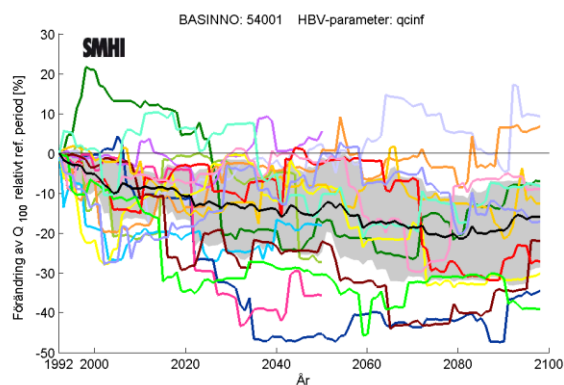
Olandsån 56002



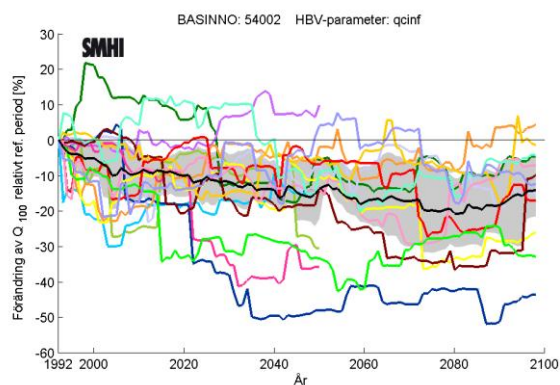
Olandsån 56003



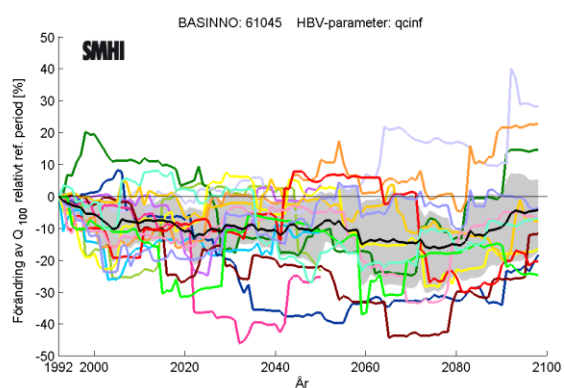
Tämnrån 54001



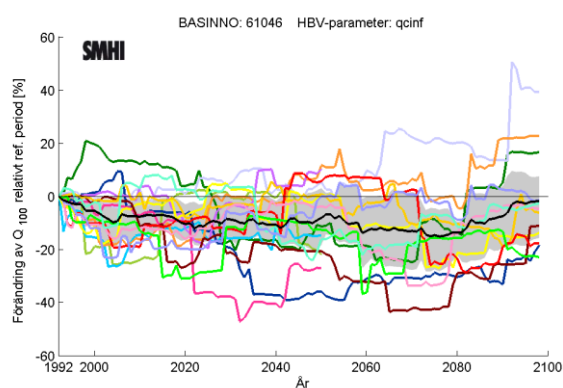
Tämnrån 54002



Örsundaån 61045



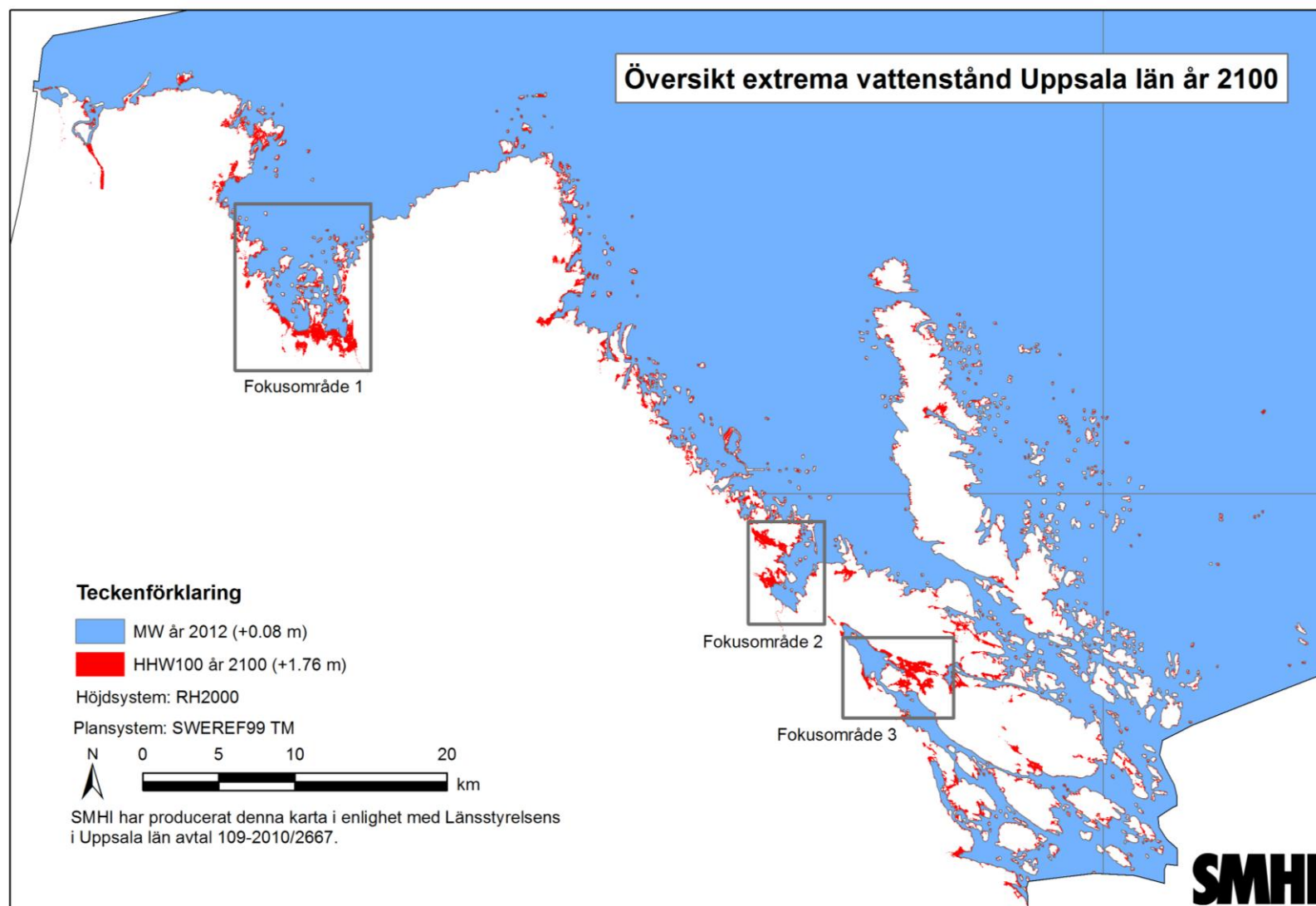
Örsundaån 61046



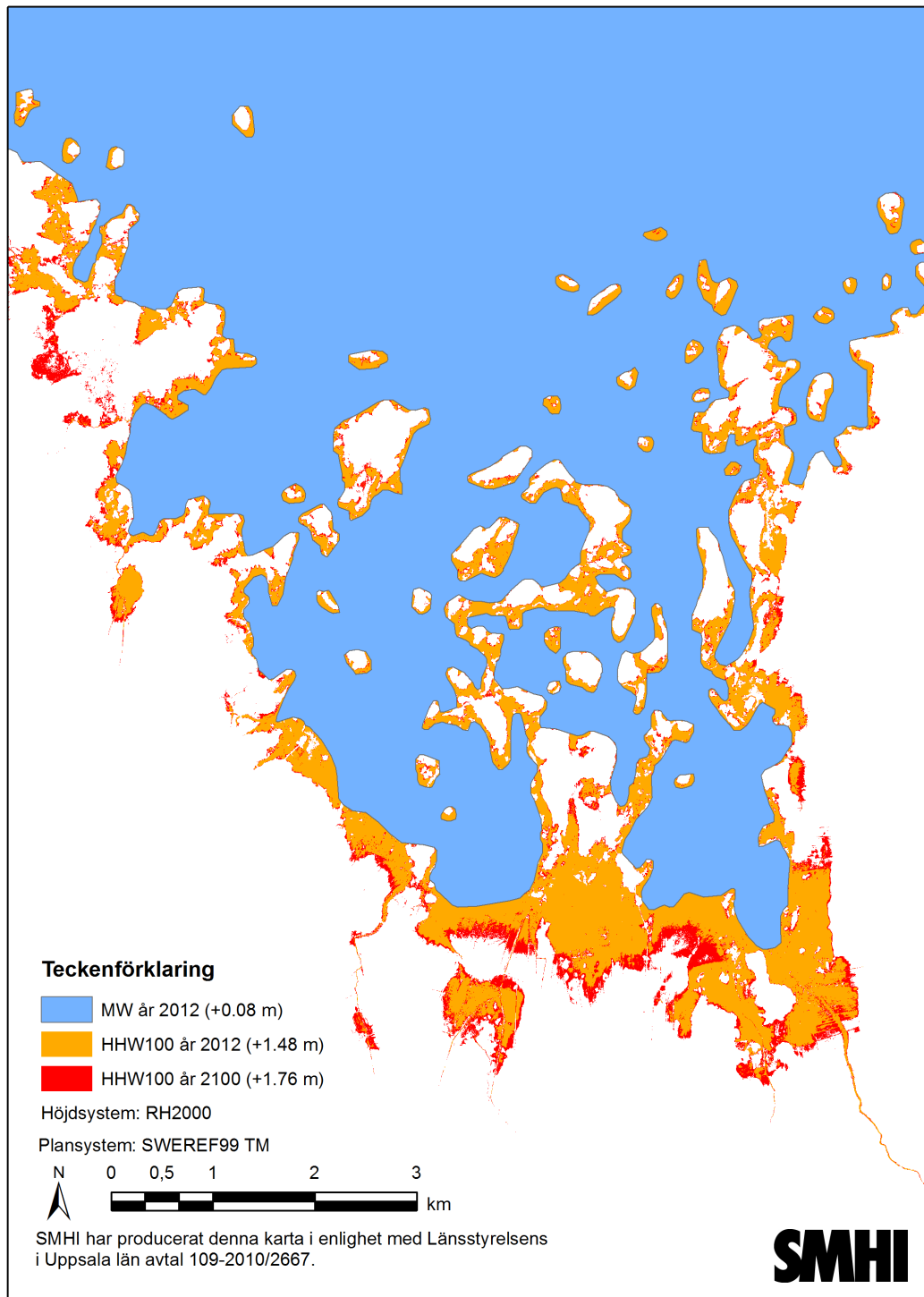
C4I-E53-25-A2
 C4I-HCQ16-25-A1B
 CNRM-AR-25-A1B
 DMI-E53-25-A1B
 HC-HCQ0-25-A1B
 KNMI-E53-25-A1B
 METNO-BCM-25-A1B
 METNO-HCQ0-25-A1B

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

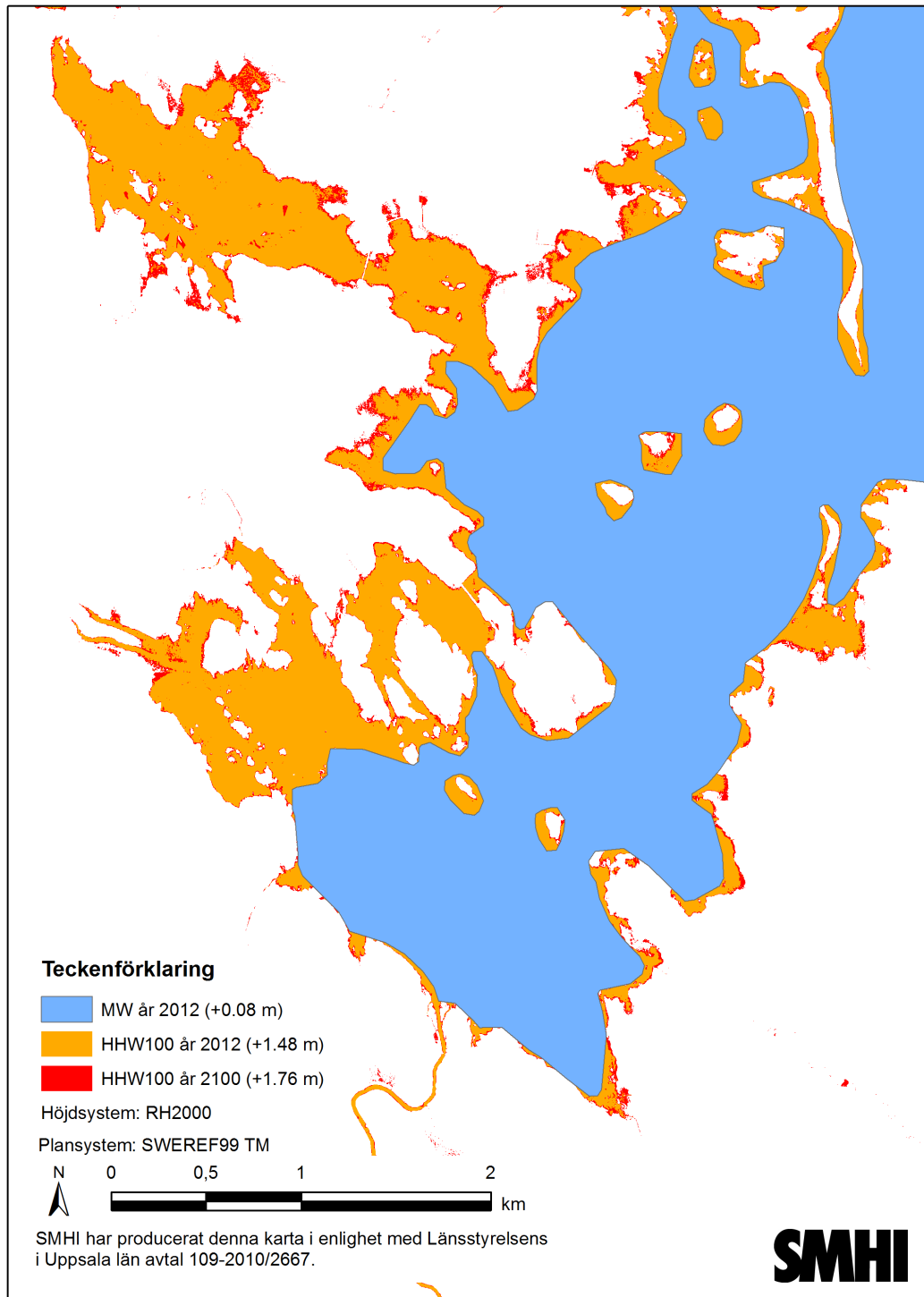
Bilaga 17 – Havsvattenstånd längs Uppsala läns kust (se kap. 6)



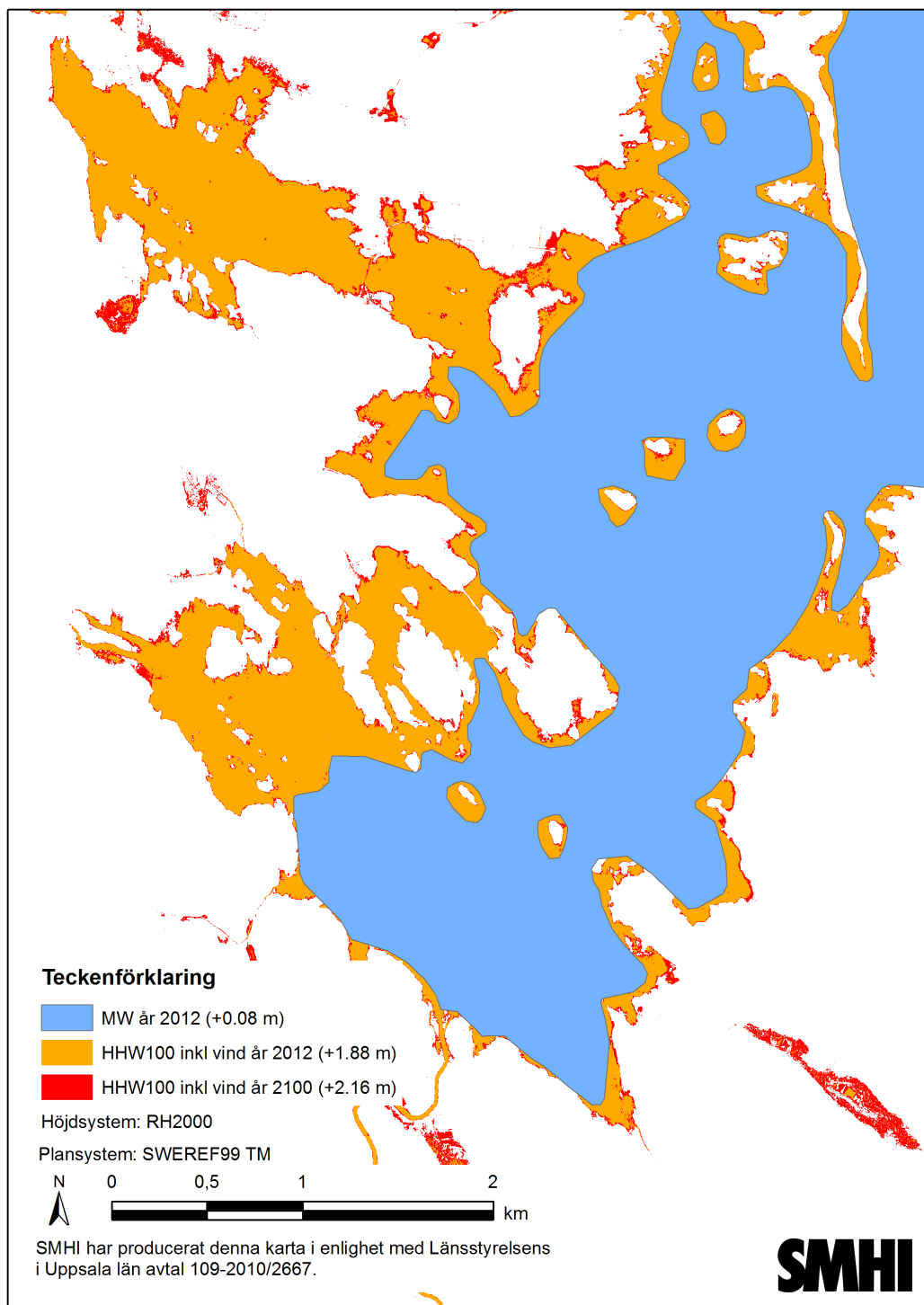
Extrema vattenstånd år 2012 och 2100 (HHW100) Fokusområde 1



Extrema vattenstånd år 2012 och 2100 (HHW100) Fokusområde 2



Extrema vattenstånd år 2012 och 2100 (HHW100) inkl vind Fokusområde 2



Extrema vattenstånd år 2012 och 2100 (HHW100) Fokusområde 3

Teckenförklaring

- MW år 2012 (+0.08 m)
- HHW100 år 2012 (+1.48 m)
- HHW100 år 2100 (+1.76 m)

Höjdsystem: RH2000

Plansystem: SWEREF99 TM



SMHI har producerat denna karta i enlighet med Länsstyrelsens
i Uppsala län avtal 109-2010/2667.

SMHI



Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
601 76 NORRKÖPING
Tel 011-495 80 00 Fax 011-495 80 01