

Gustavsson H., Andreasson J., Eklund D., Hallberg K., Persson G., Sjökvist E.
och Tengdelius Brunell, J.

Rapport Nr 2011-54
Klimatanalys för Norrbottens län



Pärmbild: Länsstyrelsen, Norrbotten.



Författare:

Hanna Gustavsson m. fl.

Uppdragsgivare:

Norrbottnens länsstyrelse

Rapportnr:

2011-54

Granskningsdatum:

2011-11-11

Granskare:

Sten Lindell

Dnr:

2011/853/203

Version:

1.0

Klimatanalys för Norrbottens län

Uppdragstagare

SMHI
601 76 Norrköping

Projektansvarig

Johan Andreasson
011-495 8609
johan.andreasson@smhi.se

Uppdragsgivare

Norrbottnens länsstyrelse

Kontaktperson

Micael Bredefeldt

Distribution

Klassificering

(x) Allmän

Nyckelord

Klimatanalys, klimatsammanställning, klimatscenarier, hydrologiska förändringar

Övrigt

Sammanfattning

Länsstyrelsen i Norrbottens län har gett SMHI i uppdrag att genomföra en sammanställningen av dagens och framtida klimat för Norrbottens län.

SMHI har utfört en regional klimatanalys för perioden fram till slutet av detta sekel för Norrbottens län. Arbetet grundar sig 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 flertal klimatscenarier utnyttjats. 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 av SMHI, Affärsområde Miljö & Säkerhet.

Följande huvudsakliga slutsatser framgår av analysen:

- Klimatberäkningar visar på en entydig ökning av årsmedeltemperaturen under det innevarande seklet. Årsmedeltemperaturen ligger i medeltal 4-6°C varmare i slutet av seklet jämfört med referensperioden (1961-1990) medeltemperatur på -1,5°C. Mest framträdande är temperaturökningen under vintermånaderna.
- Årsmedelnederbörden ökar med 15-50 % över länets i slutet av seklet. Totalt sett kan störst procentuella förändring av nederbörd under året väntas i fjällområdena. En stor spridning kan dock ses i de olika scenarieberäkningarna.
- Kraftiga regn kan förväntas öka i framtiden. Ökningen är störst i de områden som har flest dygn med kraftig nederbörd i dagens klimat.
- Snötillgången minskar efterhand som klimatet blir varmare. I slutet av seklet har perioden med snötäckt mark minskat med över en månad över hela länets.
- Ett mildare klimat leder till längre växtsäsong. En tidigare start på vegetationsperioden blir alltmer vanligt och i slutet på århundradet mer permanent. Vegetationsperiodens slut blir allt senare på året.
- Generellt väntas årsmedelvattenföringen öka med 10 till 25 % i de större älvarna mot slutet av seklet.
- Den för dagens klimat vanliga säsongsdynamiken med en tydlig flödestopp på våren kommer att förändras. De allra högsta vårflödena minskar i storlek men högre flöden kan istället förväntas under längre perioder. Vinter och höstflöden ökar generellt i alla områden.
- Beräknade framtida högsta flöden (BHF) för Torneälvens mynning pekar på minskande flöden för slutet på seklet. I ett kortare framtidsperspektiv är osäkerheterna stora och beräknade förändringar pekar på både ökande och minskande flöden.

Ett antal övriga klimatberoende förhållanden i Norrbottens län behandlas också i rapporten. Tjåldjupet kan förväntas öka som en konsekvens av kortare perioder av snötäckt mark. Antalet dagar för behov av uppvärmning reduceras samtidigt som behovet av kylning kan komma att öka något. Förändrad säsongsdynamik leder till att vattenföringen med 100-års återkomsttid väntas minska i de flesta punkter längst älvarna.

Det finns ännu inget entydigt vetenskapligt underlag som visar på ändrade risker för kraftiga stormar i framtiden. Modellresultaten är något spretiga men tyder på att förändringen av stormar för norra

Sverige är liten. Nya forskningsresultat kan dock komma att ändra denna slutsats i framtiden. De studier som hittills gjorts tyder inte på någon förändring av framtida brandrisker för länet.

Denna klimatanalys behandlar inte framtida havsvattenstånd.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	2
2	BAKGRUND	2
3	NORRBOTTENS LÄN	3
3.1	Landskapet	3
3.1.1	Avrinningsområden	3
3.1.2	Sjöar	4
3.2	Klimatet.....	4
3.2.1	Temperatur.....	5
3.2.2	Nederbörd	6
3.2.3	Avrinning	1
3.2.4	Vindar	2
3.2.5	Åska och blixtar	2
3.2.6	Några väderrekord i Norrbottens län	2
4	METOD FÖR FRAMTIDSANALYS.....	3
4.1	Studerade klimatindex	3
4.2	Studerad vattenföring	3
4.3	Geografiskt analysområde	3
4.4	Tidsperioder	4
4.5	Variation och osäkerhet.....	4
4.6	Beräkningsmodeller.....	5
4.7	Klimatdata för effektstudier.....	7
4.8	Utsläppsscenarier	8
4.9	Klimatscenarier	8
4.9.1	Klimatscenarier i denna studie	9
5	NORRBOTTENS LÄNS FRAMTIDSKLIMAT	11
5.1	Temperatur	11
5.1.1	Medeltemperatur för år och säsong	11
5.1.2	Vegetationsperioder	13
5.1.3	Varma perioder	14
5.1.4	Kalla perioder	15
5.1.5	Behov av kylning och uppvärmning	15
5.2	Nederbörd	16
5.2.1	Medelnederbörd för år och säsong	17
5.2.2	Kraftig nederbörd	19
5.2.3	Perioder utan nederbörd	21
5.3	Vattenföring.....	21
5.3.1	Vattenföringens säsongsvariation.....	23
5.3.2	Medelvattenföring	28
5.3.3	100-årsvattenföring	35
5.3.4	Beräknat högsta flöde för Torneälven.....	43

5.4	Snö och tjäle.....	45
5.4.1	Framtida maximala snötäcke	45
5.4.2	Antal dagar med snö.....	46
5.4.3	Tjäle	47
5.5	Extrema vindar	49
5.6	Brandrisker	50
6	SLUTSATSER	52
7	REFERENSER	54
8	BILAGOR	57

1 Inledning

I samband med den regionala klimatanpassningen i Norrbottens län finns ett behov av ett klimatunderlag för länet utöver det som erbjuds genom SMHIs myndighetsuppdrag.

SMHI har på uppdrag av länsstyrelsen i Norrbottens län utfört en regional klimatanalys. Sammanställningen redovisar en stor mängd data och beräkningar som syftar till att ge en översiktlig bild av klimatförhållandena i Norrbottens län såväl under dagens förhållanden som i framtidens klimat. Arbetet är baserat på observationer och analyser från SMHI samt klimatscenarier från den internationella klimatiforskningen. Framtidsberäkningarna avser i första hand tidsperioden fram till år 2100. Urvalet av scenarier i rapporten är betydligt mer omfattande än det begränsade antal scenarier som fanns tillgängliga när Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU, 2007a) lade fram sitt slutbetänkande hösten 2007.

Föreliggande rapport har utarbetats av SMHI, Affärsområde Miljö & Säkerhet.

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 möjliga framtida utvecklingar är att arbeta med så kallade scenarier som beskriver framtiden på olika sätt. Inom det internationella forskningssamhället genomförs stora ansträngningar för att beräkna och skatta ett framtida klimat.

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 i till exempel snö och sjöar. I de delar av Sverige som har långa köldperioder lagras betydande mängder vatten under vintern i form av snö. När temperaturen stiger under vår och försommar smälter detta vattenmagasin under en relativt kort period. I ett klimat med högre temperatur kan denna säsongsvariation förändras och bli mindre accentuerad, samtidigt som höga flöden kan uppträda vintertid. Intensiva skyfall inträffar idag främst sommartid och orsakar ibland översvämningar, speciellt för vattensystem som inte dimensionerats för extrema flöden t. ex. 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 bl. a. den statliga Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU, 2007a). För dessa analyser användes sex klimatscenarier framtagna av SMHI (se mer beskrivning av dessa i avsnitt 4.8). Ett delbetänkande berörde även översvämningssproblematiken och de faktorer som leder till höga flöden, extrem nederbörd och 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 Europeiska globala och regionala klimatmodellerna med hög upplösning. Idag finns fler klimatscenarier tillgängliga än tidigare, och för analys av temperatur, nederbörd och klimatpåverkade flöden i denna rapport har 16

En jämförelse av länets tre största älvar avseende vattenflöden vid mynningen visar att Luleälven har störst medelvattenföring ($506 \text{ m}^3/\text{s}$), därefter kommer Torneälven ($388 \text{ m}^3/\text{s}$) och Kalixälven ($295 \text{ m}^3/\text{s}$). Medelvärdena avser 1900-talet (SMHI, 2010 a). Tittar man istället på medelvärdena av varje års högsta vattenflöde leder Torneälven med $2180 \text{ m}^3/\text{s}$, därefter kommer Kalixälven med $1450 \text{ m}^3/\text{s}$ och Luleälven har $1040 \text{ m}^3/\text{s}$. Torneälven är också det längsta vattendraget (513 km), därefter Kalixälven (460 km) och Luleälven (457 km) (siffror enligt SVAR version 2010).

Av de fyra stora älvar i Norrland som i princip är opåverkade av vattenkraftsreglering finns tre i Norrbottens län, nämligen Torneälven, Kalixälven och Piteälven (SMHI 2010 a).

Tabell 3.1-1 De tio största avrinningsområdena i Norrbottens län, deras totala areal och den procentuella andelen av totala arealen som finns inom länet samt hur stor del av länets area som upptas av respektive avrinningsområde (SMHI, 2002).

Nr	Avrinningsområde	Total area (km ²)	Areaandel inom länet (%)	Del av länets area (%)
1	Torneälven	40157	63	24,0
9	Luleälven	25240	97	23,2
4	Kalixälven	18130	100	17,1
13	Piteälven	11285	99	10,6
20	Skellefteälven	11731	63	7,0
7	Råneälven	4207	100	4,0
28	Umeälven	26815	11	2,9
18	Byskeälven	3662	76	2,6
3	Sangisälven	1230	100	1,2
17	Åbyälven	1344	77	1,0

3.1.2 Sjöar

I fjällområdet finns många små och medelstora sjöar som förekommer utspridda i landskapet. De mellersta och norra skogsområdena domineras av många små sjöar och i Norra Norrlands kust- och slättområdena finns relativt få sjöar.

I Sverige finns totalt drygt 100 000 sjöar större än 1 hektar ($0,01 \text{ km}^2$) och de sjötätaste områdena är fjälltrakterna och delar av Norrlands inland (SMHI, 2008). I Norrbottens län finns 7 sjöar med $>100 \text{ km}^2$ areal och ca 25 000 sjöar $0,1\text{--}0,01 \text{ km}^2$. Totalt finns 30 911 sjöar större än $0,01 \text{ km}^2$ (SMHI, 2002). Torneträsk är den 6:e största sjön i Sverige med 330 km^2 areal. Akkajaure och Stora Lulevatten (Luleälven) återfinns också på listan över de 15 största sjöarna i Sverige tillsammans med Uddjaure och Storavan (Skellefteälven) (SMHI, 2008). Gammelstadsviken och Björkskatafjärden vid Luleå är exempel på havsvikar som i modern tid blivit sötvattenssjöar p.g.a. den pågående landhöjningen.

3.2 Klimatet

Klimatet i Norrbottens län visar stora geografiska variationer och är delvis mycket extremt. Det nordliga läget och de stora höjdskillnaderna inom länet är de viktigaste faktorerna för klimatet.

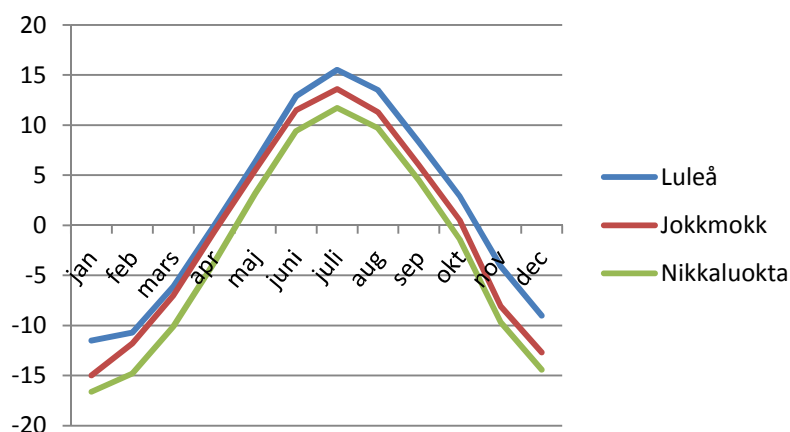
3.2.1 Temperatur

Bistra vintrar och solrika korta somrar karakteriserar klimatet. Årstiderna skiljer sig tydligt och vintern kan vara mycket kall, lokalt ned mot -40°C . Medeltemperaturen under januari är $-10 - -17^{\circ}\text{C}$ i Lappland och $-9 - -16^{\circ}\text{C}$ i landskapet Norrbotten. Skillnaden dem emellan vintertid är alltså inte så stor.

Somrarna kan trots det nordliga läget bli relativt varma. Medeltemperaturen under juli är $11-15^{\circ}\text{C}$ i landskapet Norrbotten. I Lappland varierar medeltemperaturen i juli från 0°C i de högre delarna av fjällen till 15°C i älvdalgångarna. De ostliga vindarna påverkar framförallt de östra delarna av länet, särskilt under sommaren då varm luft kan föras in från Ryssland. I juli är det varmest i ett bälte längs kusten med drygt 15°C . Noteras kan att under juli i medeltal är Haparanda praktiskt taget lika varmt som Ystad. Samtidigt som det i juli är lika kallt på Kebnekaises sydtopp som på Måskläppen vid Falsterbo i januari-februari (SMHI, 2009).

Figur 3.2-1 visar månadsmedeltemperaturen för tre stationer, som representerar olika delar av länet. Det kustnära Luleå visar de högsta månadsmedeltemperaturer och det nordligt belägna och fjällnära Nikkaluokta visar de lägsta. Däremellan Jokkmokk som representerar det mellersta skogsområdet.

Värmen kan komma tidigt t.ex. rådde högsommarvärme i Tornedalen maj 2010. Högsta temperaturen i Haparanda var $28,2^{\circ}\text{C}$ och medeltemperaturen för månaden, $10,1^{\circ}\text{C}$, är rekord för maj sedan mätningarna startade 1901 (SMHI, 2011c).



Figur 3.2-1 Månadsmedeltemperaturer ($^{\circ}\text{C}$) för perioden 1961-1990 (s.k. normalperiod) för stationerna Luleå, Jokkmokk och Nikkaluokta. Källa: SMHI Klimatarkiv.



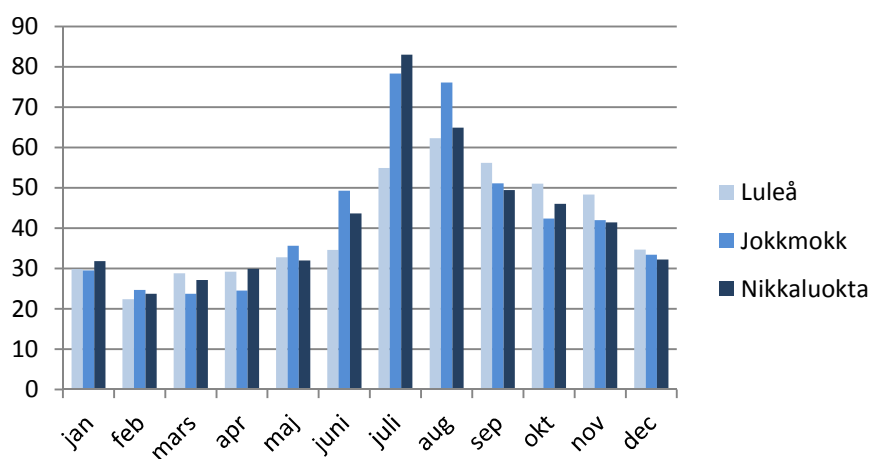
I en sammanställning över värmeböljor i Sverige 1961-2010 (SMHI, 2011b) kan ses att de vanligen inträffar i södra Sverige. Dock inträffade den längsta värmeböljan, definierad med dygnsmedeltemperatur $\geq 22^{\circ}\text{C}$, under juni-juli 1972 i de nordligaste delarna av landet. Haparanda hade då 12 dagar i följd med medeltemperatur på minst 22°C (Figur 3.2-2). Under sexton dygn i sträck var minimitemperaturen aldrig under 16°C och maxtemperaturer över 30°C noterades för sju dagar.

Figur 3.2-2 Värmeböljans varaktighet uttryckt som antal dygn 1972. Tröskelvärde är dygnsmedeltemperatur $\geq 22^{\circ}\text{C}$.

3.2.2 Nederbörd

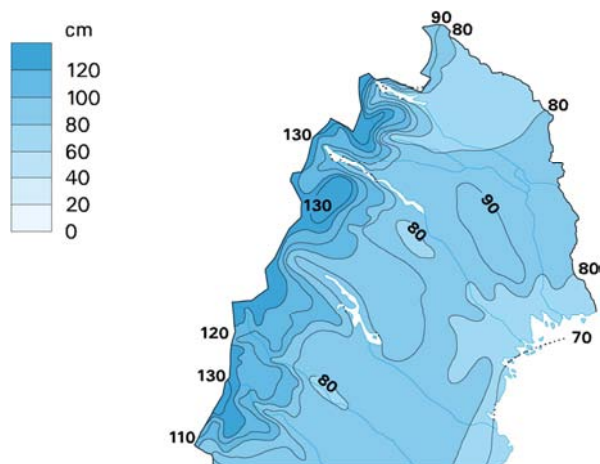
Minst nederbörd får skärgården med ner till knappt 400 mm i årsmedelnederbörd 1961-1990. De inre delarna av länet får ca 700 mm och i fjälltrakterna varierar årsnederbörden stort med 300 mm i Abiskoområdet till 2000 mm i vissa delar av Sulitelma och Sarek (SMHI, 2009). De västliga fjälltrakterna får mycket stora nederbördsmängder under vintern.

I Figur 3.2-3 visas nederbördsfördelningen för de stationer vars månadsmedeltemperaturer visas i Figur 3.2-1. Siffrorna är direkta mätvärden och därför är årsvärdena lägre än de ovan angivna generella värdena, som är korrigerade för höjd och läge i terrängen. Av figuren framgår att årsmönstret är lika för orterna, d.v.s mest nederbörd faller i juli-augusti och minst i februari.



Figur 3.2-3 Månadsmedelnederbörd (mm) 1961-1990 för stationerna Luleå, Jokkmokk och Nikkaluokta i Norrbottens län. Årsmedelnederbörden är 489 mm i Luleå, 511 mm i Jokkmokk och 505 mm i Nikkaluokta för normalperioden 1961-1990. Källa: SMHI Klimatarkiv.

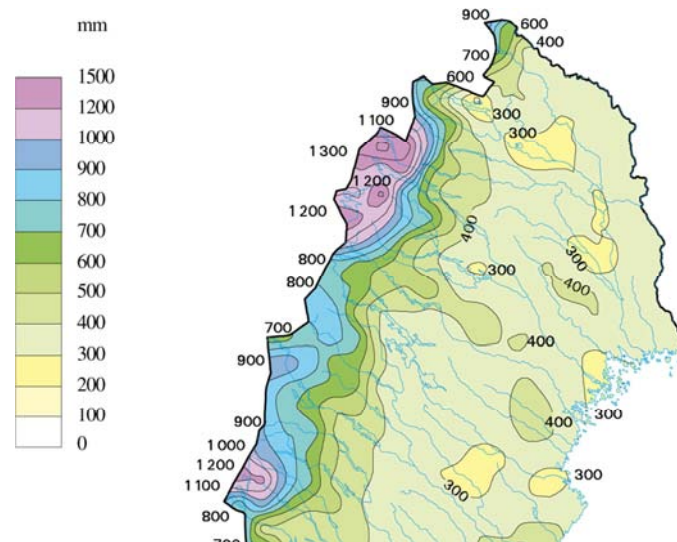
Andelen snö av årsnederbörden är över 50% för fjälltrakterna och 35-40% längs kustområdena (www.smhi.se). Största snödjupet under vintern är i medeltal mellan 70 cm längs kusten och uppemot 130 cm i fjälltrakterna (Figur 3.2-4). Variationerna mellan år är dock stora. I Haparanda har maximala snödjupet varierat mellan 40 cm och drygt 120 cm under 1961-2008. I Jokkmokk var variationen 50-140 cm samma period (SMHI Klimatarkiv).



Figur 3.2-4. Medelvärden av största snödjupet under vintern perioden 1961-1990. Källa: Klimatdata> Snö (www.smhi.se)

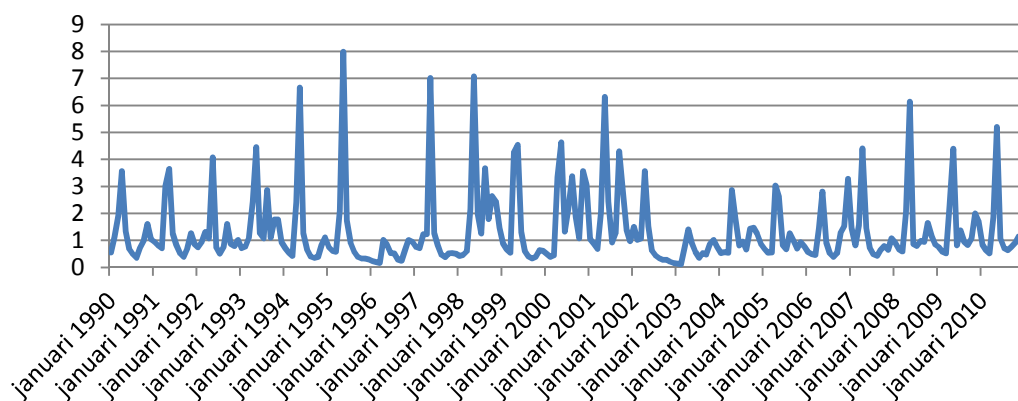
3.2.3 Avrinning

Årsavrinningen är kraftigt kopplad till topografin så att den högsta avrinningen ses i fjällområdena (800-1300 mm) varav merparten rinner av under sommaren (juni-augusti). Större delen av länet har en avrinning på 300-400 mm (motsvarande 9,5-12,7 l/s $\times$ km²) under ett år i medeltal (Figur 3.2-5). Avrinningen under vintern är mycket låg i hela länet då nederbörden som regel magasineras i snötäcket. I större delen av länet är den under 50 mm, men något högre längs den kustnära delen. Under våren (mars-maj) ökar avrinningen något (100-150 mm) i och med att snösmältningen startar. Den största avsmältningen sker dock under sommaren i fjälltrakterna. Under hösten är avrinningen ca 0-100 mm i länet utom för fjälltrakterna där den varierar mellan 100 och 250 mm.



Figur 3.2-5. Årsavrinning (mm) för normalperioden 1961-1990. Källa: Klimatdata > vattenbalans (www.smhi.se).

Det som ovan beskrivs är utifrån medelvärden för en 30-årsperiod. Variationerna i vattenföring kan dock vara stor om vi betraktar olika år och inom åren. I Figur 3.2-6 syns den beskrivna årgången tydligt. Perioder med låga flöden avlöses av perioder med höga flöden, men vissa år (t.ex. 1994) domineras av en flödestopp men under andra år (t.ex. 2000) kan flera flödestoppar förekomma. Variationen i månadsmedelvärden kan vissa år (t.ex. 1996) vara relativt liten.



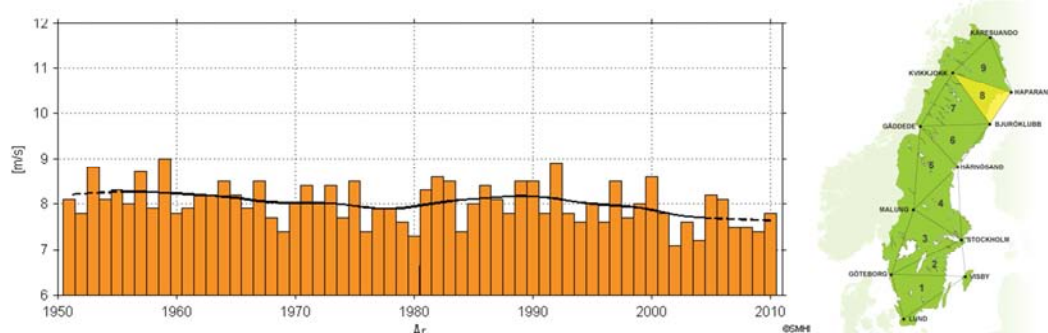
Figur 3.2-6 Exempel på vattenföringens variation mellan olika år. Modellberäknad månadsmedelvattenföring (m³/s) för en punkt i Umeälven (delområde Krycklan) (RT90: 7121340, 1700980). Källa: vattenweb.smhi.se.

3.2.4 Vindar

Kustlandskap norr om Hälsingland är mindre utsatta för svåra stormar än kuststräckorna längre söderut men vindoväder inträffar ibland. Den 22 september 1982 och den 26 december 1992 uppmättes 27 respektive 30 m/s i vindbyar vid Luleå flygplats. Ett mer besvärligt oväder drog in över kusten vid Kalix den 11 augusti 1985. Det orsakade förödelse i skogarna då det drog vidare mot Morjärv och Överkalix.

Vädret i fjällen kan vara ytterst extremt, vilket inte minst märks på vindobservationerna. Vindarna i fjälldalarna kan vara extremt byiga t.ex. uppmättes hela 81 m/s vid en kortvarig vindstöt i Tarfala 20 december 1992. Den sannolikt högsta tiominutersmedelvinden i Sverige skedde under en orkan på Pårtegård den 14 februari 1917 då vindmätaren blåste sönder men vinden uppskattades till 50 m/s (SMHI, 2009).

I en studie av vindklimatet i Sverige studerades, i brist på direkta mätningar, den s.k. geostrofiska vindhastigheten som baseras på lufttryckmätningar (Wern och Barring, 2009). Beräkningen tar inte hänsyn till landskapets friktion som bromsar vinden vilket innebär att den geostrofiska vinden är högre än den som direkta vindmätningar registrerar. Den linjära förändringen i geostrofisk vindstatistik 1951-2008 visar på en minskning och för den södra delen av länet är minskningen statistisk signifikant -8% i medelvindhastighet. På www.smhi.se finns en interaktiv applikation där olika vindmått, baserade på geostrofisk vind, presenteras för Sverige uppdelat i trianglar. I Figur 3.2-7 visas medelvindhastigheten 1951-2010 för triangel 8. Triangel 9 visar en likartad utveckling.



Figur 3.2-7. Den geostrofiska medelvindhastigheten (m/s) för triangeln Bjuröklubb-Kvikkjokk-Haparanda 1951-2010. Källa: Klimatdata > geostrofisk vind (www.smhi.se)

3.2.5 Åska och blixnar

I Sverigeperspektiv avtar åskaktiviteten ju längre norrut vi kommer. Inom Norrbottens län åskar det mer i de östra delarna än i de västra. Det visar en studie av registrerade åskurladdningar under perioden 2002-2009 (SMHI, 2011a). Fjälltrakterna är det i särklass åskfriaste området i Sverige med 0-10 urladdningar/100 km² per år (2002-2009) och 1-3 åskdagar/625km² (beräkningarna görs för 25 km× 25 km). Variationen mellan år är stor och ett för Norrland ovanligt stort antal urladdningar skedde år 2003.

3.2.6 Några väderrekord i Norrbottens län

För Norrbottens län liksom för andra delar av landet finns noteringar om svåra vädersituationer i SMHI:s arkiv. Här beskrivs väderrekord i länet. Källorna är "Väder och vatten under ett århundrade 1900-1999" (SMHI, 1999), "Svåra snöoväder" (SMHI, 2000) och "Vit jul?" (SMHI, 1998).

Köldrekordet på -53°C noterades vid Vuoggatjålme den 2 februari 1966. Den minsta årsnederbörd under 1900-talet, 190 mm, uppmättes i Abisko 1976, vilket ungefär motsvarar regnrekordet 198 mm i

Fagerheden den 28 juli 1997. Den varmaste sommaren under 1900-talet upplevdes 1937 och den kallaste vintern 1965-1966. I mitten av 1980-talet förekom tre kalla vintrar i rad, s.k. vargavintrar.

Vad gäller höga flöden under 1900-talet så förekommer både Luleälven (1922, 1989, 1993) och Torneälven (1968).

Svåra snöoväder inträffade 7-12 oktober 1925 vid Riksgränsenfjällen och 28 februari 1926 i Nordvästra Lappland. Det då uppmätta snödjupet 327 cm vid Kopparåsen är det största som uppmätts vid en svensk meteorologisk station. Den 4-5 februari 1936 rådde ett svårt snöoväder i Norrbotten och norra Lappland och snödjupet 187 cm uppmättes i Luvos. I mer modern tid, 12-13 mars 1993, föll 60 mm nederbörd som snö på 36 timmar i Riksgränsenfjällen vilket som nysnö på marken motsvarar ca 60 cm djup. Då snöflingorna nått marken packas de dock snabbt ihop, densiteten ökar och snödjupet minskar. I Katterjåkk noterades 265 cm snödjup på morgonen den 13:e, vilket troligen ökades på med 20 cm till kvällen.

Sannolikheten att uppleva en vit jul i Norrbottens län är mycket stor men det förekommer även i Haparanda att juldagens morgon är snöfri (1953) eller att enbart snöfläckar förekommer (1938). T.o.m. Karesuando hade enbart snöfläckar juldagens morgon 1946.

4 Metod för framtidsanalys

Klimatsammanställningen har gjorts för Norrbottens län avseende temperatur, nederbörd och vattenföring. Ett antal klimatindex kopplade till temperaturer och nederbörd har tagits fram. Dessa beskrivs under avsnitt.4.1. Relevanta resultat för länet om extrema vindar, snö och tjäle samt brandrisker baseras på tidigare studier och presenteras i avsnitt. 5.4, 5.5 respektive 5.6

4.1 Studerade klimatindex

Beräkningar och analyser av framtida klimatscenarier har gjorts för olika klimatindex.

- Avsnitt 5.1 Temperatur (medeltemperatur för år och säsong; vegetationsperiodens längd samt start- och sluttidpunkt, värmeperioder i form av varma dagar, minimum-, och maximum dygnsmedeltemperatur; uppvärmnings- och kylbehov)
- Avsnitt 5.2 Nederbörd (medelnederbörd för år och säsong; kraftig nederbörd i form antal dagar med > 10 mm samt största 1-dygnsnederbörd och 7-dygnsnederbörd; perioder utan nederbörd dvs. < 1mm/dygn)

4.2 Studerad vattenföring

- Avsnitt 5.3 Vattenföring (säsongsvariation och medelvattenföring; flöden med 100 års återkomsttid).

4.3 Geografiskt analysområde

Resultaten presenteras främst i form av kartor (se Bilaga 1-10). Analyser gällande vattenföring presenteras i utvalda punkter, såväl som i kartformat. Det område eller den plats som avses för respektive karta, diagram eller tabell framgår i figurerna eller i figurtexterna.

4.4 Tidsperioder

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

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 meteorologiska standardnormalperioden 1961-1990 som referensperiod. Nästa standardnormalperiod kommer att bli 1991-2020.

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.

4.5 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 resp. 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 använda flera möjliga klimatscenarier, en så kallad *ensemble*, och att bearbeta resultatet statistiskt. Syftet är att öka kvalitén i analysen och 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 där det är önskvärt att täcka in ett stort antal möjliga och olika scenarier som kan medföra mycket olika effekter. Förändringen som uppträder i flera olika klimatscenarier bedöms således mer trolig än förändringen som uppträder sporadiskt.

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

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

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

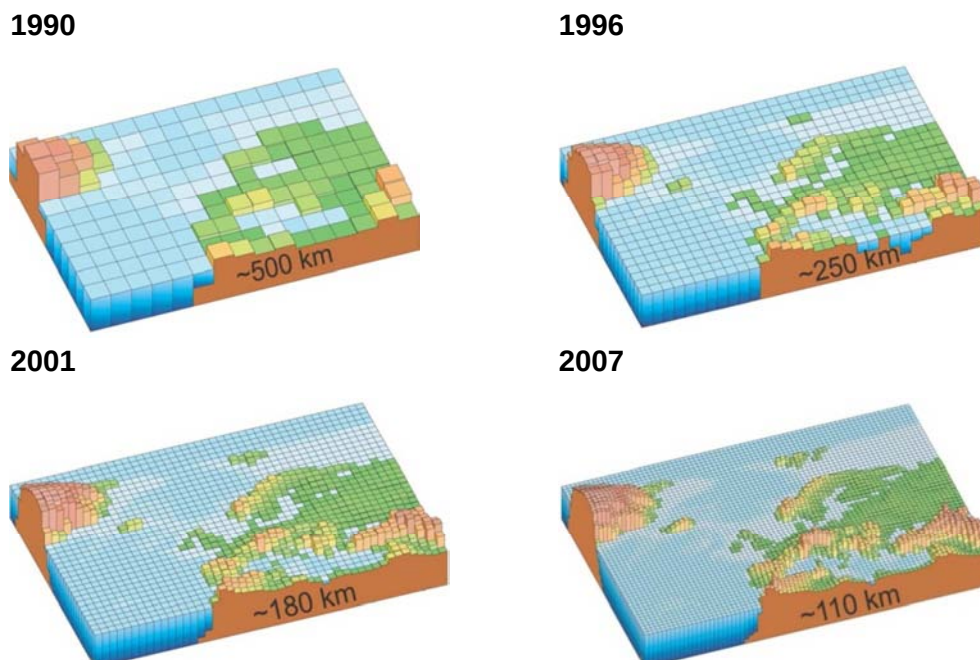
Det ligger i frågeställningens natur att det är svårt att på förhand definiera ett mått på responsen för ökade emissioner av växthusgaser, då detta är en effekt som modellerna syftar till att studera. Således är tillgången till flera olika klimatmodeller en stor fördel. Trender i respons som observeras i flertalet klimatmodeller och för flertalet utsläppsscenarier är således att betrakta som mer robust eftersom

samma resultat uppnått från olika oberoende förutsättningar. Om resultaten från olika modeller och utsläppsscenarioer är mycket olika är osäkerheten större.

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

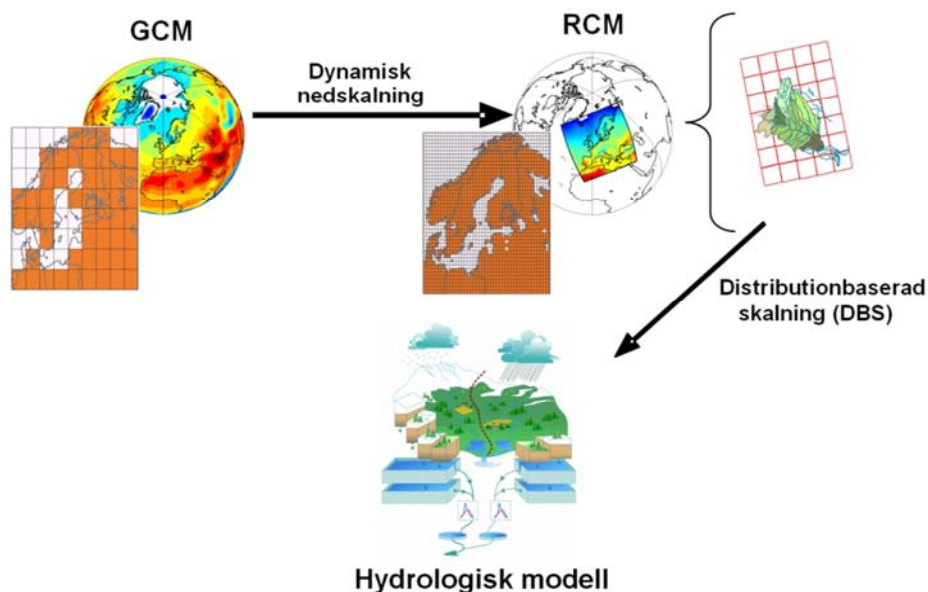
4.6 Beräkningsmodeller

För att få en översiktlig bild av framtida klimat används globala klimatmodeller (GCM) som beskriver luftströmmar och väderfenomen översiktligt över hela jorden. Dessa drivs bland annat med antaganden om framtidens utsläpp av växthusgaser, så kallade utsläppsscenarioer. Figur 4.6-1 visar hur upplösningen i de globala klimatmodeller som använts av IPCC utvecklats under de senaste 20 åren.



Figur 4.6-1 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 såsom 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. Figur 4.6-2 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.



Figur 4.6-2 Illustration av dataflödet mellan global- och regional modell samt nedskalning till hydrologisk modell

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 4.7.

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

För Torneälven har en analys gjorts av framtida förändring av Beräknat Högsta Flöde (BHF). Metodiken för dessa beräkningar utgår från gällande riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöde för flödesdimensioneringskategori I (Svensk Energi m.fl., 2007). Detta är en metodik som har framtagits för dimensionering av vattenkraftsdammar, men som också används för att bestämma den högsta vattenlinjen vid översvämningskartering. Metoden bygger på hydrologiska modellsimuleringar som beskriver följderna av att extremt stora nederbördsmängder faller under särskilt ogynnsamma förhållanden. I beräkningarna antas stora nederbördsmängder samverka med effekterna av en snörik vinter. Ett dimensionerande klass I-flöde har ingen exakt återkomsttid. I rapporten *Follow-up of the Swedish guidelines for the determination of design floods for dams* av Bergström m.fl. (2008) har en jämförelse gjorts mellan genomförda klass I-beräkningar och 10 000-årsflödet beräknat från frekvensanalys. Slutsatsen som dras är att det verkar rimligt att anta att återkomsttiden för ett klass I-flöde i genomsnitt är längre än 10 000 år.

Beräkningarna för framtida klimat har utgått från den hydrologiska modelluppsättning som har tagits fram inom projektet "Översvämningskartering av Torne älv" där både Länsstyrelsen och SMHI deltar

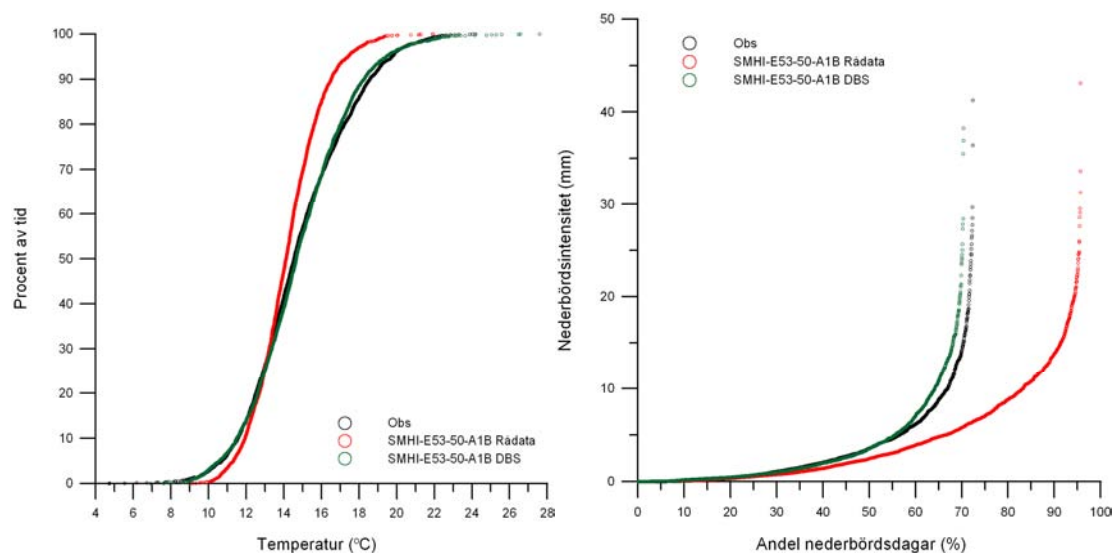
(Persson m.fl., 2011). Metodiken för klimatanpassning av BHF har tagits fram av SMHI på uppdrag av Elforsk och finns beskriven i Andreasson m.fl. (2011).

4.7 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 ny metod utvecklats som möjliggör en sådan anpassning. Metoden benämns DBS-metoden (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 4.7-1 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.



Figur 4.7-1 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 nederbördsintensitet).

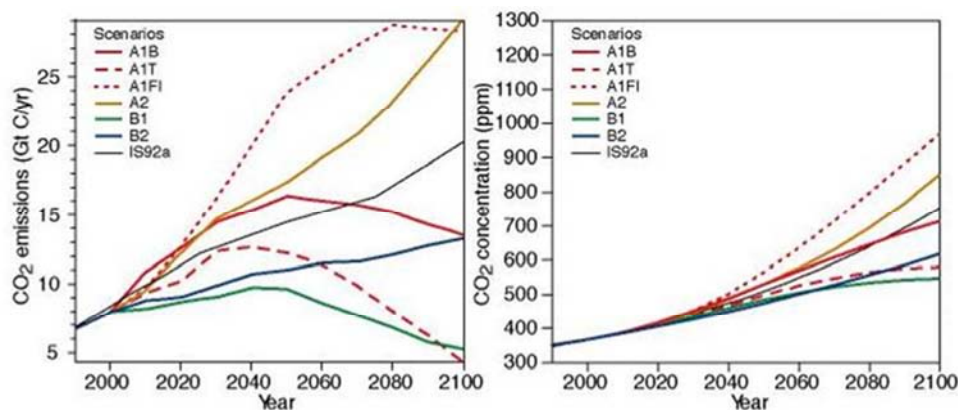
En förutsättning när DBS-metoden används är att resultaten för framtida tidsperioder måste jämföras med historiskt klimat så som detta beskrivs av klimatmodellen och inte av meteorologiska

observationer. Metoden innebär också att det inte är möjligt att jämföra individuella dagar eller år med observationsdata.

Anpassning av klimatmodellsdata med hjälp av DBS-metoden används i denna studie för nederbörd och temperatur, vilka också är drivvariablerna för den hydrologiska modellen.

4.8 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 4.8-1. 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.

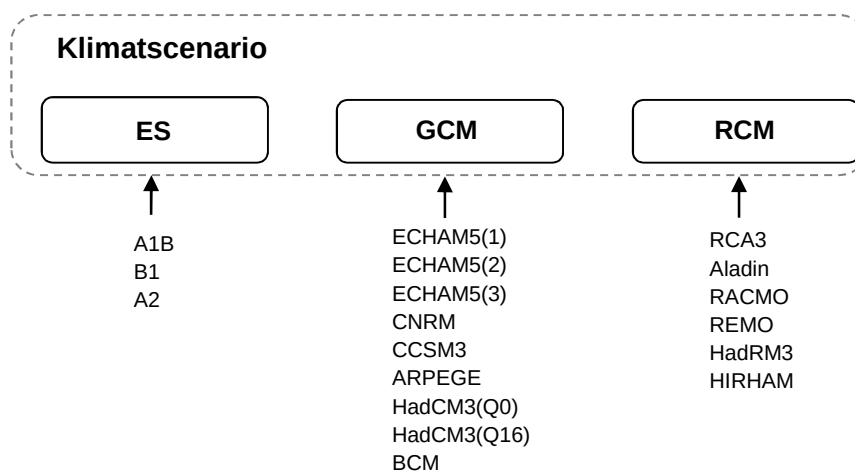


Figur 4.8-1 Antagande om framtida utsläpp av CO₂ (vänster) och resulterande CO₂-koncentrationer (höger) enligt olika scenarier (modifierad från IPCC, 2001).

4.9 Klimatscenarier

Ett klimatscenario är en successiv realisering av ett utsläppsscenario i en global- och en regional klimatmodell enligt dataflödet som beskrivs i Figur 4.6-2. Samma utsläppsscenario kan således ge upphov till olika klimatscenarier beroende på vilka globala och regionala modeller som används. De tre komponenterna illustreras i Figur 4.9-1 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 4.9.1).

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 and Swart, (2000). De regionala klimatmodeller som använts benämns RCAO och RCA3 och kommer från Rossby Centre vid SMHI:s forskningsenhet.



Figur 4.9-1 Ett klimatscenario består av en kombination av utsläppsscenario (ES), global modell (GCM) och regional modell (RCM).

Nu 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 4.8-1 visas ett antal utsläppsscenarier, där A1B, A2 och B1 ingår. Av 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. Skillnaden mellan effekten av olika utsläppsscenarier är liten fram till mitten av seklet och ökar därefter, vilket tydligt framgår i Figur 4.8-1.

4.9.1 Klimatscenarier i denna studie

De sammanställningar som gjorts av temperatur, nederbörd och vattenföring (Avsnitt. 5.1, 5.2 och 5.3) bygger på DBS-skalerade data från klimatscenarierna i tabell 4.8-1. I övriga avsnitt används olika klimatscenarier som beskrivs inom respektive avsnitt.

Tabell 4.9-1 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 4 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 CNRM i Frankrike, BCM från 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 klimatensamblesimuleringar. 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 4.9-1. 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 CNRM i Frankrike, HadCM3 från Hadley Centre i England och BCM från METNO 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 Norrbottens läns framtidsklimat

Analysen av Norrbottens läns framtidsklimat har gjorts utgående från de klimatscenarier som beskrivits i avsnitt. 4.9.1. Dessa klimatscenarier har, som framgår av Tabell 4.9-1, en horisontell upplösning av 25-50 km. Efter justering med hjälp av observationer (PTHBV-databasen) 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*.

Den största delen av klimatets variation inom länet kommer från variationer som beror på topografin, närheten till havet och de stora sjöarna. Detta regionala mönster syns även i de justerade klimatscenarierna. När klimatsignalen studeras, i termer av exempelvis procentuell förändring, är de regionala skillnaderna vanligen små.

Resultaten presenteras i form av diagram och kartor samt ett fåtal tabeller. I bilagorna 1-8 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 avsnitt. En lista över bilagorna finns i avsnitt 8. Ibland förekommer enheten ”dagar” och ibland ”dygn” men beräkningarna avser alltid hela 24-timmarsperioder.



Vår vid Luleälven. Foto: Länsstyrelsen, Norrbotten.

5.1 Temperatur

Statistik över dagens klimat för Norrbottens 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.

5.1.1 Medeltemperatur för år och säsong

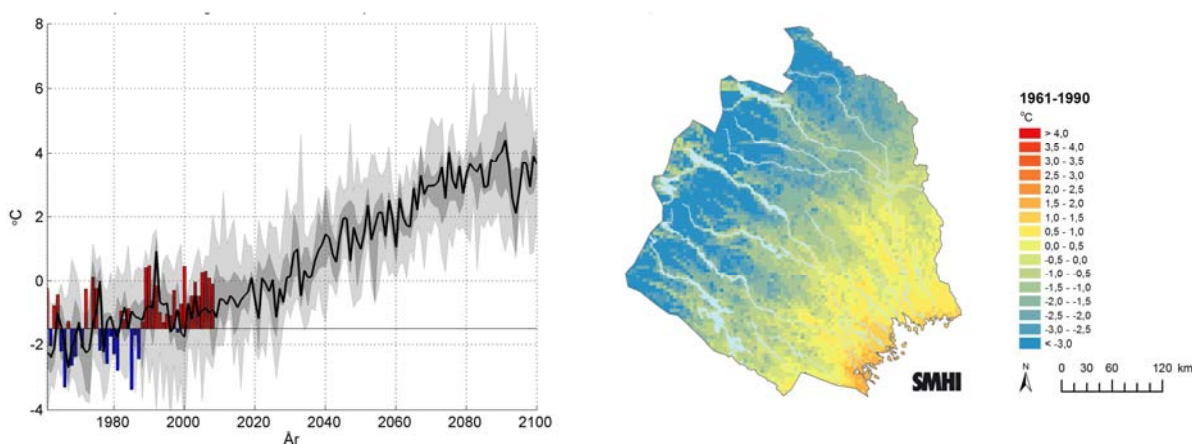
Årsmedeltemperaturen i Norrbottens län för referensperioden 1961-1990 (30 år) baserad på PTHBV-databasen var -1,5°C. För perioden 1991-2008 (18 år) var medeltemperaturen för länet -0,5°C, dvs. ca 1°C varmare än referensperioden 1961-1990.

Den beräknade temperaturutvecklingen för Norrbottens län baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 4.9-1 framgår av Figur 5.1-1. Årsmedeltemperaturen ökar successivt och når temperaturer i medeltal 4-6°C varmare i slutet av seklet jämfört med referensperioden.

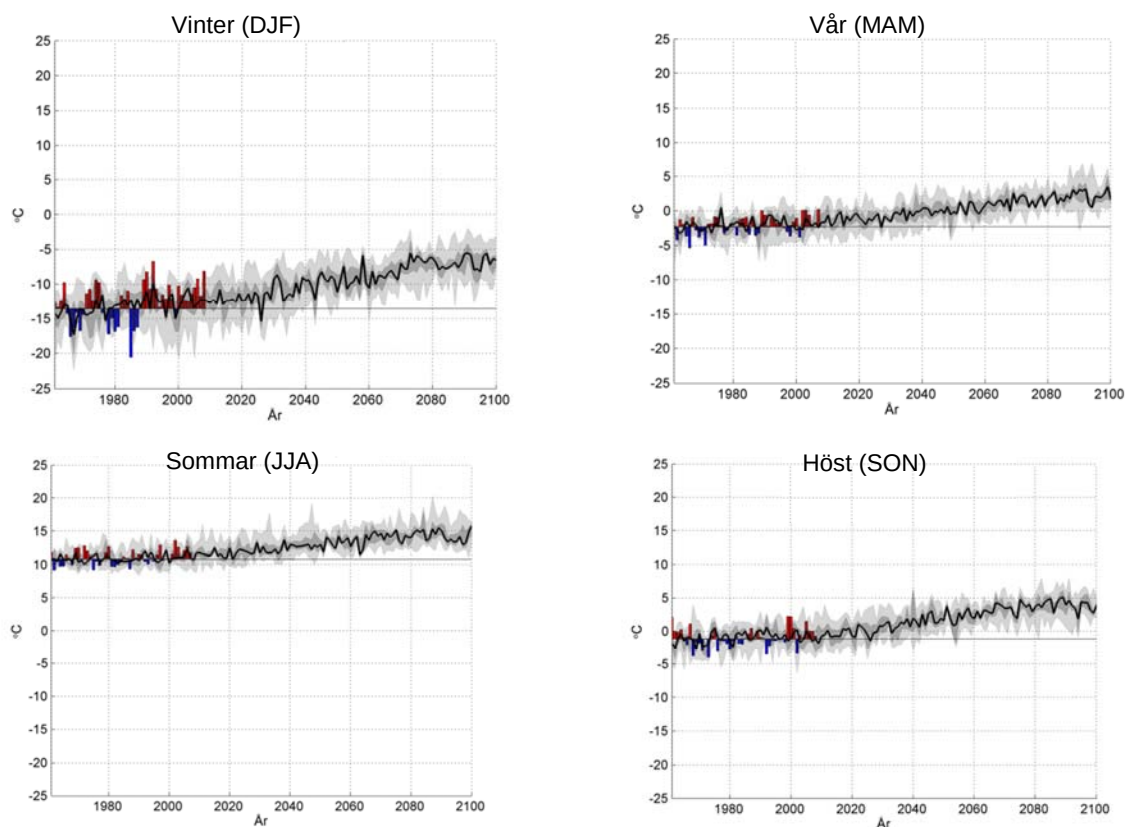
Kartan (Figur 5.1-1) visar hur den observerade årsmedeltemperaturen varierar i länet, 1961-1990. Det är varmast längs kusten och kallast på höjdpartierna.

I bilaga 1 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 visas även för jämförelse med beräknade värden för samma period. Observerade och beräknade värden visar mycket god överensstämmelse för länet.

Temperaturutvecklingen för de fyra säsongerna visas i Figur 5.1-2. Variationen i säsongstemperatur mellan åren är störst för vintern. För samtliga säsonger syns en temperaturuppgång under seklet.



Figur 5.1-1 Beräknad utveckling av årsmedeltemperaturen i Norrbottens län baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 4.9-1. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och observerade lägre värden visas som blå staplar. Årsmedeltemperaturen 1961-1990 visas som en horisontell linje. 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).



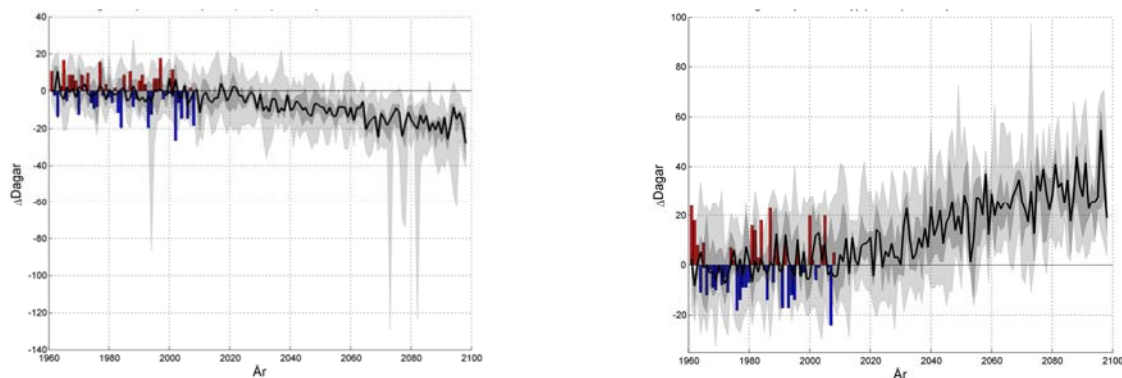
Figur 5.1-2 Den beräknade temperaturutvecklingen i Norrbottens län för de fyra årstiderna baserat på samtliga klimatscenarier. Årstiderna definieras enligt meteorologisk standard: månaderna december-februari = vinter, mars-maj = vår, juni-augusti = sommar och september-november = höst. Observerade värden, medianvärden, percentiler, min- och maxvärden visas i enlighet med Figur 5.1-1.

I beräkningarna över framtidsklimatet, avseende årsmedeltemperaturer, ökar årsmedeltemperaturen över hela länet med en något mindre ökning i de mest höglänta områdena (se bilaga 1). Det samma kan även sägas om säsongerna. Differenskartorna antyder också att temperaturökningen på års- och säsongsbasis är något högre i kustområden jämfört med övriga länet. För vintern ser dock ökningen i medeltemperatur ut att vara jämnt fördelad över länet. Det är dock små skillnader och upplösningen (detaljeringsgraden i kartorna) är hög (se bilaga 1 differenskartor).

5.1.2 Vegetationsperioder

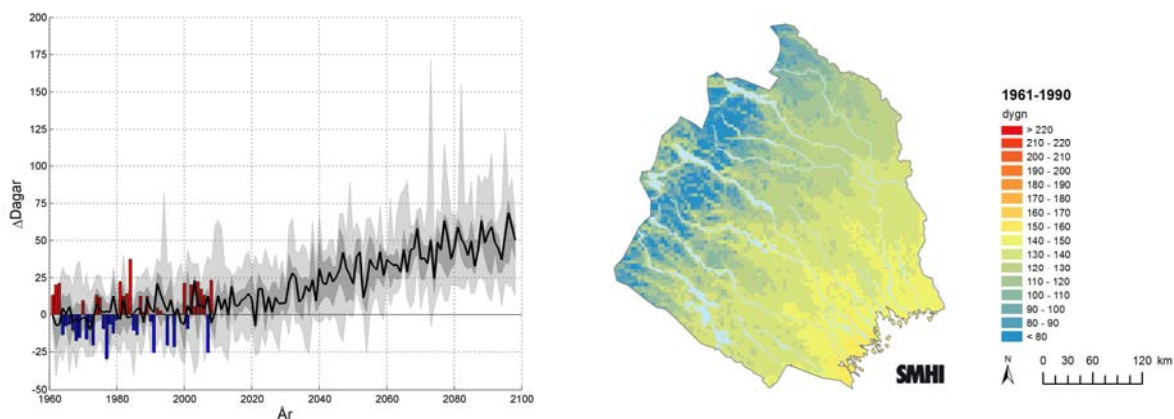
I ett varmare klimat ökar växternas chanser att leva under längre perioder under året dvs. växtsäsongen /vegetationsperioden blir längre. Vegetationsperiodens start har i den här analysen definierats som första tillfället för varje år då dygnsmedeltemperaturen överstiger 5°C under 4 dagar i följd. Starttidpunkten avser den första dagen av de fyra. I Figur 5.1-3 visas resultaten relativt referensperioden 1961-1990. Medelvärde för referensperioden är dagnummer 140, vilket motsvarar senare delen av maj. Vegetationsperioden sträcker sig sedan 121 dagar framåt dvs. till slutet av augusti.

Beräkningarna visar att en tidig start samt en senare sluttidpunkt på vegetationsperioden blir alltmer frekvent och i slutet på århundradet mer permanent. Jämfört med dagens klimat kan vegetationsperioden i ett framtida varmare klimat förlängas med upp mot 1-2 månader vilket skulle innebära att växtsäsongen förlängs in i oktober ses i Figur 5.1-3 och Figur 5.1-4.



Figur 5.1-3 Vegetationsperiodens starttidpunkt (vänster diagram) och sluttidpunkt (höger diagram) som avvikelse från referensperiodens medelvärde. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och observerade lägre värden visas som blå staplar. De skuggade partierna avser, betraktat uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar. Observera att diagrammen har olika skalor på y-axeln.

I bilaga 2 visas kartor över växtsäsongens längd 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 visas även för jämförelse med beräknade värden samma period. Samma karta finns även i figur 5.1-4 för att visa spridningen över länet. I kustområdena är vegetationsperioden längre än i inlandet. De kortaste vegetationsperioderna finns på de högre belägna delarna av länet och följer väl den topografiska kartan. Denna skillnad över länet kvarstår även i framtidsberäkningarna.

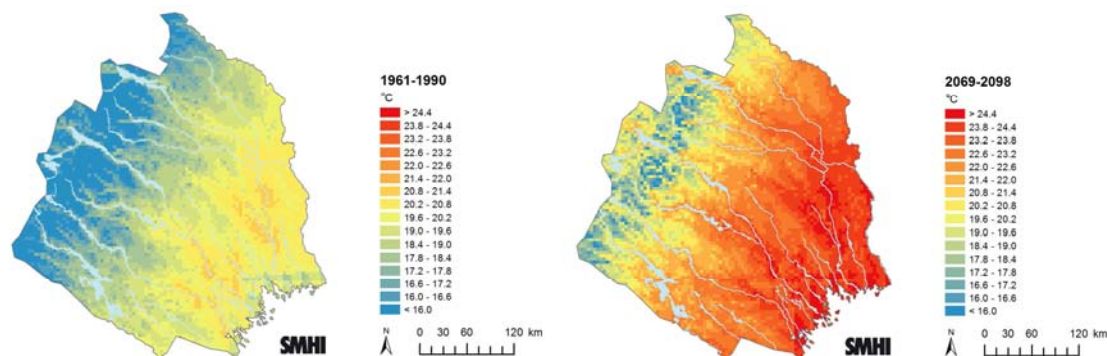


Figur 5.1-4 Vegetationsperiodens längd (antal dygn) och dess framtida utveckling relativt referensperioden 1961-1990 (vänster diagram). Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och observerade lägre värden visas som blå staplar. De skuggade partierna är i enlighet med beskrivningen under figur 5.1-3. Kartan visar observerade värden för 1961-1990.

5.1.3 Varma perioder

Kartor över högsta dygnsmedeltemperatur, beräknad som medelvärde för 30 år, finns i bilaga 3. Här visas två av dem (Figur 5.1-5). Överensstämmelsen mellan observationer och beräkningar är god. Medelvärdet av den högsta dygnsmedeltemperaturen för hela länet under perioden 1961-1990 ligger på 18°C.

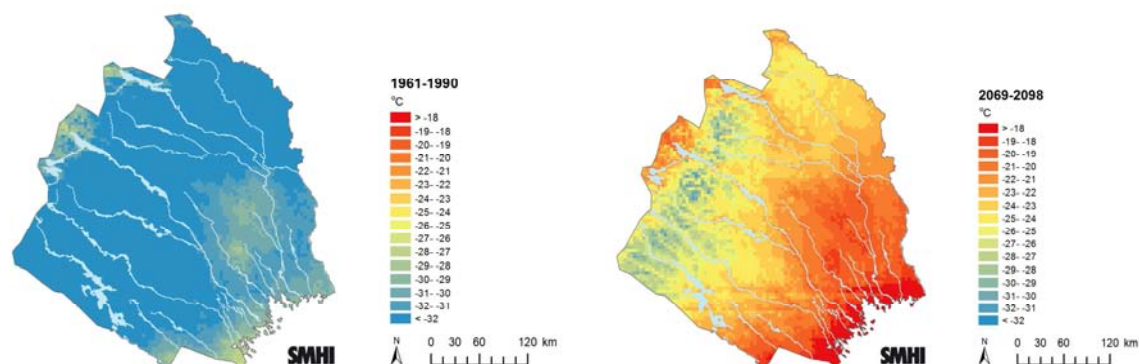
I stort sett hela länet kan förvänta sig en ökning av de högsta dygnsmedeltemperaturerna fram emot slutet av seklet.



Figur 5.1-5 30-års medelvärden av högsta dygnsmedeltemperatur (°C), beräknad för 1961-1990 (vänster karta) och för 2069-2098 (höger karta).

5.1.4 Kalla perioder

Kartor över lägsta dygnsmedeltemperatur, beräknad som medelvärde för 30 år, finns i bilaga 3. Nedan visas två av dem (Figur 5.1-6). Överensstämmelsen mellan observationer och beräkningar är god men med något kallare förhållanden i beräkningarna. Förändringen i framtidsklimatet visar en kraftig ökning av de lägsta medeltemperaturerna i kustnära områden mot slutet av seklet.



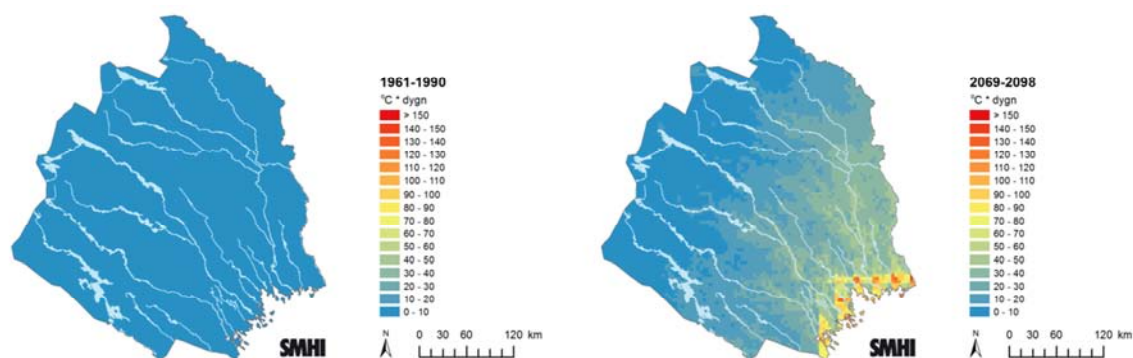
Figur 5.1-6 30-års medelvärden av lägsta dygnsmedeltemperatur (°C), beräknad för 1961-1990 (vänster karta) och för 2069-2098 (höger karta).

5.1.5 Behov av kylning och uppvärmning

I bilaga 4 presenteras kartor över graddagar för kylning (°C x dygn) med tröskelvärdet 20°C. Beräkningen görs så att för de dagar då dygnsmedeltemperaturen överstiger 20°C bidrar den dagens temperatur med en graddag för varje °C överstigande 20 °C. Dessa summeras sedan över året.

Behovet av kylning är i dagens klimat vanligtvis litet, vilket också syns i kartorna för 1961-1990 (bilaga 4) både för observerade och beräknade värden. Det framtida klimatet uppvisar en ökning av antalet graddagar för kylning mellan 20 -40 graddagar i länets kustnära område vid slutet på seklet (Figur 5.1-7). För områden allra närmast kusten kan kylbehovet förväntas öka ytterligare. Eftersom

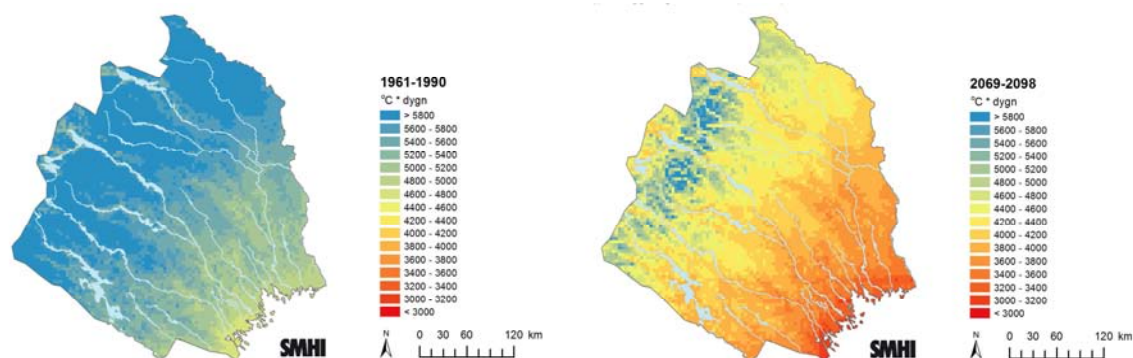
utgångsläget 1961-1990 visar mycket låga värden blir differenskartorna mycket lika kartorna för de beräknade framtidsperioderna.



Figur 5.1-7 Beräknat antal graddagar för kylning överstigande 20°C, 1961-1990 (vänster karta) och 2069-2098 (höger karta).

I bilaga 4 presenteras också kartor över graddagar för uppvärmning. Måttet baseras på att byggnaders värmesystem ska värma upp byggnader till 17°C. Resterande energibehov antas tillkomma från solinstrålning samt från värme alstrad av personer och elektrisk utrustning i byggnaderna. Antalet graddagar beräknas enligt de dagar då dygnsmedeltemperaturen underskrider ett valt tröskelvärde. Under vintertid räknar man på tröskelvärdet 17°C. Under vår, sommar och höst har solinstrålningen särskilt stor betydelse och för dessa säsonger väljs därför andra tröskelvärden; april 12°C, maj-juli 10°C, augusti 11°C, september 12°C, oktober 13°C. En dag i februari då dygnsmedeltemperaturen varit 6°C bidrar den dagen med 11 graddagar till årssumman. Dessa graddagar summeras sedan över året. Liksom för graddagar för kylning visas här två av kartorna från bilaga 4 (Figur 5.1-8).

Antalet graddagar för uppvärmning varierar över länet och följer ganska väl topografin med störst behov på uppvärmning i de högre belägna områdena. En minskning över hela länet kan ses med tiden i framtidsberäkningarna jämfört med perioden 1961-1990.



Figur 5.1-8 Beräknat antal graddagar för uppvärmning under året, 1961-1990 (vänster karta) och 2069-2098 (höger karta).

5.2 Nederbörd

Statistik över dagens klimat för Norrbottens 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.

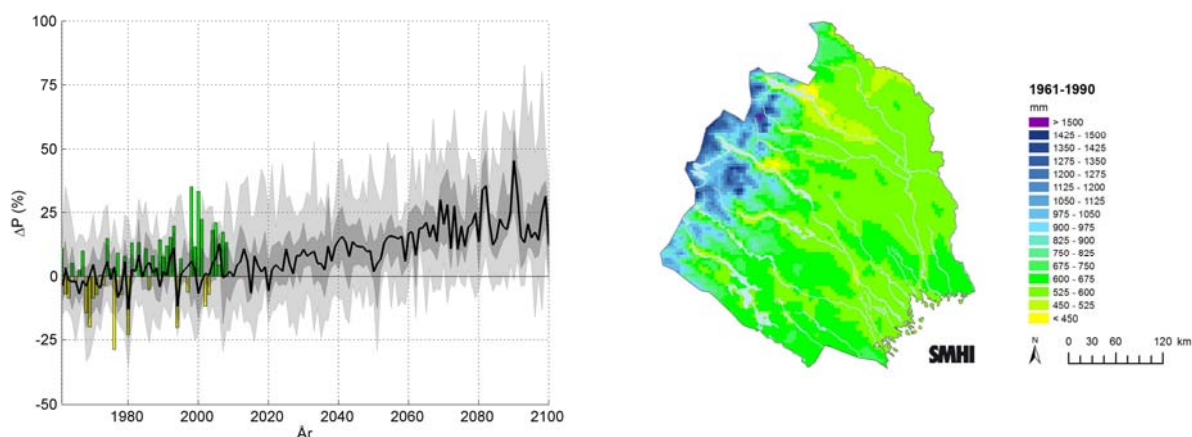
5.2.1 Medelnederbörd för år och säsong

Årsmedelnederbörden i Norrbottens län för referensperioden 1961-1990 (30 år) baserad på PTHBV-databasen var 661 mm. För perioden 1991-2008 (18 år) var årsmedelnederbörden för länet 729 mm, dvs. en ökning med ca 10%.

Den beräknade utvecklingen för årsnederbörd i Norrbottens län baserat på samtliga klimatscenarioer i tabell 4.8-1 framgår av Figur 5.2-1. Årsmedelnederbörden ökar successivt om än med stor variation mellan åren. I slutet av seklet varierar ökningen av årsmedelnederbörden mellan ca 15 -50 %, i relation till referensperioden.

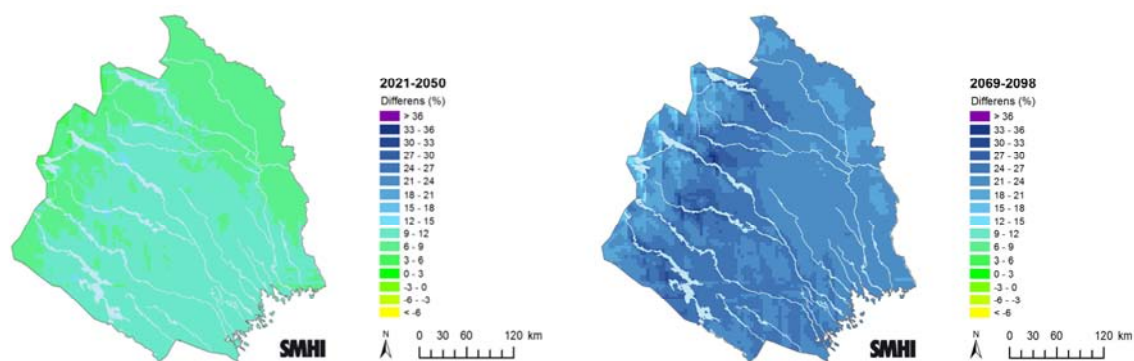
Kartan (Figur 5.2-1) visar hur den observerade årsmedelnederbörden varierar i länet 1961-1990. De blötaste partierna följer topografin dvs. de högre partierna får mer nederbörd.

I bilaga 5 visas kartor över årsmedelnederbörd och säsongsnederbörd beräknad för tidsperioderna 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differensen för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990. De observerade värdena 1961-1990 visas även för jämförelse med beräknade värden för samma period. Observerade och beräknade värden visar mycket god överensstämmelse för länet.



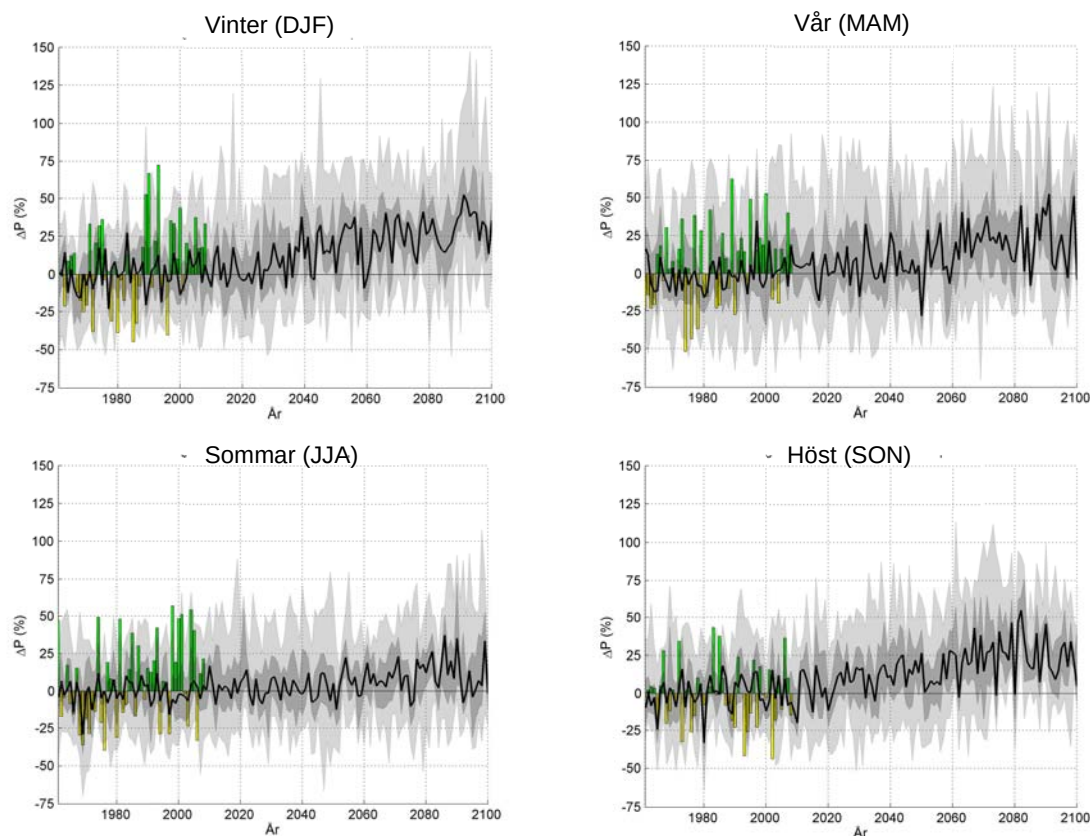
Figur 5.2-1 Beräknad utveckling av årsmedelnederbörden i Norrbottens län baserat på samtliga klimatscenarioer i tabell 4.8-1. Observerade värden presenteras som gröna staplar då de överstiger referensperiodens medelvärde och som gula staplar då de understiger medelvärdena. De skuggade partierna avser 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).

I Figur 5.2-2 visas den procentuella skillnaden i årsnederbörd för perioderna 2021-2050 och 2069-2098 jämfört med 1961-1990. Fram till mitten av seklet är den procentuella förändringen jämfört med referensperioden inte så stor. Den största förändringen sker under seklets andra hälft, vilket även syns tydligt i grafen i Figur 5.2-1.



Figur 5.2-2 Skillnad i årsmedelnederbörd (%) mellan perioden 2021-2050 och 1961-1990 (vänster) och 2069-2098 och 1961-1990 (höger). Dessa figurer finns ej i bilagan.

Nederbördsutvecklingen för de fyra säsongerna visas i Figur 5.2-3. För alla säsonger ses en ökad nederbörd (se bilaga 5) under kommande sekel. Störst förändring visas för vinter- och höstnederbörden. En stor spridning ses dock i beräkningarna. Den procentuella ökningen, för vintern, varierar mellan 0% och 20% för merparten av länet för perioden 2021-2050 i jämförelse med 1961-1990. Vid slutet av seklet är ökningen för vintern betydligt kraftigare (bilaga 5). Den når då värden över 30% för merparten av länet.

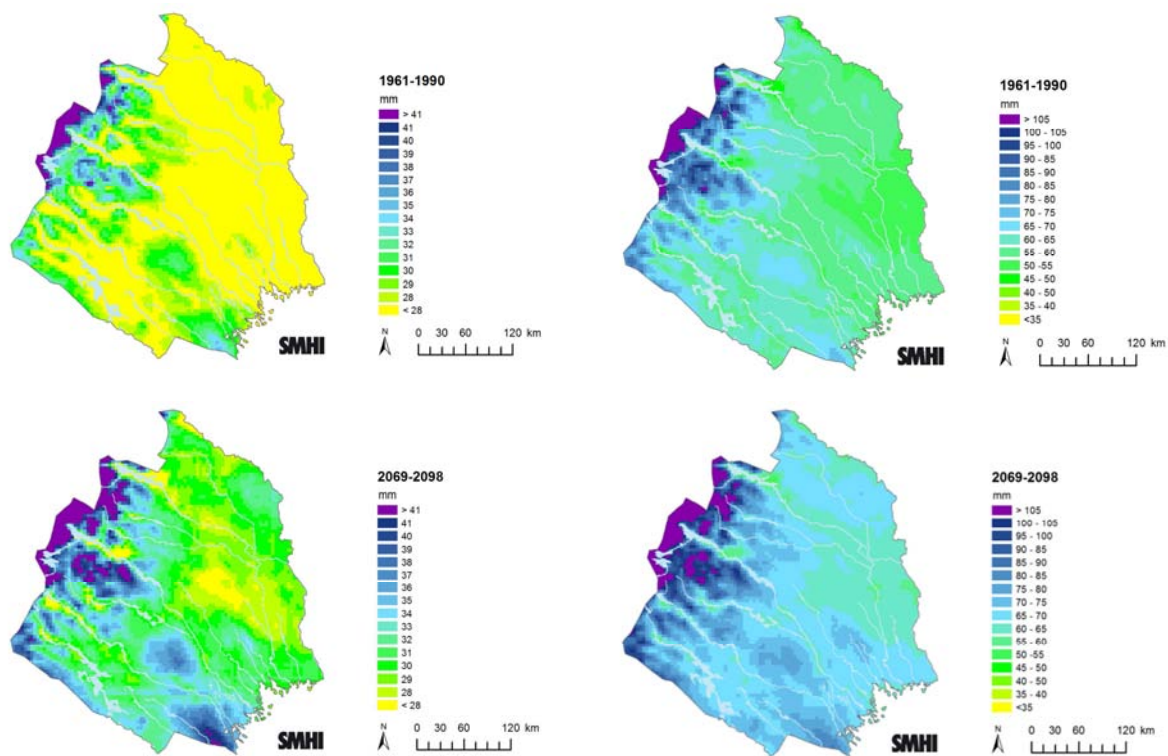


Figur 5.2-3 Beräknad nederbördsutveckling för de fyra årstiderna i Norrbottens län baserat på samtliga klimatscenarier i tabell 4.8-1. Årstiderna definieras enligt meteorologisk standard: månaderna december-februari = vinter, mars-maj = vår, juni-augusti = sommar och september-november = höst. Observerade värden presenteras som gröna staplar då de överstiger referensperiodens medelvärde och som gula staplar då de understiger medelvärdena. 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 6 visas två klimatindex av kraftig nederbörd; största 1-dygnsnederbörd och största 7-dygnsnederbörd. Medelvärden för de årshögsta värdena över 30-årsperioderna 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 visas tillsammans med observationer för perioden 1961-1990. Överensstämmelsen mellan observerade och beräknade värden är mycket bra för båda klimatindexen. Här visas två kartor för vardera klimatindex (Figur 5.2-4).

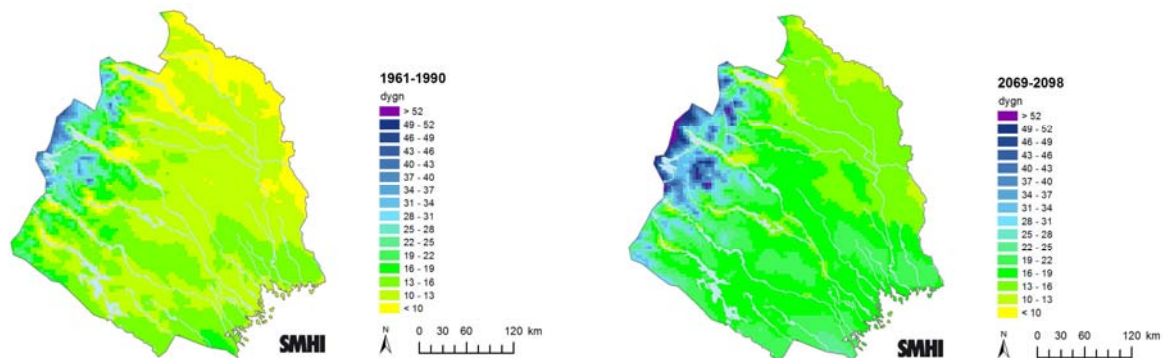
Största 1-dygnsnederbörden och 7-dygnsnederbörden uppvisar likartade fördelningar över länet med högsta värdena dominerade av topografiska förhållandena och lägre värden i inland och kust. I framtidsberäkningarna kvarstår det geografiska mönstret men den kraftiga nederbörden ökar. För 1-dygnsnederbörden nås > 41 mm i några områden och för 7-dygnsnederbörd > 105 mm. Det bör påpekas att siffrorna gäller för hela gridrutor och för medelvärden över 30 år och behandlar alltså inte extrema lokala skurar.



Figur 5.2-4 Beräknade 30-årsmedelvärden av största 1-dygnsnederbörd (mm) (vänster) och 7-dygnsnederbörd (mm) (höger). Övre raden visar perioderna 1961-1990 och nedre raden 2069-2098.

I bilaga 7 visas resultat i form av kartor över beräkningar med klimatindex antal dagar per år med nederbörd > 10 mm 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 visas också. Nedan visas två av kartorna (Figur 5.2-5).

Dygnsmedelnederbörd på 10 mm i beräkningsrutorna betyder ett kraftigt regn över området. Minst antal dygn finner vi i länets norra delar. Detta mönster kvarstår även mot slutet av seklet men med större antal dygn i medeltal. Det innebär att de kraftiga regnen kan förväntas öka. Ökningen är störst i de områden som har flest dygn med kraftig nederbörd i dagens klimat (Figur 5.2-5, differenskartor i bilaga 7).

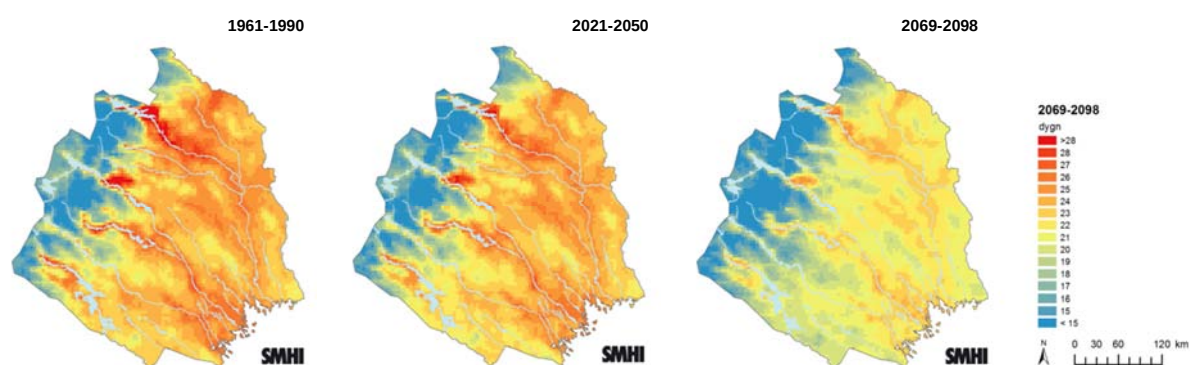


Figur 5.2-5 Beräknade 30-årsmedelvärden av antal dygn per år med nederbörd över 10 mm för perioderna 1961-1990 och 2069-2098.

5.2.3 Perioder utan nederbörd

I bilaga 8 presenteras kartor med 30-årsmedelvärden över maximala antalet sammanhängande dygn per år utan nederbörd. Tröskelvärdet är dygn med < 1 mm nederbörd. Perioderna 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 visas tillsammans med observerade värden för 1961-1990. Om observerade och beräknade värden jämförs stämmer mönstret över länet väl men de beräknade värdena är något högre än de observerade (se bilaga 8). Här visas de tre beräknade 30-årsperioderna (Figur 5.2-6).

De områden som visar flest sammanhängande dygn utan nederbörd 1961-1990 verkar i stor utsträckning sammanfalla med dalgångarna längs de stora vattendragen. Beräkningarna visar att antalet sammanhängande dygn utan nederbörd minskar fram till slutet på seklet, 2069-2098.



Figur 5.2-6 Perioder utan nederbörd, definierad med tröskelvärdet <1 mm och maximalt antal dygn i följd per år. 30-årsmedelvärden för perioderna 1961-1990 (vänster), 2021-2050 (mitten) och 2069-2098 (höger).

5.3 Vattenföring

Vattenföring är benämningen för den mängd vatten som rinner fram i ett vattendrag och mäts ofta i kubikmeter per sekund (m^3/s). Vattenföringen på en plats i ett vattendrag är densamma som den totala tillrinningen från hela uppströms avrinningsområdet. Varje vattendrag har sin egen rytm och storleken på flödet varierar under året främst med klimatet i avrinningsområdet men också till följd av eventuella regleringar. Sjöar har en utjämnande effekt på vattenföringen i ett vattendrag, vilket beror på att en sjös utlopp på ett naturligt sätt begränsar utflödet. Det samma gäller för kraftverksmagasin. 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.

Tabell 5.3-1 redovisar den observerade medelvattenföringen samt beräknad utifrån drivdata från klimatsimuleringarna, 1961-1990 och beräknad 100-årsvattenföring i dagens klimat för de vattendrag som behandlas vidare under analysen i detta avsnitt.

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 %.

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 analys samma längd på tidsseriens längd som en standardperiod, dvs. 30 år.

Tabell 5.3-1. Årsmedelvattenföring (uppmätt enligt mätperiodernas period och beräknad utifrån drivdata från klimatsimuleringarna, 1961-1990 samt beräknad 100-årsvattenföring i mynningen för utvalda vattendrag i Norrbottens län i dagens klimat (SMHI flödesstatistik). I de punkter där det finns statistik för rekonstruerad naturlig vattenföring redovisas även denna inom parentes.

Punkt, Vattendrag	Medelvattenföring [m ³ /s]	Beräknad medelvattenföring [m ³ /s]	100-årsvattenföring [m ³ /s]
Torneälvens mynning	388	398	3730
Keräsökis mynning	4,5	4,6	90
Sangisälvens mynning	12,9	12,3	160
Kalixälvens mynning	295	307	2550
Töreälvens mynning	4,6	4,7	90
Jämtöälven mynning	5,25	5,2	90
Råneälvens mynning	44	42	780
Altersundets mynning	4,1	2,8	57
Luleälvens mynning	507 (508)	478	2180 (3030)
Alåns mynning	6,1	5,1	91
Rosåns mynning	1,8	1,8	37
Alterälvens mynning	4,5	4,0	83
Piteälvens mynning	168	160	1180

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

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

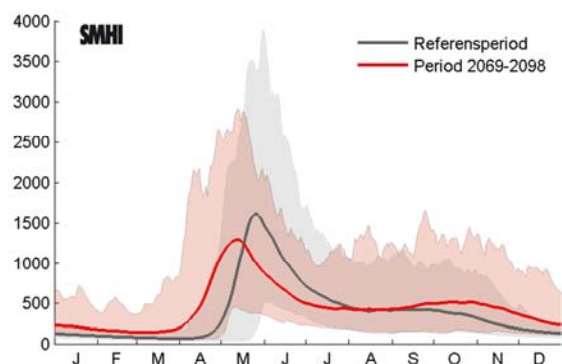
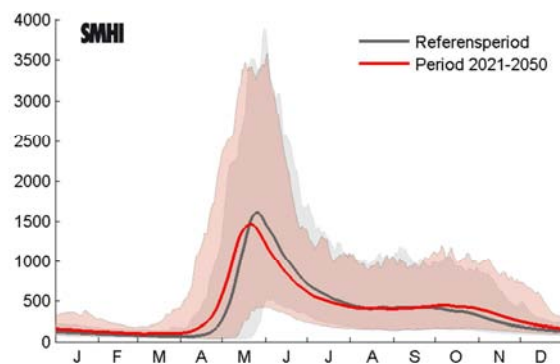
5.3.1 Vattenföringens säsongsvariation

I Figur 5.3-1- Figur 5.3-5 presenteras beräknad flödesvariation under året i Torneälvens, Keräsjokis, Sangisälvens, Kalixälvens, Töreälvens, Jämtöälvens, Råneälvens, Altersundets, Luleälvens, Alåns, Rosåns, Alterälvens och Piteälvens mynningspunkter för den totala vattenföringen. Att den totala vattenföringen är beräknad betyder att allt tillrinnande vatten från uppströms delavrinningsområden är inräknat. Beräkningarna avser oreglerade förhållanden.

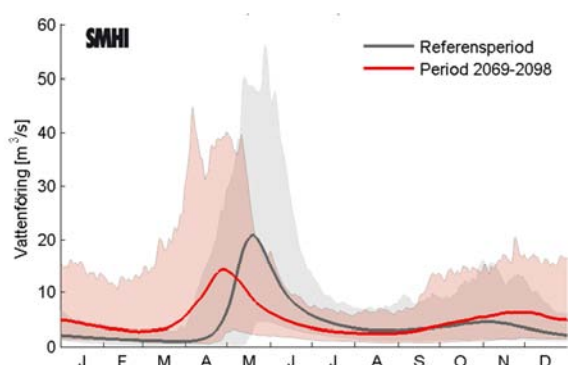
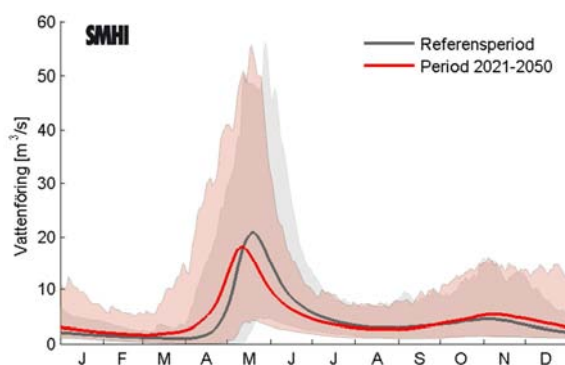
För varje vattendrag visas beräkningar för perioden 2021-2050 samt 2069-2098 tillsammans med referensperioden 1963-1992. Medelvattenföringen för varje dag på året under referensperioden presenteras med en heldragen mörk linje och för den analyserade framtida perioden presenteras medelvattenföringen som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

Den förändring i säsongsdynamiken som ses för perioden 2021-2050 jämfört med 1961-1990 förstärks för perioden 2069-2098. Den för dagens klimat vanliga säsongsdynamiken med en flödestopp på våren, vilket syns tydligt för alla analyserade vattendrag förändras något redan 2021-2050 men mer markant tills mot slutet av seklet. Flödestoppen under våren minskar i storlek men höga flöden kan förväntas under längre perioder. Vinter och höstflöden ökar generellt i alla områden. Förändringarna orsakas av ökad nederbörd under vintern och med mindre mängd nederbörd som lagras i form av snö beroende på högre temperaturer.

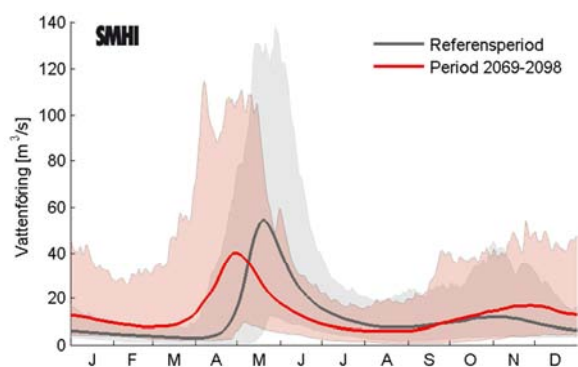
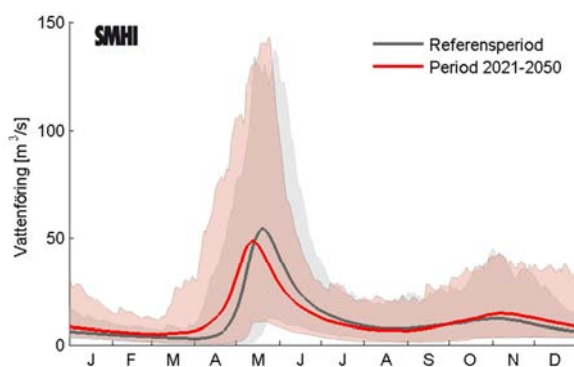
Torneälven



Keräsjoki

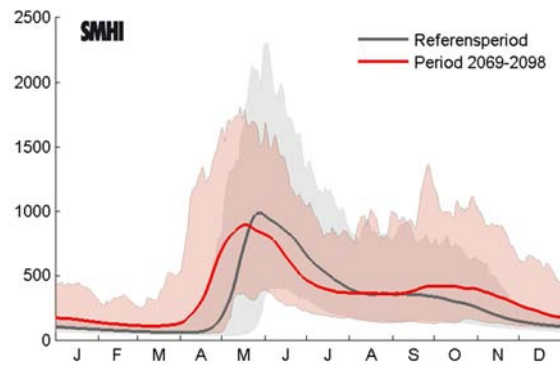
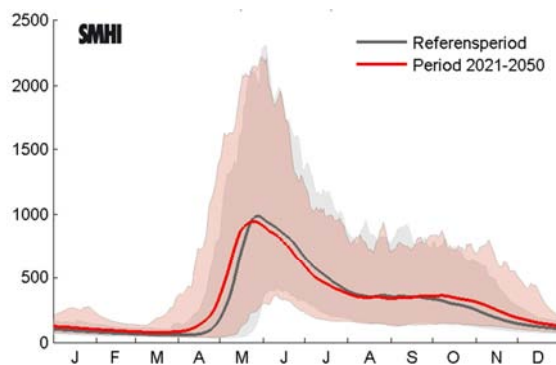


Sangisälven

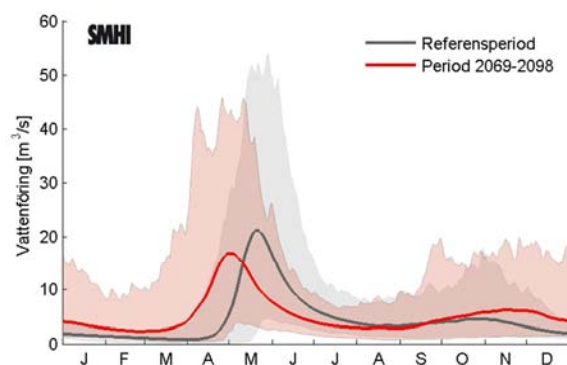
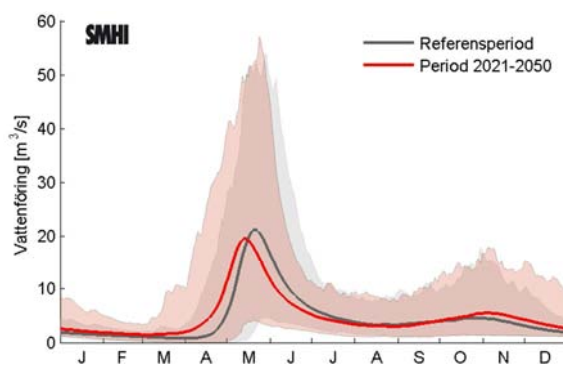


Figur 5.3-1 Säsongvariation av beräknad daglig vattenföring för (uppifrån och ner) Torneälvens, Keräsjokis och Sangisälvens mynningspunkter för den totala vattenföringen. Svart kurva visar medelvattenföringen för varje dag på året under perioden 1963-1992 och det grå fältet visar 75 percentilen och 25 percentilen för varje dags maximala resp. minimala värde under året. Den röda kurvan och det ljusröda fältet visar motsvarande för den beräknade framtida perioden, till vänster 2021-2050 och till höger 2069-2098.

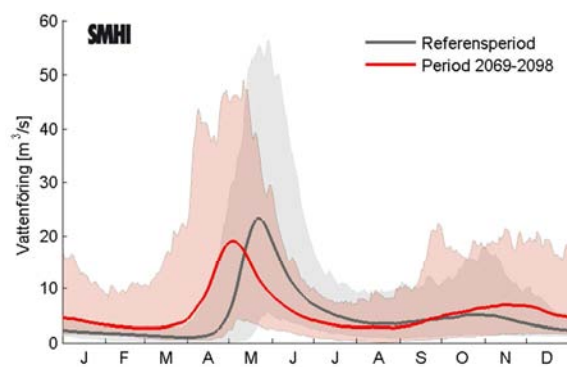
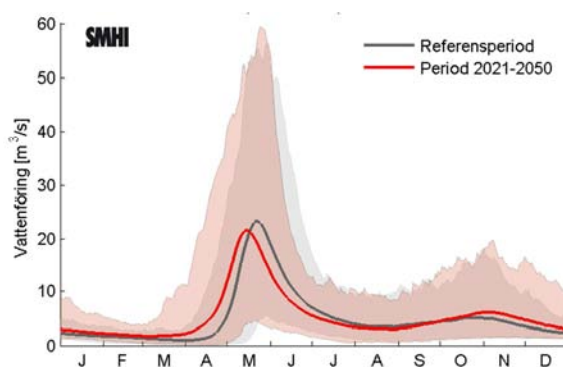
Kalixälven



Töreälven

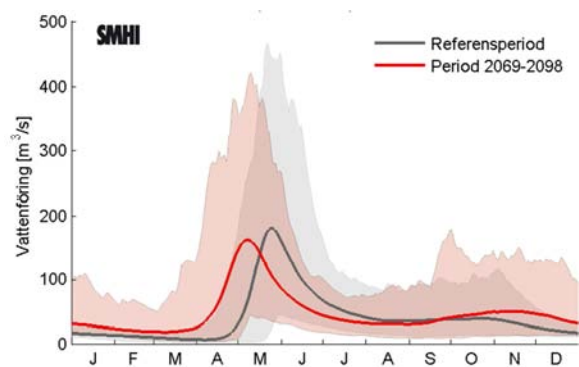
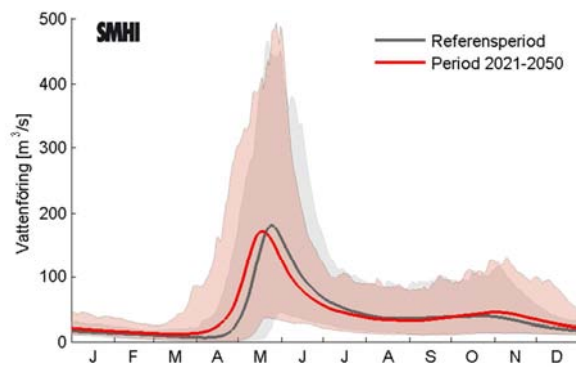


Jämtöälven

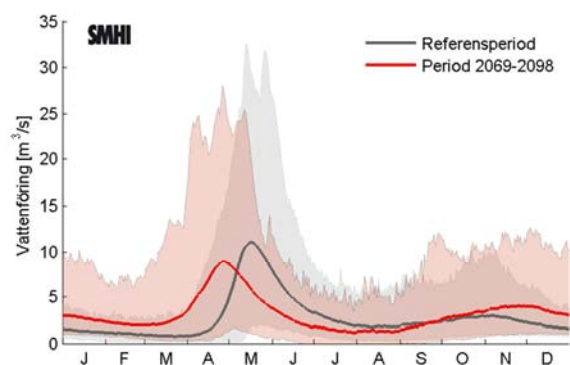
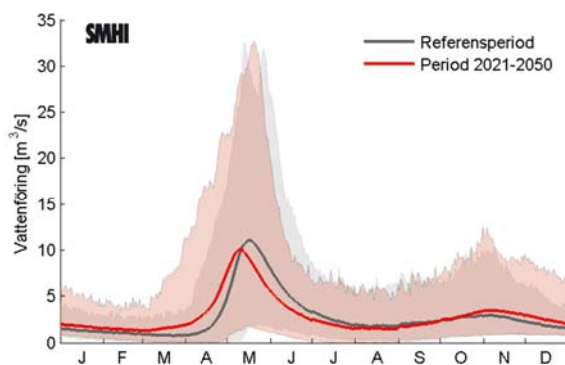


Figur 5.3-2 Säsongsvariation av beräknad daglig vattenföring för (uppifrån och ner) Kalixälvens, Töreälvens och Jämtöälvens mynningspunkter för den totala vattenföringen. Svart kurva visar medelvattenföringen för varje dag på året under perioden 1963-1992 och det grå fältet visar 75 percentilen och 25 percentilen för varje dags maximala resp. minimala värde under året. Den röda kurvan och det ljusröda fältet visar motsvarande för den beräknade framtida perioden, till vänster 2021-2050 och till höger 2069-2098.

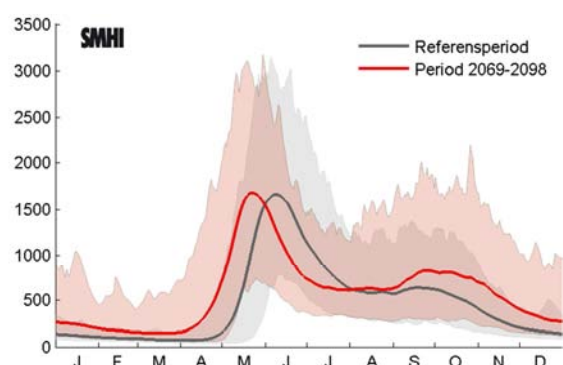
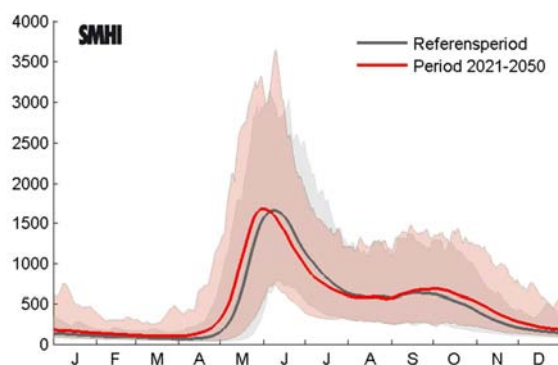
Råneälven



Altersundet

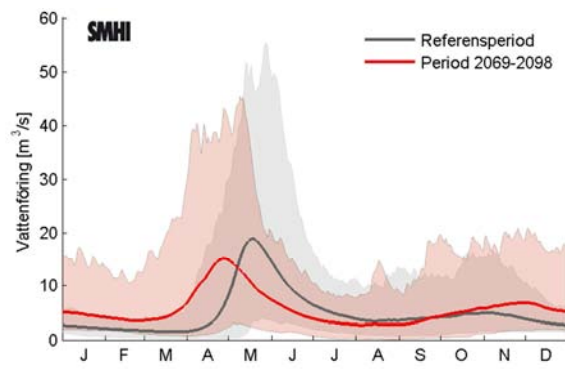
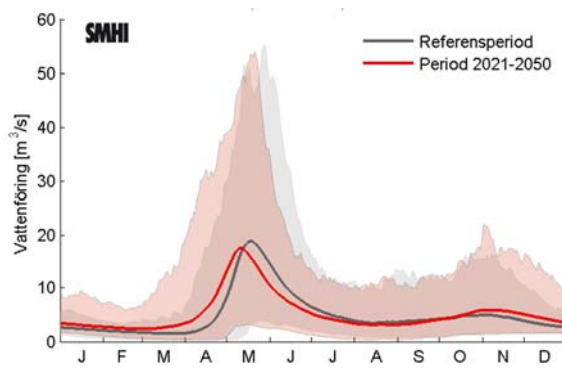


Luleälven

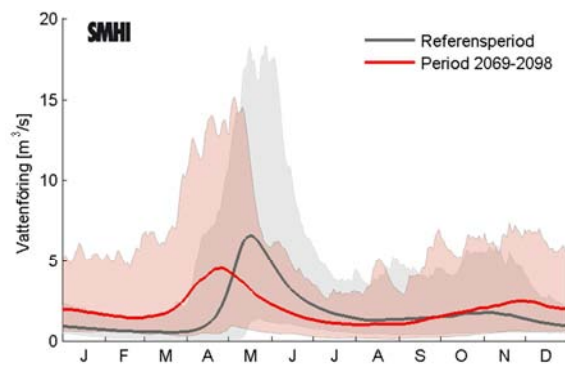
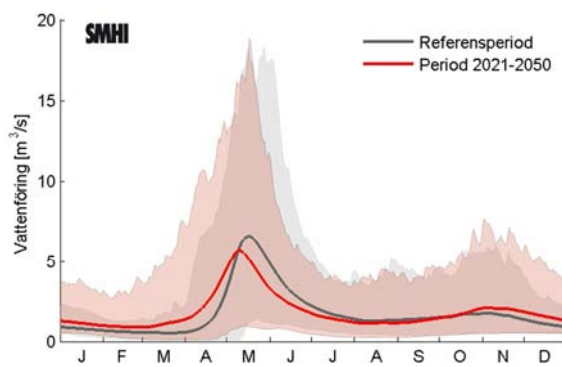


Figur 5.3-3 Säsongsvariation av beräknad daglig vattenföring för (uppifrån och ner). Råneälvens, Altersundets och Luleälvens mynningspunkter för den totala vattenföringen. Svart kurva visar medelvattenföringen för varje dag på året under perioden 1963-1992 och det grå fältet visar 75 percentilen och 25 percentilen för varje dags maximala resp. minimala värde under året. Den röda kurvan och det ljusröda fältet visar motsvarande för den beräknade framtida perioden, till vänster 2021-2050 och till höger 2069-2098.

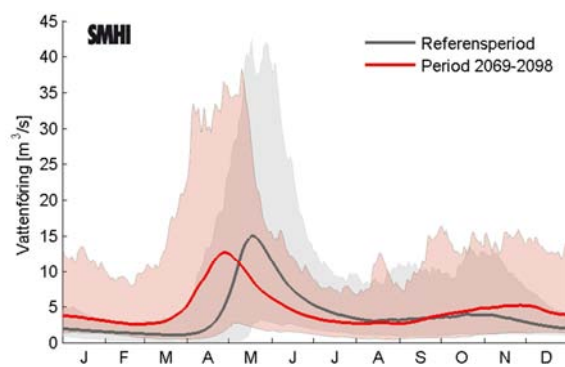
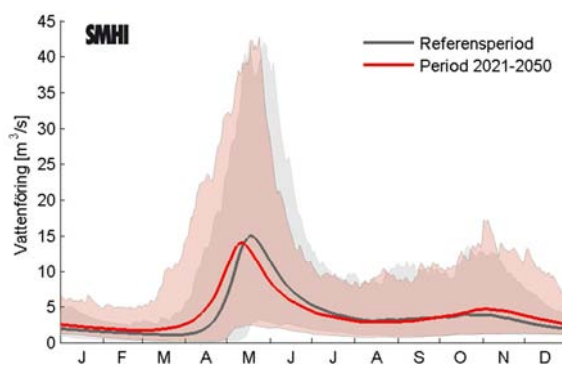
Alån



Rosån

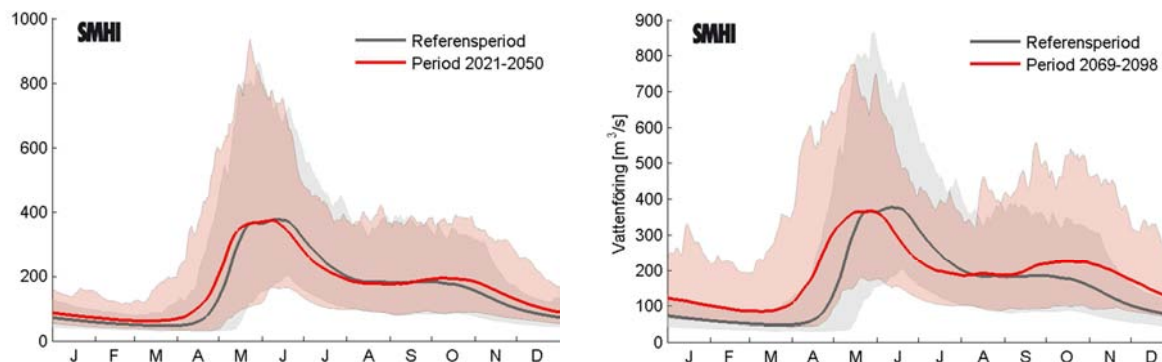


Alterälven



Figur 5.3-4 Säsongsvariation av beräknad daglig vattenföring för (uppifrån och ner) Alåns, Rosåns och Alterälvens mynningspunkter för den totala vattenföringen. Svart kurva visar medelvattenföringen för varje dag på året under perioden 1963-1992 och det grå fältet visar 75 percentilen och 25 percentilen för varje dags maximala resp. minimala värde under året. Den röda kurvan och det ljusröda fältet visar motsvarande för den beräknade framtida perioden, till vänster 2021-2050 och till höger 2069-2098.

Piteälven



Figur 5.3-5 Säsongsvariation av beräknad daglig vattenföring för Piteälvens mynningspunkter för den totala vattenföringen. Svart kurva visar medelvattenföringen för varje dag på året under perioden 1963-1992 och det grå fältet visar 75 percentilen och 25 percentilen för varje dags maximala resp. minimala värde under året. Den röda kurvan och det ljusröda fältet visar motsvarande för den beräknade framtida perioden, till vänster 2021-2050 och till höger 2069-2098.

5.3.2 Medelvattenföring

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

Figur 5.3-6 - Figur 5.3-10 visar förändringen av total medelvattenföring på årsbasis vid mynningen i havet för Torneälven, Keräsjoki, Sangisälven, Kalixälven, Töreälven, Jämtöälven, Råneälven, Altersundet, Luleälven, Alån, Rosån, Alterälven och Piteälven.

Resultatet avser förändringen av medelvattenföringen för samtliga klimatscenarier under detta sekel relativt referensperioden 1963-1992. I samma figurer visas även 25:e och 75:e percentil av samtliga scenariers medelvattenföring för samma perioder. Resultat för samtliga enskilda klimatscenarietörningar visas i bilaga 9.

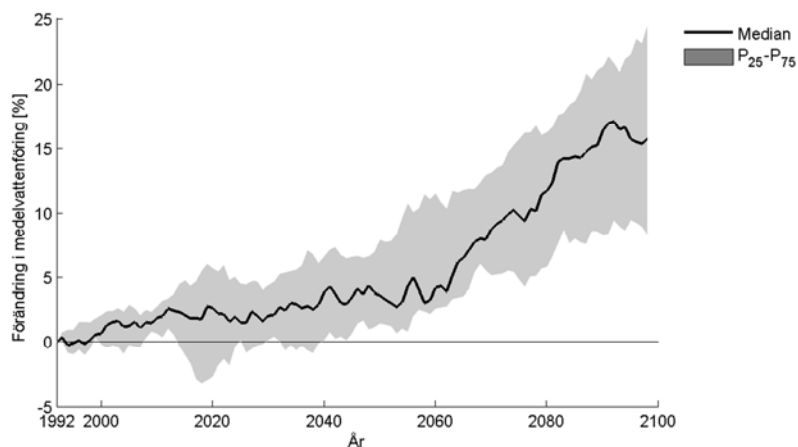
Figurerna avser den totala tillrinningen (total vattenföring), dvs. det vatten som tillkommer från uppströms avrinningsområden tillsammans med tillrinningen från respektive delavrinningsområde (den lokala tillrinningen). Detta bildar vattenföringen i det sammanlagda avrinningsområdet utloppspunkt.

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

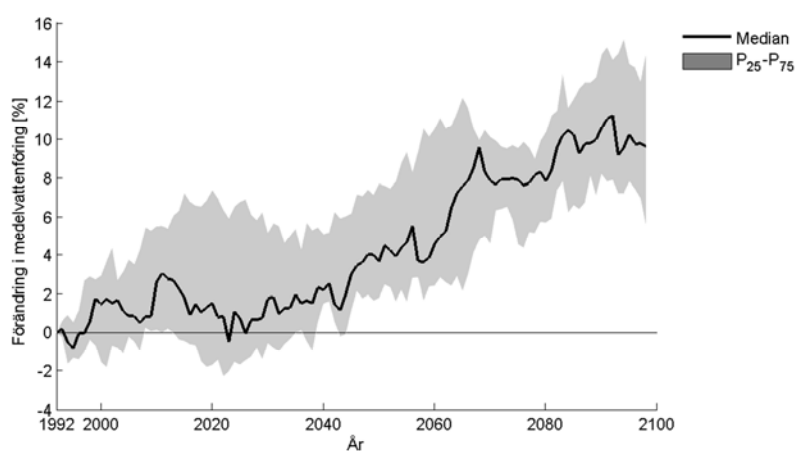
Medelvattenföringen beräknad för perioden 1963-1992 utgör referensvärdet med vilket beräknad medelvattenföringen för övriga 30-årsperioder jämförs med. Förändringen av storleken på medelvattenföringen uttrycks i procent.

Generellt väntas årsmedelvattenföringen öka mellan 10 till 25 % i de större älvarna mot slutet av seklet. Till mitten av seklet kan en ökning på upp mot 10 % väntas. I de mindre vattendragen blir den procentuella förändringen något mindre. Säsongsvis syns en tydlig ökning under alla årstider utom sommartid då istället en klar minskning väntas. Utvecklingen är likartad för samtliga större vattendrag.

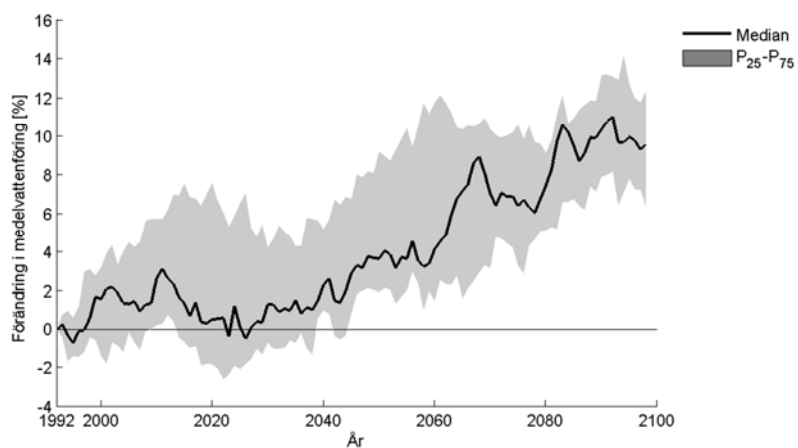
Torneälvens mynning. Medelvattenföring under referensperioden 398 m³/s



Keräsjökis mynning. Medelvattenföring under referensperioden 4,6 m³/s

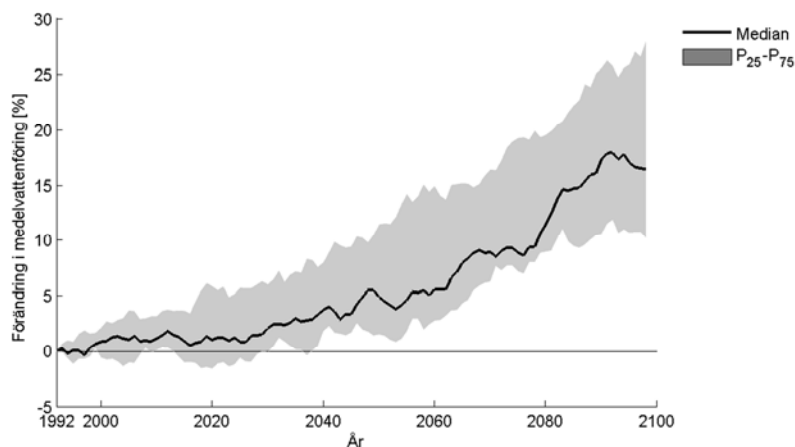


Sangisälvens mynning. Medelvattenföring under referensperioden 12,3 m³/s

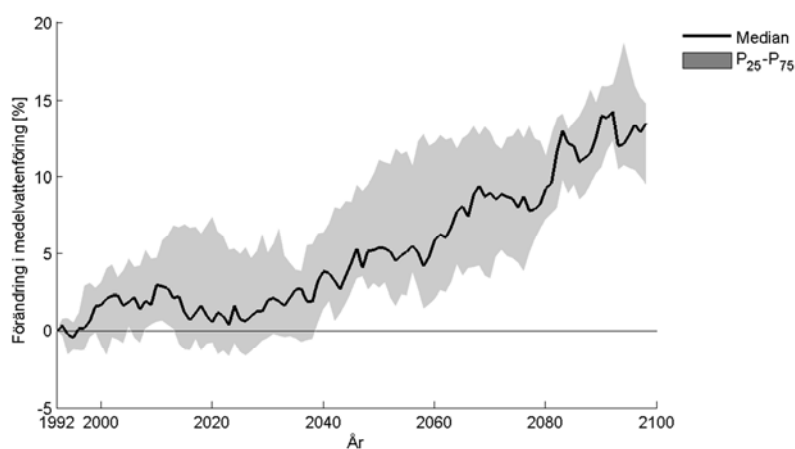


Figur 5.3-6. Beräknad förändring (%) av medelvattenföring för Torneälvens, Keräsjöki, Sangisälvens mynning, i havet under perioden 1992 – 2098 jämfört med referensperioden 1963 – 1992. Medianen av samtliga scenarier visas som svart linje. Det grå fältet markerar 75:e percentilen och 25:e percentilen av samtliga scenarier.

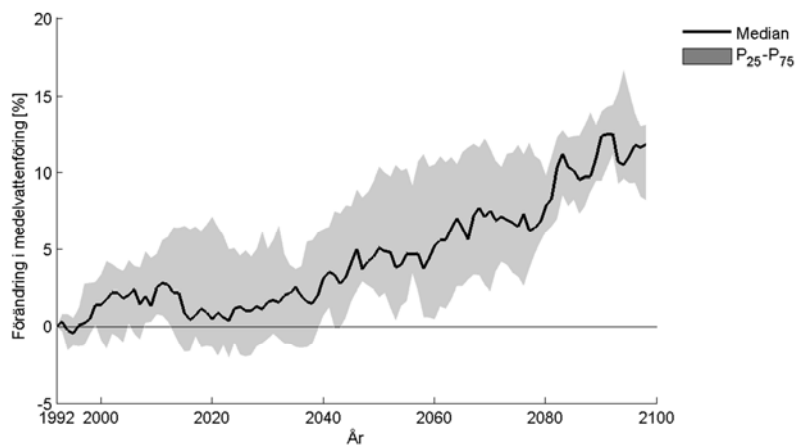
Kalixälvens mynning. Medelvattenföring under referensperioden 307 m³/s



Töreälvens mynning. Medelvattenföring under referensperioden 4,7 m³/s

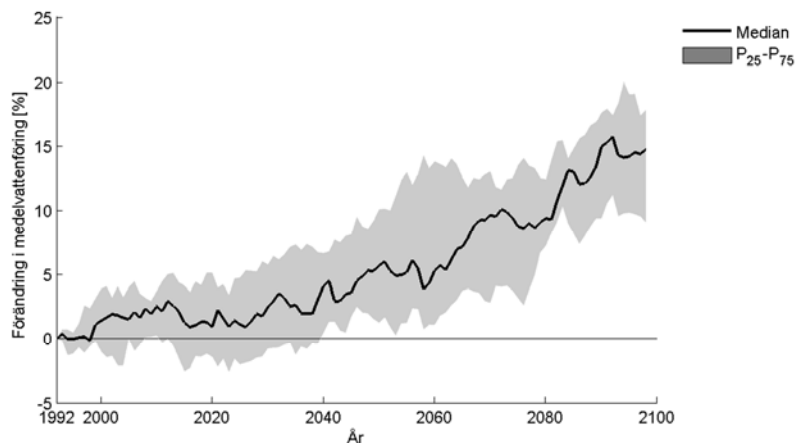


Vitåns mynning. Medelvattenföring under referensperioden 5,2 m³/s

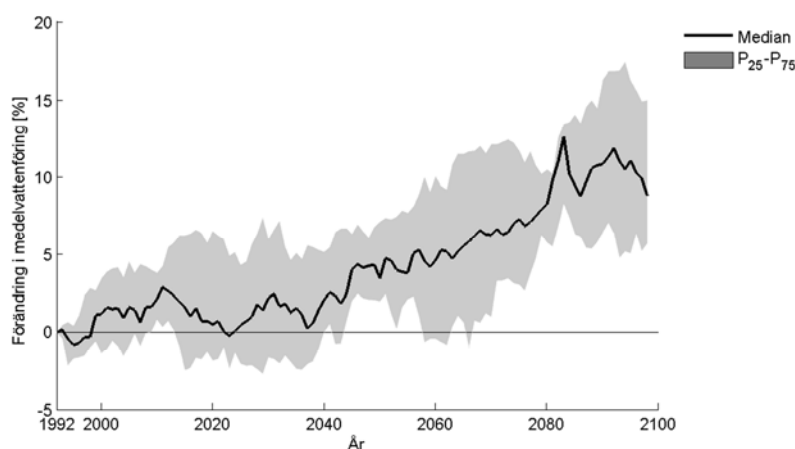


Figur 5.3-7. Beräknad förändring (%) av medelvattenföring för Kalixälvens, Töreälvens och Vitåns mynning i havet perioden 1992 – 2098 jämfört med referensperioden 1963 – 1992. Medianen av samtliga scenarier visas som svart linje. Det grå fältet markerar 75:e percentilen och 25:e percentilen av samtliga scenarier.

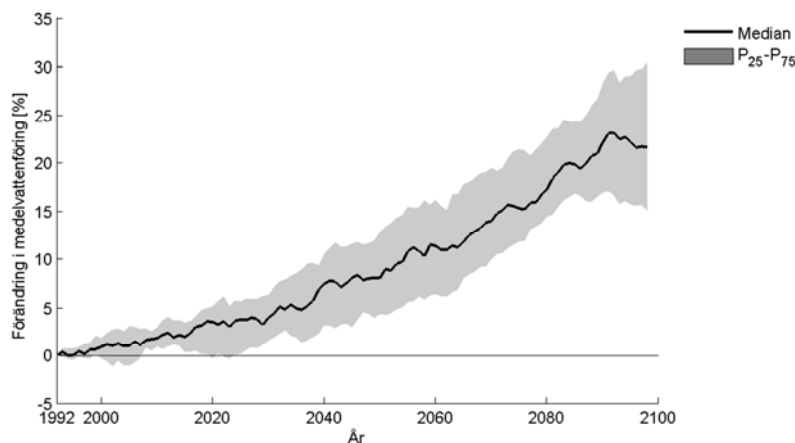
Råneälvens mynning. Medelvattenföring under referensperioden 42 m³/s



Altersundets mynning. Medelvattenföring under referensperioden 2,8 m³/s

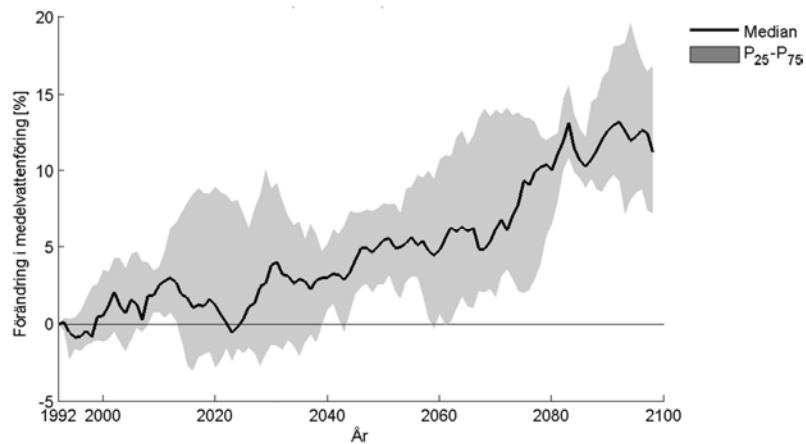


Luleälvens mynning. Medelvattenföring under referensperioden 478 m³/s

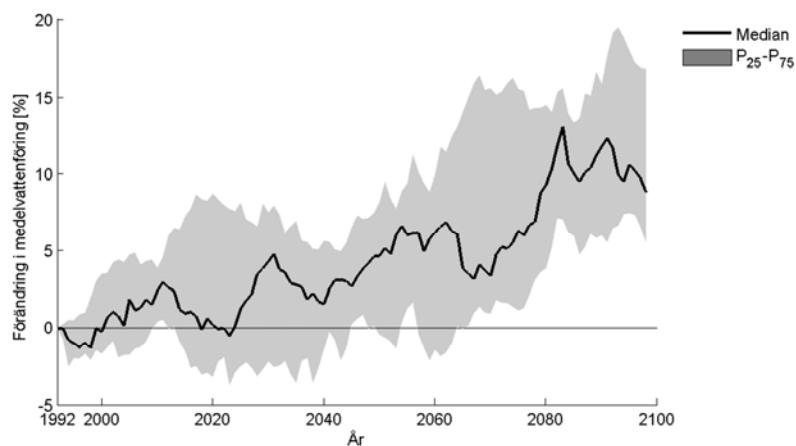


Figur 5.3-8 Beräknad förändring (%) av medelvattenföring för Råneälven, Altersundets och Luleälvens mynning i havet under perioden 1992 – 2098 jämfört med referensperioden 1963 – 1992. Medianen av samtliga scenarier visas som svart linje. Det grå fältet markerar 75:e percentilen och 25:e percentilen av samtliga scenarier.

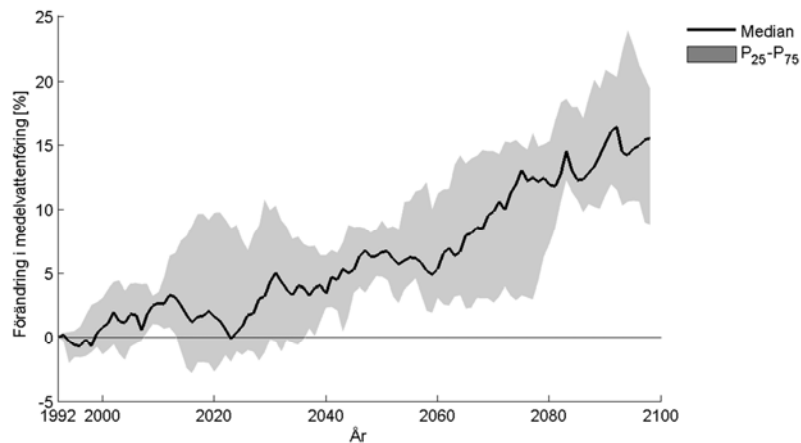
Alåns mynning. Medelvattenföring under referensperioden 5,1 m³/s



Rosåns mynning. Medelvattenföring under referensperioden 1,8 m³/s

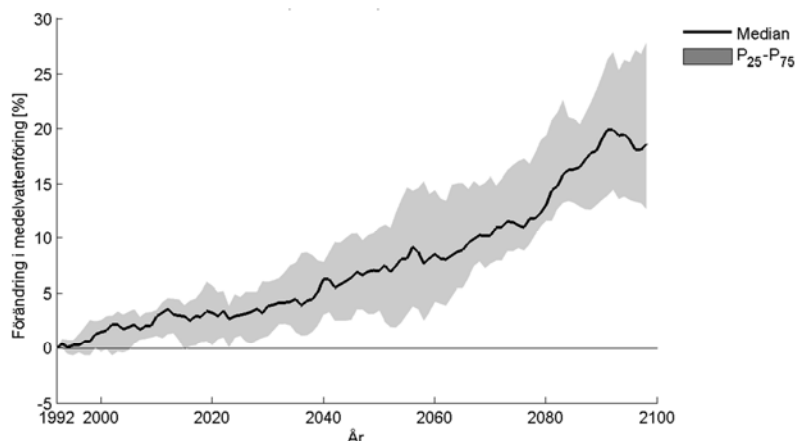


Alterälvens mynning. Medelvattenföring under referensperioden 4,0 m³/s



Figur 5.3-9 Beräknad förändring (%) av medelvattenföring för Alåns, Rosåns och Alterälvens mynning i havet under perioden 1992 – 2098 jämfört med referensperioden 1963 – 1992. Medianen av samtliga scenarier visas som svart linje. Det grå fältet markerar 75:e percentilen och 25:e percentilen av samtliga scenarier.

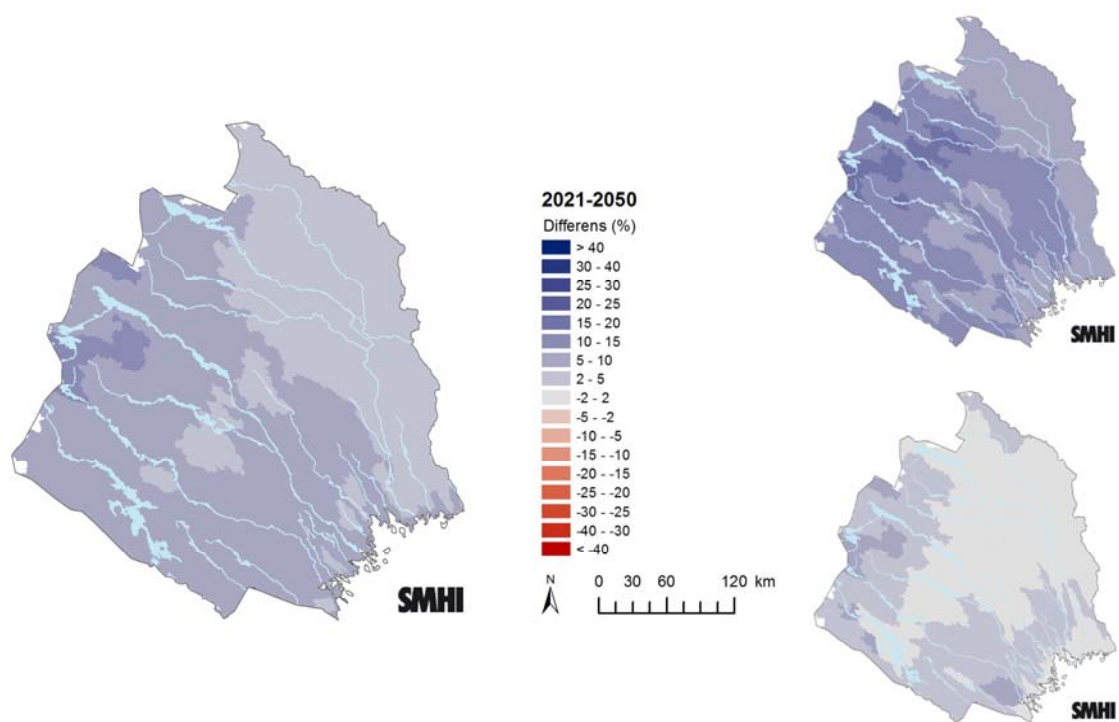
Piteälvens mynning. Medelvattenföring under referensperioden 160 m³/s



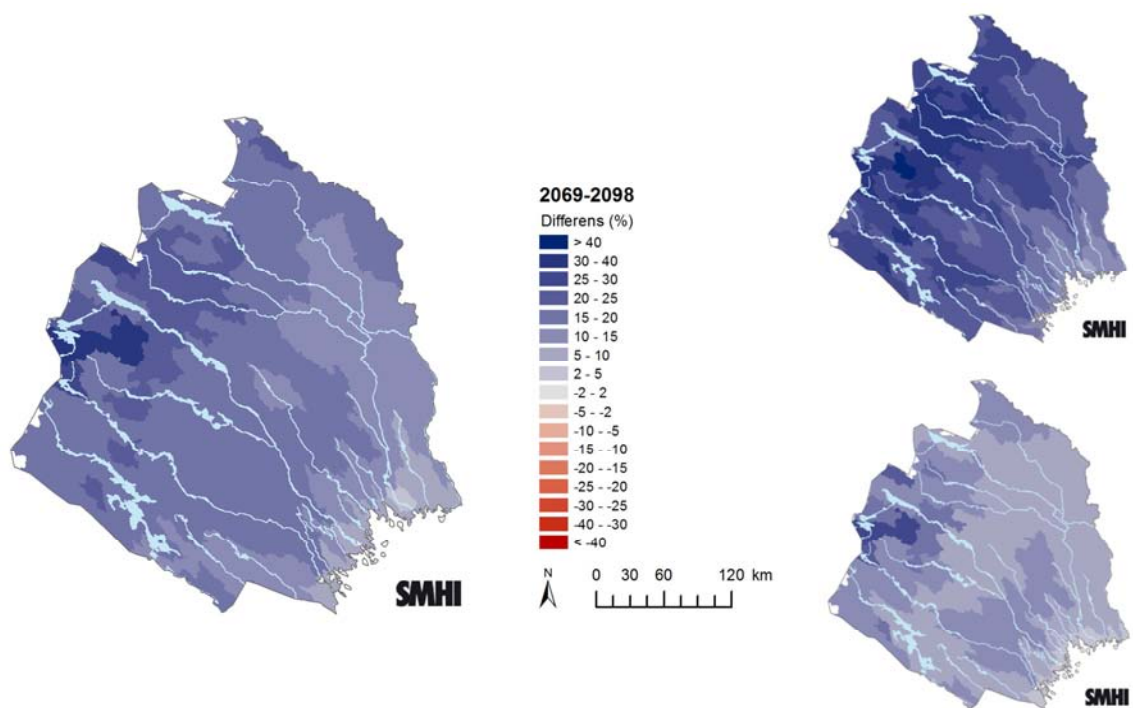
Figur 5.3-10 Beräknad förändring (%) av medelvattenföring för Piteälvens mynning i havet under perioden 1992 – 2098 jämfört med referensperioden 1963 – 1992. Medianen av samtliga scenarier visas som svart linje. Det grå fältet markerar 75:e percentilen och 25:e percentilen av samtliga scenarier.

I kartbilderna (Figur 5.3-11-Figur 5.3-12) visas den lokala tillrinningen, det vill säga bara det bidrag av vatten som rinner från varje enskilt avrinningsområde. Det ger en bild av hur mindre vattendrag påverkas eftersom deras vattenföring endast beror av lokala förhållanden.

I kartbilden över den lokala tillrinningen enligt klimatscenariemedianen syns en ökning på 5 – 10 % i länet södra delar. I länets nordligare delar är förhållandena i princip oförändrade. Mot slutet av seklet syns en jämnare ökning över hela länet av den lokala tillrinningen i klimatscenariomedianen på upp till 10-20% med en något större ökning i länets bergsområden i väst.



Figur 5.3-11 Förändring av lokal årsmedeltillrinning i Norrbottens län för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden 1963-1992. Den större figuren visar medianvärdena medan den övre högra figuren visar 75:e percentilen och den nedre högra figuren visar 25:e percentilen av samtliga scenariers årsmedelvärden.



Figur 5.3-12 Förändring av lokal årsmedeltillrinning i Norrbottens län för perioden 2069-2098 jämfört med referensperioden 1963-1992. Den större figuren visar medianvärdena medan den övre högra figuren visar 75:e percentilen och den nedre högra figuren visar 25:e percentilen av samtliga scenariers årsmedelvärden.

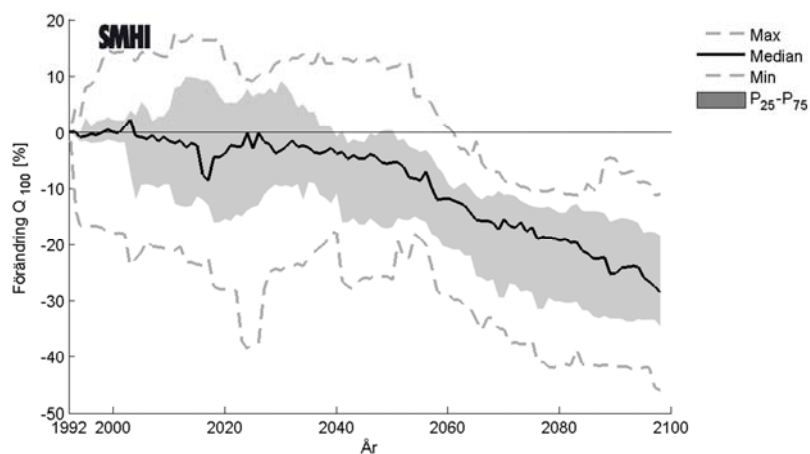
5.3.3 100-årsvattenföring

I Figur 5.3-13- Figur 5.3-17 presenteras 100-årsvattenföringar beräknade för året vid mynningen i havet för Torneälven, Keräsajoki, Sangisälven, Kalixälven, Töreälven, Jämtöälven, Råneälven, Altersundet, Luleälven, Alån, Rosån, Alterälven och Piteälven. Beräkningarna är gjorda för *oreglerade* förhållanden på *total* tillrinning. Att total vattenföringen är beräknad betyder att allt tillrinnande vatten uppströms delavrinningsområdet är inräknat. Resultat för samtliga enskilda klimatscenarietörningar visas i bilaga 10.

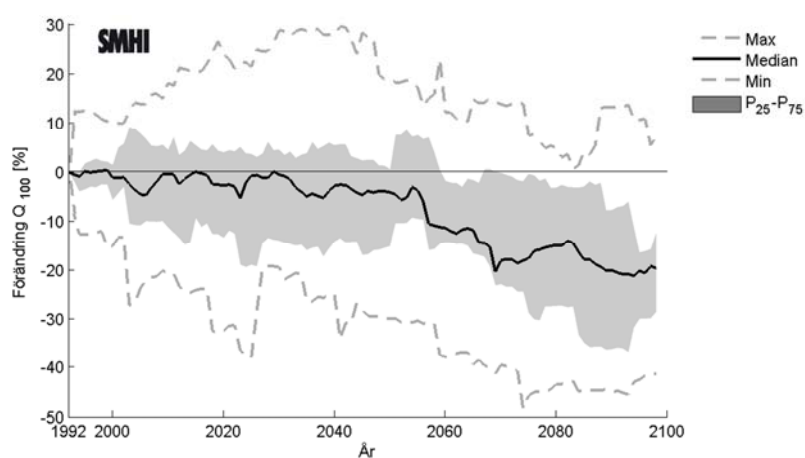
100-årsflöden har beräknats för löpande 30-årsperioder efter tidsperioden 1963-1992 (dvs. 1964-1993, 1965-1994, ..., 2069-2098). Detta har gjorts för samtliga klimatscenarier. 100-årsflödet beräknat för perioden 1963-1992 utgör referensvärdet med vilket beräknade 100-årsflöden för övriga 30-årsperioder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

Fram till i mitten på seklet är den totala 100-årsförändringen i stort sett oförändrad därefter tyder beräkningarna i samtliga områden, bortsett från Luleälven (median + percentiler) på en minskad total 100-årstillrinning vid slutet av seklet. I den här analysen är Luleälvens totala 100-årsvattenföring i stort sett oförändrad mot slutet av seklet. Effekterna av den minskande snömagasineringen slår igenom i resultaten för slutet av seklet då 100-årsvattenföringen väntas minska i de flesta punkter längst älvarna.

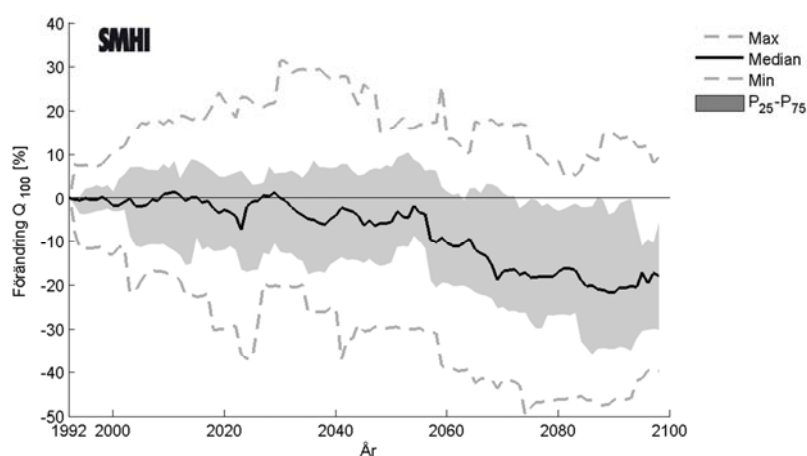
Torneälvens mynning



Keräsjokis mynning

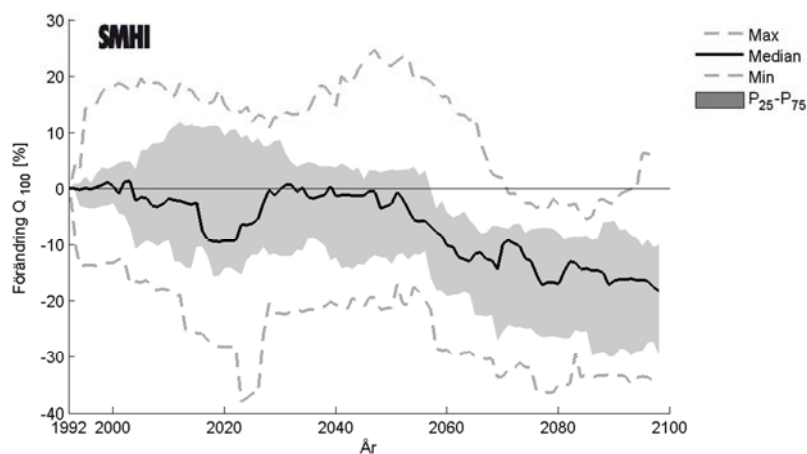


Sangisälvens mynning



Figur 5.3-13. Beräknad förändring (%) av 100-årsflödet för Torneälvens, Keräsjokis, Sangisälvens mynning, i havet under perioden 1992 – 2098 jämfört med referensperioden 1963 – 1992. Medianen av samtliga scenarier visas som svart linje. Det grå fältet markerar 75:e percentilen och 25:e percentilen av samtliga scenarier. Maximal och minimal förändring bland samtliga scenarier visas som streckade linjer.

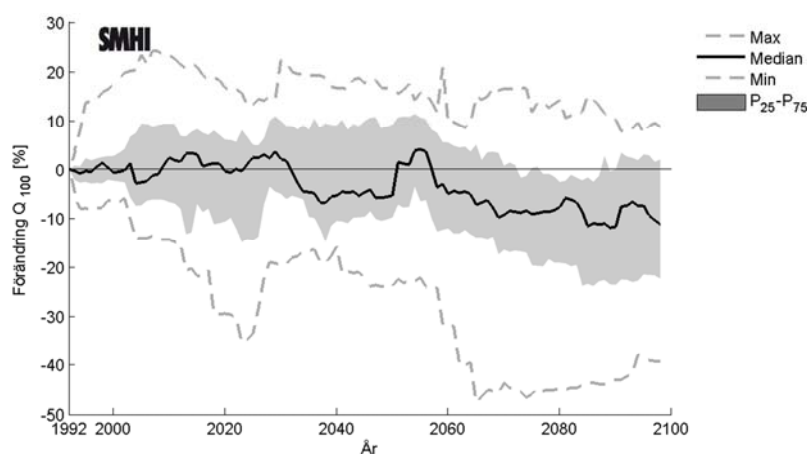
Kalixälvens mynning.



Töreälvens mynning.

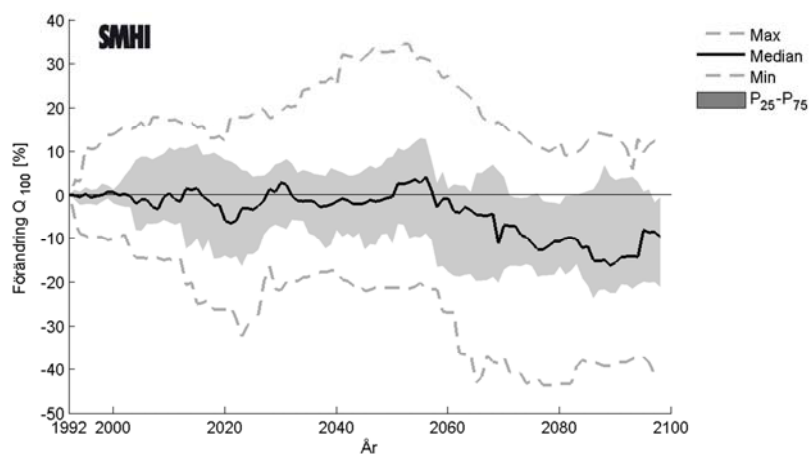


Vitåns mynning.

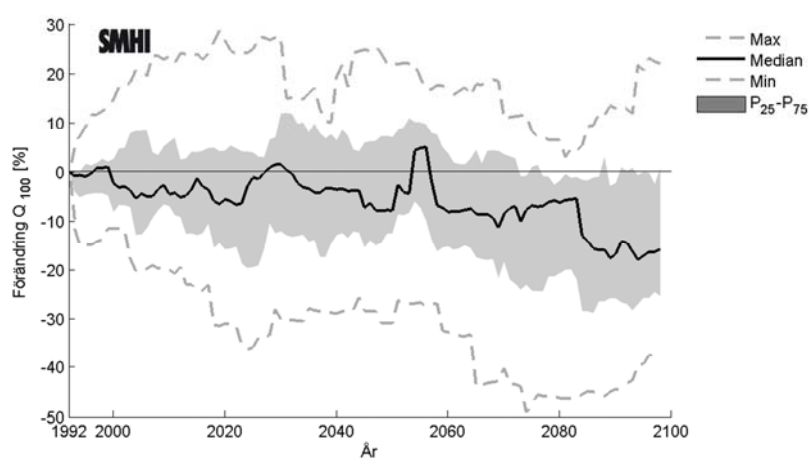


Figur 5.3-14. Beräknad förändring (%) av 100-årsflödet för Kalixälvens, Töreälvens och Vitåns mynning i havet perioden 1992 – 2098 jämfört med referensperioden 1963 – 1992. Medianen av samtliga scenarier visas som svart linje. Det grå fältet markerar 75:e percentilen och 25:e percentilen av samtliga scenarier. Maximal och minimal förändring bland samtliga scenarier visas som streckade linjer.

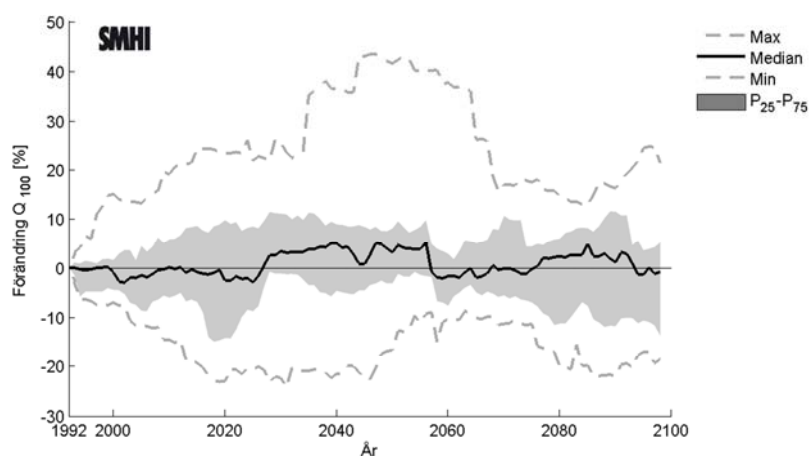
Råneälvens mynning



Altersundets mynning

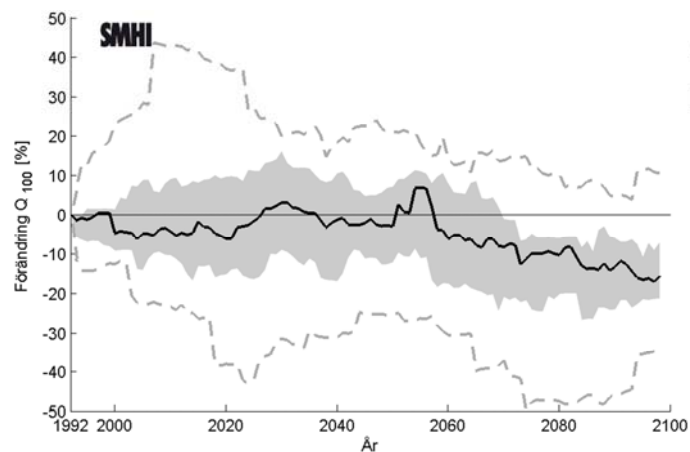


Luleälvens mynning

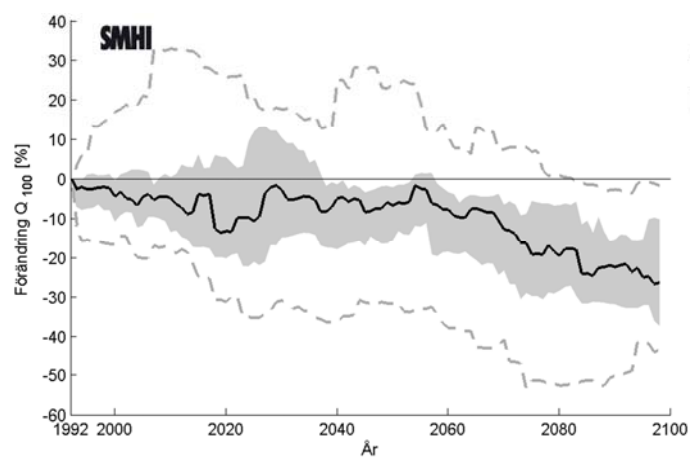


Figur 5.3-15 Beräknad förändring (%) av 100-årsflödet för Råneälven, Altersundets och Luleälvens mynning i havet under perioden 1992 – 2098 jämfört med referensperioden 1963 – 1992. Medianen av samtliga scenarier visas som svart linje. Det grå fältet markerar 75:e percentilen och 25:e percentilen av samtliga scenarier. Maximal och minimal förändring bland samtliga scenarier visas som streckade linjer.

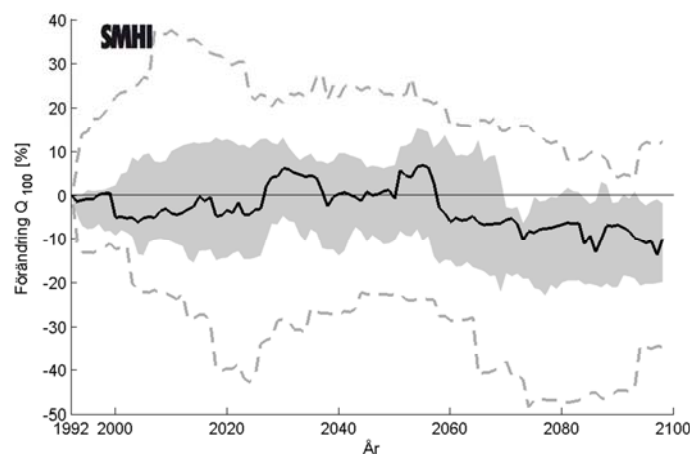
Alåns mynning



Rosåns mynning

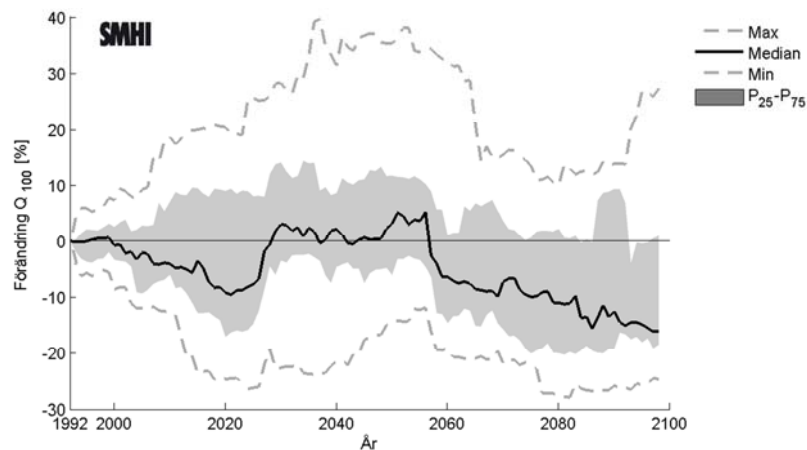


Alterälvens mynning



Figur 5.3-16 Beräknad förändring (%) av 100-årsflödet för Alåns, Rosåns och Alterälvens mynning i havet under perioden 1992 – 2098 jämfört med referensperioden 1963 – 1992. Medianen av samtliga scenarier visas som svart linje. Det grå fältet markerar 75:e percentilen och 25:e percentilen av samtliga scenarier. Maximal och minimal förändring bland samtliga scenarier visas som streckade linjer.

Piteälvens mynning

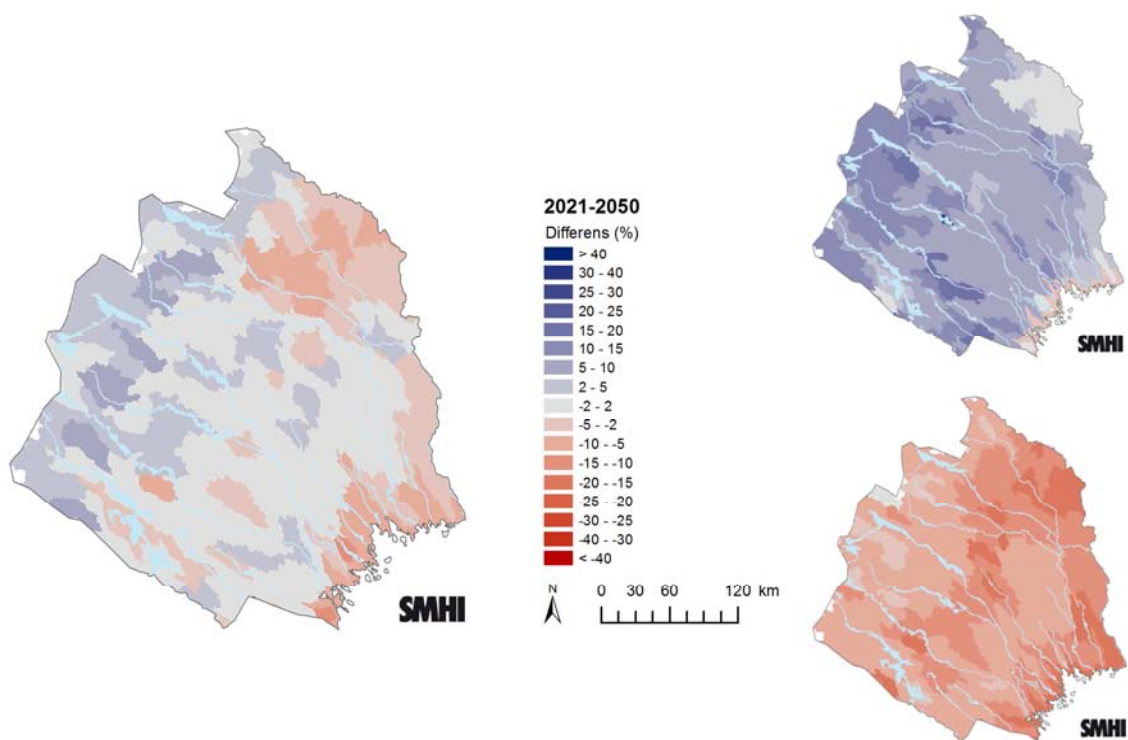


Figur 5.3-17 Beräknad förändring (%) av 100-årsflödet för Piteälvens mynning i havet under perioden 1992 – 2098 jämfört med referensperioden 1963 – 1992. Medianen av samtliga scenarier visas som svart linje. Det grå fältet markerar 75:e percentilen och 25:e percentilen av samtliga scenarier. Maximal och minimal förändring bland samtliga scenarier visas som streckade linjer.

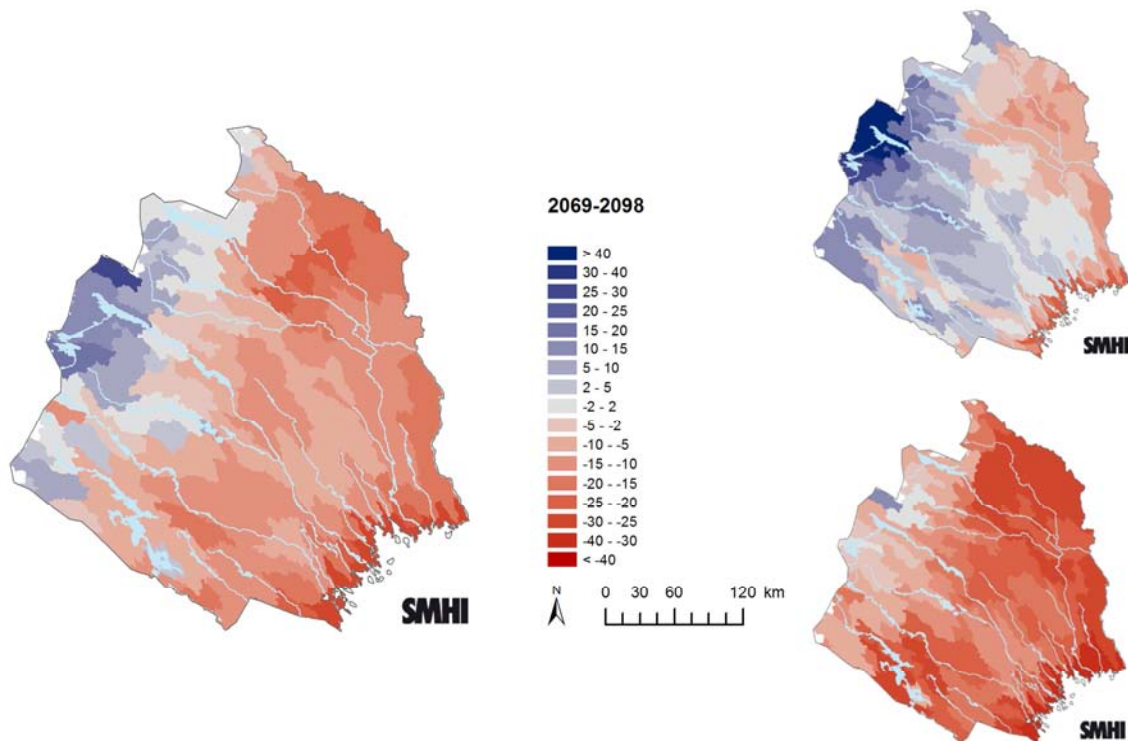
I kartorna (Figur 5.3-18 och Figur 5.3-19) visas medianvärdet av förändringen av den lokala 100-årstillrinningen i hela länet beräknat från samtliga klimatscenarier för perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098. Parallellt visas även 25:e percentilen och 75:e percentilen av samtliga scenariers 100-årstillrinning för samma perioder.

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

Den lokala 100-årstillrinningen, 2021-2050 förändras olika över länet. Förändringen är mycket liten i stora delar av länet med en ökning i länets högre belägna delar och en minskning i kustnära områden, vilket man även kan se på kartan som visar 75:e percentilen, Figur 5.3-18. Mot slutet av seklet syns minskningen tydligare över stora delar av länet. Det är endast i länets högst belägna områden som ökningen kvarstår, Figur 5.3-19.



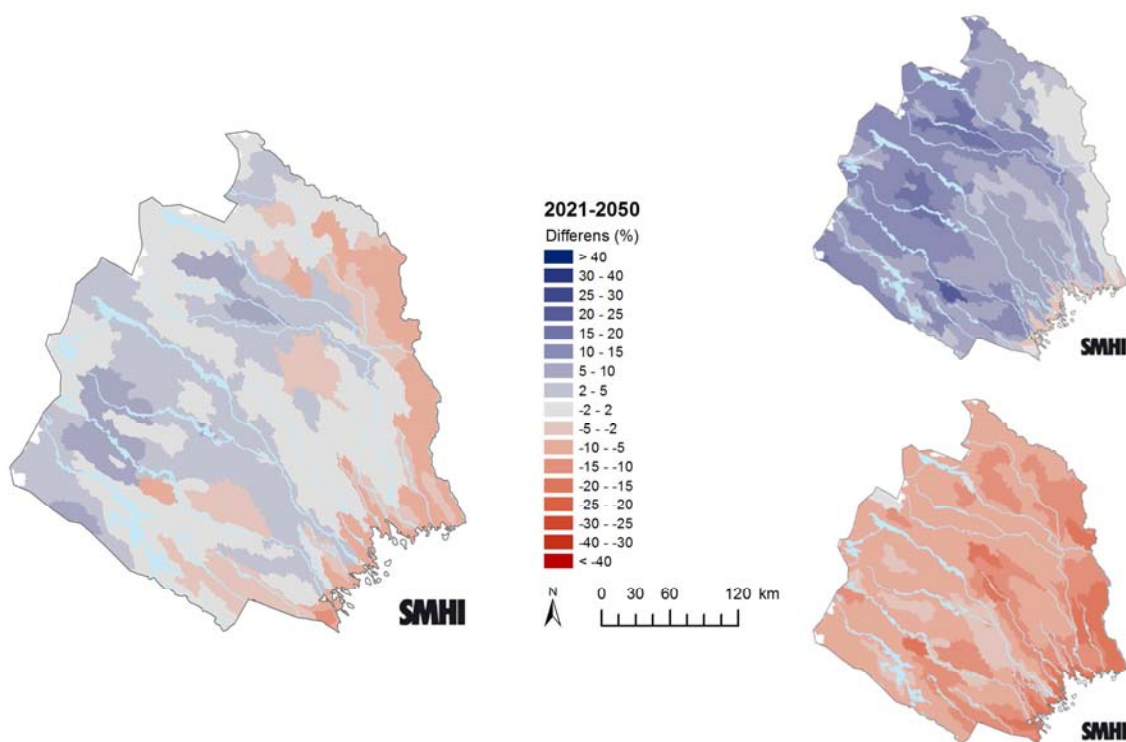
Figur 5.3-18 Förändring av lokal 100-årstillrinning i Norrbottens län för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden 1963-1992. Den större figuren visar medianvärdena medan den övre högra figuren visar 75:e percentilen och den nedre högra figuren visar 25:e percentilen av samtliga scenariers 100-årsvärden.



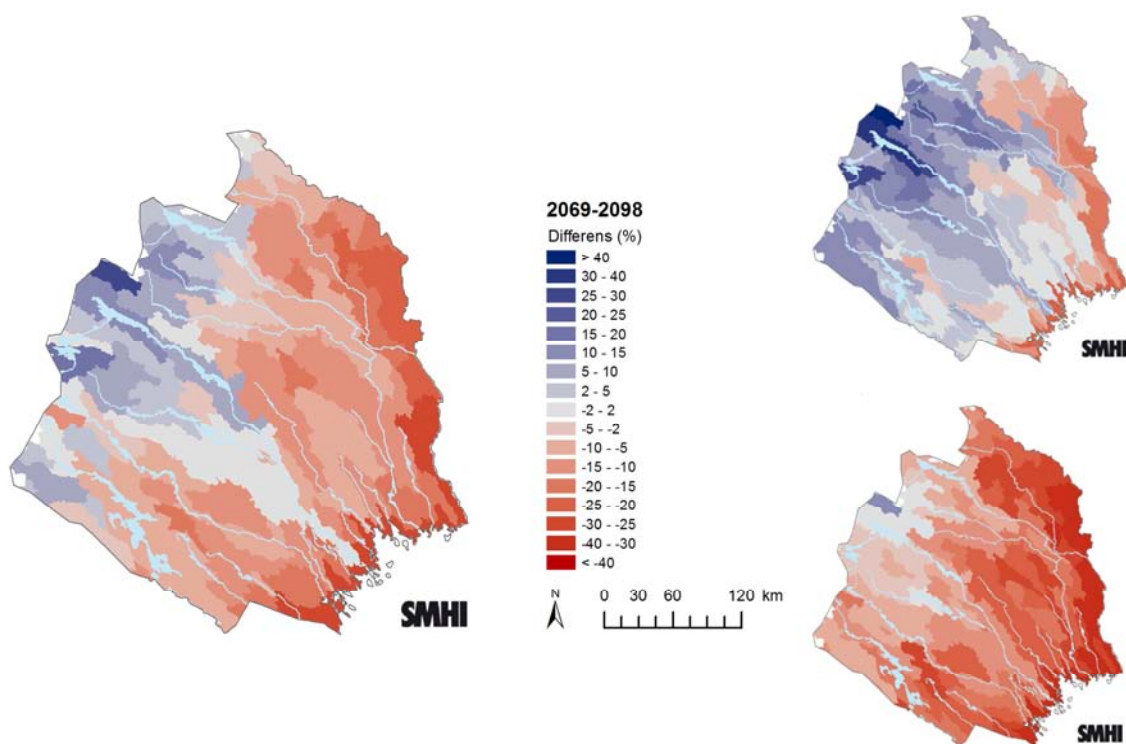
Figur 5.3-19 Förändring av lokal 100-årstillrinning i Norrbottens län för perioden 2069-2098 jämfört med referensperioden 1963-1992. Den större figuren visar medianvärdena medan den övre högra figuren visar 75:e percentilen och den nedre högra figuren visar 25:e percentilen av samtliga scenariers 100-årsmedelvärden.

I Figur 5.3-20 och Figur 5.3-21 visas i kartform förändringen av den totala 100-årstillrinningen i hela länet beräknat från samtliga klimatscenarier för perioderna 2021-2050 respektive 2069-2098. Parallellt visas även 25:e percentilen och 75:e percentilen av samtliga scenariers totala 100-årstillrinning för samma perioder.

I dessa kartbilder visas den totala vattenföringen, det vill säga det ackumulerade flödesbidraget från alla uppströms avrinningsområden, till skillnad från den lokala tillrinningen som syns i Figur 5.3-18 och Figur 5.3-19. I kartorna syns ett mönster som liknar det för den lokala 100-årstillrinningen. Vid slutet av seklet syns minskade 100-årsflöden i stora delarna av länet, undantaget Luleälven som är oförändrad.



Figur 5.3-20 Förändring av total 100-årstillrinning i Norrbottens län för perioden 2021-2050 jämfört med referensperioden 1963-1992. Den större figuren visar medianvärdena medan den övre högra figuren visar 75:e percentilen och den nedre högra figuren visar 25:e percentilen av samtliga scenariers 100-årsvärden.



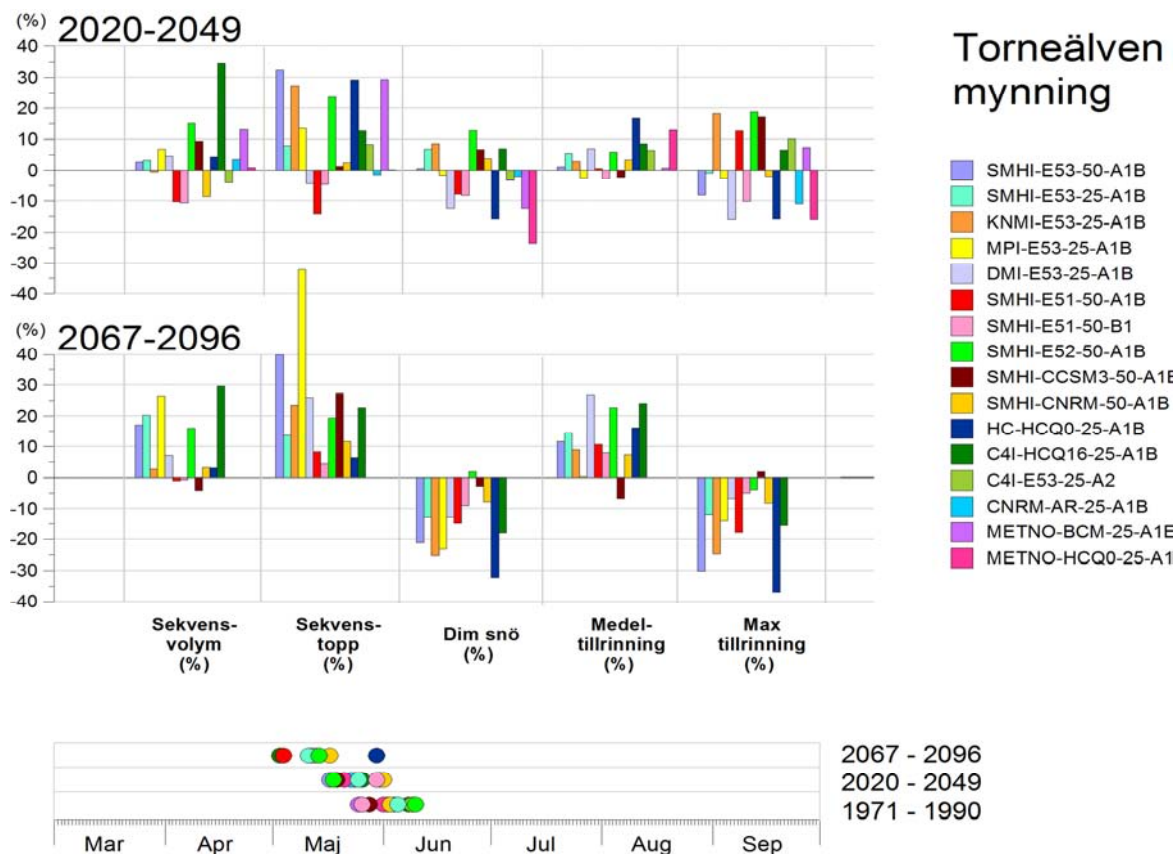
Figur 5.3-21 Förändring av total 100-årstillrinning i Norrbottens län för perioden 2069-2098 jämfört med referensperioden 1963-1992. Den större figuren visar medianvärdena medan den övre högra figuren visar 75:e percentilen och den nedre högra figuren visar 25:e percentilen av samtliga scenariers 100-årsvärden.

5.3.4 Beräknat högsta flöde för Torneälven

Figur 5.3-22 visar resultatet från klimatberäkningarna för Torneälvens mynning i havet. Här jämförs olika scenariorresultat avseende förändringar av extrem nederbörd (sekvensvolym och sekvenstopp), snömagasinsvolym med 30 års återkomsttid (Dim snö), medeltillrinning under året samt dimensionerande tillrinning (max tillrinning) för de två framtida perioderna med motsvarande värden för nutida klimat. Längst ner i figuren presenteras vilken tid på året när det beräknade högsta flödet inträffar för de två framtidsperioderna och motsvarande värden för nutida klimat.

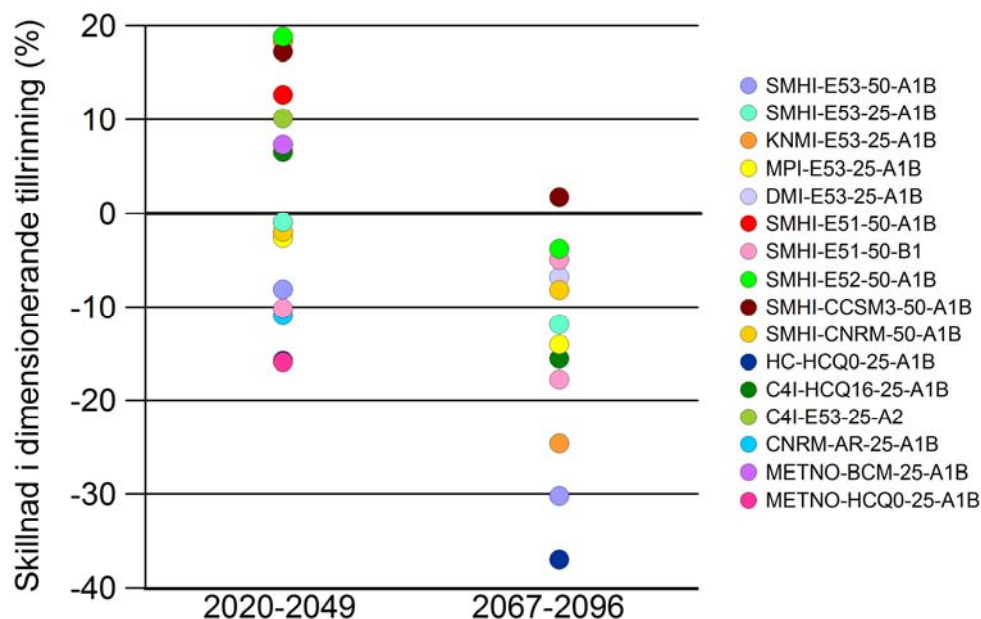
I det kortare framtidsperspektivet (2020 -2049) ökar den extrema nederbörden, med avseende på både total nederbördsvolym över 14 dagar (sekvensvolym) och på den högsta dygnsnederbörden (toppvärde), för de flesta av klimatscenerierna. Under samma period pekar 9 av 16 klimatscenerier på att det dimensionerade snömagasinet minskar samtidigt som övriga pekar på en ökning i samma storleksordning. Medeltillrinningen för klimatscenerierna visar övervägande på en ökning, men mindre avvikelser förekommer i tre av scenerierna.

I det längre tidsperspektivet, d.v.s. fram till 2096, ses en tydligare trend som visar på en ökning av nederbördssekvensens volym. Gällande den högsta dygnsnederbörden visar samtliga 12 klimatscenerier i ensemblen på en ökning. 11 av 12 klimatscenerier pekar på en minskning av det dimensionerade snötäcket och samma antal på en ökning av medeltillrinningen. Den maximala tillrinningen minskar för samma scenerier som medeltillrinningen ökar. Det beräknade högsta flödet inträffar tidigare på våren redan vid mitten på seklet. Denna tendens förstärks ytterligare mot slutet på seklet och har att göra med att snösmältningsmax kommer tidigare i ett varmare klimat.



Figur 5.3-22 Procentuell förändring av sekvensvolym, sekvenstopp, dimensionerande snömagasin, medeltillrinning under snöberäkningsperioden samt maximal tillrinning vid dimensioneringstillfället enligt 16 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2020-2049 och 12 klimatsimuleringar för perioden 2067-2096.

En sammanfattande bild över hur det beräknade högsta flödet (max tillrinning) förändras visas i Figur 5.3-23 (samma information som i Figur 5.3-22). Från denna figur ses tydligt att spridningen i beräkningsresultaten är stor i det korta framtidsperspektivet (till mitten på seklet) med en variation kring noll. I det längre framtidsperspektivet (slutet på seklet) visar 11 av de 12 olika klimatscenarierna en minskning. Sammantaget visar beräkningarna på att osäkerheten om hur klimatförändringar påverkar det beräknade högsta flödet är störst i det korta perspektivet. När sedan uppvärmningen blivit så stor att det maximala snömagasinet generellt har minskat pekar beräkningarna på en tydlig minskning av det beräknade högsta flödet, även om spridningen i resultaten är stor.



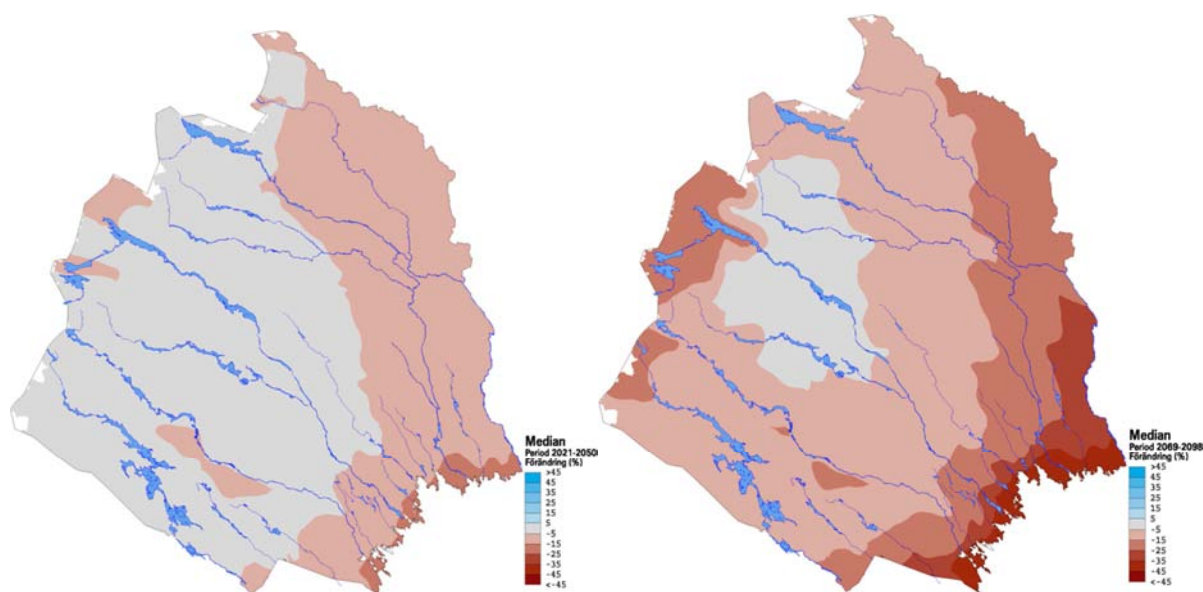
Figur 5.3-23 Procentuell förändring av dimensionerande tillrinning enligt 16 respektive 12 olika klimatsimuleringar gällande perioden 2020-2049 och 2067-2096.

5.4 Snö och tjäle

Följande avsnitt om snö är en sammanfattning av den tidigare gjorda analysen över länets framtida snöförhållanden, som tidigare utförts av SMHI på uppdrag av Norrbottens länsstyrelse (Gustavsson H., m.fl. 2011). Avsnittet om tjäle är även det en sammanfattande text om generella kunskaper om tjäle och resultat från tidigare utredningar över tänkbara förändringar av tjälförhållanden i ett framtida klimat.

5.4.1 Framtida maximala snötäcke

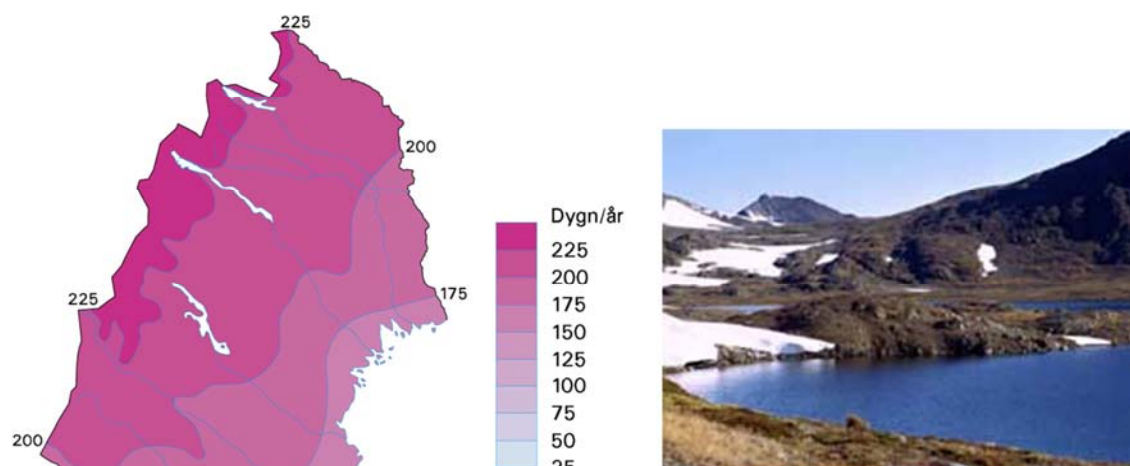
Figur 5.4-1 visar att det maximala vatteninnehållet i snön för Norrbottens län kan komma att minska fram emot slutet av seklet med störst minskning i länets östra delar. Störst minskning relativt referensperioden kan förväntas i kustområden med ett maximalt vatteninnehåll upp till 25 % lägre (Gustavsson H. m.fl., 2011). Observera att utförda beräkningar görs på snöns vatteninnehåll i mm och inte på snödjup. Vid beräkning av snö är snöns vatteninnehåll i mm ett bättre mått än snödjup, då snödjupet är beroende av snöns densitet och därmed svårare att skatta korrekt. Observationer och beräkningar är därmed inte direkt jämförbara.



Figur 5.4-1 Beräknad framtida förändring av maximala vatteninnehållet i snön under det dygn med beräknat störst snötäcke för Norrbottens län för perioden 2021-2050 (vänster) och för perioden 2069-2098(höger) jämfört med referensperioden 1963-1992. (Gustavsson H., m.fl. 2011)

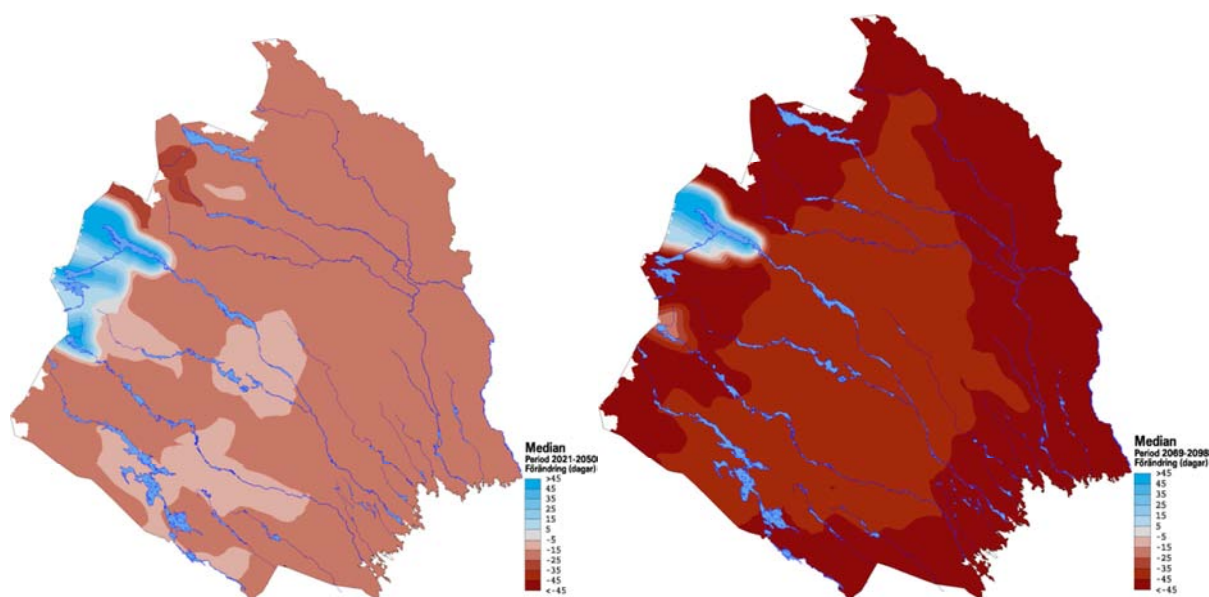
5.4.2 Antal dagar med snö

Antal dygn med snötäcke 1961-1990 var för Norrbottens län från 150 dagar i kustnära områden till över 225 i länets höglänta fjällområden i väst (Figur 5.4-2). De analyser baserat på observationer och de beräkningar som gjorts för klimatscenarierna visar mycket god överensstämmelse för Norrbottens län för normalperioden 1961-1990.



Figur 5.4-2. Antal dygn med snötäcke 1961 – 1990 (Beskuren från Brandt, m. fl., 1999).Foto: Länstyrelsen Norrbotten

Mot slutet av seklet kan antalet dygn med snötäcke förväntas minska. Störst minskning förväntas enligt beräkningarna i länets östra delar samt länets högst belägna områden i väst. Den ökning av antalet snödagar, som syns i kartan Figur 5.4-3 visar modellens svårighet att beräkna förändringar av snömängd i glaciärområden. Modellresultat från dessa områden präglas av mycket stora osäkerheter.



Figur 5.4-3 Beräknad framtida förändring av antal snödagar för Norrbottens län för perioden 2021-2050 (vänster) och perioden 2069-2098 (höger) jämfört med referensperioden 1963-1992 (Gustavsson H., m.fl. 2011)

5.4.3 Tjäle

Under vintern i Sverige tjälas marken. Tjälén innebär att vattnet i marken fryser och processerna runt tjälningen har stor betydelse för markens struktur. Särskilt stor betydelse har den årliga tjälningen för att motverka jordbrukets packningsskador på lerjordar. Skogsbruket är anpassat till att de tjälade jordarna ger större bärighet för skogsmaskiner. När huggning och transport av timmer görs vintertid på tjälad mark blir körskadorna mindre. Byggande av hus och vägar försvåras dock om marken riskerar att tjälas (SWECLIM, 2002).

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

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

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

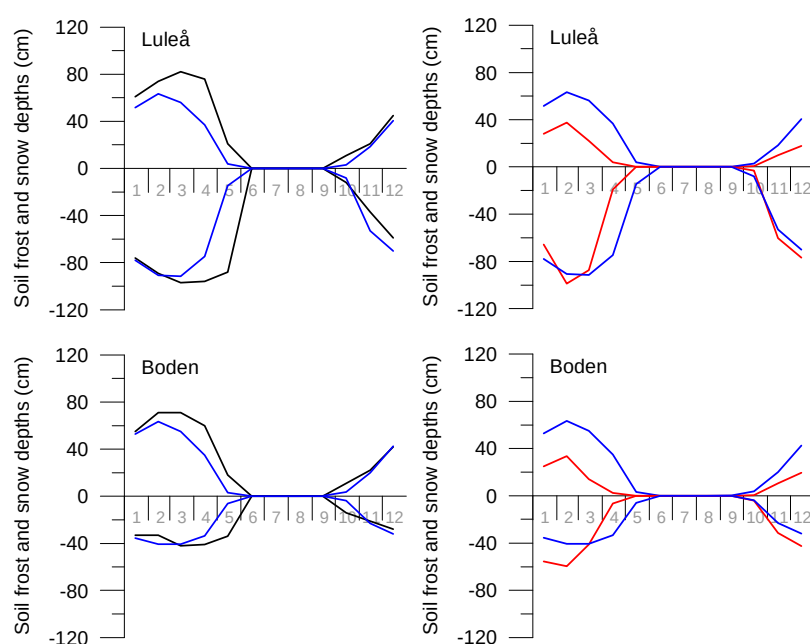
I finkorniga jordar, som leror, bildas skikt av ren is omgärdad av jord. Tillväxten av dessa islinser sker genom en transport av vatten från omgivande jord. Tillväxten nedåt i marken sker ojämnt. Tjälningen i leror gör att partiklarna kommer närmare varandra vilket ökar den för strukturen positiva bildningen av aggregat.

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

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

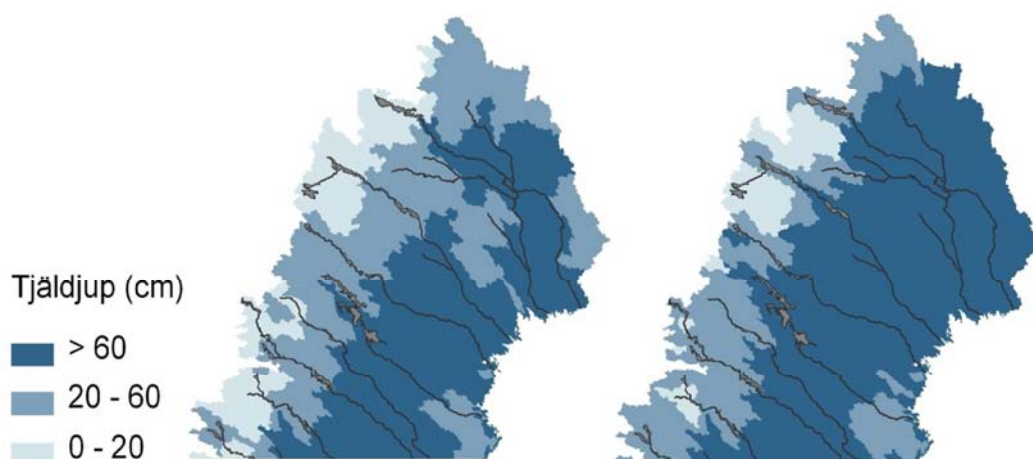
På uppdrag av Klimat- sårbarhetsutredningen har SMHI utfört känslighetsstudier av hur tjäldjupet kan påverkas av en temperaturhöjning. Den hydrologiska modellen, HBV har använts (Lindström et al. 1997). Modellen har kalibrerats mot uppmätt snödjup och tjäldjup. Av mätplatserna var tre belägna i lerjordar och tre i sandjordar. Som referens användes månadsmedelvärden för perioden 1967-1980, som ansågs beskriva dagens klimat. Simuleringar gjordes med en temperaturökning på 3 °C över hela landet. Noggrannheten i tjäldjupsberäkningarna är låg och det bedömdes inte meningsfullt att göra fullständiga scenariosimuleringar (Lindström och Hellström, 2007). Av de sex mätplatserna var två belägna i Norrbotten, Luleå och Boden.

Figur 5.4-4 visar en jämförelse av månadsmedel för snödjup och tjäldjup i dagens klimat (perioden 1967-1980) samt för en temperaturökning med 3 grader. Tjälen utvecklas djupare i sandjordar än i lerjordar. För båda mätstationerna syns en minskning av snödjupet vid en temperaturhöjning. För båda jordarna släpper tjälen tidigare på året och säsongen blir därmed kortare även om största tjäldjupet inte minskar. För lerjorden vid Boden syns däremot en fördjupning av tjälen med det minskade snötäcket.



Figur 5.4-4 Månadsmedelvärden för snödjup och tjäldjup i dagens klimat (perioden 1967-1980) till vänster samt efter en temperaturökning med 3 grader till höger. Simulerat(blå kurva) jämförs mot observationer (svart kurva) och med en temperaturökning (röd kurva) för två mätplatser i Norrbotten, en med sandjord vid Luleå(överst) och en med lerjord , Boden(nederst). Enligt Lindström och Hellström (2007).

Kartor över det beräknade medeltjäldjupet i mars månad baserade på medelvärden av de uppskattade parametervärdena för lera och sand enligt Lindström och Hellström (2007) presenteras i Figur 5.4-5. De bör motsvara förhållanden för morän. För Norrbotten län syns en förändring mot ökande medeltjäldjup i ett varmare klimat. Studien visade att det är möjligt att grovt simulera medelvariation under året med hjälp av en enkel modell. De gjorda simuleringarna, liksom alla scenarioräkningar är osäkra.



Figur 5.4-5 Simulerat medeltjäldjup i mars månad, motsvarande förhållandena för moränområden utan skog). Den vänstra figuren visar tjäldjup i dagens klimat och den högra med en medeltemperaturhöjning + 3 °C. Beskuren från Lindström och Hellström (2007).

I Finland har en studie också utförts på hur tjälad mark påverkas av en klimatförändring. Den visar att det årliga maximala tjäldjupet på snöfria ytor i södra och centrala Finland minskar från 100-150 cm till 50-100 cm djup. I de norra delarna av Finland blir minskningen av tjäldjupet större, från 200-300 cm till 100-200 cm djup. Detta beror främst på markegenskaperna. En annan förändring är en ökning av dagar utan tjäle. (SWECLIM, 2002).

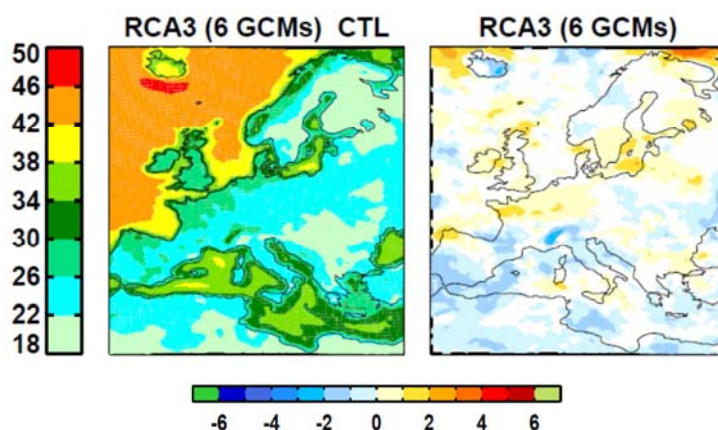
Tjälning och upptining är komplicerade processer med flera faktorer som påverkar, vilket delvis beskrivits ovan. De studier som hittills gjorts över hur framtidsklimatet kan påverka snö- och tjäldjup är få och givetvis förenade med stora osäkerheter. En viktig osäkerhetsfaktor är snödjupet och när snön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

5.5 Extrema vindar

Framtida klimatscenarier tyder inte bara på att klimatet kommer att ändras utan även att förekomsten av globala extrema väderhändelser kan komma att förändras. Nikulin m.fl. (2011) har studerat den framtida utvecklingen av extremväder över Skandinavien och Europa. De har analyserat resultat från en regional klimatmodell driven av sex olika globala klimatmodeller med utsläppsscenario A1B. Den studerade perioden är 2071-2100 och jämförelseperioden 1961-1990.

Vad gäller extrema vindförhållanden är modellresultaten något spretiga. Ensemblemedelvärdet för vindar med återkomsttid 20 år perioden 1961-1990 ligger runt 22-26 m/s för regionen (Figur 5.5-1).

Spridningen i modellresultaten gör det svårt att dra tydliga slutsatser. Författarna drar slutsatsen att med fler modeller i ensemblen skulle troligen strukturen i ensembledelvärdet också förändras. De anser dock att den ökning av extremvindar som kan ses för Östersjön är mest robust eftersom den syns i 5 av de sex modellresultaten. För norra Sverige tyder de flesta scenarier på en väldigt liten förändring. Även i den regionen är resultatet spretigt. Arbetet med att kartlägga de processer som är viktigast för att förstå utvecklingen av vindarna fortsätter.



Figur 5.5-1 Modellberäknade ensembledelvärden (6 globala klimatmodeller) av extrema vindar (20-års återkomsttid) i m/s 1961-1990 (vänster) och ensembledelvärden av förändring i extrema vindar till 2071-2100. Differenskartan visar endast signifikanta förändringar (10% signifikansnivå).

5.6 Brandrisker

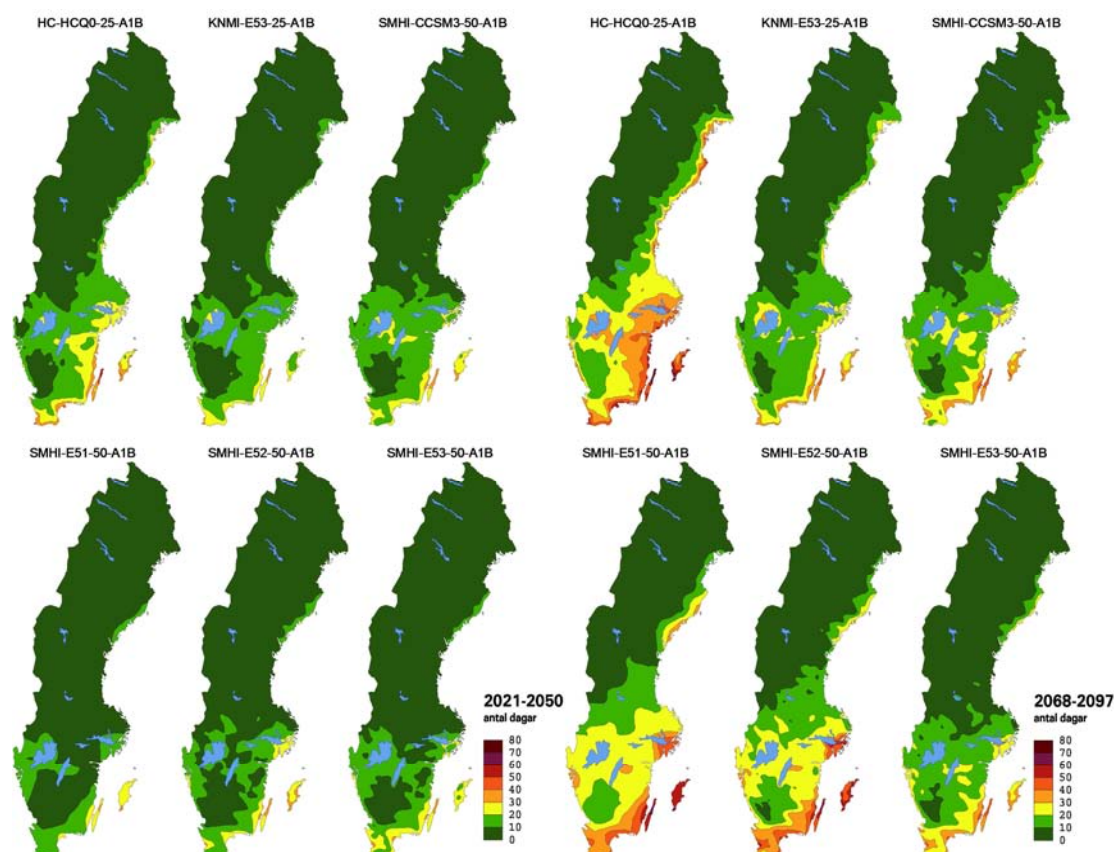
SMHI genomför på uppdrag av MSB en studie över hur risken för skogsbrand kan komma att förändras i framtiden med avseende på klimatförändringarna. Nedan presenteras utsnitt ur kartor från delrapportering av projektet Klimatscenarier Brandrisk HBV, etapp 1 (Gardelin M., m.fl. 2010,a). De beräkningar som gjorts använder HBV-modellens specialtillämpning, HBV-Skogsbrand, vilken används rutinemässigt på SMHI för prognoser av markfuktighet och risken för brand i skogsmark baseras på sex olika klimatmodeller med utsläppsscenario A1B. Beräkningarna bör tolkas med stor försiktighet då materialet kommer från ett pågående utvecklingsarbete.

Resultatet visas som det genomsnittliga antalet dagar då beräkningarna för markfuktighet är så låg att marken anses vara mycket torr (hög indexnivå). Under normalperioden, 1961-1990, uppnås de högsta indexnivåerna i genomsnitt färre än 10 dagar per säsong över större delen av landet inklusive Norrbottens län (Figur 5.6-1). Figur 5.6-2 visar antalet dagar då markfuktighet är så låg att marken anses vara mycket torr (hög indexnivå) eller extremt torr för scenarioperioden 2021-2050 och 2068-2097, baserat på 6 olika klimatscenarier. Antalet dagar avser 30-årsperiodens medelvärde för månaderna april-september (Gardelin M., m.fl. 2010, a). Under normalperioden visar de beräkningar som gjorts, med HBV-skogsbrand, baserat på observationer och de beräkningar som gjorts för klimatscenarierna mycket god överensstämmelse för Norrbottens län. De beräkningar som har gjorts för framtida förhållande visar på en mycket liten förändring för Norrbottens län.

Vid brandriskanalys med HBV-Skogsbrands beräkningar av markfuktighet och antändningsrisk i skogsbrand tas inte hänsyn till skogsmarkens verkliga utbredning, varken under normalperiod eller framtida scenarieperioder. Modellens förenklade beskrivning av avdunstningen vilket endast beräknas utgående från lufttemperaturen kan ha stor betydelse för markfuktigheten i markens översta skikt.



Figur 5.6-1 Antalet dagar, beräknat med HBV-Skogsbrand då marken anses vara mycket eller extremt torr, referensperioden 1961-1990. Antalet dagar avser 30-årsperiodens medelvärde för månaderna april-september (Gardelin M., m. fl., 2010, a).



Figur 5.6-2 Antalet dagar, beräknat med HBV-Skogsbrand då marken anses vara mycket eller extremt torr, scenarioperioden 2021-2050, till vänster och 2068-2097, till höger baserat på 6 olika klimatscenarier. Antalet dagar avser 30-årsperiodens medelvärde för månaderna april-september (efter Gardelin M., 2010, a).

Ytterligare en studie med en kanadensisk skogsbrandsmodell, FWI, visar ett likande resultat för Norrbottens län (Gardelin M, 2010,b). Studien har gjorts i 37 punkter i landet men endast ett fåtal finns i Norrbottens län. Det genomsnittliga antalet dagar då marken anses vara mycket eller extremt torr enligt FWIs index för perioden 1966-1995, ligger i enlighet med normalperioden för HBV-Skogsbrand. Punkterna i Norrbottens län ligger i genomsnitt på färre än 10 dagar per säsong baserat på observationer.

I den här jämförelsen är överensstämmelsen för beräkningar, baserat på observationer och beräkningar gjorda för klimatscenarierna inte lika god som för studien gjord med HBVmodellen i Norrbottens län. Beräkningar baserat på utdata från klimatscenarierna ligger mellan 0-20 dagar per säsong där högst värden visas i länets kustområden. Vid jämförelse med beräkningar baserat på utdata från klimatmodellerna är skillnaderna mellan perioderna 1966-1995, 2021-2050 och 2068-2007 mycket små.

6 Slutsatser

I denna rapport redovisas en stor mängd data och beräkningar som syftar till att ge en översiktlig bild av klimatförhållandena i Norrbottens 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 SMHIs forskningsavdelning 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 huvuddrag framgår av klimatanalyserna för Norrbottens län i denna rapport:

- Klimatberäkningar visar på en entydig ökning av årsmedeltemperaturen under det innevarande seklet. Årsmedeltemperaturen ligger i medeltal 4-6°C varmare i slutet av seklet jämfört med referensperioden (1961-1990) medeltemperatur på -1,5°C. Mest framträdande är temperaturökningen under vintermånaderna.
- Årsmedelnederbörden ökar med 15-50 % över länet i slutet av seklet. Totalt sett kan störst procentuella förändring av nederbörd under året väntas i fjällområdena. En stor spridning kan dock ses i de olika scenarieberäkningarna.
- Kraftiga regn kan förväntas öka i framtiden. Ökningen är störst i de områden som har flest dygn med kraftig nederbörd i dagens klimat.
- Snötillgången minskar efterhand som klimatet blir varmare. I slutet av seklet har perioden med snötäckt mark minskat med över en månad över hela länet.
- Ett mildare klimat leder till längre växtsäsong. En tidigare start på vegetationsperioden blir alltmer vanligt och i slutet på århundradet mer permanent. Vegetationsperiodens slut blir allt senare på året.
- Generellt väntas årsmedelvattenföringen öka med 10 till 25 % i de större älvarna mot slutet av seklet.

- Den för dagens klimat vanliga säsongsdynamiken med en tydlig flödestopp på våren kommer att förändras. De allra högsta vårflödena minskar i storlek men högre flöden kan istället förväntas under längre perioder. Vinter och höstflöden ökar generellt i alla områden.
- Antalet dagar för behov av uppvärmning reduceras mot slutet av seklet samtidigt som behovet av kylning kan komma att öka något.
- Som en följd av länets framtida, något blötare somrar kan perioder med torka komma att minska fram emot slutet av seklet.
- Beräknade framtida flöden med en återkomsttid på 100 år väntas minska i de flesta älvarna
- Beräknade framtida högsta flöden (BHF) för Torneälvens mynning pekar på minskande flöden för slutet på seklet. I ett kortare framtidsperspektiv är osäkerheterna stora och beräknade förändringar pekar på både ökande och minskande flöden.
- Beräkningarna tyder på att brandrisken inte förändras märkbart i länet jämfört med normalperioden, 1961-1990.
- Det maximala vatteninnehållet i snön kan komma att minska fram emot slutet av seklet med störst minskning i länets östra delar. Störst minskning relativt referensperioden kan förväntas i kustområden med minskande maximalt vatteninnehåll på upp till 25 %.
- Mot slutet av seklet kan antalet dygn med snötäcke förväntas minska. Störst minskning förväntas enligt beräkningarna i länets östra delar samt länets högst belägna områden i väst.
- Det finns ännu inget entydigt vetenskapligt underlag som visar på ändrade risker för kraftiga stormar i framtiden. Modellresultaten är något spretiga men tyder på att förändringen av stormar för norra Sverige är liten.
- Det syns en förändring mot ökande medeltjäldjup i ett varmare klimat. En viktig osäkerhetsfaktor är dock snödjupet och när snön kommer på säsongen. Kalla långa vintrar med tidigt snötäcke kan ge mindre tjäldjup än vintrar utan snö men med en kortare kall period. Med ett klimat i förändring kan variationen mellan år vara stor.
- När det gäller den lokala tillrinningen, vilket kan användas som ett mått på vad som händer i mindre vattendrag, syns en ökning i länets mer höglänta fjällområden. Ökad lokal tillrinning syns tydligast i de större älvarna. Den största nederbörden faller i inlandet samt i fjällområden. Då temperaturen förväntas öka och därmed även avdunstningsförlusterna kan det leda till att mindre del av nederbörden bildar avrinning.

7 Referenser

- 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.
- Bergström S., Hellström S.-S. och Andréasson J. 2006. Nivåer och flöden i Vänerns och Mälarens vattensystem - – Hydrologiskt underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen. *SMHI Reports Hydrology*, No. 20, Norrköping.
- Bergström, S., Hellström, S-S., Lindström, G. och Wern, L. (2008). Follow-up of the Swedish guidelines for the determination of design floods for dams. Svenska Kraftnät Report No:2008 BE90.
- Brandt M. och Eklund A. 1999. Snöns vatteninnehåll. Modellberäkningar och statistik för Sverige *Reports Hydrology*, No. 20, Norrköping. *SMHI Hydrologi* nr 79.
- Eckersten H., Jansson P-E., Karlsson S., Lindroth A., Persson B., Perttu K., Blombäck K., Karlberg, L., och Persson G. 1998. Biogeofysik – en introduktion. *Institutionen för markvetenskap Avdelningen för lantbrukets hydroteknik. Avdelningsmeddelande* 98:9.
- Gardelin M., Andréasson J., Sahlberg J. och Stensen B. 2010. Klimatscenarier Brandrisk HBV - Delrapport Etapp 1. *SMHI Rapport* Nr 2010-33 (2010 a).
- Gardelin M., Andréasson J., Ohlsson J., Sahlberg J., Stensen B och Yang W., 2010. Klimatscenarier Brandrisk FWI – Delrapport Etapp 1. *SMHI Rapport* Nr 2010-91 (2010 b).
- Gustavsson H, Stensen B. och Wern L. 2011. Regional klimatsammanställning- Norrbottens län, *SMHIRapport* Nr 2011-20.
- 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.
- 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.
- 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 modeling using winddata a case study in Sweden. *Climate Research*, 29, 53-61.
- Lindström G. och Hellström S-S. 2007. *Simulering av tjäldjup i ett framtida klimat*. (2007-05-21)
- Lindström G., Johansson B., Persson M., Gardelin M. och Bergström, S. 1997. *Development and test of the distributed HBV-96 model*. *Journal of Hydrology*, 201, 272-288.

- 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.
- Nikulin G., Kjellström E., Hansson U., Strandberg G. and Ullerstig A. 2011. Evaluation and future projections of temperature, precipitation and wind extremes over Europe in an ensemble of regional climate simulations. *Tellus*, 63A, 41-55.
- Persson G., Asp S-S., Dyrestam K., Eklund D., Gyllander A., Hallberg K., Johnell A., Yacoub T. och Wingqvist E-M. 2011. Detaljerad översvämningskartering av nedre Torneälven. SMHI rapport Hydrologi nr. 115.
- Skogsstyrelsen 1997. *Marken i skogslandskapet*. Skogsstyrelsen.
- SMHI 1998. Vit jul? Faktablad nr 1 från KLAR (SMHIs KLimatArkiv).
- SMHI 1999. Väder och vatten under ett århundrade 1900-1999. SMHI faktablad nr 3.
- SMHI 2000. Svåra snöoväder. Faktablad nr 3 från KLAR (SMHIs KLimatArkiv).
- SMHI 2002. Län och huvudavrinningsområden i Sverige. *SMHI faktablad* nr 10.
- SMHI 2008. Sveriges sjöar. *SMHI faktablad* nr 39.
- SMHI 2009. Sveriges landskapsklimat. *SMHI faktablad* nr 42.
- SMHI 2010 a. Sveriges vattendrag. *SMHI faktablad* nr 44.
- SMHI 2011 a. Blixt och dunder – om åska i Sverige 2002-2009. *SMHI faktablad* nr 48.
- SMHI 2011b. Värmeböljor i Sverige. *SMHI faktablad* nr 49.
- SMHI 2011c. Vattenåret 2010. *SMHI faktablad* nr 50.
- 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.
- Svensk Energi, Svenska Kraftnät och SveMin (2007). Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar - Nyutgåva 2007. ISBN 978-91-7622-197-6.
- SWECLIM 2002. Expertstöd i klimatfrågan. *Årsrapport* 2001.
- Troedsson T. och Nykvist N. 1973. *Marklära och markvård*. Almqvist & Wiksell.
- van der Linden P., och 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.
- Wern L. och Barring L. 2009. Sveriges vindklimat 1901-2008. Analys av förändring i geostrofisk vind. *SMHI Meteorologi* nr 138/2009.
- Yang W., Andréasson J., Graham L.P., Olsson J., Rosberg J. and Wetterhall F. 2010. Distribution based scaling to improve usability of RCM projections for hydrological climate change impacts studies. *Hydrology Research*, 41.3-4, 211-229.

Övriga referenser

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

SVAR version 2010. Svenskt vattenarkiv, SMHI.

SMHI Flödesstatistik

SMHI KLimatArkiv

SMHI vattenweb, vattenweb.smhi.se

8 Bilagor

Bilaga 1. Årsmedeltemperatur och medeltemperatur för säsonger (°C).

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 2. Växtsåsongens längd, med tröskel 5°C i 4 dagar (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 3. Dygnsmedeltemperatur, högsta och lägsta (°C).

Observerade värden 1961-1990, beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098.

Bilaga 4. Graddagar för kylning och uppvärmning (°C x 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 5. Årsmedelnederbörd och medelnederbörd för säsonger (mm).

Observerade värden 1961-1990, beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 samt differenser för 2021-2050 och 2069-2098 vs. 1961-1990. Differensen för säsongsanalysen uttrycks som procent.

Bilaga 6. Största 1-dygnsnederbörden och 7-dygnsnederbörden (mm).

Observerade värden 1961-1990, beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098 .

Bilaga 7. Antal dygn per år med nederbörd > 10 mm (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 8. Maximalt antal dygn i följd per år utan nederbörd (< 1 mm) (dygn).

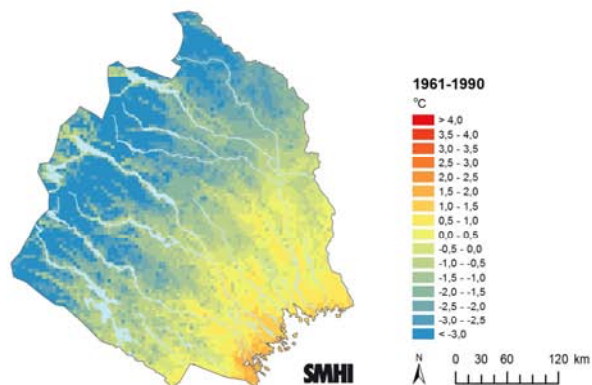
Observerade värden 1961-1990, beräknade värden 1961-1990, 2021-2050 och 2069-2098.

Bilaga 9. Förändring av medeltillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årstillrinning för referensperioden 1963-1992.

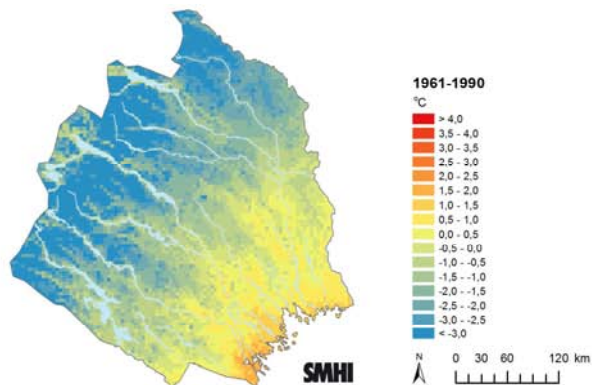
Bilaga 10. Förändring av 100-årstillrinning enligt 16 klimatsimuleringar (12 efter 2050) relativt 100-årstillrinning för referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från maxvärden för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med värdet från 1963-1992). Det grå fältet visar variationen mellan 25:e och 75:e percentilen.

Bilaga 1 - Årsmedeltemperatur

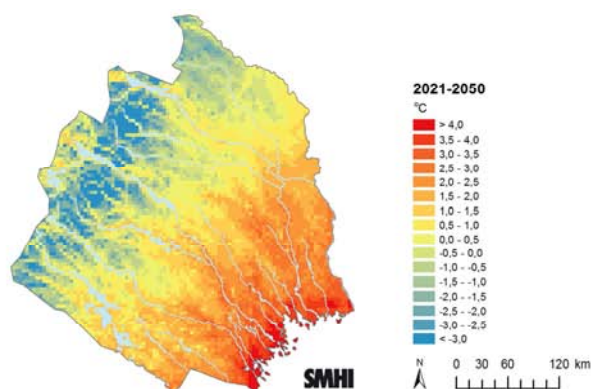
Observerat 1961-1990 (°C)



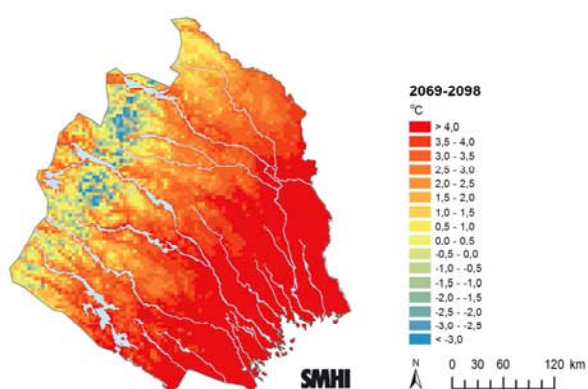
Beräknat 1961-1990 (°C)



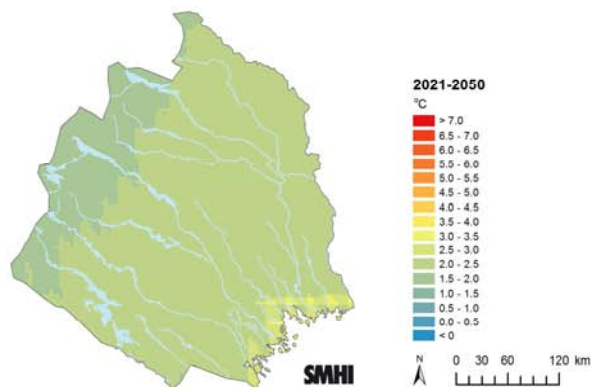
Beräknat 2021-2050 (°C)



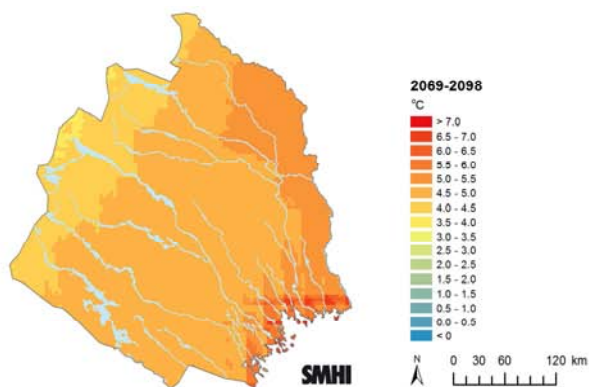
Beräknat 2069-2098 (°C)



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

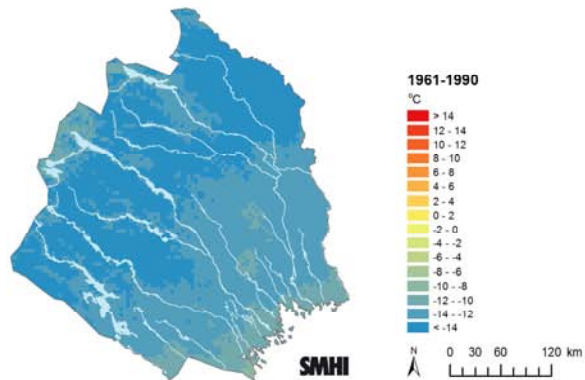


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (Δ°C)

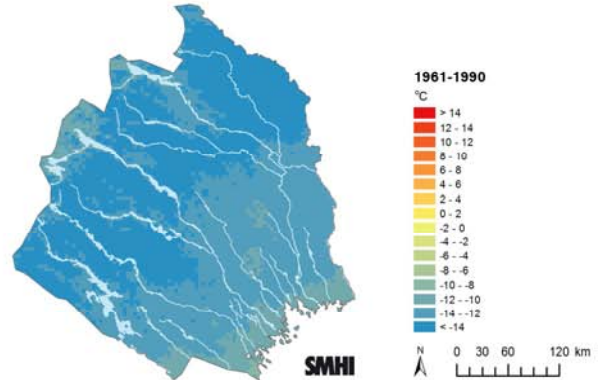


Bilaga 1 – Vintermedeltemperatur (december-februari)

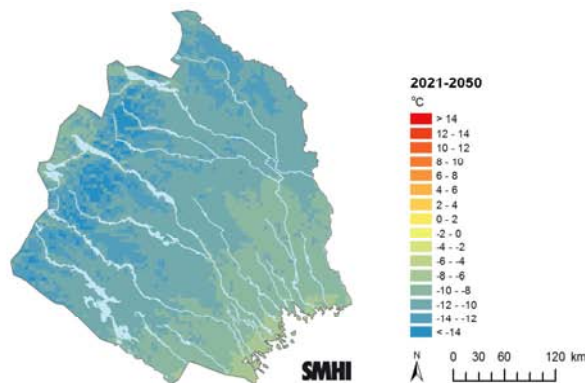
Observerat 1961-1990 (°C)



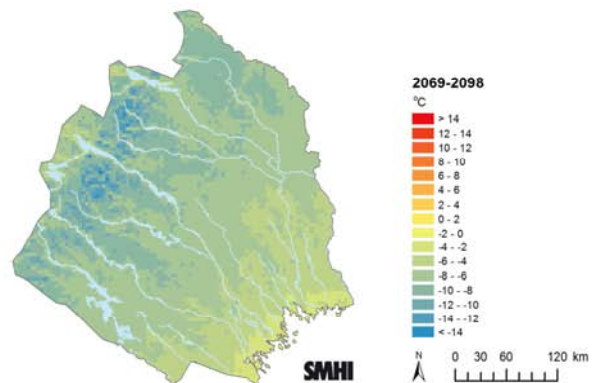
Beräknat 1961-1990 (°C)



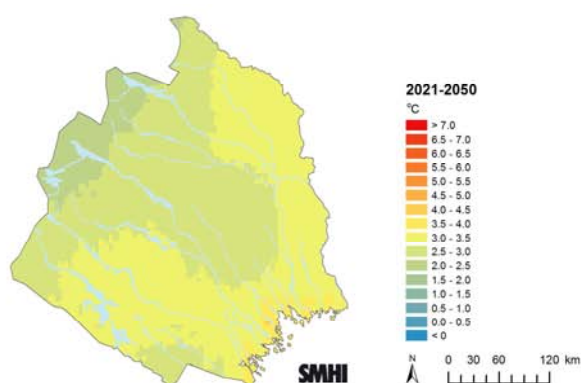
Beräknat 2021-2050 (°C)



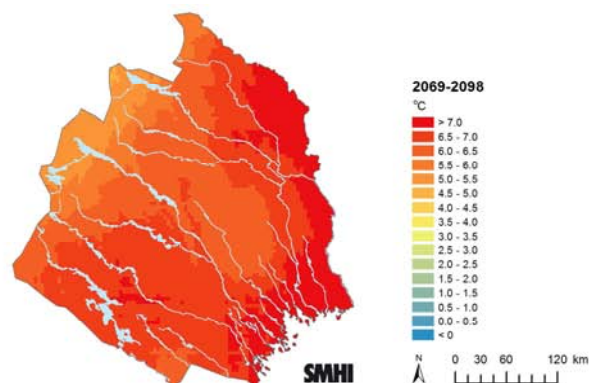
Beräknat 2069-2098 (°C)



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

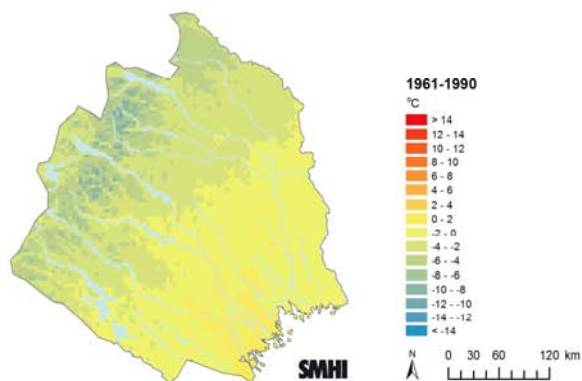


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (Δ°C)

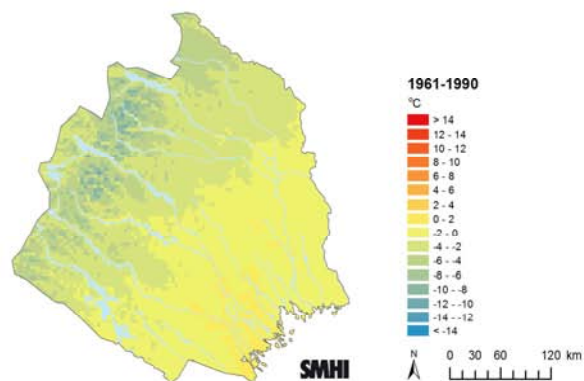


Bilaga 1 – Vårmedeltemperatur (mars-maj)

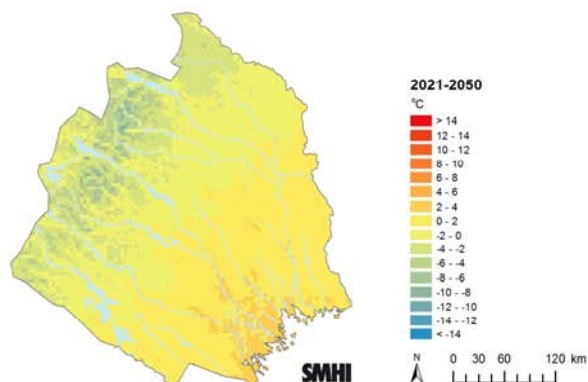
Observerat 1961-1990 (°C)



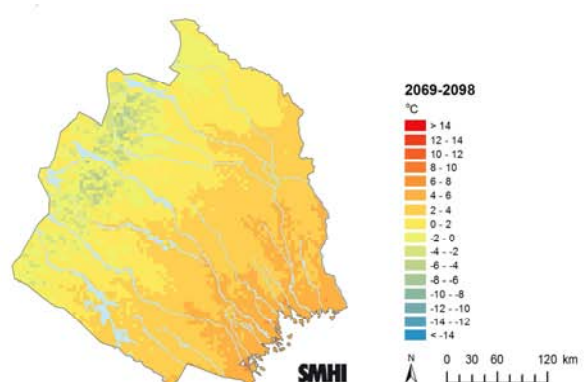
Beräknat 1961-1990 (°C)



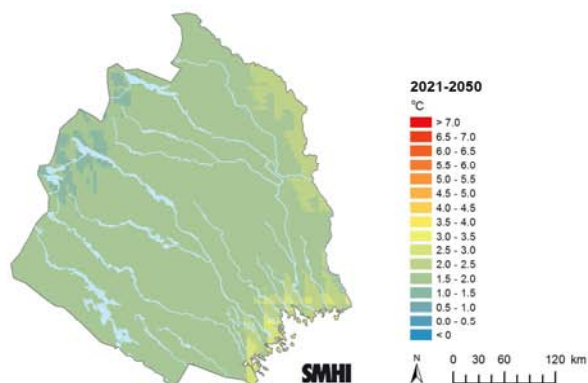
Beräknat 2021-2050 (°C)



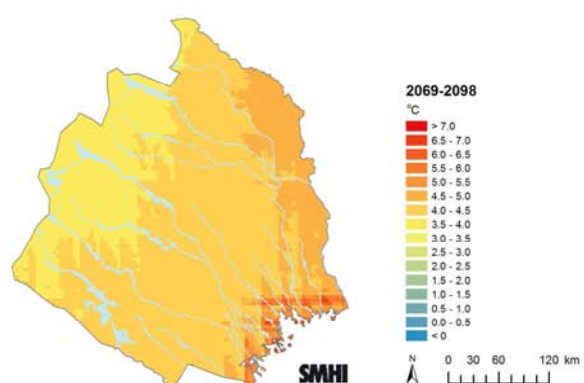
Beräknat 2069-2098 (°C)



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

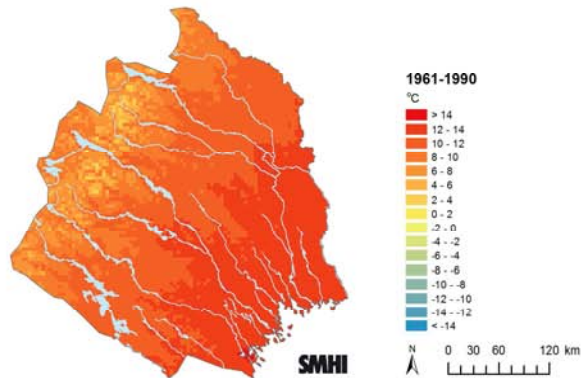


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (Δ°C)

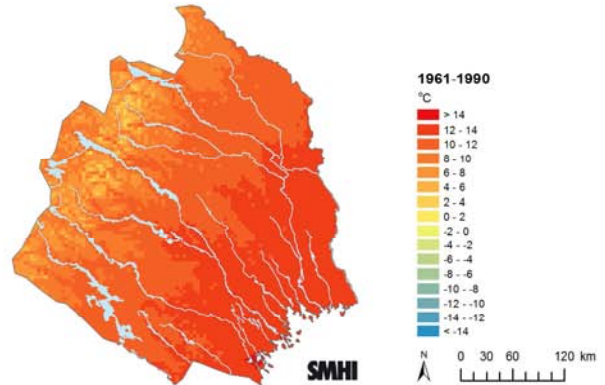


Bilaga 1 – Somarmedeltemperatur (juni-augusti)

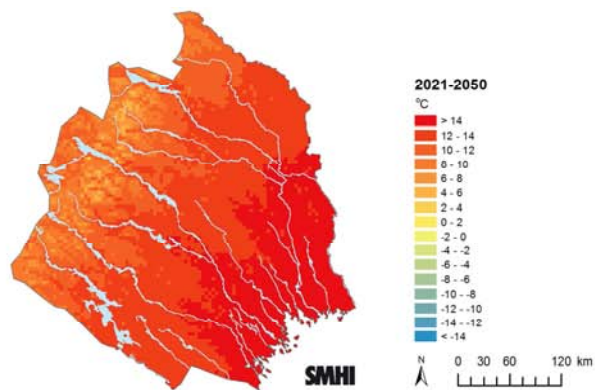
Observerat 1961-1990 (°C)



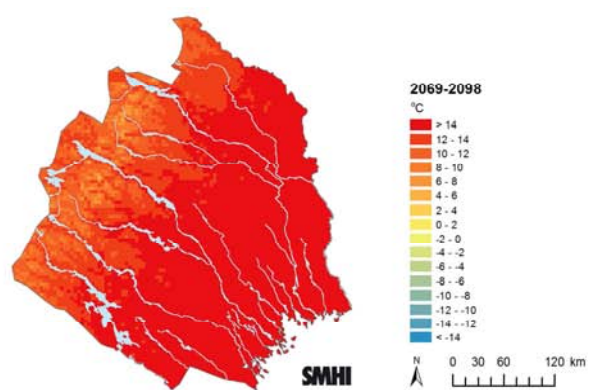
Beräknat 1961-1990 (°C)



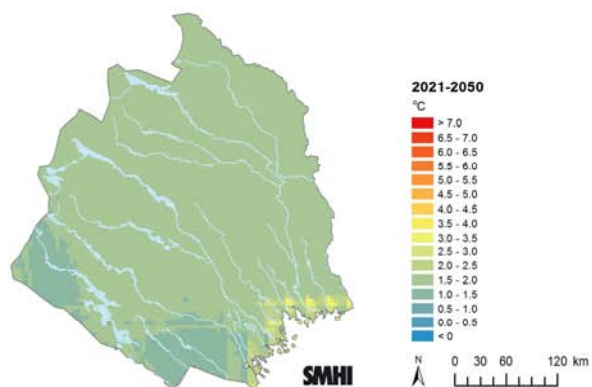
Beräknat 2021-2050 (°C)



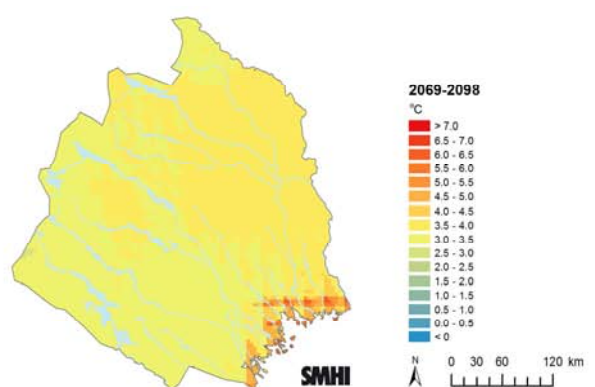
Beräknat 2069-2098 (°C)



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

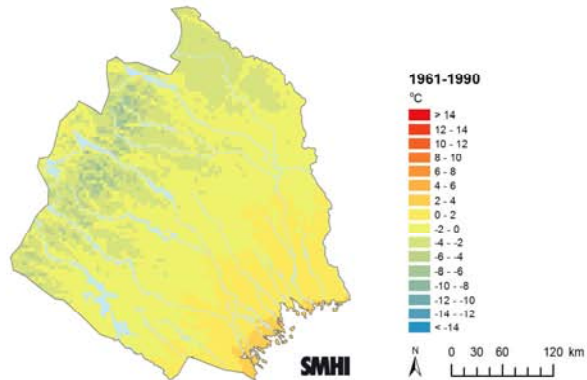


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (Δ °C)

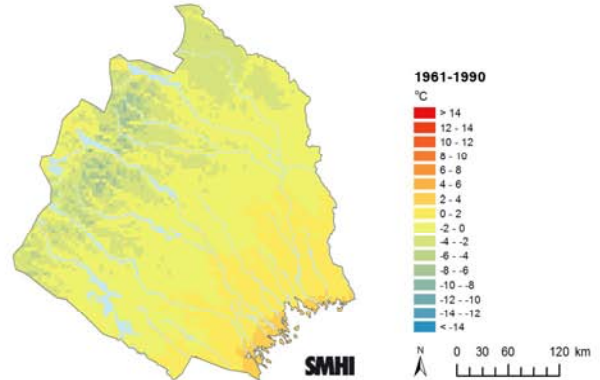


Bilaga 1 – Höstmedeltemperatur (september-november)

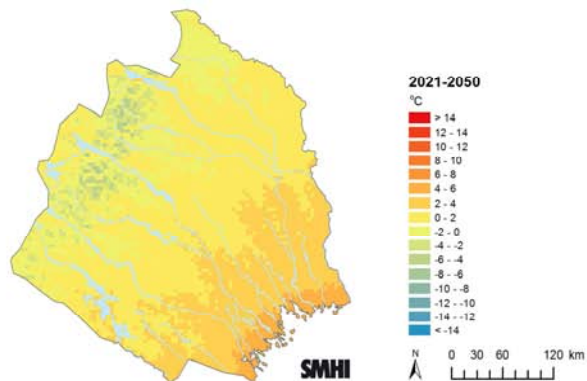
Observerat 1961-1990 (°C)



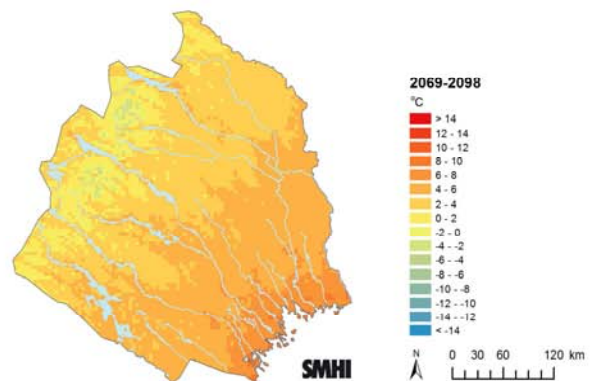
Beräknat 1961-1990 (°C)



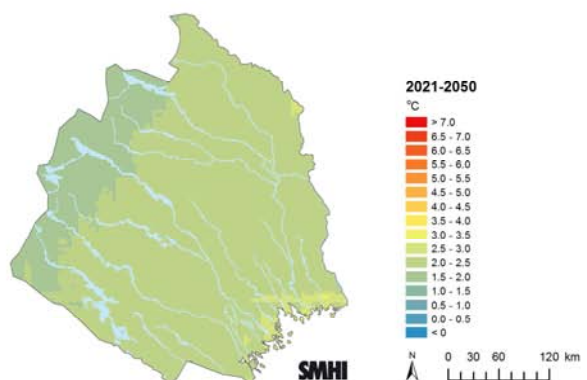
Beräknat 2021-2050 (°C)



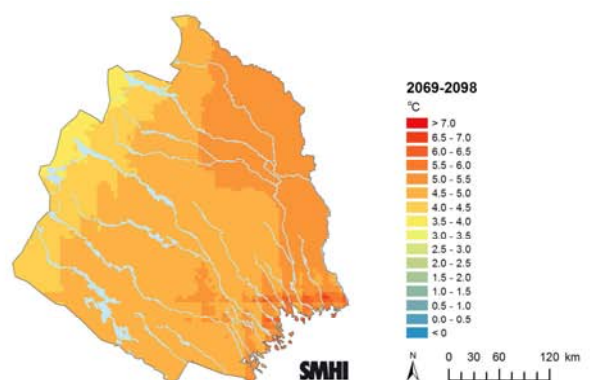
Beräknat 2069-2098 (°C)



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

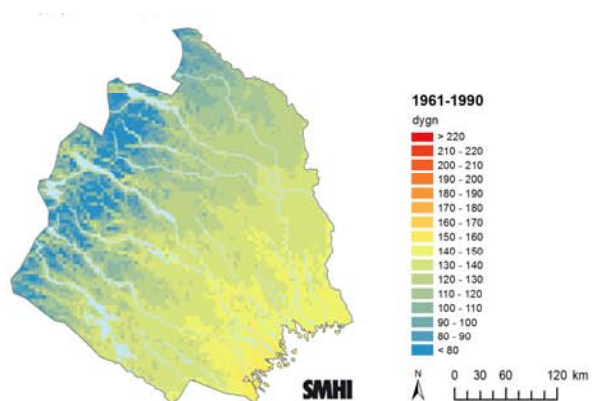


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (Δ°C)

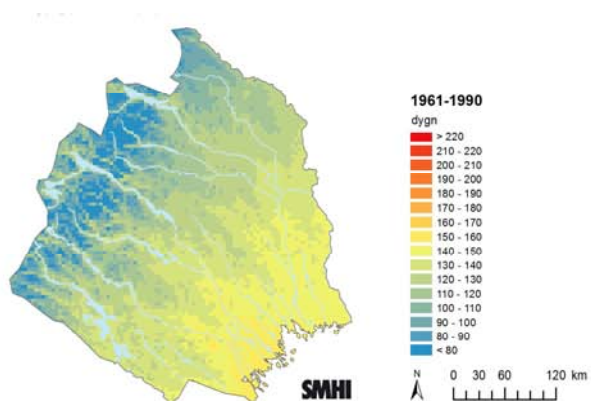


Bilaga 2 – Växtsäsongens längd (tröskel 5°C i 4 dagar)

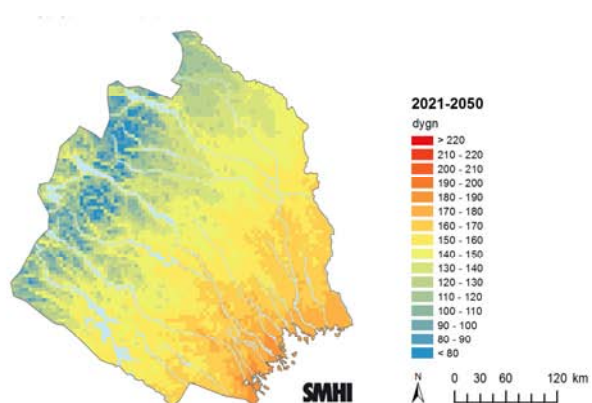
Observerat 1961-1990 (dagar)



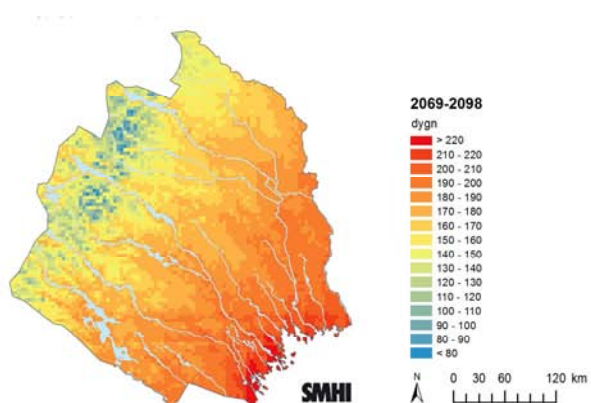
Beräknat 1961-1990 (dagar)



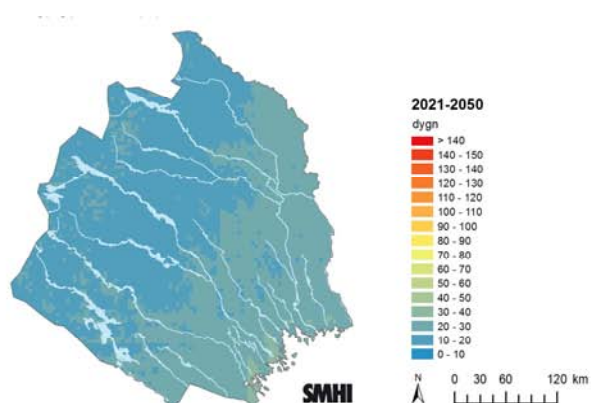
Beräknat 2021-2050 (dagar)



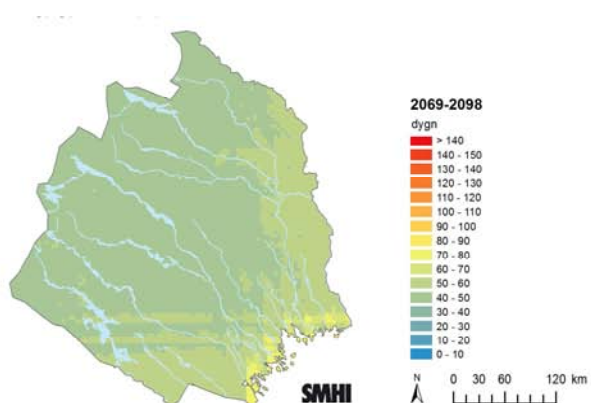
Beräknat 2069-2098 (dagar)



Differens 2021-2050 vs. 1961-1990 (Δ dagar)

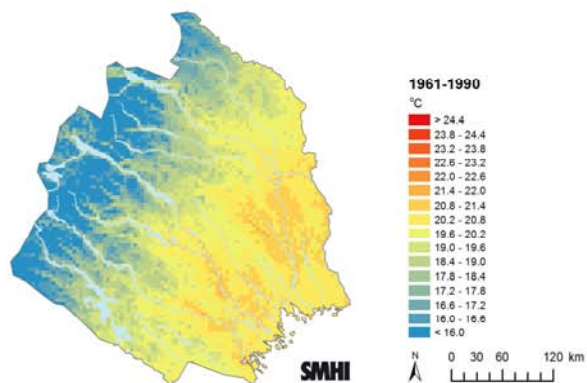


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (Δ dagar)

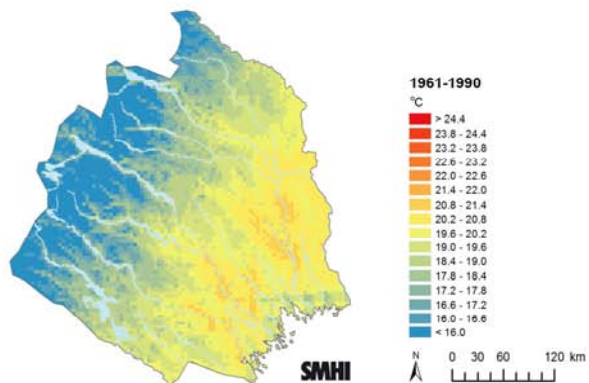


Bilaga 3 – Högsta dygnsmedeltemperatur (medel 30 år)

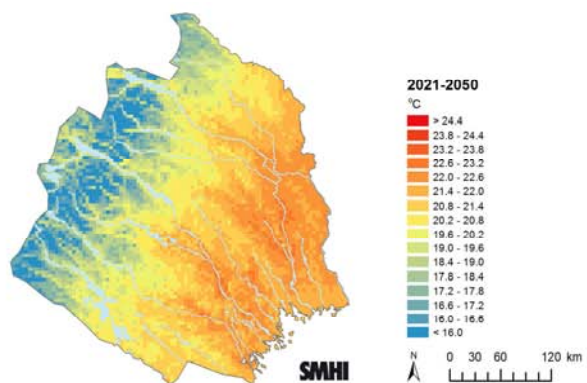
Observerat 1961-1990 (°C)



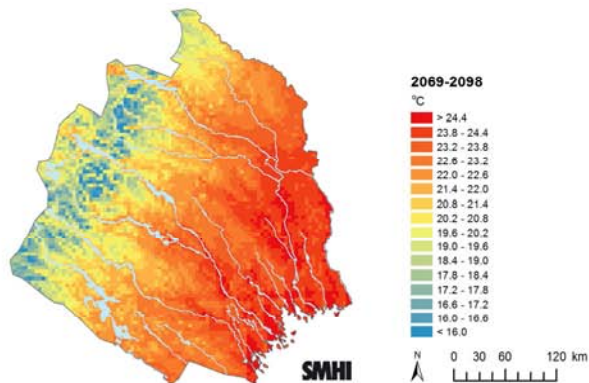
Beräknat 1961-1990 (°C)



Beräknat 2021-2050 (°C)

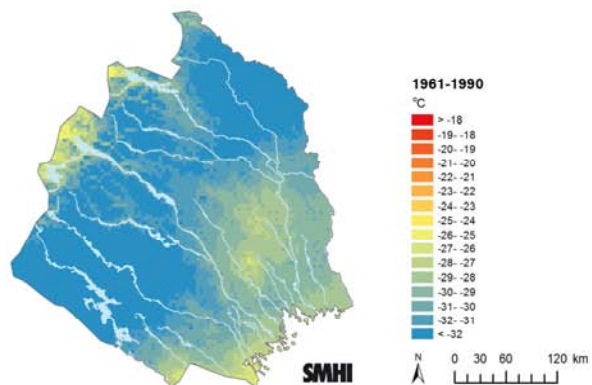


Beräknat 2069-2098 (°C)

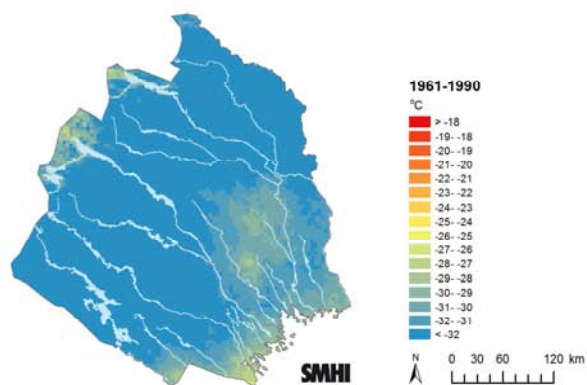


Bilaga 3 – Lägsta dygnsmedeltemperatur (medel 30 år)

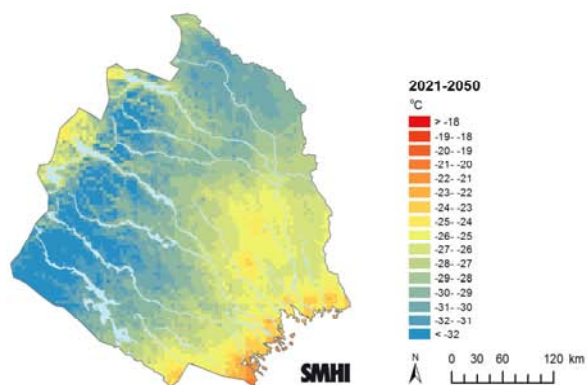
Observerat 1961-1990 (°C)



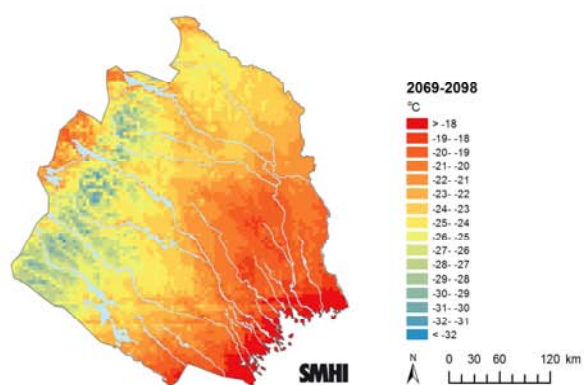
Beräknat 1961-1990 (°C)



Beräknat 2021-2050 (°C)

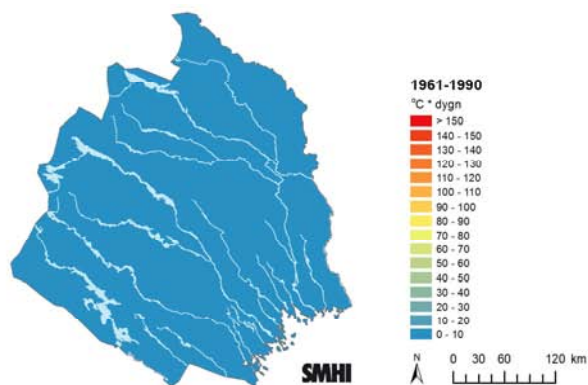


Beräknat 2069-2098 (°C)

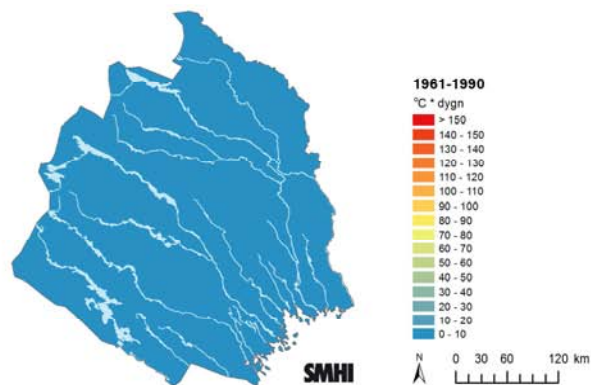


Bilaga 4 – Graddagar för kylning ($^{\circ}\text{C}\times\text{dygn}$)

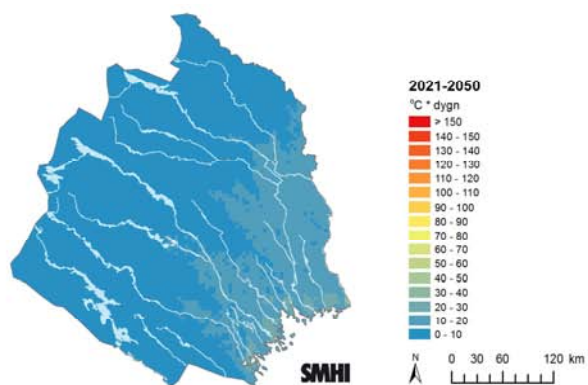
Observerat 1961-1990 ($^{\circ}\text{C}\times\text{dygn}$)



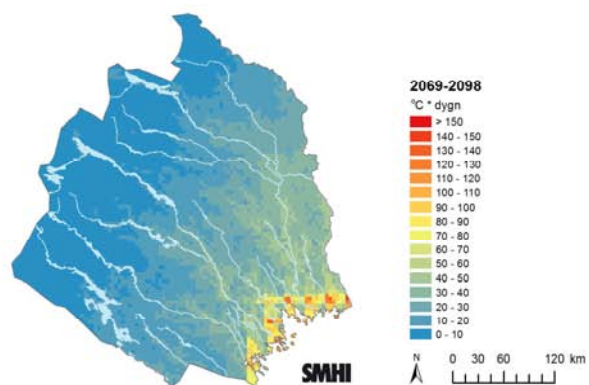
Beräknat 1961-1990 ($^{\circ}\text{C}\times\text{dygn}$)



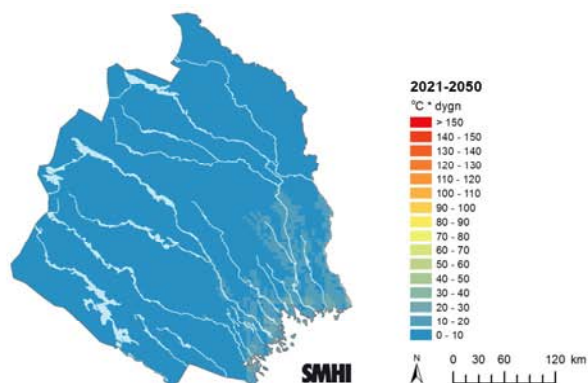
Beräknat 2021-2050 ($^{\circ}\text{C}\times\text{dygn}$)



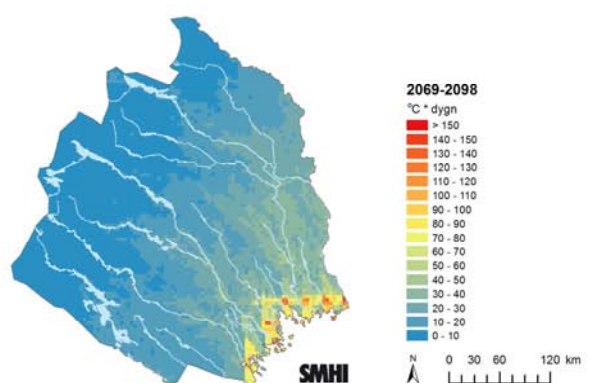
Beräknat 2069-2098 ($^{\circ}\text{C}\times\text{dygn}$)



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

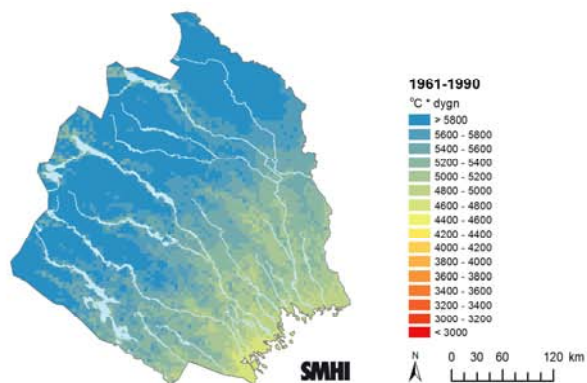


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 ($\Delta^{\circ}\text{C}\times\text{dygn}$)

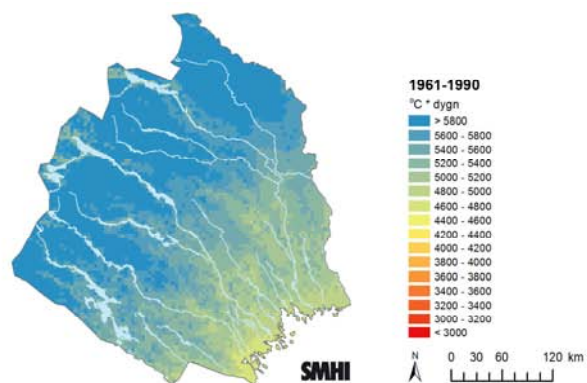


Bilaga 4 – Graddagar för uppvärmning ($^{\circ}\text{C}\times\text{dygn}$)

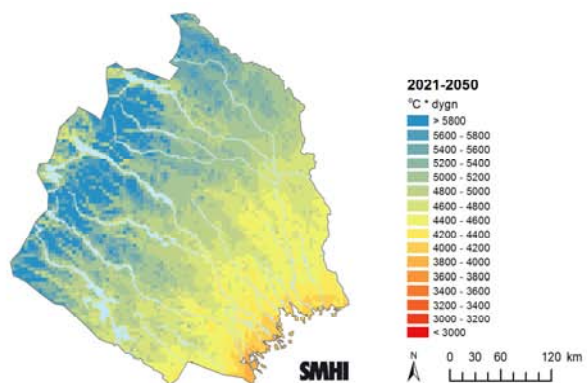
Observerat 1961-1990 ($^{\circ}\text{C}\times\text{dygn}$)



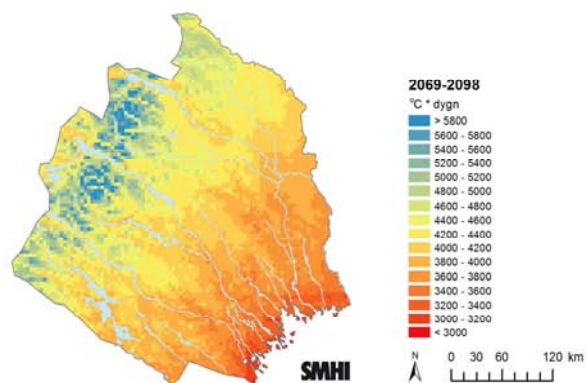
Beräknat 1961-1990 ($^{\circ}\text{C}\times\text{dygn}$)



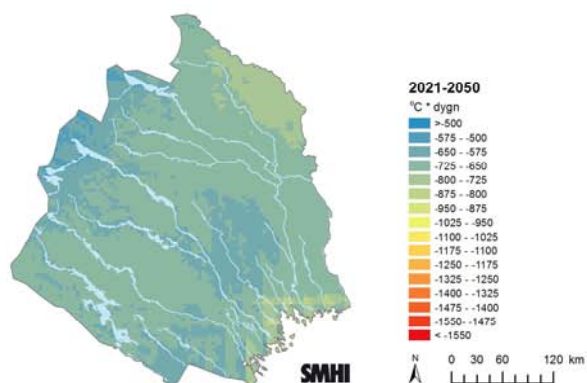
Beräknat 2021-2050 ($^{\circ}\text{C}\times\text{dygn}$)



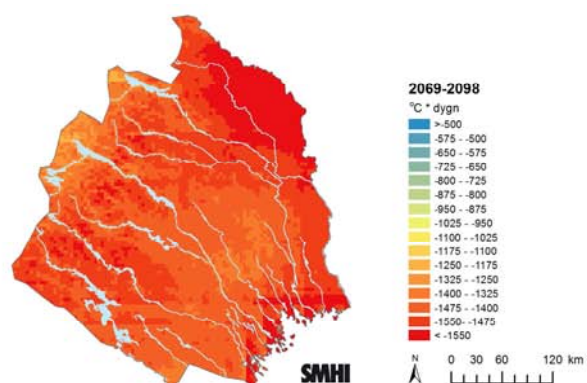
Beräknat 2069-2098 ($^{\circ}\text{C}\times\text{dygn}$)



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

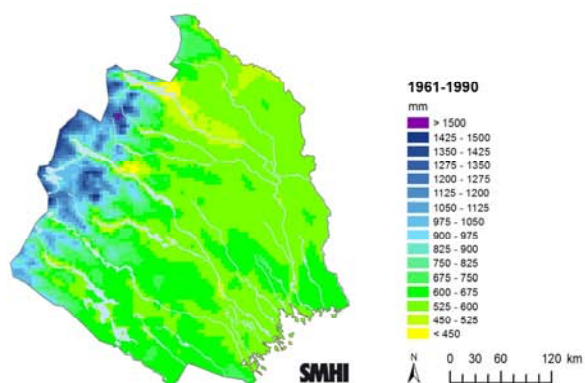


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 ($\Delta^{\circ}\text{C}\times\text{dygn}$)

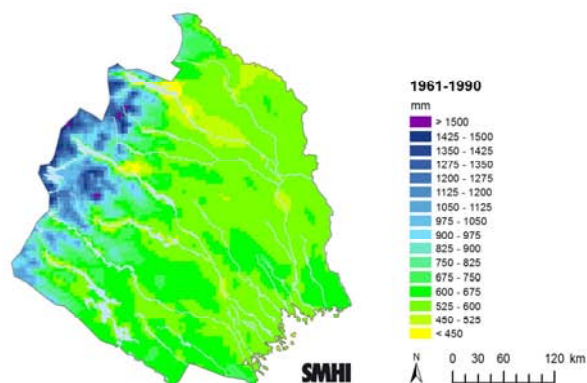


Bilaga 5 – Årsmedelnederbörd.

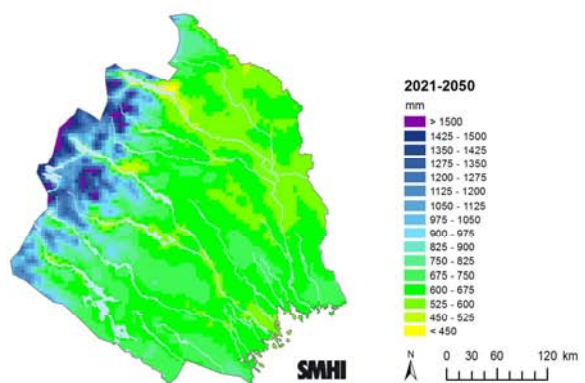
Observerat 1961-1990 (mm/år)



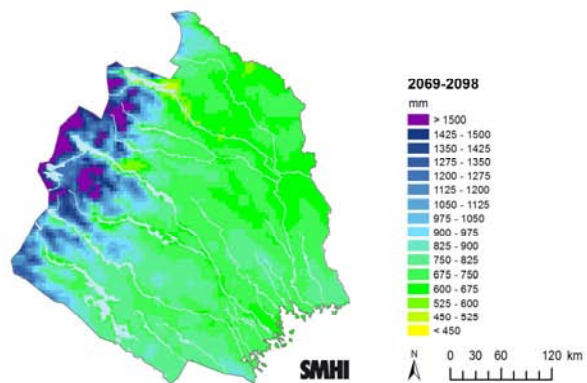
Beräknat 1961-1990 (mm/år)



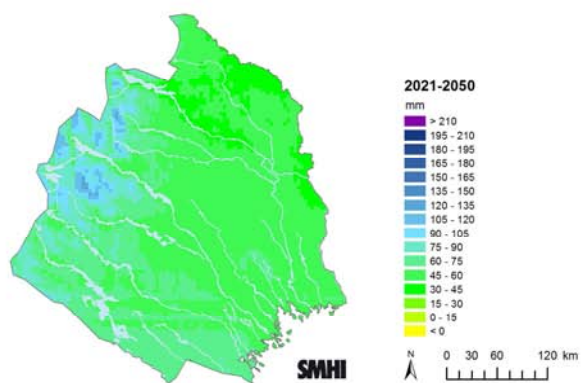
Beräknat 2021-2050 (mm/år)



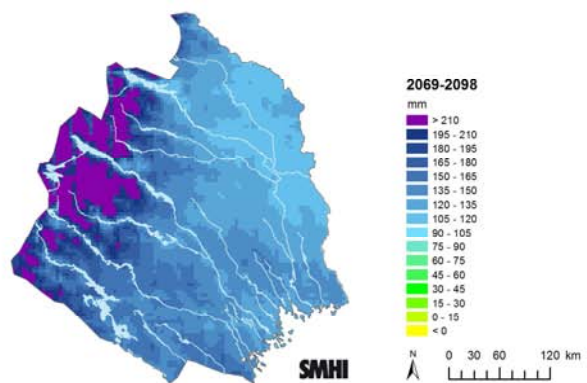
Beräknat 2069-2098 (mm/år)



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

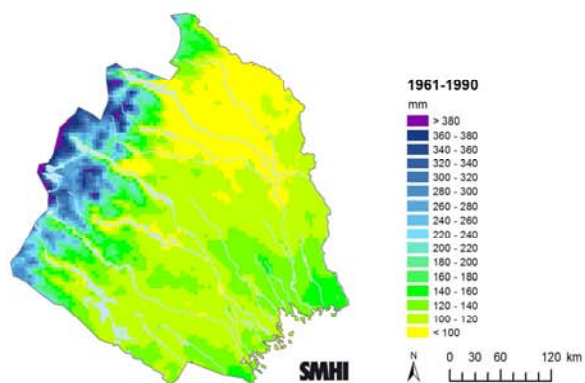


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (mm/år)

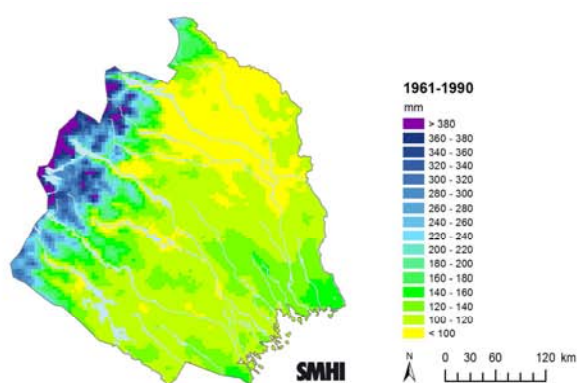


Bilaga 5 – Vintermedelnederbörd (december-februari)

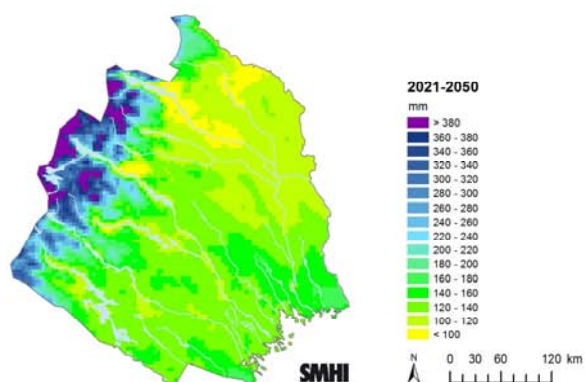
Observerat 1961-1990 (mm/år)



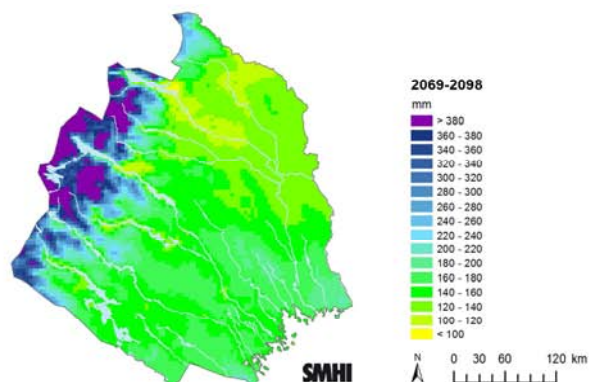
Beräknat 1961-1990 (mm/år)



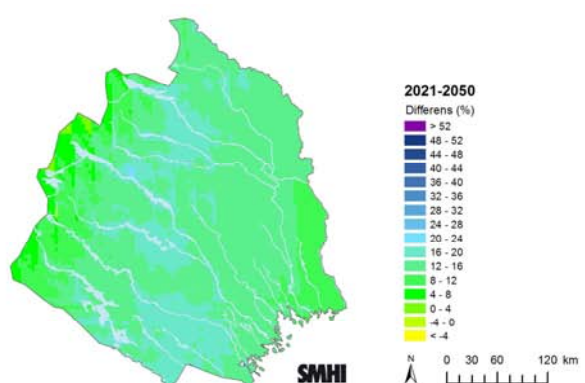
Beräknat 2021-2050 (mm/år)



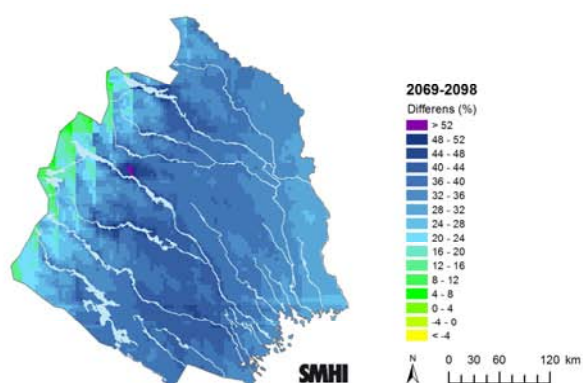
Beräknat 2069-2098 (mm/år)



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

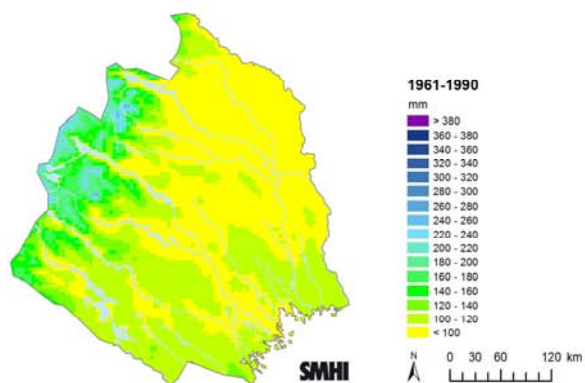


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (%)

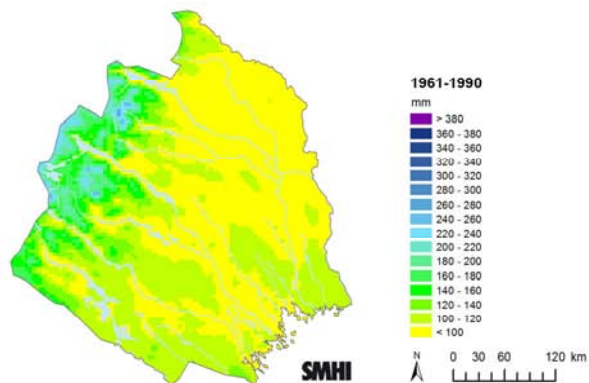


Bilaga 5 – Vårmedelnederbörd (mars-maj)

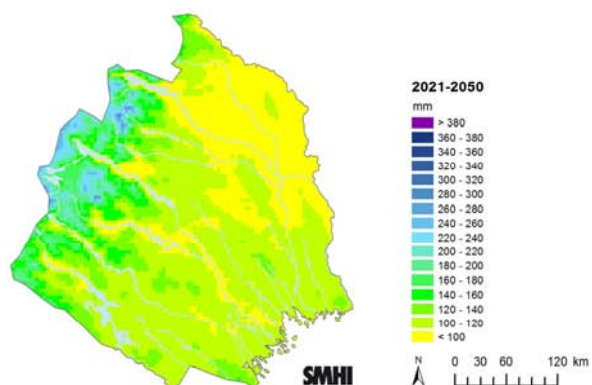
Observerat 1961-1990 (mm/år)



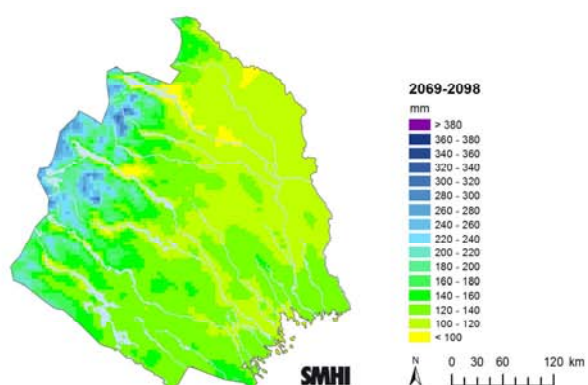
Beräknat 1961-1990 (mm/år)



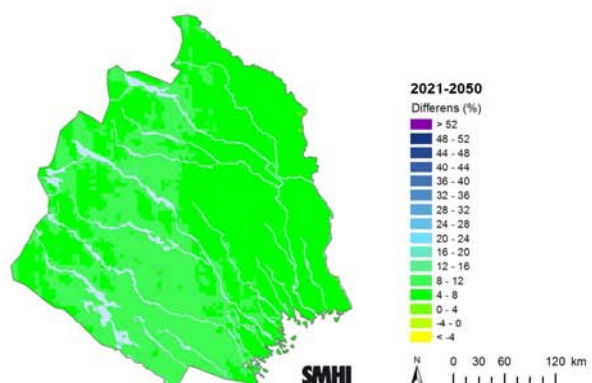
Beräknat 2021-2050 (mm/år)



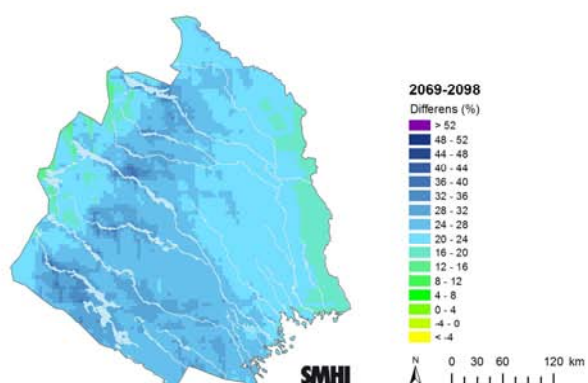
Beräknat 2069-2098 (mm/år)



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

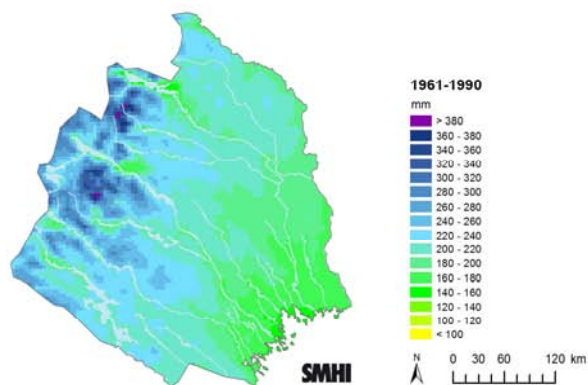


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (%)

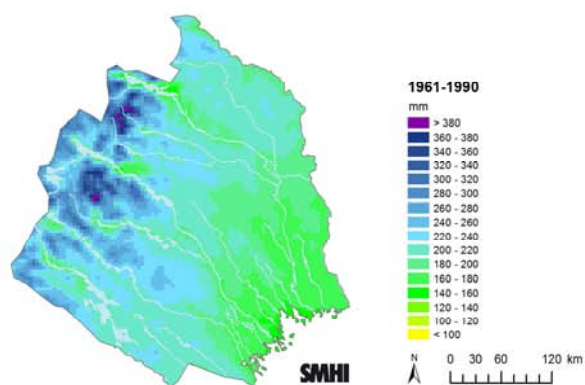


Bilaga 5 – Somarmedelnederbörd (juni-augusti)

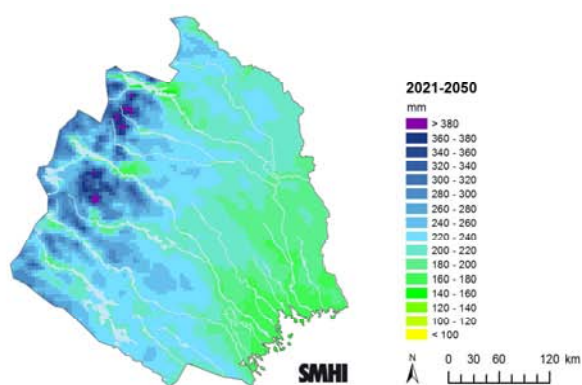
Observerat 1961-1990 (mm/år)



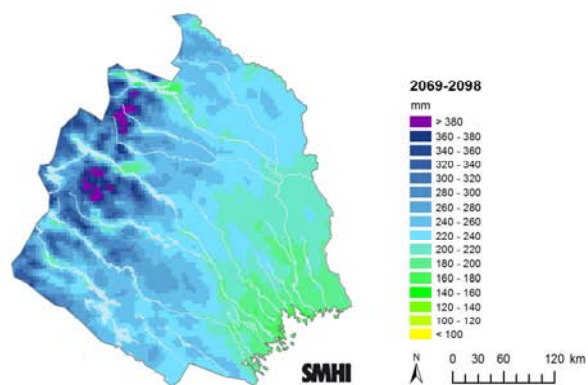
Beräknat 1961-1990 (mm/år)



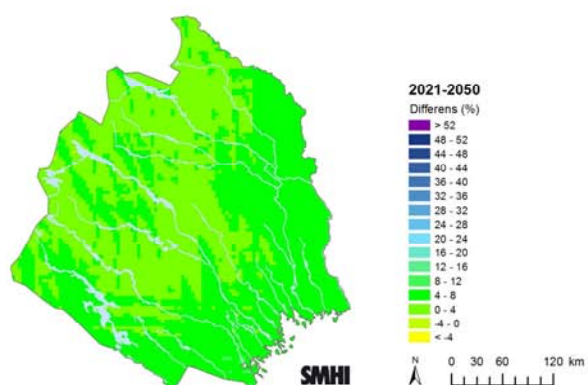
Beräknat 2021-2050 (mm/år)



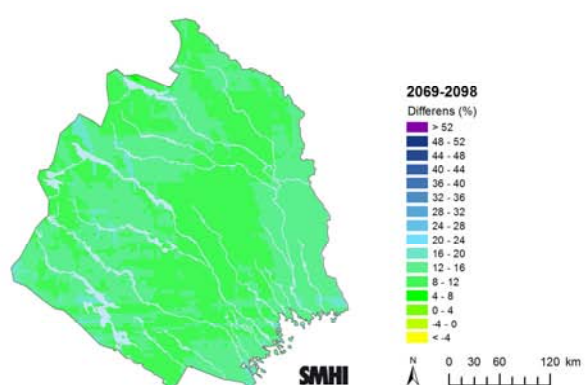
Beräknat 2069-2098 (mm/år)



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

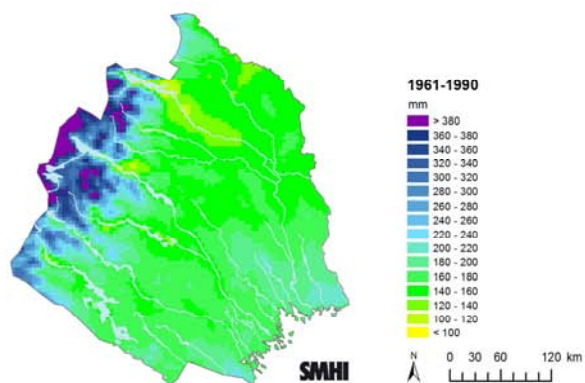


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (%)

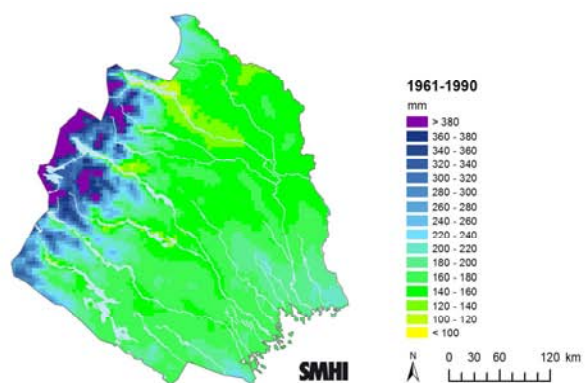


Bilaga 5 – Höstmedelnederbörd (september-november)

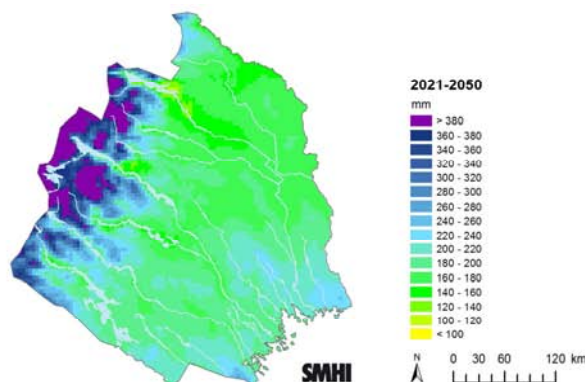
Observerat 1961-1990 (mm/år)



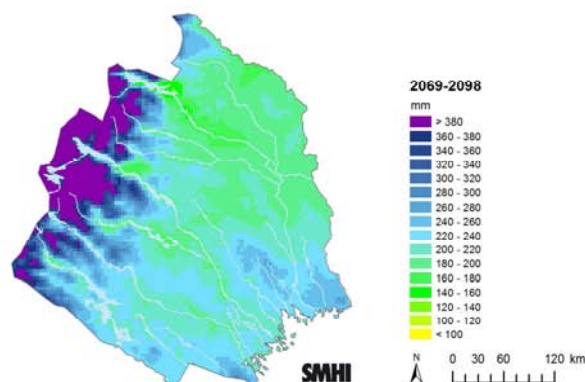
Beräknat 1961-1990 (mm/år)



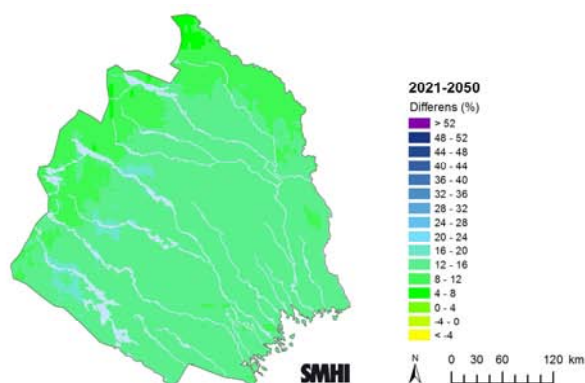
Beräknat 2021-2050 (mm/år)



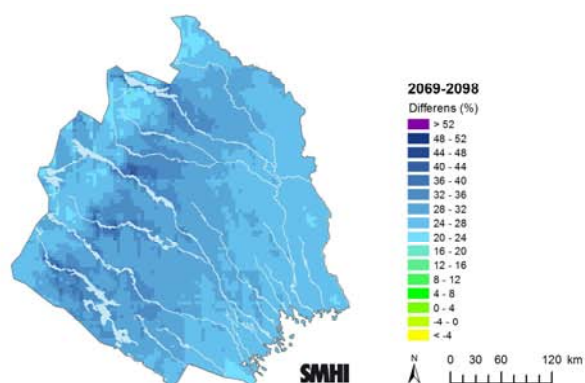
Beräknat 2069-2098 (mm/år)



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

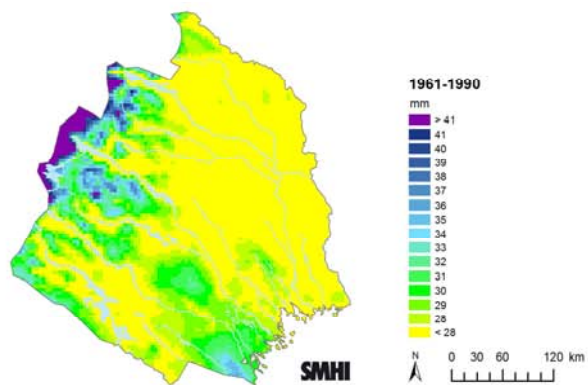


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (%)

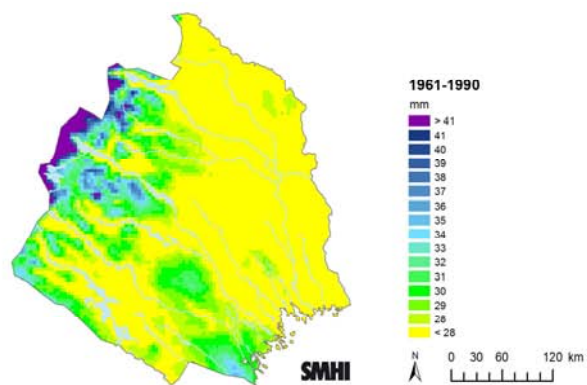


Bilaga 6 – Största 1-dagsnederbörd (medel 30 år)

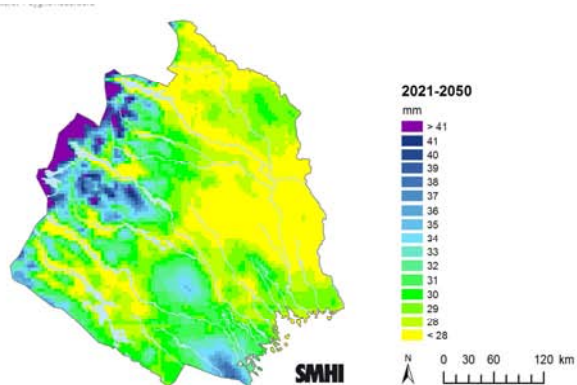
Observerat 1961-1990 (mm)



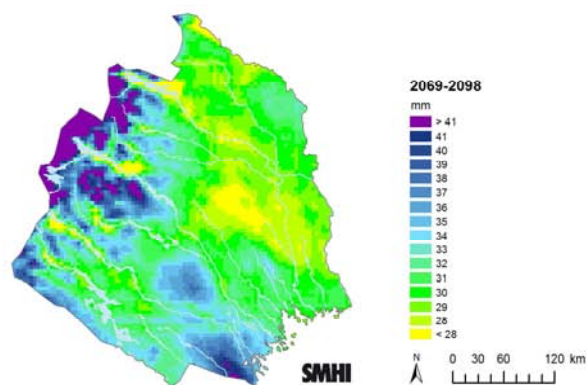
Beräknat 1961-1990 (mm)



Beräknat 2021-2050 (mm)

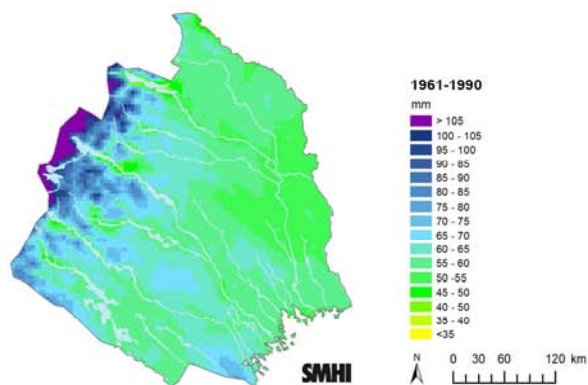


Beräknat 2069-2098 (mm)

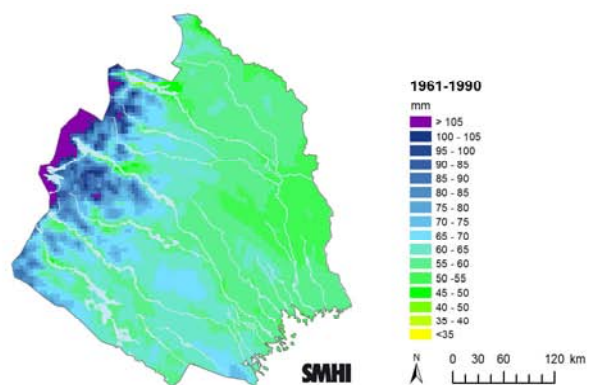


Bilaga 6 – Största 7-dagsnederbörd (medel 30 år)

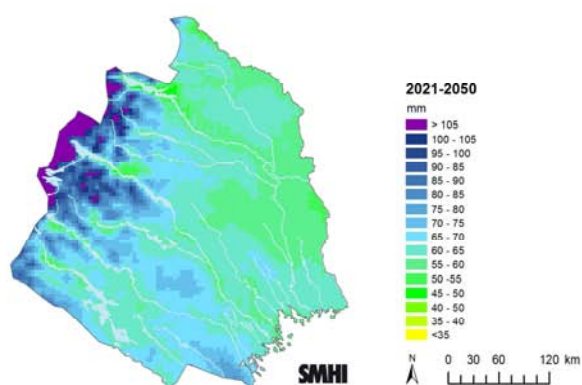
Observerat 1961-1990 (mm)



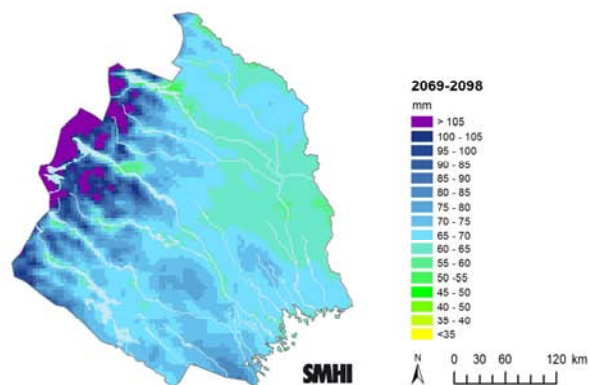
Beräknat 1961-1990 (mm)



Beräknat 2021-2050 (mm)

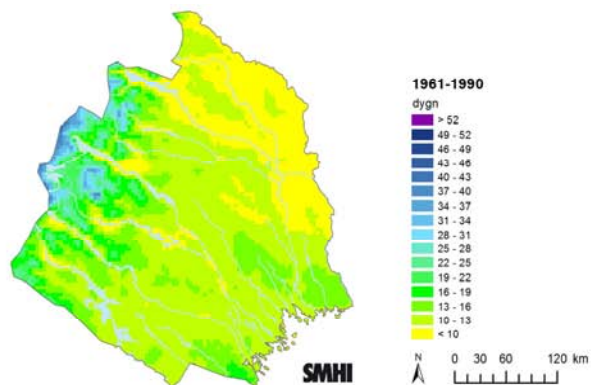


Beräknat 2069-2098 (mm)

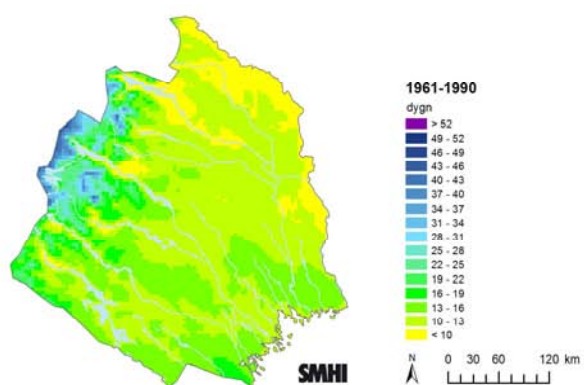


Bilaga 7 – Antal dagar per år med nederbörd > 10 mm (medel 30 år)

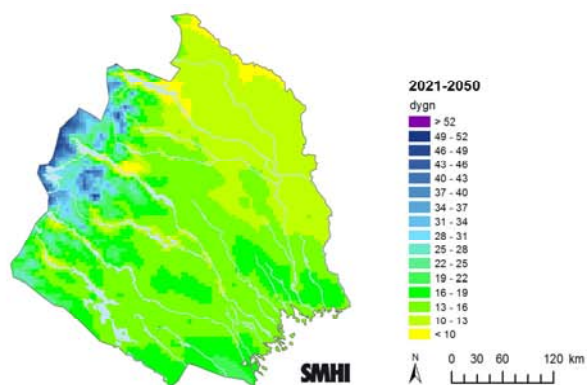
Observerat 1961-1990 (dagar)



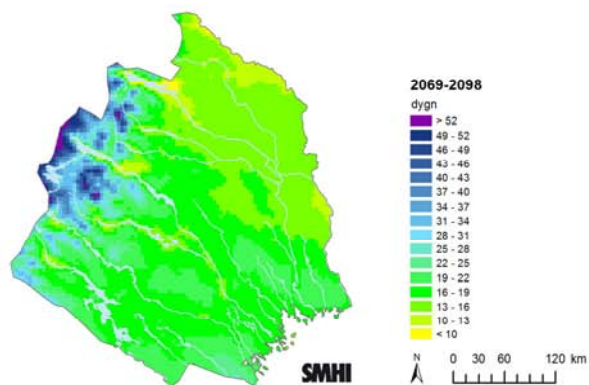
Beräknat 1961-1990 (dagar)



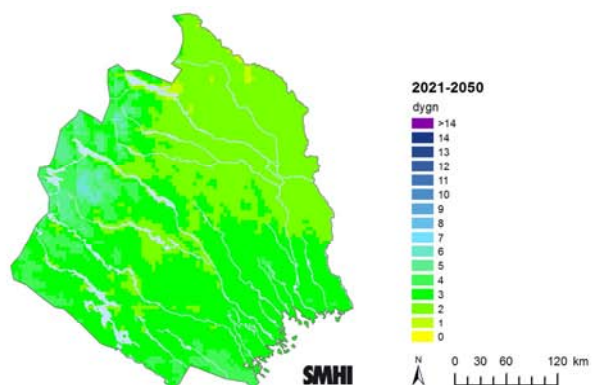
Beräknat 2021-2050 (dagar)



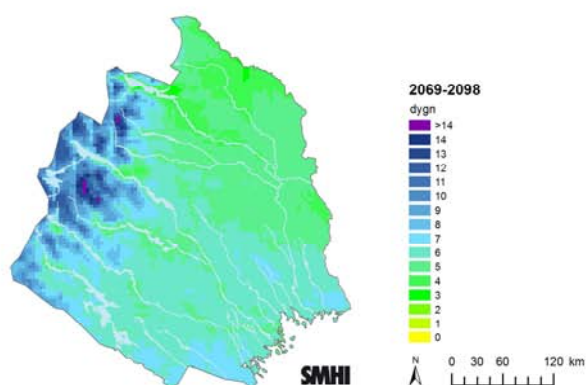
Beräknat 2069-2098 (dagar)



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

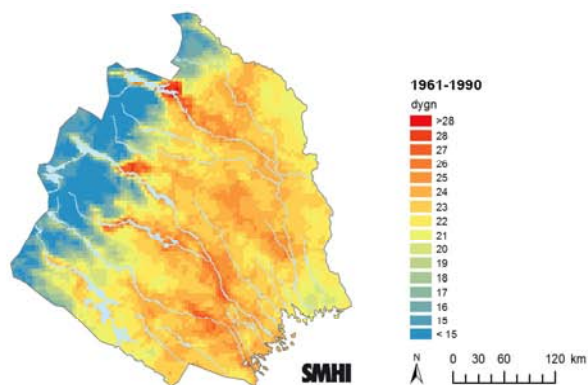


Differens 2069-2098 vs. 1961-1990 (dagar)

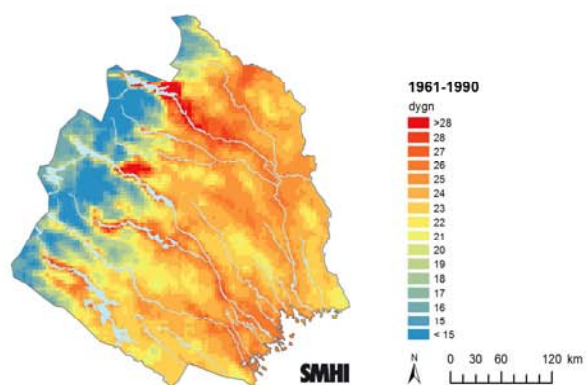


Bilaga 8 – Max antal dagar i följd utan nederbörd (< 1 mm) (medel 30 år)

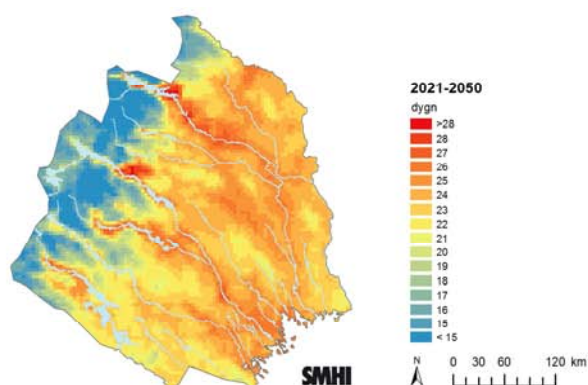
Observerat 1961-1990 (dagar)



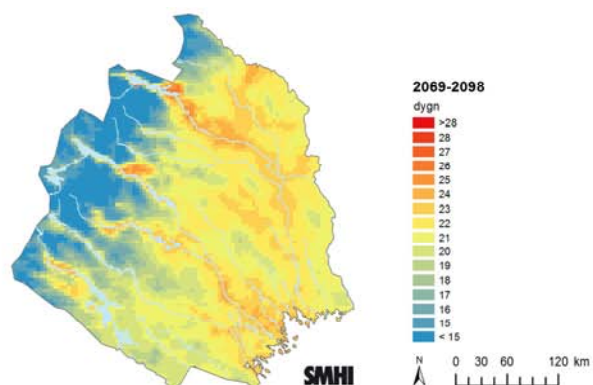
Beräknat 1961-1990 (dagar)



Beräknat 2021-2050 (dagar)



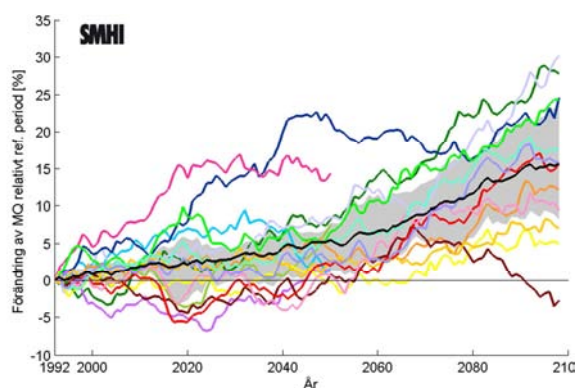
Beräknat 2069-2098 (dagar)



Bilaga 9 Beräknad förändring (%) för perioden 1992 – 2098 jämfört med referensperioden 1963 – 1992. Medianen av samtliga scenarier visas som svart linje. Det grå fältet markerar 75:e percentilen och 25:e percentilen av samtliga scenarier. Maximal och minimal förändring bland samtliga scenarier visas som streckade linjer.

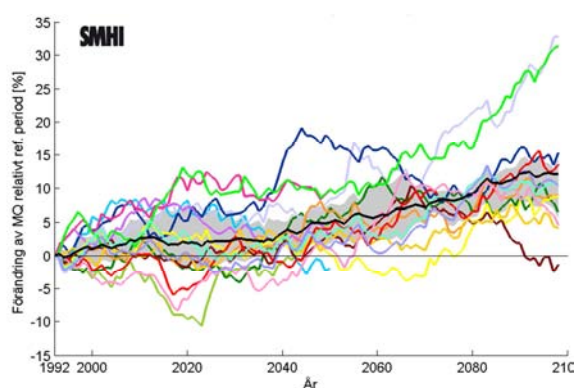
Torneälvens mynning.

Medelvattenföring (1961-1990): 398 m³/s



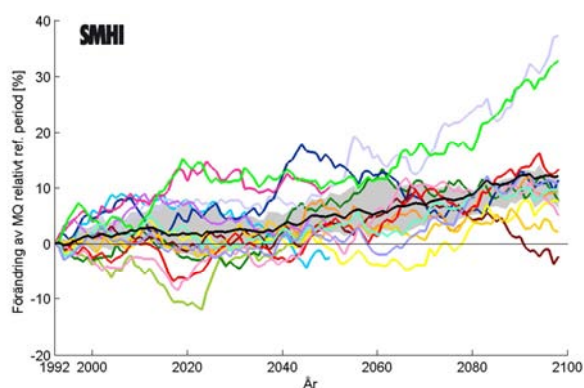
Keräsjökis mynning.

Medelvattenföring (1961-1990): 4,6 m³/s



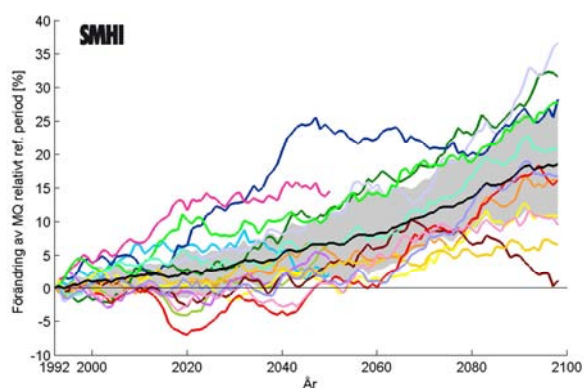
Sangisälvens mynning.

Medelvattenföring (1961-1990): 12,3 m³/s



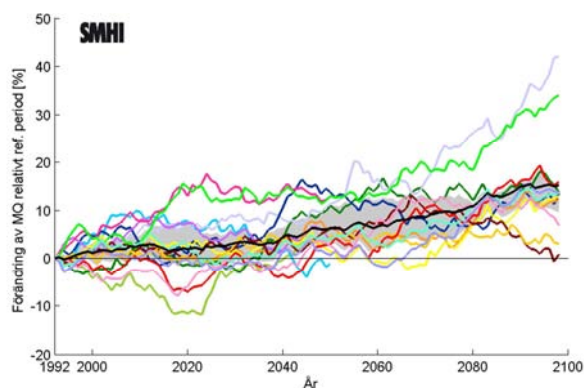
Kalixälvens mynning.

Medelvattenföring (1961-1990): 307 m³/s



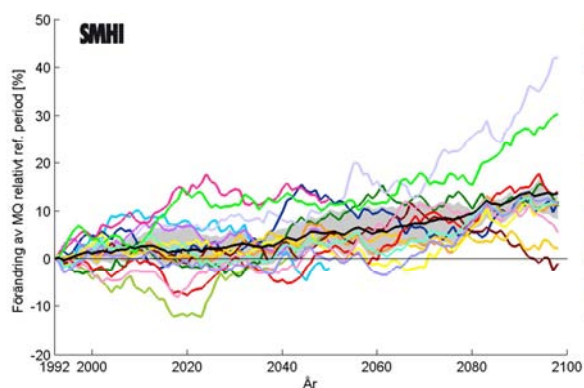
Töreälvens mynning.

Medelvattenföring (1961-1990): 4,7 m³/s



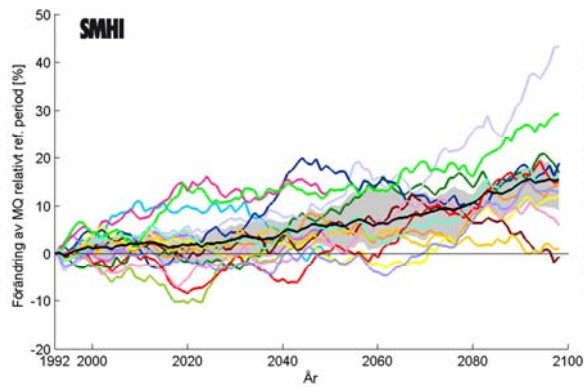
Vitåns mynning

Medelvattenföring (1961-1990): 5,2 m³/s



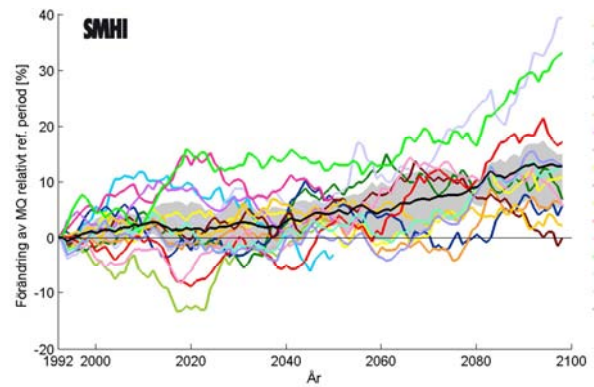
Råneälvens mynning

Medelvattenföring (1961-1990): 42 m³/s



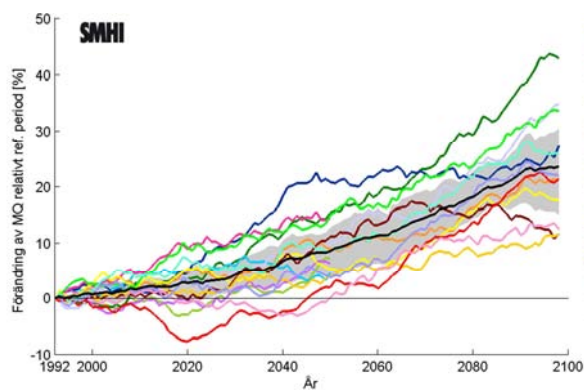
Altersundets mynning.

Medelvattenföring (1961-1990): 2,8 m³/s



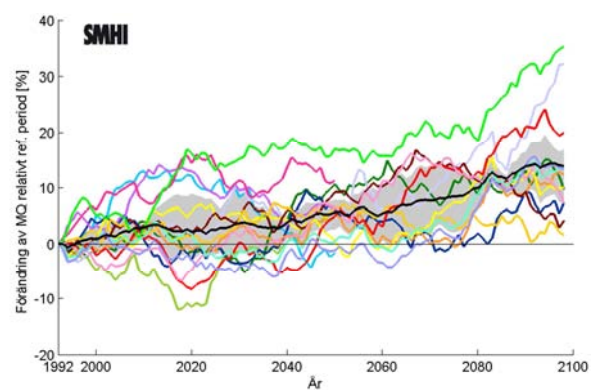
Luleälvens mynning.

Medelvattenföring (1961-1990): 478 m³/s



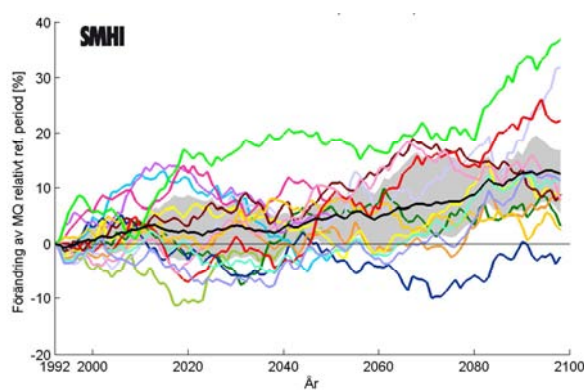
Alåns mynning.

Medelvattenföring (1961-1990): 5,1 m³/s



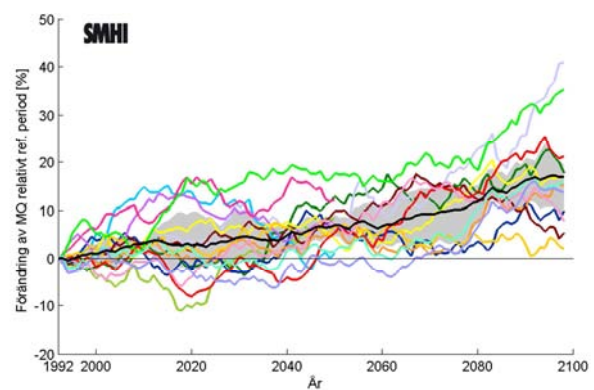
Rosån mynning,

Medelvattenföring (1961-1990): 1,8 m³/s



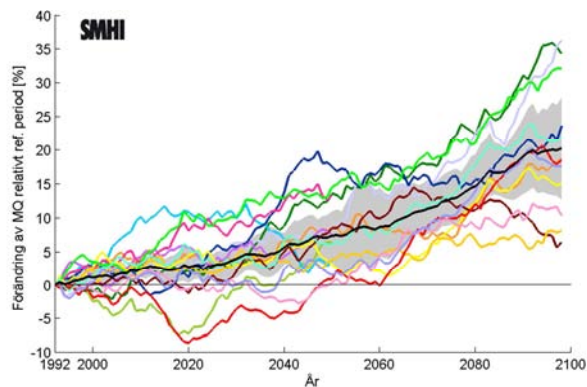
Alterälvens mynning.

Medelvattenföring (1961-1990): 4,0 m³/s



Piteälvens mynning.

Medelvattenföring (1961-1990): 160 m³/s

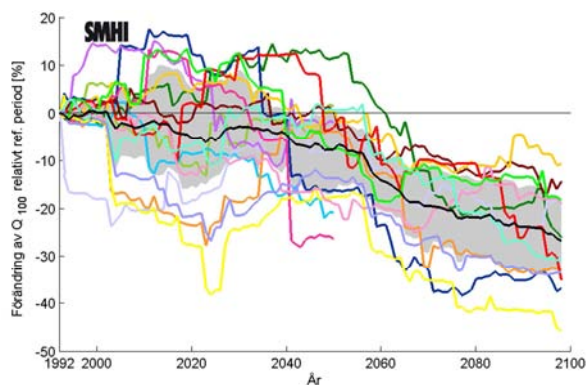


De 16 klimatscenarierna är färgkodade enligt:

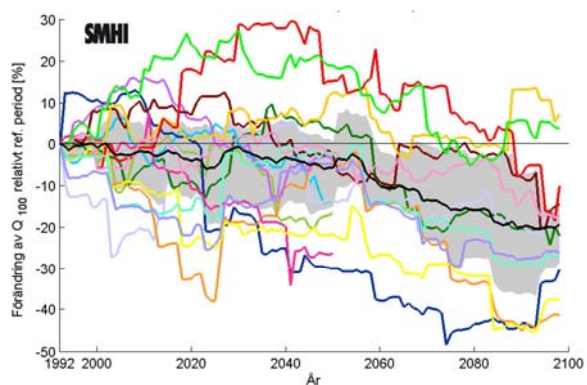
- C4I-E53-25-A2
- C4I-HCQ16-25-A1B
- CNRM-AR-25-A1B
- DMI-E53-25-A1B
- HC-HCQ0-25-A1B
- KNMI-E53-25-A1B
- METNO-BCM-25-A1B
- METNO-HCQ0-25-A1B
- MPI-E53-25-A1B
- SMHI-CCSM3-50-A1B
- SMHI-CNRM-50-A1B
- SMHI-E51-50-A1B
- SMHI-E51-50-B1
- SMHI-E52-50-A1B
- SMHI-E53-25-A1B
- SMHI-E53-50-A1B
- Medelvärde

Bilaga 10. Beräknad förändring (%) av 100-årsvattenföringen för perioden 1992 – 2098 jämfört med referensperioden 1963 – 1992. Medianen av samtliga scenarier visas som svart linje. Det grå fältet markerar 75:e percentilen och 25:e percentilen av samtliga scenarier. Maximal och minimal förändring bland samtliga scenarier visas som streckade linjer.

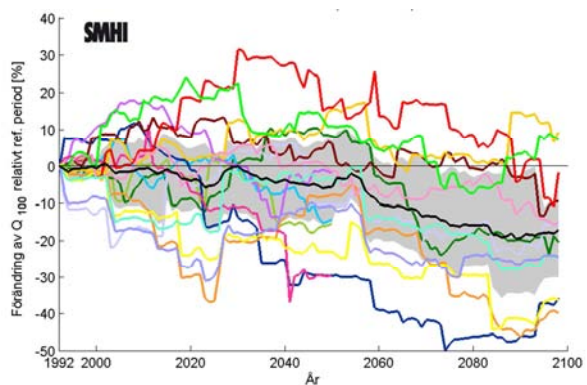
Torneälvens mynning



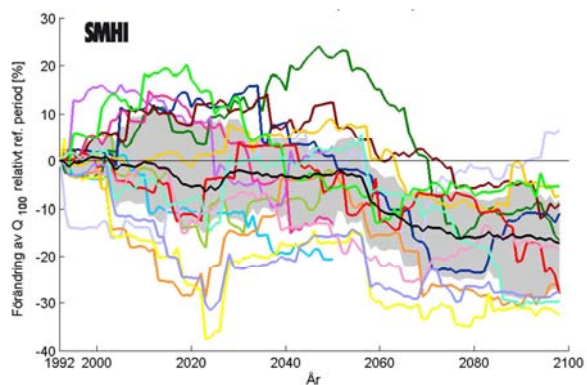
Keräsjökis mynning



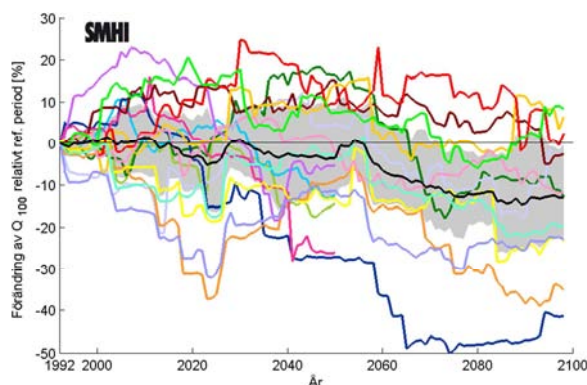
Sangisälvens mynning



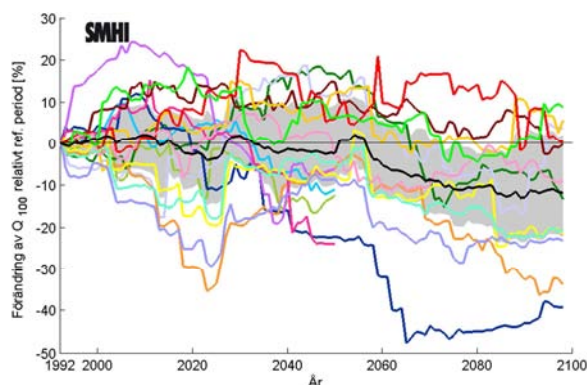
Kalixälvens mynning



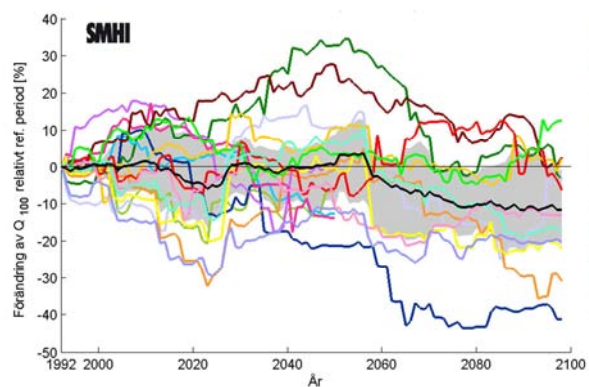
Töreälvens mynning



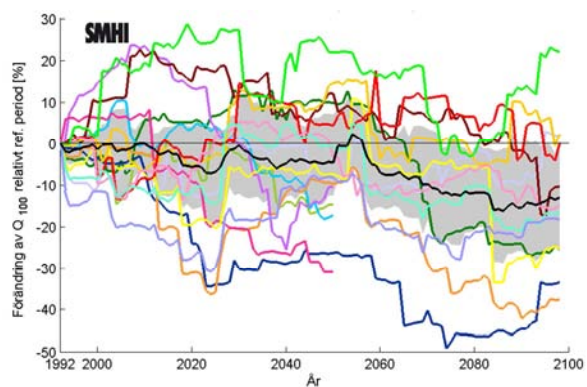
Vitåns mynning



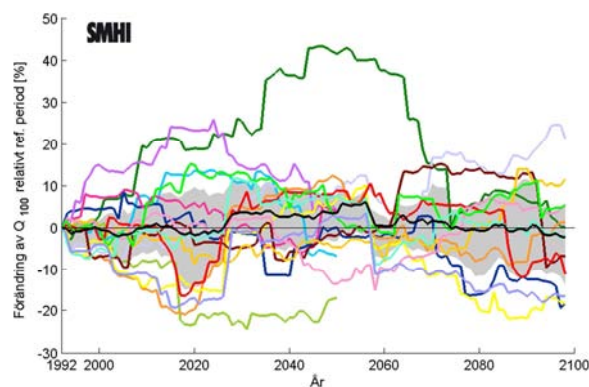
Råneälvens mynning



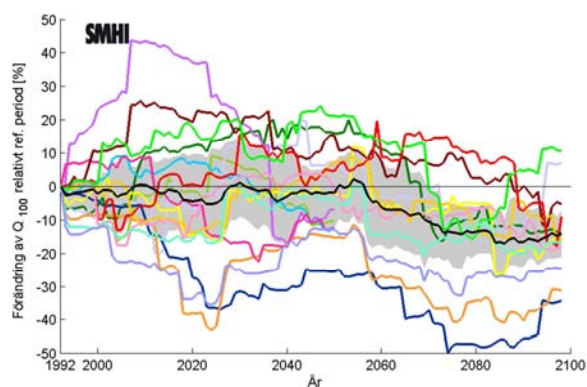
Altersundets mynning



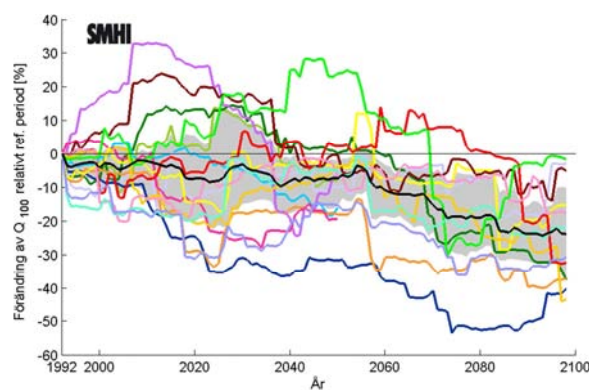
Luleälvens mynning



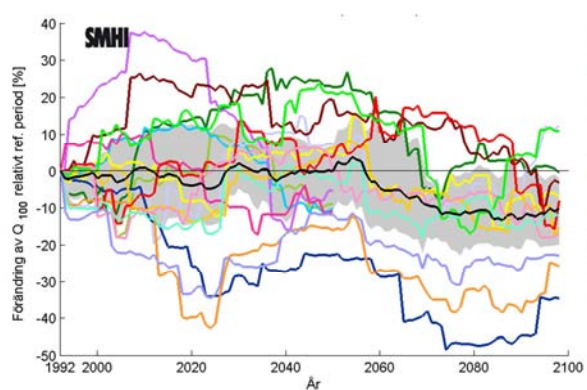
Alåns mynning



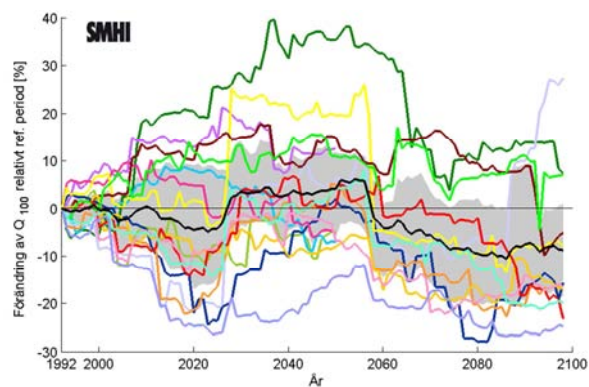
Rosåns mynning



Alterälvens mynning



Piteälvens mynning



De 16 klimatscenarierna är färgkodade enligt:

- 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

