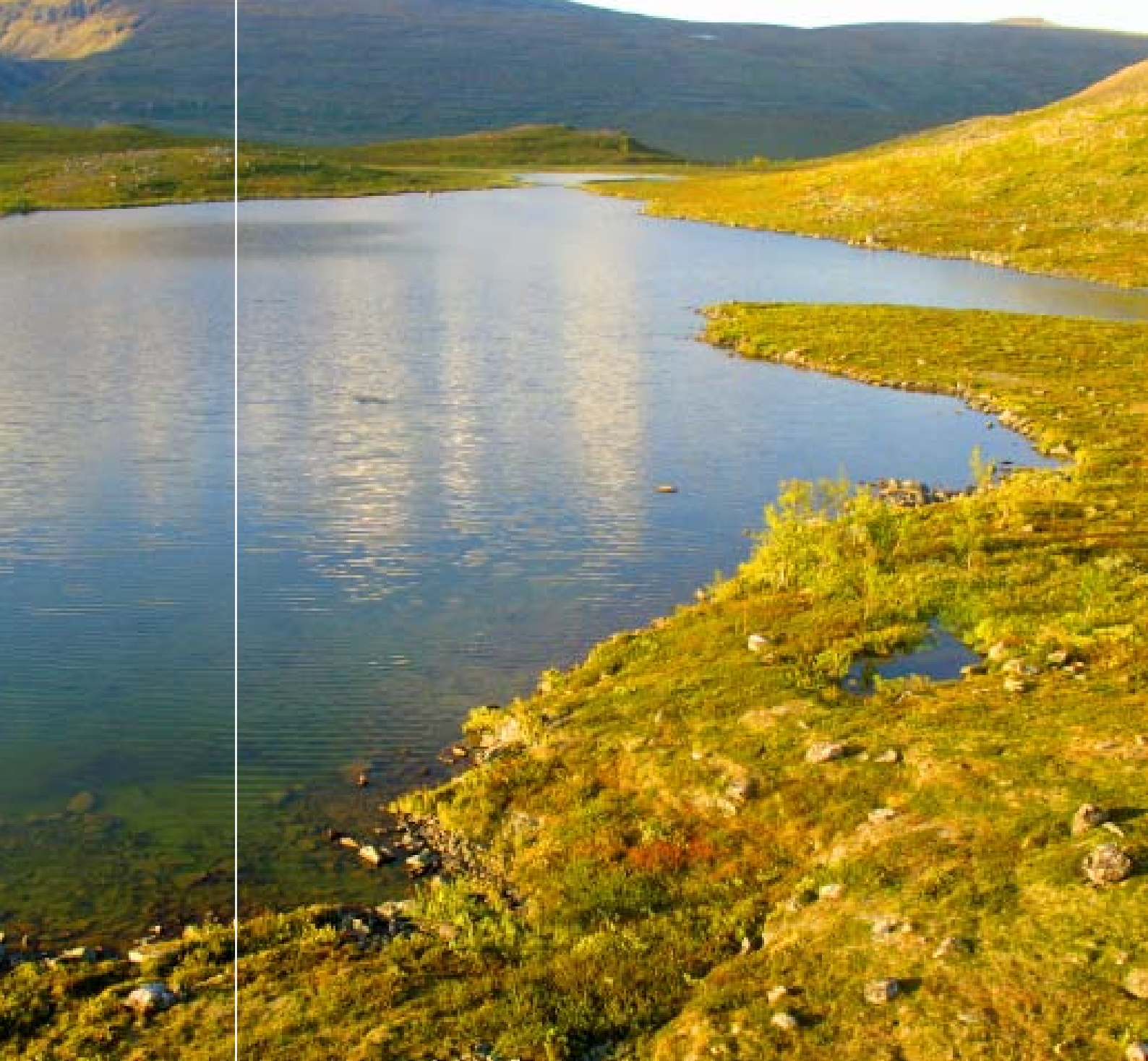
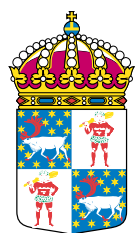




# Klimatsammanställning — Fjällkedjan

Länsstyrelsens rapportserie 13/2012  
Diarienummer 502-3711-2011



Länsstyrelsen  
Norrbotten

Titel Klimatsammanställning — Fjällkedjan. Länsstyrelsens rapportserie nr 13/2012  
Författare: SMHI, avdelning Miljö & Säkerhet, på uppdrag av Länsstyrelsen i Norrbottens län, rapport nr. 2011-40.  
Omslagsbild: Fjällsjö i Norrbotten  
Kontaktperson: Maria Widmark, Länsstyrelsen i Norrbottens län, 971 86 Luleå.  
Telefon: 0920-96000, fax: 0920-22 84 11,  
E-post: [norrbotten@lansstyrelsen.se](mailto:norrbotten@lansstyrelsen.se)  
Internet: [www.lansstyrelsen.se/norrbotten](http://www.lansstyrelsen.se/norrbotten)

ISSN: 0283-9636



Författare:  
**Dan Eklund**

Uppdragsgivare:  
**Länsstyrelsen Norrbottens län  
Miljöenheten**

Rapportnr:  
**2011-40**

Granskningsdatum:  
**2011-08-16**

Granskare:  
**Johan Andréasson**

Dnr:  
**2010/2389/203**

Version:  
**1.1**

---

## Klimatsammanställning – Fjällkedjan

---

Uppdragstagare  
**SMHI  
601 76 Norrköping**

Projektansvarig  
**Dan Eklund  
011-495 8071  
dan.eklund@smhi.se**

---

Uppdragsgivare  
**Länsstyrelsen Norrbottens län  
Miljöenheten  
971 86 LULEÅ**

Kontaktperson  
**Maria Widmark  
Tel: 0920-96247**

---

Distribution

---

Klassificering  
**(x) Allmän**

---

Nyckelord  
**Klimatsammanställning, vegetationsperiod, klimatscenarier, isläggning, islossning, issäsong**

---

Övrigt

---



# Sammanfattning

SMHI, avdelning Miljö & Säkerhet, har på uppdrag av Länsstyrelsen i Norrbottens län utfört en klimatanalys av den svenska fjällkedjan. Sammanställningen avser dagens och framtidens förhållanden avseende nederbörd, temperatur, snö samt isläggning och islossning för ett urval sjöar. Syfte med analysen är att ge en bild av klimatförhållandena i fjällkedjan såväl under dagens klimatförhållanden som enligt framtida klimatscenarier. Arbetet är baserat på observationer och analyser från SMHI samt klimatscenarier från den internationella klimatforskningen. Framtidsberäkningarna avser i första hand perioden fram till 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. Man bör vara medveten om att klimatforskningen ständigt kommer med nya resultat som kan komma att modifiera bilden ytterligare.

Följande huvuddrag framgår av föreliggande klimatanalyser:

- Klimatberäkningarna visar en gradvis ökning av årsmedeltemperaturen under det innevarande seklet för alla delar av fjällkedjan. I många fall innebär detta att medeltemperaturen under vår och höst kan förskjutas från under noll till över noll, under vintern väntas medeltemperaturen öka men troligen ligga kvar under noll under detta sekel.
- Vegetationsperioden förläng likartat i de olika fjällregionerna och till följd av gradvis ökande temperatur och det är främst slutet av säsongen som förlängs. Medianen av de olika klimatscenarierna visar att vegetationsperiodens längd ökar med 25-75 dagar i slutet av seklet jämfört med referensperioden 1961-1990.
- Årsmedelnederbörden väntas öka med mellan 10 till 40 % mot slutet av seklet då klimatscenariernas ensemblemedian studeras. Förändringen är likartad i de olika studerade regionerna med en tendens till tydligast ökning vintertid. Resultaten visar stor spridning mellan åren vilket också är fallet med observationerna.
- Snötillgången beräknas minska i fjällkedjan efterhand som klimatet väntas bli varmare. Snöns maximala vatteninnehåll, den största snömängden under ett år, beräknas minska med mellan 0 och 40 % mot slutet av seklet. Det är främst efter mitten på seklet som minskningen tar fart.
- Antalet snö dagar väntas minska för samtliga regioner i fjällkedjan under innevarande sekel. Minskningen av antalet snö dagar ökar kring år 2040. Vid jämförelse mellan referensperioden och slutet av seklet är förändringen mellan cirka 30-50 dagar.
- Med de för denna undersökning framtagna metoderna tycks det vara möjligt att simulera isläggning och islossning utifrån lufttemperatur relativt väl. Analysen av framtida isläggning och islossning visar att i takt med förväntat ökande temperaturer förkortas också issäsongen. Framför allt är det isläggningen som väntas senareläggas något mer än vad islossningen tidigare lägs. Då medianen av klimatscenarioensemblen studeras för slutet av seklet syns att Kallsjön, Rengen och Lilljorm visar trender på något mer senarelagd isläggning (upp mot 50-60 dagar) än övriga sjöar i de sydligare fjällregionerna (region 1 -4). Islossningen väntas ske upp till 20 – 30 dagar tidigare. Sjöarna i de norra fjällregionerna (region 5 – 10) visar en senare isläggning med upp till ca 40 dagar och en tidigare islossning med ca 20 – 30 dagar oberoende av sjöareal och djup. Klimatscenarierna visar på stor spridning, vilket också är fallet med observerade händelser



# Innehållsförteckning

|            |                                                          |            |
|------------|----------------------------------------------------------|------------|
| <b>1</b>   | <b>INLEDNING .....</b>                                   | <b>1</b>   |
| <b>2</b>   | <b>BAKGRUND .....</b>                                    | <b>1</b>   |
| <b>3</b>   | <b>METOD .....</b>                                       | <b>2</b>   |
| <b>3.1</b> | <b>Studerade klimatvariabler .....</b>                   | <b>2</b>   |
| <b>3.2</b> | <b>Geografiskt analysområde .....</b>                    | <b>2</b>   |
| <b>3.3</b> | <b>Referensperiod.....</b>                               | <b>4</b>   |
| <b>3.4</b> | <b>Variation och osäkerhet .....</b>                     | <b>4</b>   |
| <b>3.5</b> | <b>Modeller för klimatberäkningar.....</b>               | <b>5</b>   |
| <b>3.6</b> | <b>Bearbetning av klimatdata för effektstudier.....</b>  | <b>6</b>   |
| <b>3.7</b> | <b>Utsläppsscenarier .....</b>                           | <b>7</b>   |
| <b>3.8</b> | <b>Klimatscenarier - allmänt .....</b>                   | <b>8</b>   |
| <b>3.9</b> | <b>Klimatscenarier i denna studie .....</b>              | <b>9</b>   |
| <b>4</b>   | <b>RESULTAT AV KLIMATANALYS.....</b>                     | <b>11</b>  |
| <b>4.1</b> | <b>Temperatur .....</b>                                  | <b>11</b>  |
| 4.1.1      | Referensperiodens temperatur .....                       | 11         |
| 4.1.2      | Medeltemperatur för år och säsong i framtida klimat..... | 12         |
| 4.1.3      | Vegetationsperiodens start, slut och längd .....         | 24         |
| <b>4.2</b> | <b>Nederbörd.....</b>                                    | <b>35</b>  |
| 4.2.1      | Referensperiodens nederbörd .....                        | 35         |
| 4.2.2      | Medelnederbörd för år och säsong framtida klimat .....   | 37         |
| <b>4.3</b> | <b>Isläggning och Islossning .....</b>                   | <b>48</b>  |
| 4.3.1      | Om isläggning, istillväxt och islossning .....           | 48         |
| 4.3.2      | Isobservationer.....                                     | 49         |
| 4.3.3      | Isanalys .....                                           | 51         |
| <b>4.4</b> | <b>Snö.....</b>                                          | <b>67</b>  |
| 4.4.1      | Framtida maximalt vatteninnehåll i snön.....             | 67         |
| 4.4.2      | Framtida antal snö dagar .....                           | 76         |
| <b>5</b>   | <b>SLUTSATSER .....</b>                                  | <b>85</b>  |
| <b>6</b>   | <b>REFERENSER.....</b>                                   | <b>86</b>  |
| <b>7</b>   | <b>BILAGA 1 .....</b>                                    | <b>87</b>  |
| <b>8</b>   | <b>BILAGA 2 .....</b>                                    | <b>94</b>  |
| <b>9</b>   | <b>BILAGA 3 .....</b>                                    | <b>107</b> |



# 1 Inledning

SMHI, avdelning Miljö & Säkerhet, har på uppdrag av Länsstyrelsen i Norrbottens län utfört en klimatanalys av den svenska fjällkedjan. Sammanställningen avser dagens och framtidens förhållanden avseende nederbörd, temperatur, snö samt isläggning och islossning för ett urval sjöar. Syfte med analysen är att ge en bild av klimatförhållandena i fjällkedjan såväl under dagens klimatförhållanden som enligt framtida klimatscenarier. Arbetet är baserat på observationer och analyser från SMHI samt klimatscenarier från den internationella klimatforskningen. Framtidsberäkningarna avser i första hand perioden fram till 2100.

## 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.

Inom det EU-finansierade projektet ENSEMBLES (van der Linden m.fl, 2009) har ett ensemblesystem utvecklats för beräkning av klimatförändringar baserat på de bästa Europeiska globala och regionala klimatmodellerna med hög upplösning. Idag finns fler klimatscenarier tillgängliga än tidigare, för analys av exempelvis temperatur, nederbörd och klimatpåverkade flöden. Analys av en samling klimatscenarier ger nya och bättre möjligheter att behandla de osäkerheter som är nära förknippade med frågeställningen.

Eklund sammanställde 1999 statistik för isläggnings- och islossningstidpunkt i svenska sjöar (Eklund, 1999). Där undersöktes också samband mellan isläggning/islossning och sjöars geografiska läge, medeldjup och höjd över havet samt lufttemperatur. Två sjöar valdes för lufttemperaturundersökningen, för dessa jämfördes sambandet mellan medeltemperaturen månaderna före isläggning och islossning och datum för själva händelsen. För att beräkna framtida förändringar i tidpunkter för isläggning och islossning till följd av förväntat förändrat klimat har i denna utredning nya analyser baserade på lufttemperatur gjorts för ett antal sjöar i fjällkedjan.

### 3 Metod

En sammanställning av klimattrender till år 2100 har gjorts för fjällkedjan, uppdelad på 10 delregioner, avseende nederbörd, temperatur, vegetationsperiod och snö. Dessutom har en temperaturbaserad analys av framtida isläggning och islossning för ett urval av sjöar i fjällkedjan genomförts.

#### 3.1 Studerade klimatvariabler

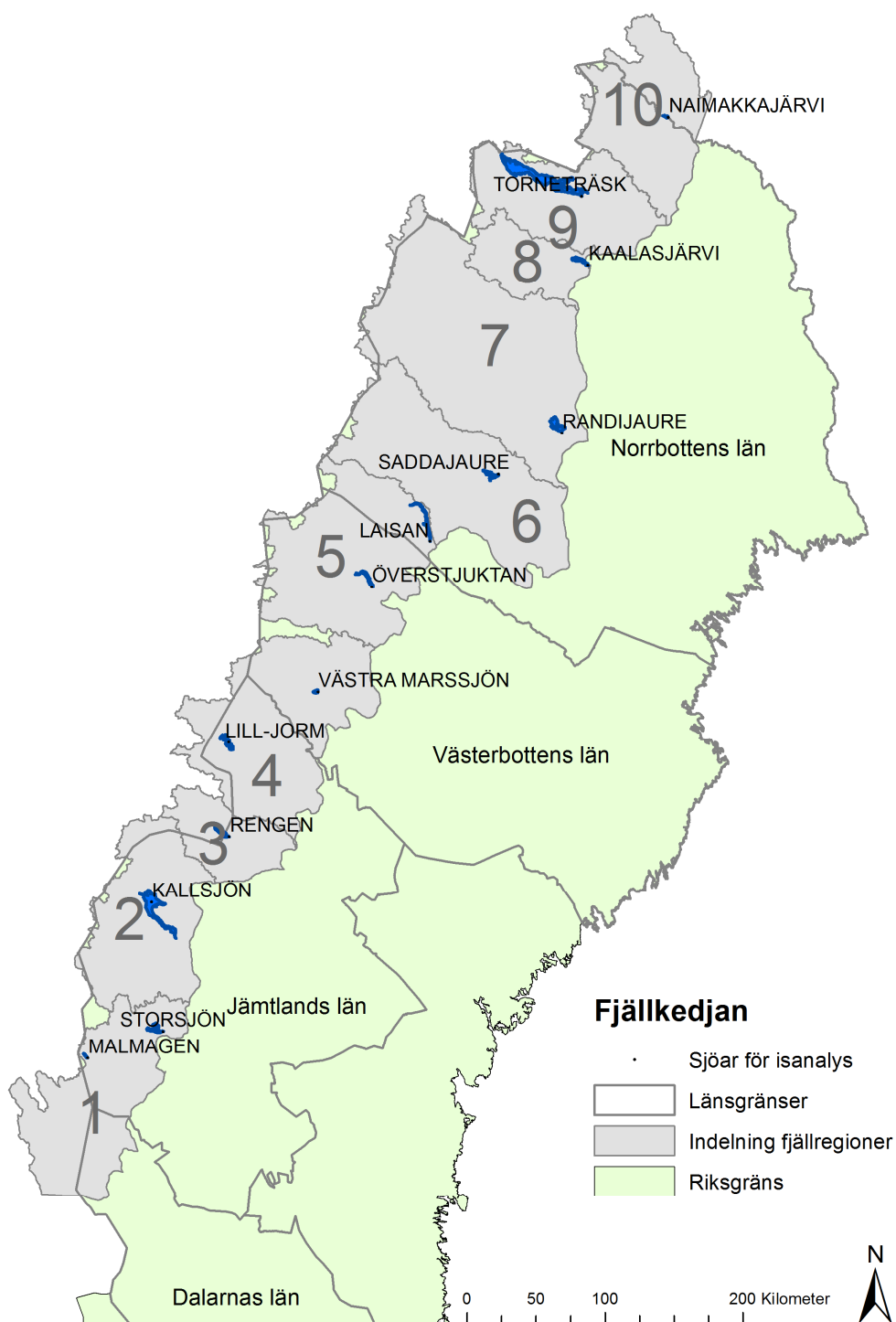
Sammanställning och analys av framtida klimatscenarier har gjorts för olika klimatvariabler enligt nedan, se respektive delavsnitt för definition av klimatvariablerna.

- Avsnitt 4.1: Temperatur: Temperatur i dagens klimat, medeltemperatur för år och säsong i framtida klimat samt vegetationsperiodens start, slut och längd.
- Avsnitt 4.2: Nederbörd: Nederbörd i dagens klimat samt medelnederbörd för år och säsong i framtida klimat.
- Avsnitt 4.3: Tidpunkt för isläggning och islossning för ett urval av sjöar i fjällkedjan.
- Avsnitt 4.4: Snö: Framtida maximalt vatteninnehåll i snön samt framtida antal snö dagar (dagar med snötäcke)

För klimatsammanställningen har 16 framtida klimatscenarier använts i analysen fram till år 2050. För perioden därefter fram till 2100 har 12 klimatscenarier använts, se avsnitt 3.9.

#### 3.2 Geografiskt analysområde

Figur 3-1 visar den svenska fjällkedjan, de län som ligger inom denna och läget för de sjöar som undersökts med avseende på isläggning och islossning. Fjällregionen motsvarar "Fjällområdet" i den naturgeografiska indelning som används i Svenskt Vattenarkiv (SVAR) vid SMHI. Fjällregionen har här indelats i 10 delområden för vilka klimatanalyserna presenteras. Indelningen har gjorts med hänsyn till hydrologisk områdesindelning och klimatkaraktär.



Figur 3-1. Analyserade regioner i Svenska fjällkedjan samt de sjöar som analyserats avseende isläggning och islossning.

### 3.3 Referensperiod

I klimatstudier brukar vanligen aktuella värden (tex beräknade framtida värden) jämföras med medelvärden för en längre period, en så kallad referensperiod. I enlighet med internationell praxis används i denna rapport den meteorologiska standardnormalperioden 1961-1990 som referensperiod. Denna standardnormalperiod kommer att användas fram till år 2021 då en ny 30-årsperiod, 1991-2020, är fullbordad. Referensperiod och analysperiod varierar med några år för olika undersökta parametrar i denna utredning, beroende på datatillgång och den tid det tar för modellerna att nå ett rimligt starttillstånd.

### 3.4 Variation och osäkerhet

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

Metoden som använts karakteriseras av att flera möjliga klimatscenarier ingår, en så kallad *ensemble*, och resultatet bearbetas 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 mellan de i analysen ingående klimatmodellerna och utsläppsscenierna. Speciellt gäller detta klimatsimuleringar där det är önskvärt att täcka in ett stort antal möjliga men sinsemellan olika scenarier som kan medföra mycket olika effekter. Respons som uppträder i flera olika klimatscenarier bedöms således mer trolig än respons som enbart uppträder då enstaka scenarier används.

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 somliga klimatvariabler delvis beroende på att olika modeller beskriver klimatologiska processer på olika sätt, exempelvis återkopplingen mellan atmosfärisk koncentration av växthusgaser och temperatur.

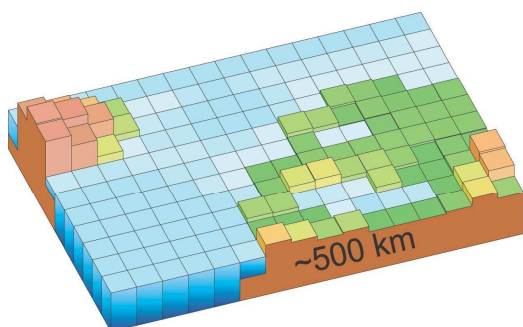
Det ligger i frågeställningens natur att det är svårt att på förhand definiera ett mått på responsen för ökade emissioner av växthusgaser, då detta är en effekt som modellerna syftar till att studera. Således är tillgången till flera olika klimatmodeller en stor fördel. Trender i respons som observeras i flertalet klimatmodeller och för flertalet utsläppsscenarier är därför att betrakta som mer robusta eftersom samma resultat uppnåts från olika oberoende förutsättningar. Om resultaten från olika modeller och utsläppsscenarier 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 välfungerande klimatmodell beskriva medelvärden och variabilitet med tillräckligt 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.

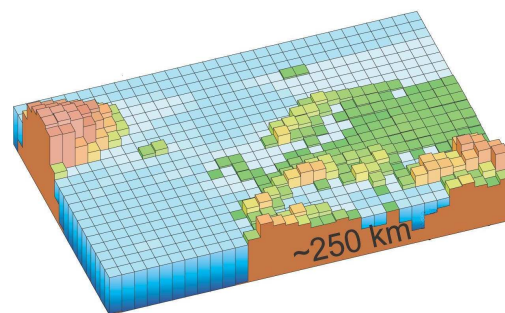
### 3.5 Modeller för klimatberäkningar

För att få en översiktlig bild av framtida klimat använder man sig av 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 3-2 visar hur upplösningen i de globala klimatmodeller som använts av IPCC utvecklats under de senaste 20 åren.

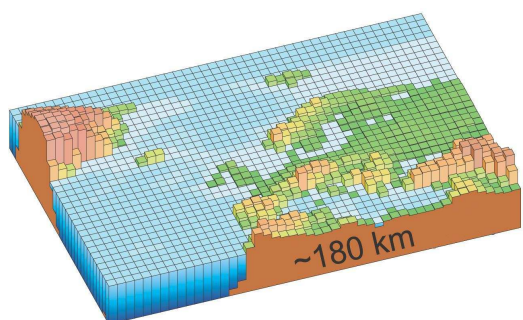
1990



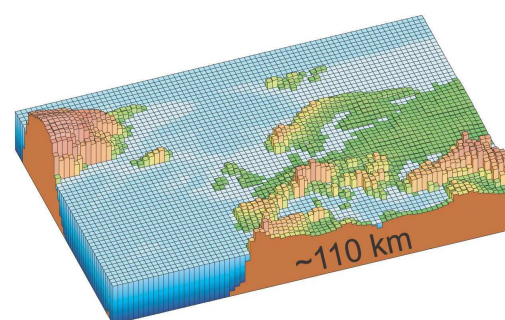
1996



2001

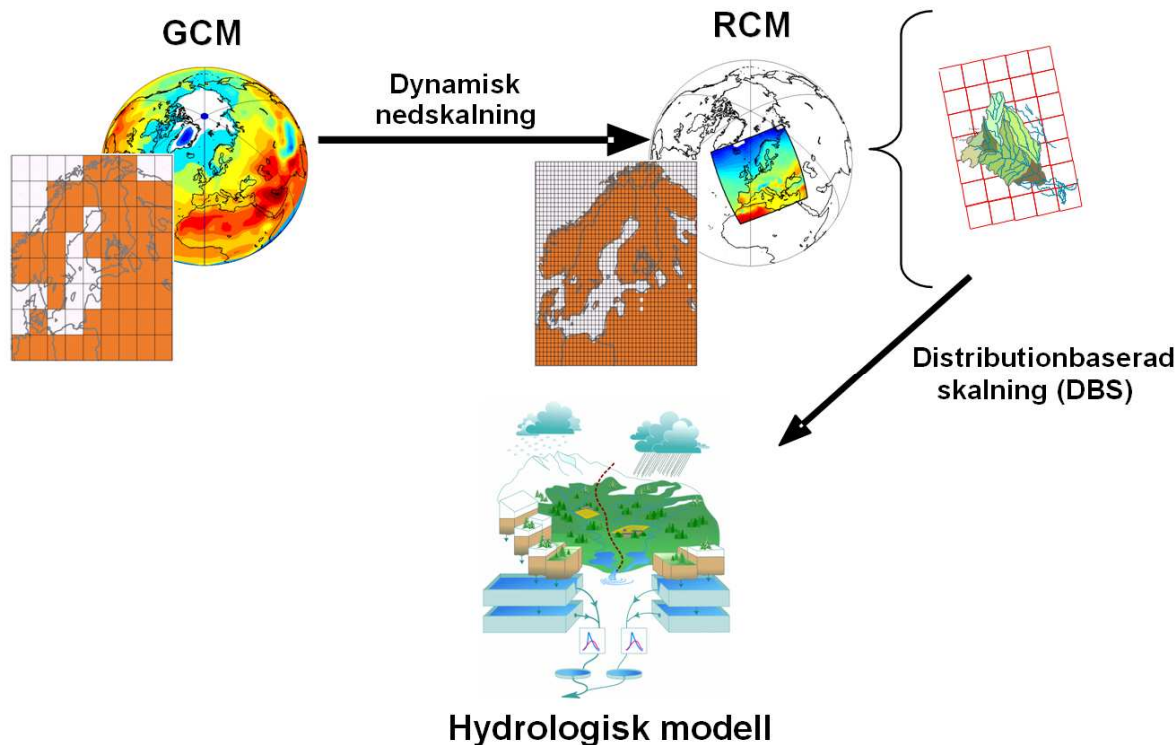


2007



Figur 3-2. 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 högre upplösning.

För detaljerade regionala analyser krävs en bra beskrivning av detaljer som påverkar det regionala klimatet. Därför kopplas de globala klimatberäkningarna till regionala klimatmodeller (RCM) som har högre upplösning och därmed beskriver detaljer bättre, som exempelvis Östersjön och den Skandinaviska bergskedjan. Den regionala klimatmodellen drivs av resultat från den globala modellen vid randen, utkanten, av modellområdet. Det gör att valet av global modell får stor betydelse för slutresultatet även regionalt. Regionala klimatmodeller finns bland annat vid forskningsenheten Rossby Centre på SMHI:s forskningsavdelning. Figur 3-3 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, magasinering, etc.



Figur 3-3. Illustration av dataflödet mellan global- och regional modell samt nedskalning till hydrologisk modell

Den hydrologiska modell som används i denna studie är HBV-modellen, som är en konceptuell avrinningsmodell utvecklad vid SMHI sedan slutet av 70-talet (Lindström, m.fl., 1997). Modellen byggs upp av rutiner för markfuktighet, snöackumulation och snösmältning, grundvatten och routing (beskrivning av vattnets väg). Indata till modellen har i denna studie hämtats från regionala klimatmodeller efter anpassning för hydrologisk modellering enligt metoden DBS-skalering, som beskrivs i avsnitt 3.6. Analyser med HBV-modellen är gjorda för *oreglerade* förhållanden vilket är viktigt att komma ihåg vid tolkning av resultaten.

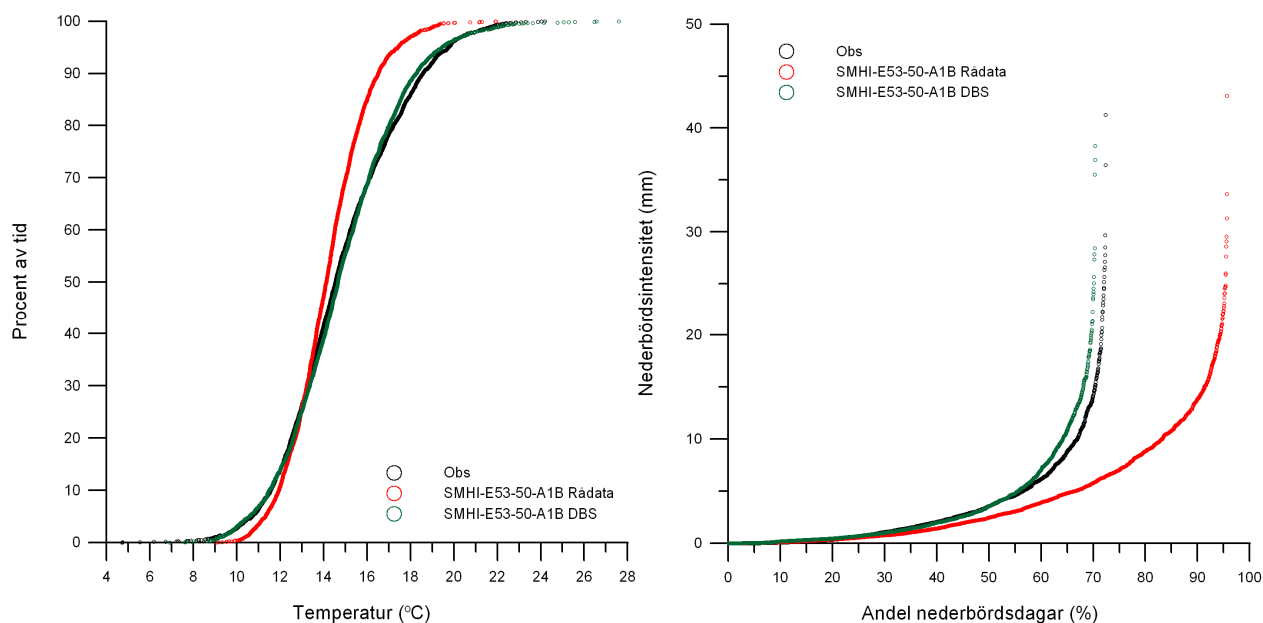
### 3.6 Bearbetning av klimatdata för effektstudier

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

Under senare år har en metod utvecklats som möjliggör en sådan anpassning. Metoden benämns DBS-metoden (Distribution Based Scaling, Yang m.fl., 2010) och innebär att data från meteorologiska observationer används till att justera klimatmodellens resultat för att ta bort de systematiska felen. De korrigeringsfaktorer som då införs bibehålls vid beräkningen av framtidens klimat, varefter klimatberäkningens utdata blir statistiskt jämförbar med observationer och direkt kan användas som indata till en hydrologisk modell. Vid användning av DBS-metoden bibehåller man vid övergången till den hydrologiska modellen därmed, förutom förändringar i medelvärden, även de förändringar i klimatets variabilitet som ges av klimatmodellen. Metoden har tidigare använts för hydrologiska modellberäkningar av Andréasson m.fl., (2009).

Figur 3-4 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 3-4.** Jämförelse mellan rådata från klimatmodeller och data som anpassats med DBS-metoden. Till vänster dygnsmedeltemperatur (procent av tiden som viss dygnsmedeltemperatur underskrids och till höger nederbörd (andel dagar med olika nederbörsintensitet).

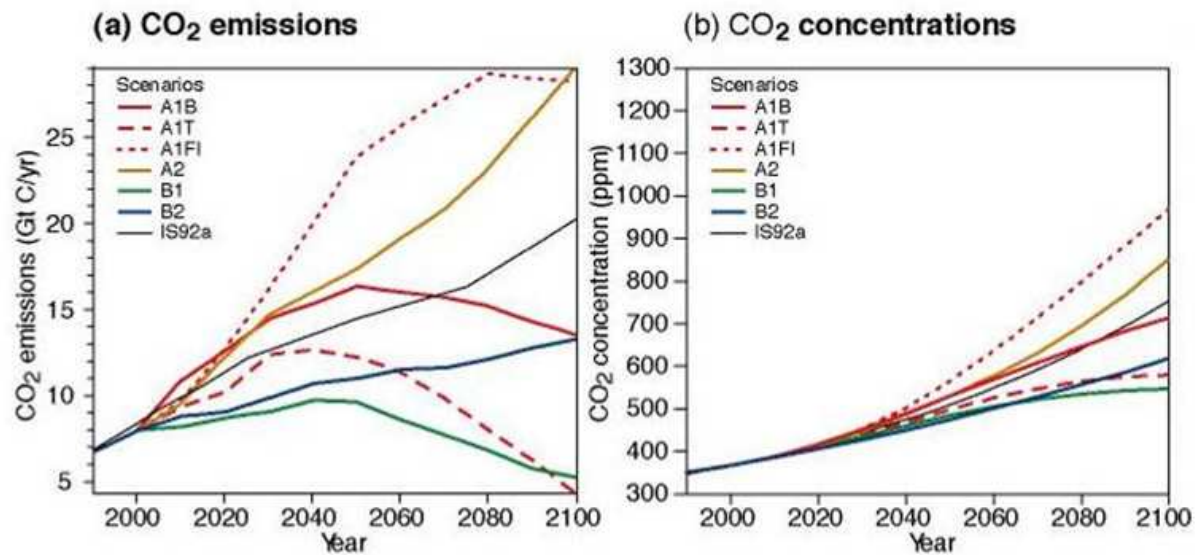
En förutsättning när DBS-metoden används är att resultaten för framtida tidsperioder måste jämföras med historiskt klimat så som detta beskrivs av klimatmodellen och inte av meteorologiska observationer. Metoden innebär också att det inte är möjligt att jämföra individuella dagar eller år med observationsdata.

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

### 3.7 Utsläppsscenarioer

För att kunna göra beräkningar av framtida klimat behövs antaganden om framtida utsläpp av växthusgaser. Vanligtvis används utsläppsscenarioer som utarbetats av FN:s klimatpanel, IPCC. Några exempel visas i Figur 3-5. Dessa bygger på antaganden av världens utveckling fram till år 2100 (Nakićenović m.fl., 2000). I utsläppsscenarioerna görs olika antaganden om jordens folkmängd, ekonomisk tillväxt, teknologisk utveckling m.m. Utifrån dessa antaganden har man sedan uppskattat 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.

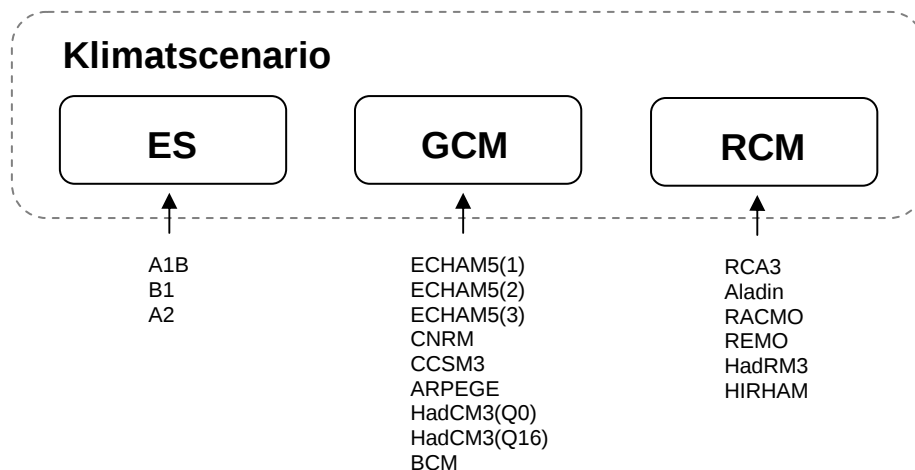
Genom att göra simuleringar i klimatmodellerna med växthusgaskoncentrationer som motsvarar dagens förhållanden respektive för framtida förhållanden får man en bild av den framtida förändringen av klimatet.



Figur 3-5. Antagande om framtida utsläpp av CO<sub>2</sub> (a) och resulterande CO<sub>2</sub>-koncentrationer (b) enligt olika scenarier (modifierad från IPCC, 2001).

### 3.8 Klimatscenarier - allmänt

Ett klimatscenario är en realiserad tidsutveckling av ett utsläppsscenario i en global och en regional klimatmodell enligt dataflödet som beskrivs i Figur 3-3. Samma utsläppsscenario kan således leda till olika klimatscenarier beroende på vilka globala och regionala modeller som används. De tre komponenterna illustreras i Figur 3-6 där också de möjliga alternativen för utsläppsscenario (ES = emission Scenario), global klimatmodell (GCM = Global Climate Model) och regional klimatmodell (RCM = regional Climate Model) som används i denna studie framgår.



Figur 3-6. Ett klimatscenario består av en kombination av utsläppsscenario (ES), global modell (GCM) och regional modell (RCM).

Under flera år användes huvudsakligen sex klimatscenarier för de flesta studier av klimateffekter i Sverige, inklusive i den statliga Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU, 2007:60). 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). De globala modellerna har körts med utsläppsscenario A2 respektive B2 som beskrivs av Nakićenović m.fl. (2000). Två olika regionala modellversioner användes för nedskalning av de globala modellernas resultat. Dessa benämns RCAO och RCA3 och kommer från Rossby Centre vid SMHIs forskningsenhet.

Numera finns ett stort antal regionala klimatscenarier att tillgå beräknade med nyare globala och regionala klimatmodeller. Det europeiska ENSEMBLES-projektet (van der Linden m.fl, 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 & Swart, 2000), men ett scenario med kraftigare utsläpp, A2, och ett med lägre utsläpp, B1, användes också.

I Figur 3-5 visas ett antal utsläppsscenarioer, där A1B, A2 och B1 ingår. Ur figuren framgår bland annat att A1B är ett scenario där koldioxidutsläppen till atmosfären beräknas att kulminera runt år 2050. Koldioxiden i atmosfären fortsätter dock enligt detta scenario att stiga även efter 2050 på grund av systemets tröghet. Ur figuren ses även att skillnaden mellan effekten av olika utsläppsscenarioer är liten fram till mitten av seklet och ökar därefter.

### 3.9 Klimatscenarier i denna studie

Tabell 3-1 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 globala klimatmodell som används mest 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 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 av studien, d.v.s inget aktivt urval av scenarier har gjorts. Allt eftersom fler klimatscenarier blir tillgängliga kan fler fall med höga respektive låga utsläppsscenarioer inkluderas i klimatensemblesimuleringar. På så sätt kan fler tänkbara utvecklingar av klimatet simuleras. En större ensemble ger starkare statistiska mått på hur en framtida utveckling kan se ut. Den idag tillgängliga ensemblen är dock en stor förbättring mot vad som fanns tillgängligt för några år sedan, även om urvalet inte är systematiskt.

Tabell 3-1. 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      | CNRM        | 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 |

## **4 Resultat av klimatanalys**

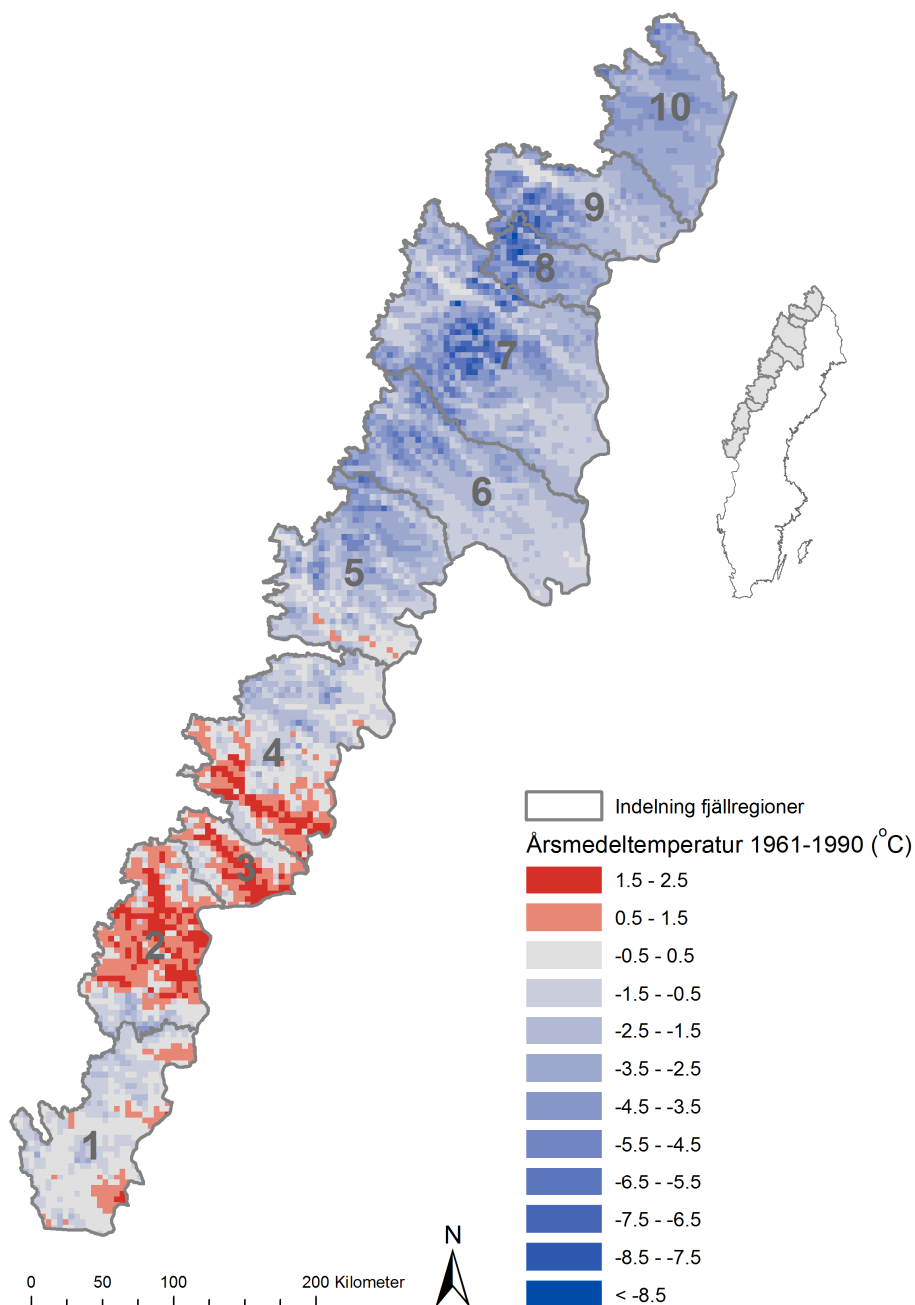
### **4.1 Temperatur**

#### **4.1.1 Referensperiodens temperatur**

Temperatur är en klimatvariabel som varierar måttligt både i tid och rum. Temperaturen är således relativt likartad över större områden. Höjden (egentligen trycket) har dock ett avgörande inflytande på temperaturen vilket spelar in när lågt och högt belägna områden jämförs med varandra. Det är anledningen till att det är kallare i fjällen än i mer låglänta områden och att medeltemperaturen varierar inom fjällkedjan. Temperaturen varierar stort mellan dal och topp i bergig terräng. En tumregel är att temperaturen sjunker med ca 0,6 °C /100 m.

I Figur 4-1 visas den rumsliga variationen av temperaturen i fjällkedjan under referensperioden 1961 – 1990 med data från PTHBV. PTHBV är SMHIs databas med areellt interpolerad temperatur och nederbörd (Johansson, 2000, Johansson och Chen 2003; 2005) och innehåller optimalt interpolerade observationer med en upplösning på 4×4 km från och med 1961. Genom att använda PTHBV kan områden mellan klimatstationer analyseras med hänsyn taget till bland annat topografi och regionala trender.

Årsmedeltemperaturen 1961-1990 i fjällkedjan varierar stort, mellan ca -9 °C och 2,5 °C. De högsta årsmedeltemperaturerna ses i region 2 och 3 samt i södra delen av region 4 och de lägsta årsmedeltemperaturerna finns i de västra delarna av regionerna 7-9.



Figur 4-1. Årsmedeltemperatur i fjällkedjan under referensperioden 1961 – 1990 med data från PTHBV.

#### 4.1.2 Medeltemperatur för år och säsong i framtida klimat

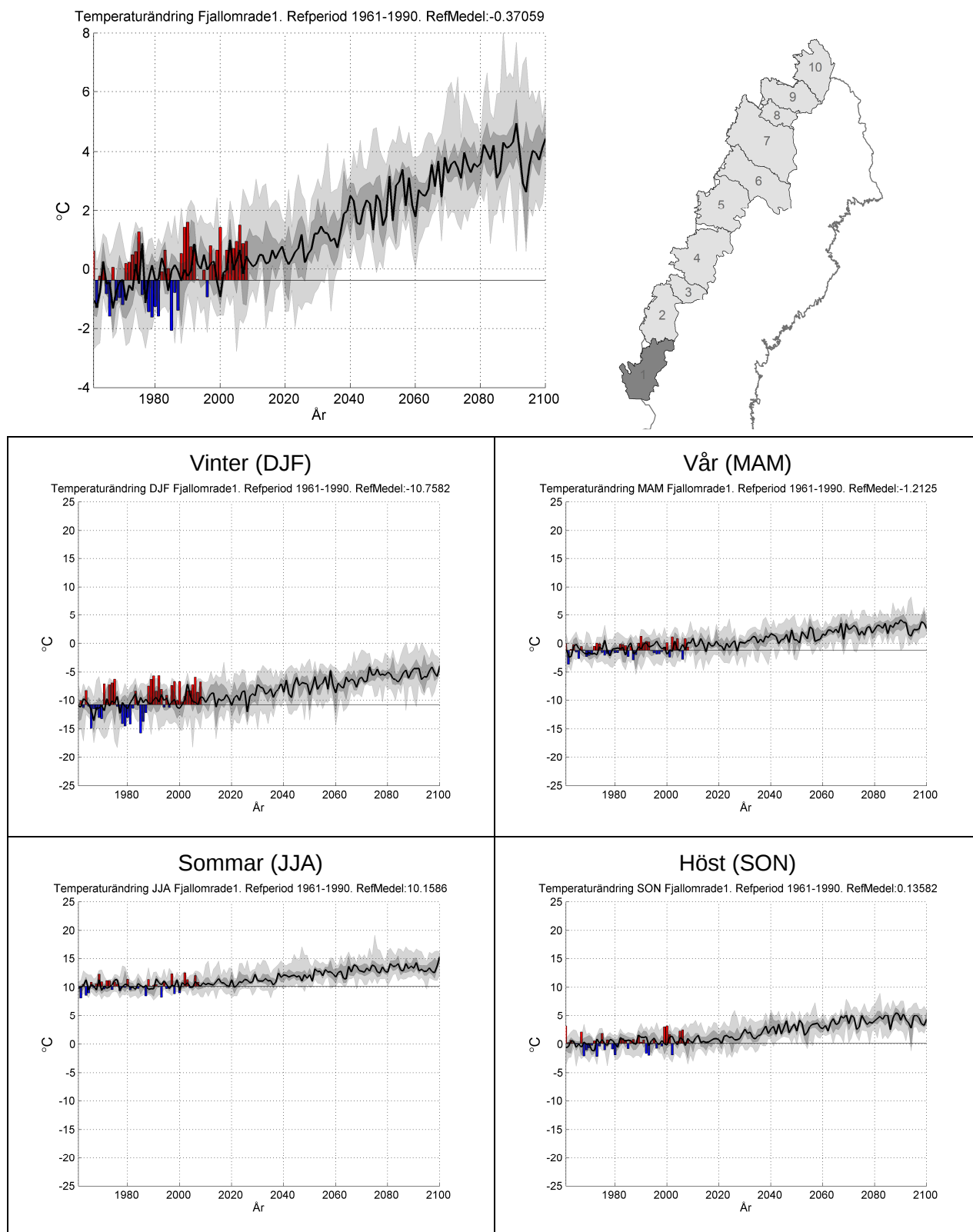
Den beräknade utveckling av årsmedeltemperatur för de utvalda områdena i fjällkedjan baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1 visas i Figur 4-2 till Figur 4-11. Årsmedeltemperaturen för respektive region under referensperioden 1961-1990 visas som en horisontell linje. Historiska observationer för områdena illustreras som avvikelse från medeltemperaturen med staplar. Positiv avvikelse visas i röda staplar och negativ avvikelse visas i blå staplar.

De olika skuggningarna är statistiska mått som beskriver variationen i resultat mellan olika klimatscenarier. Dessa fält är uppifrån och nedåt: maximalt värde, 75:e percentilen, 25:e percentilen

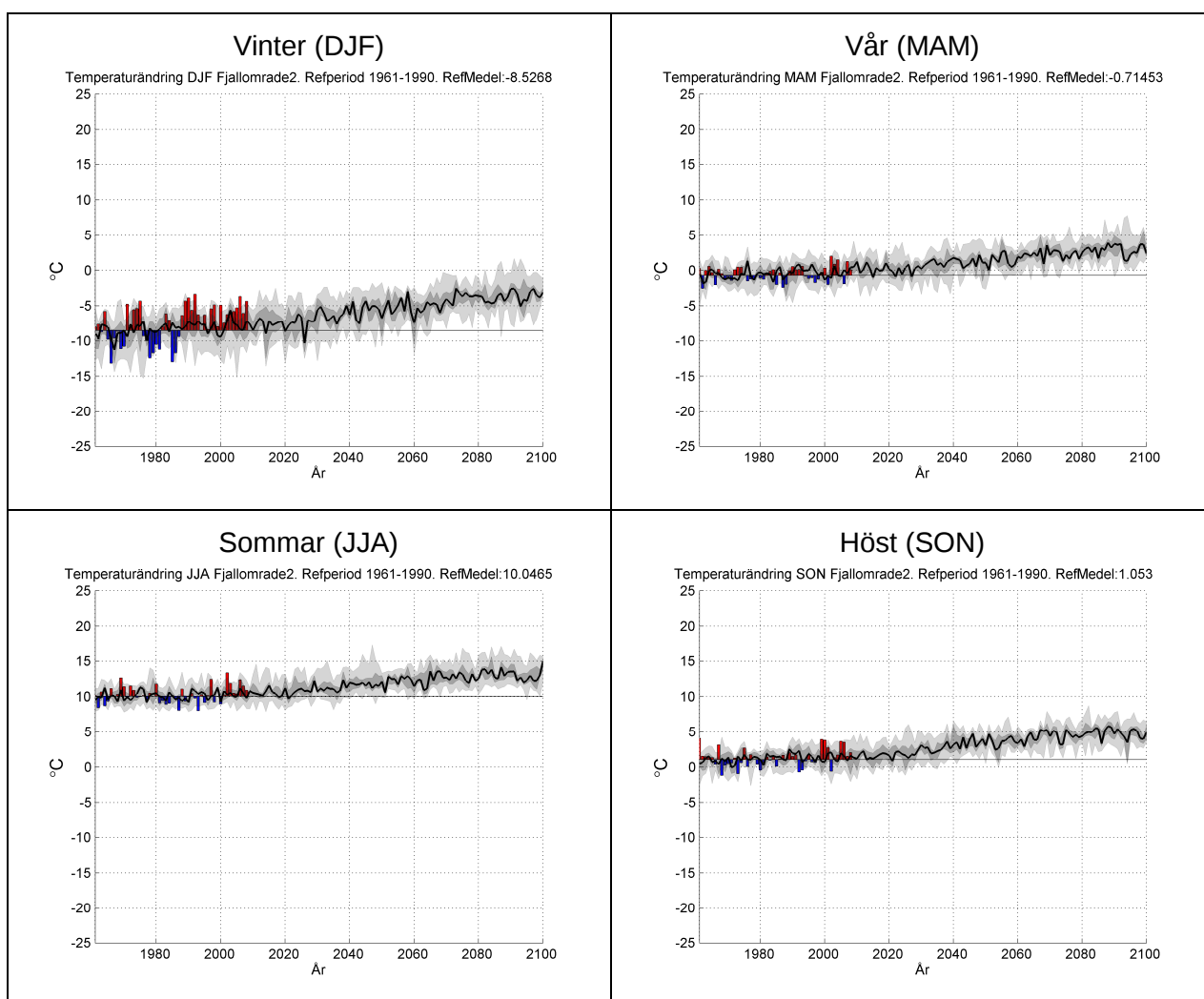
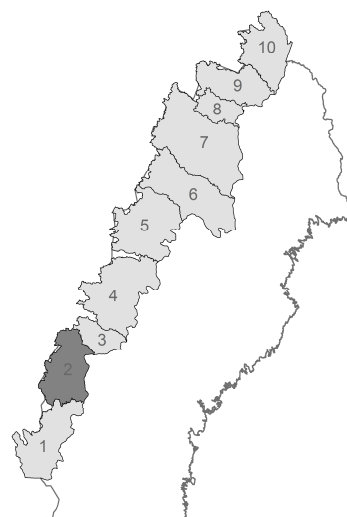
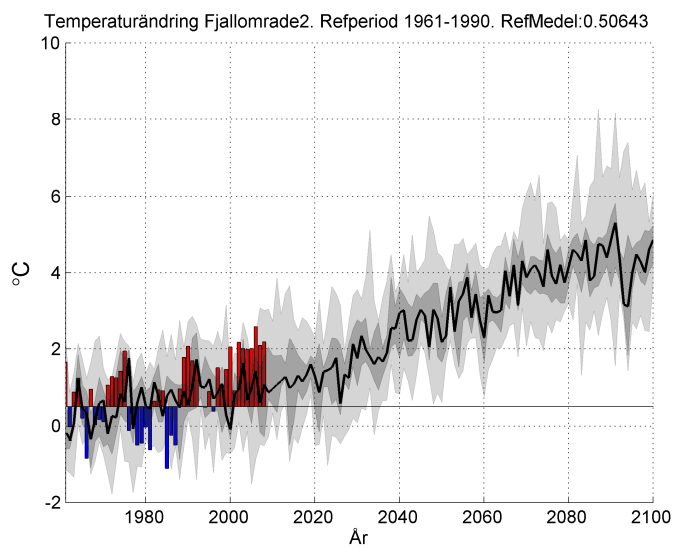
och minimalt värde från samtliga klimatscenarier jämfört med referensperioden. Medianvärdet av ensemblens klimatscenarier visas med en svart linje. Parallellt visas säsongsmedeltemperatur på samma sätt för varje region. Vinter definieras som december – februari (DJF), vår som mars – maj (MAM), sommar som juni – augusti (JJA) och höst som september – november (SON).

Resultaten visar på en gradvis ökning av årsmedeltemperaturen under resten av seklet för samtliga regioner. I många fall innebär detta att medeltemperaturen under vår och höst kan förskjutas från strax under noll till strax över mot slutet av seklet. Under vintersäsongen väntas temperaturen öka men medeltemperaturerna överstiger troligen inte noll under detta sekel.

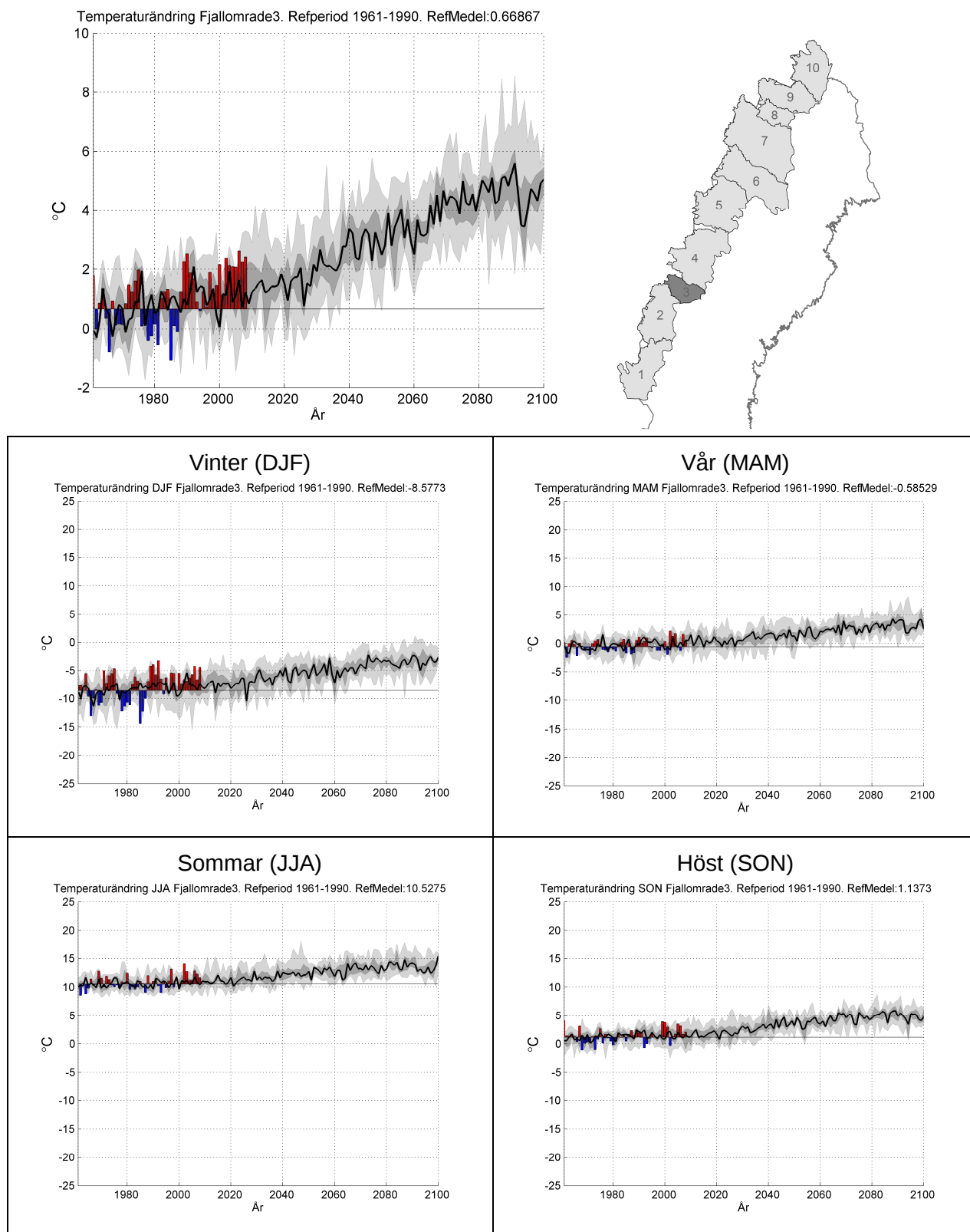
Generellt för figurerna är att trenden är likartad för de flesta klimatscenarier och att även de lägsta temperaturerna mot slutet av seklet med få undantag ligger på ett högre värde än referensperiodens medeltemperatur. Observera att medianen av klimatscenarioensemblen följer trenden i observationerna fram till 2009 mot högre värden.



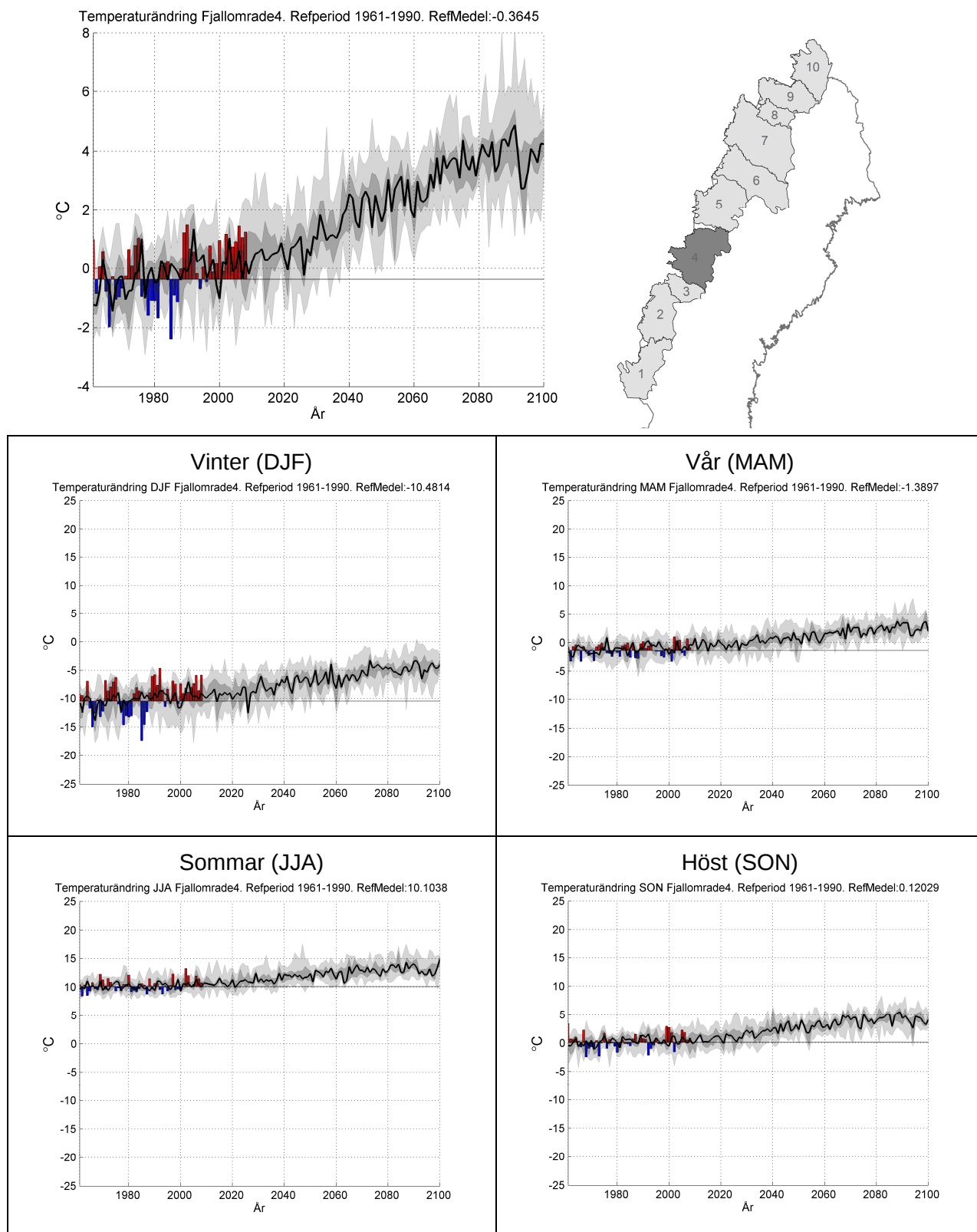
Figur 4-2. Övre figuren visar beräknad utveckling av årsmedeltemperatur i Fjällregion 1 baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Övriga figurer visar på motsvarande sätt temperaturutvecklingen under de fyra årstiderna.



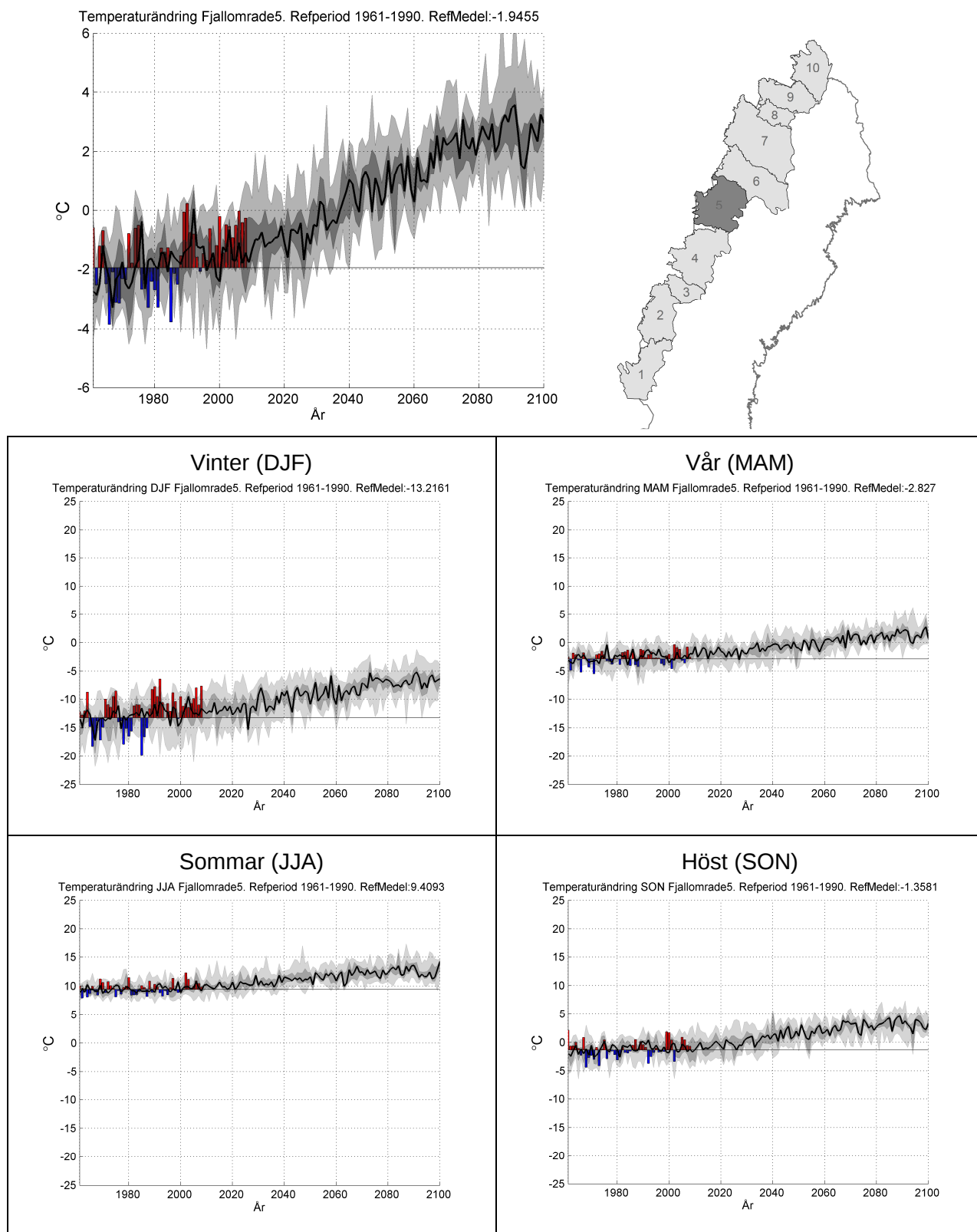
Figur 4-3. Övre figuren visar beräknad utveckling av årsmedeltemperatur i Fjällregion 2 baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Övriga figurer visar på motsvarande sätt temperaturutvecklingen under de fyra årstiderna.



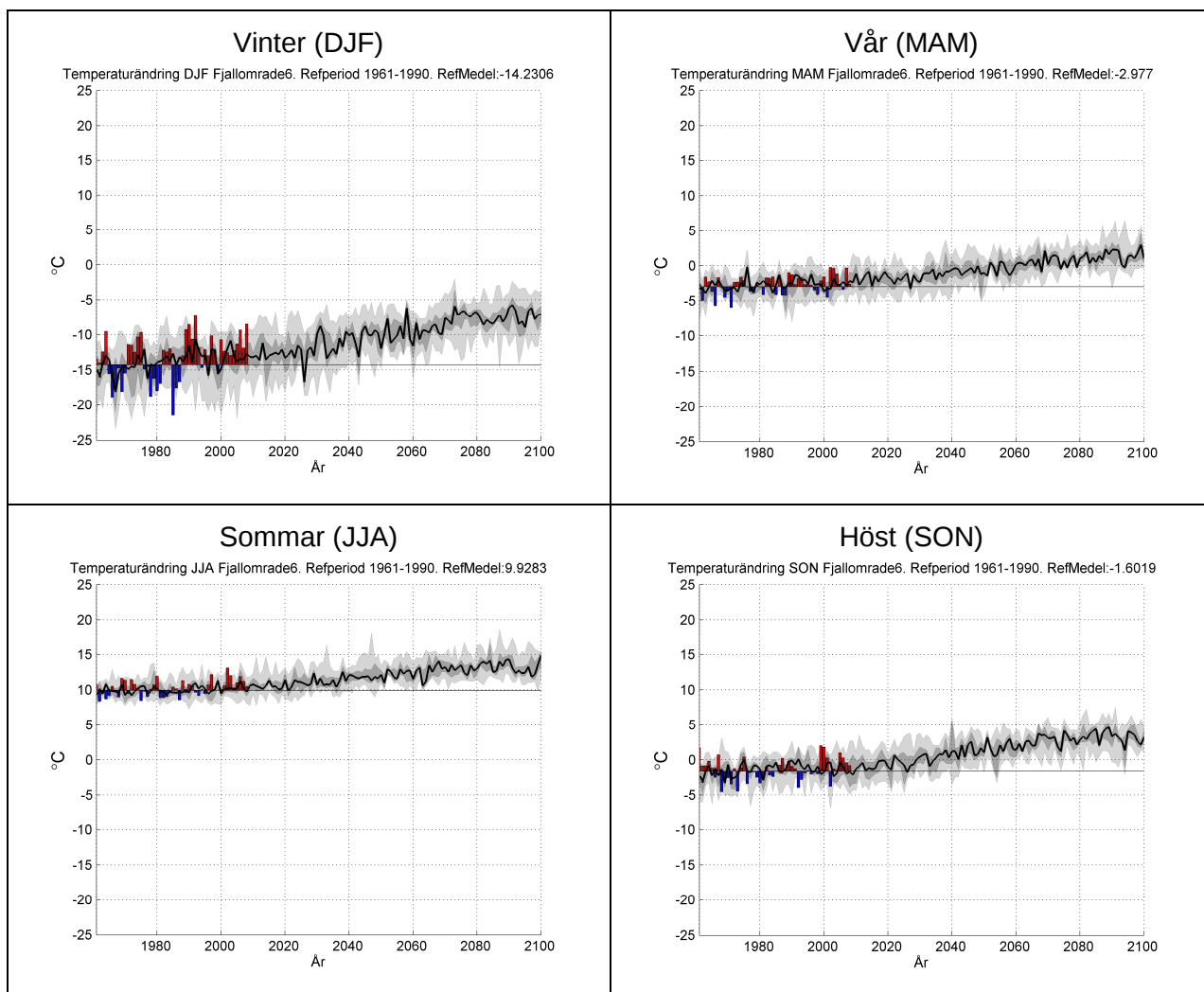
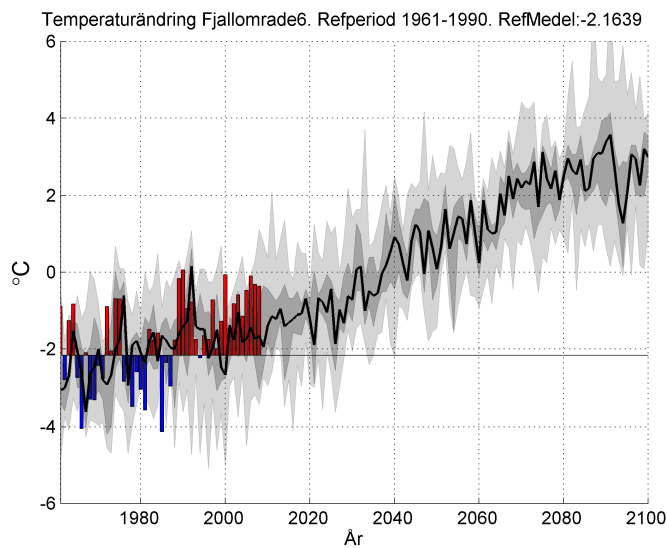
Figur 4-4. Övre figuren visar beräknad utveckling av årsmedeltemperatur i Fjällregion 3 baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximumvärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Övriga figurer visar på motsvarande sätt temperaturutvecklingen under de fyra årstiderna.



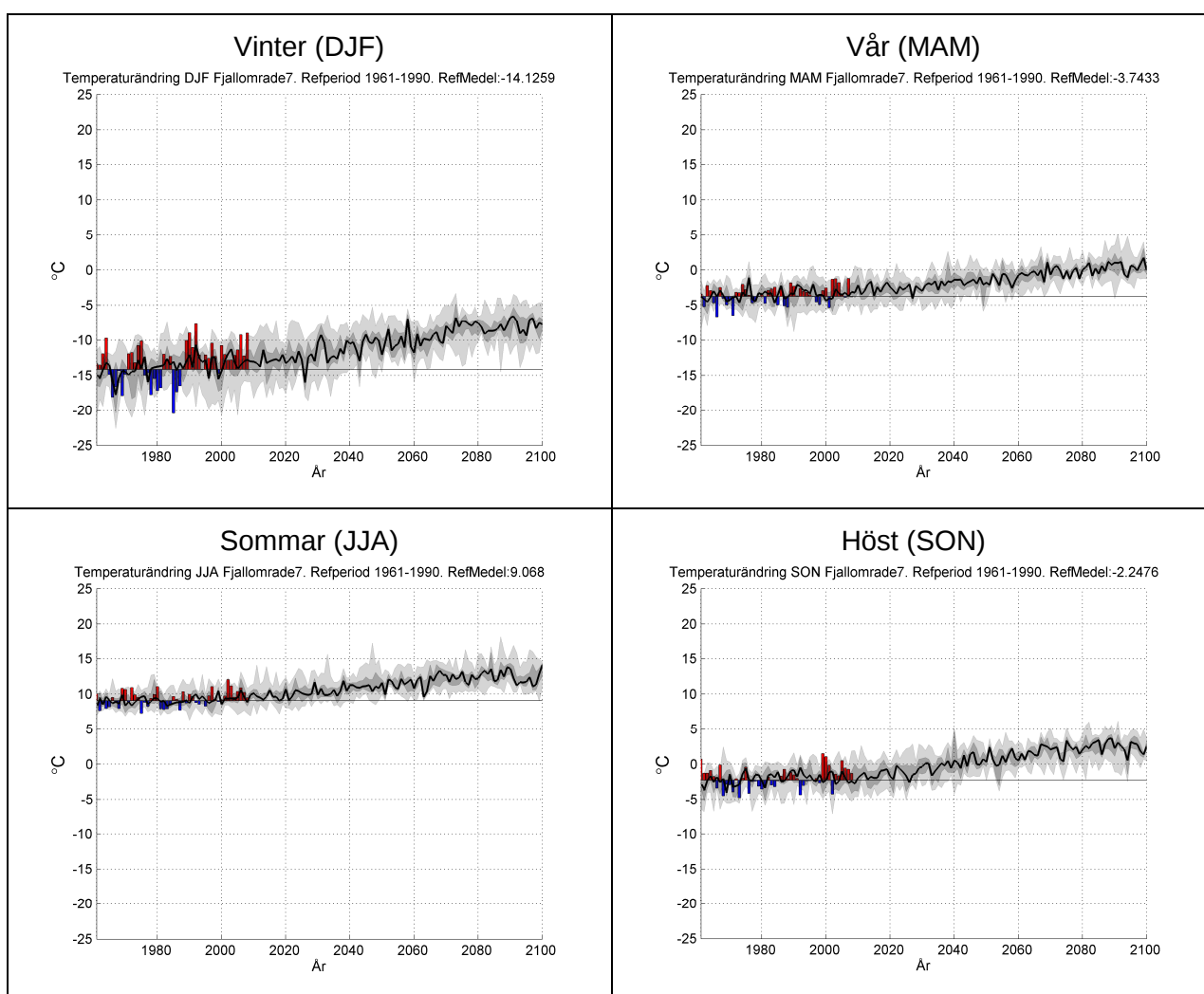
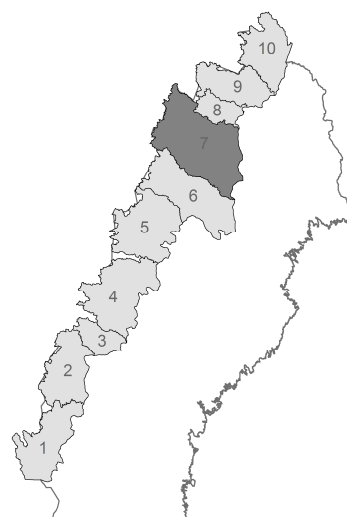
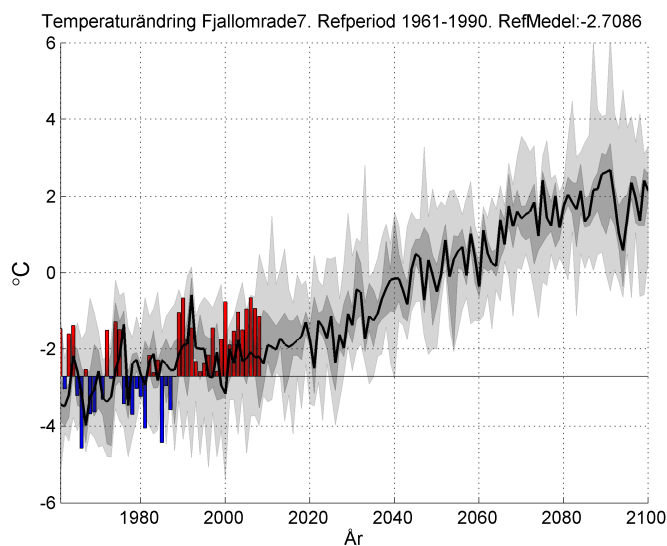
Figur 4-5. Övre figuren visar beräknad utveckling av årsmedeltemperatur i Fjällregion 4 baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximumvärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Övriga figurer visar på motsvarande sätt temperaturutvecklingen under de fyra årstiderna.



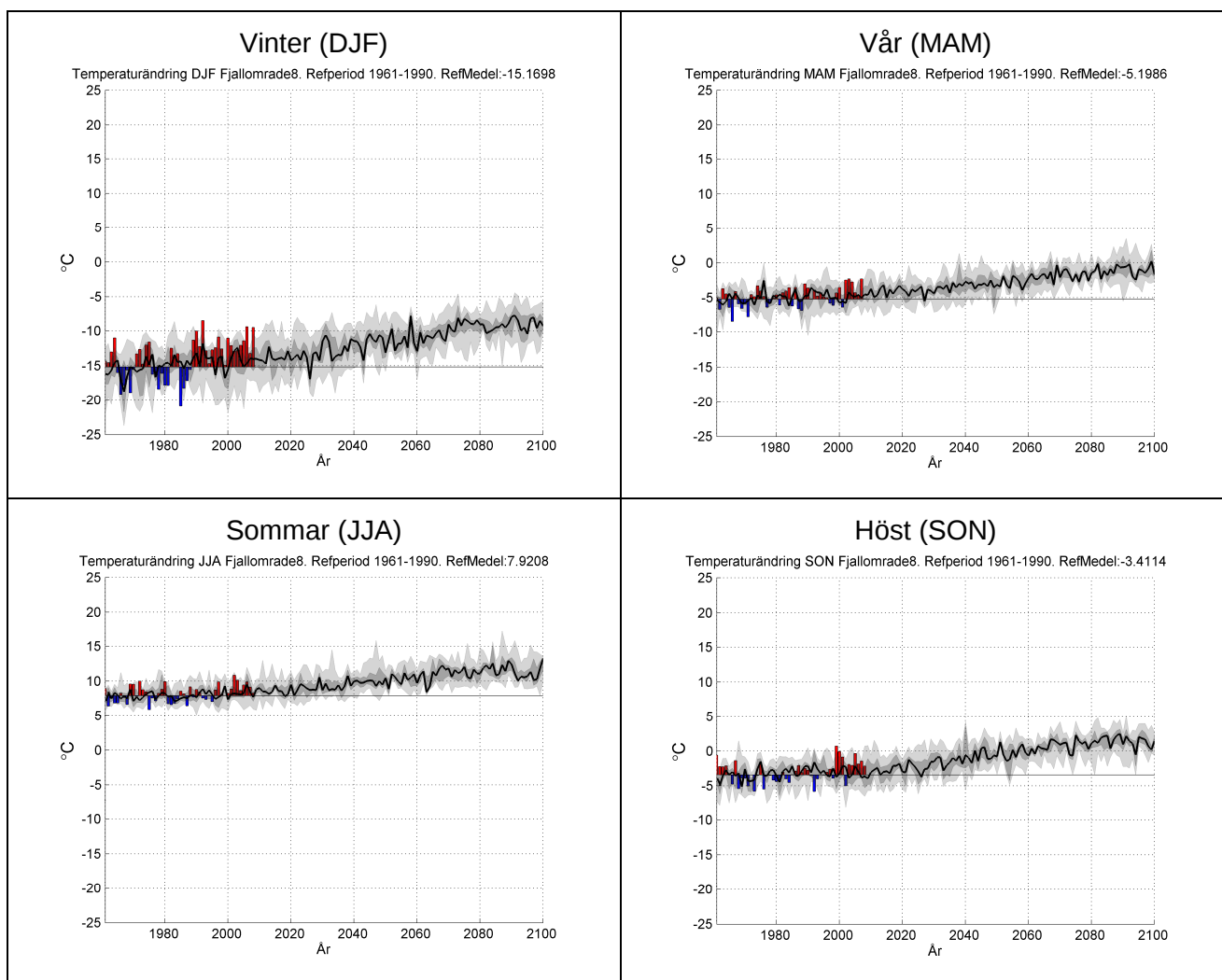
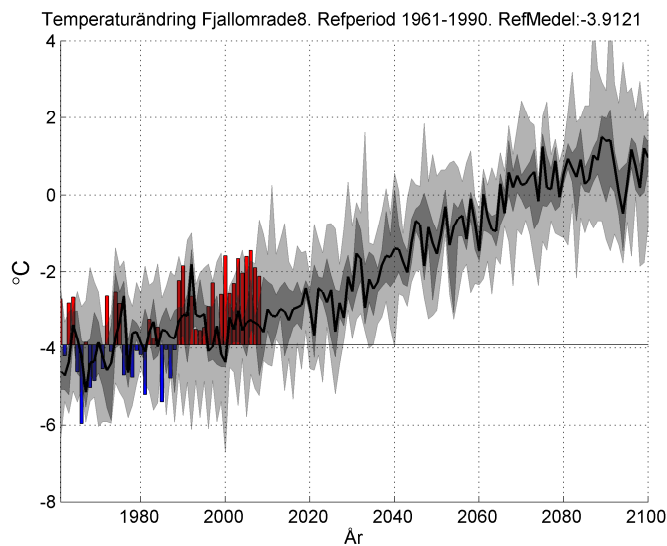
Figur 4-6. Övre figuren visar beräknad utveckling av årsmedeltemperatur i Fjällregion 5 baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximumvärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Övriga figurer visar på motsvarande sätt temperaturutvecklingen under de fyra årstiderna..



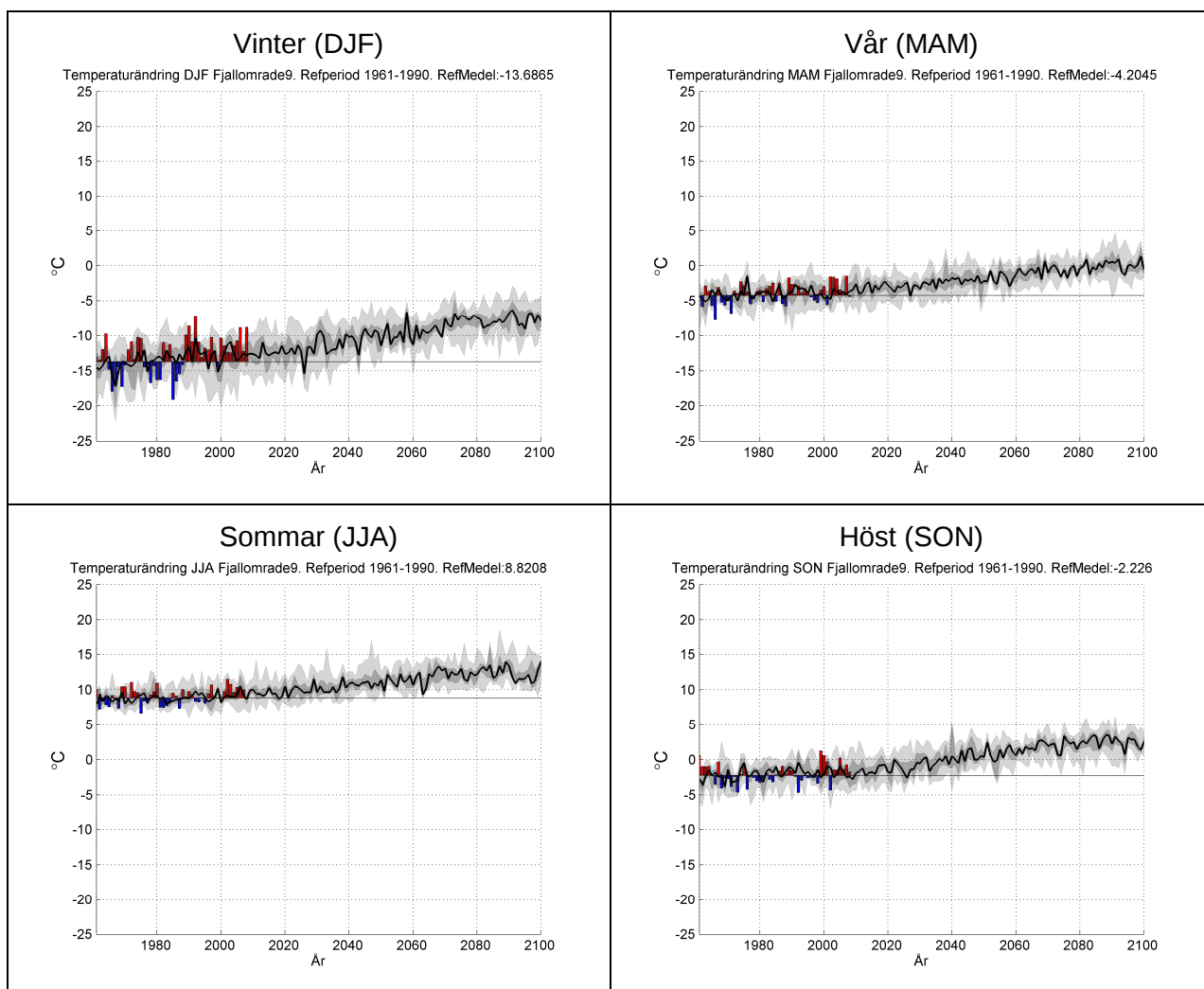
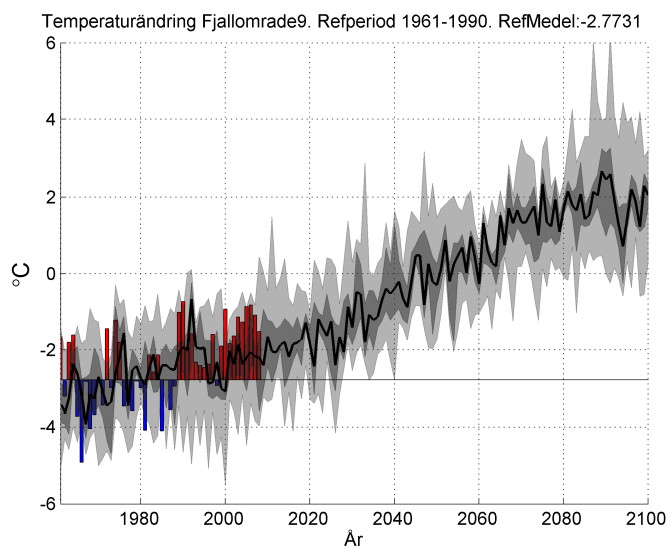
Figur 4-7. Övre figuren visar beräknad utveckling av årsmedeltemperatur i Fjällregion 6 baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Övriga figurer visar på motsvarande sätt temperaturutvecklingen under de fyra årstiderna.



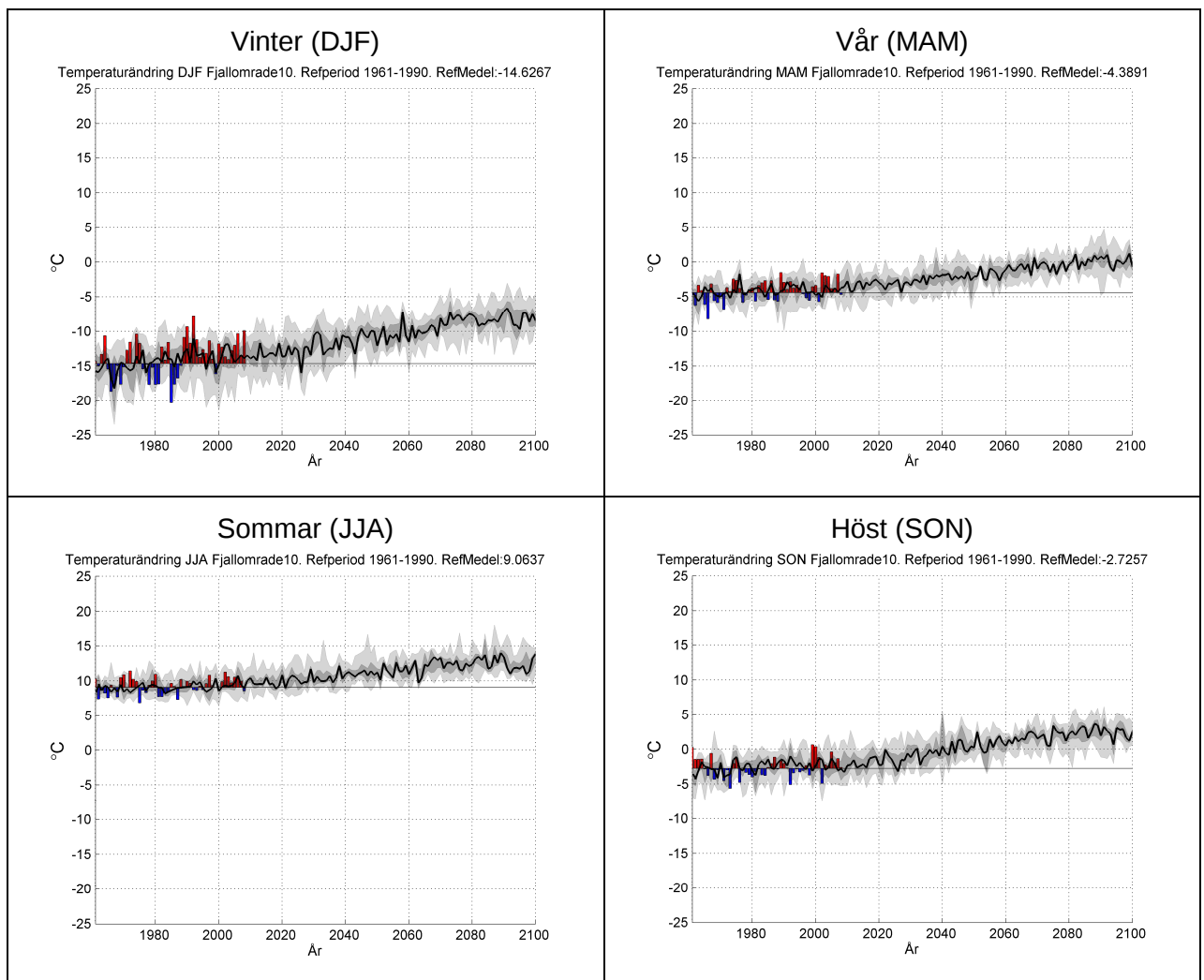
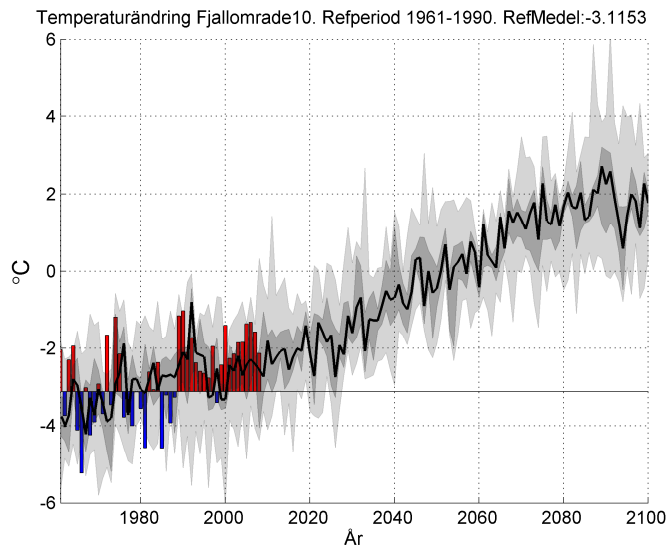
Figur 4-8. Övre figuren visar beräknad utveckling av årsmedeltemperatur i Fjällregion 7 baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Övriga figurer visar på motsvarande sätt temperaturutvecklingen under de fyra årstiderna.



Figur 4-9. Övre figuren visar beräknad utveckling av årsmedeltemperatur i Fjällregion 8 baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Övriga figurer visar på motsvarande sätt temperaturutvecklingen under de fyra årstiderna.



Figur 4-10. Övre figuren visar beräknad utveckling av årsmedeltemperatur i Fjällregion 9 baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Övriga figurer visar på motsvarande sätt temperaturutvecklingen under de fyra årstiderna.



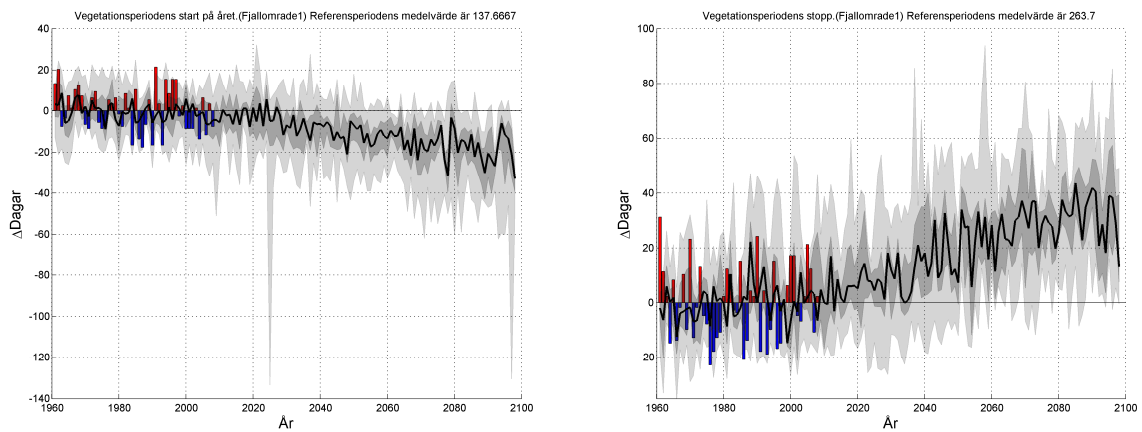
Figur 4-11. Övre figuren visar beräknad utveckling av årsmedeltemperatur i Fjällregion 10 baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximumvärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimumvärdet av årsmedeltemperaturen från samtliga klimatberäkningar. Övriga figurer visar på motsvarande sätt temperaturutvecklingen under de fyra årstiderna.

### 4.1.3 Vegetationsperiodens start, slut och längd

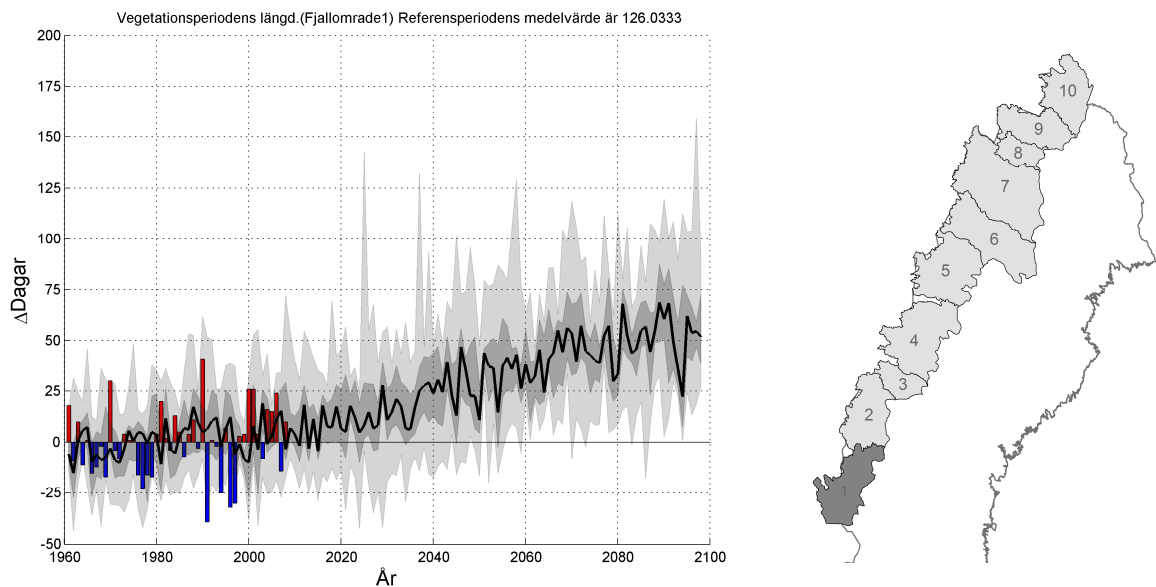
För att undersöka hur växt- och odlingssäsongerna kommer att påverkas av ett framtida varmare klimat studeras vegetationsperioden. Vegetationsperiodens start har beräknats som första tillfället för varje år då dygnsmedeltemperaturen överstiger 5 °C under 4 dagar i följd. På motsvarande sätt har vegetationsperiodens slut beräknats som sista tillfället då dygnsmedeltemperaturen överstiger 5 °C under 4 dagar i följd. Antal dygn mellan dessa tillfällen definieras som vegetationsperiodens längd.

Resultaten presenteras relativt referensperioden 1961-1990 och visas i Figur 4-12 till Figur 4-31 för respektive fjällregion. Utifrån referensperiodens dagnummer för växtsäsongens start redovisas observerade år med senare vegetationsstart som röda staplar och observerade år med tidigare vegetationsstart som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar. På motsvarande sätt visas vegetationsperiodens slut. Vegetationsperiodens längd redovisas som avvikelse från vegetationsperiodens medellängd under referensperioden.

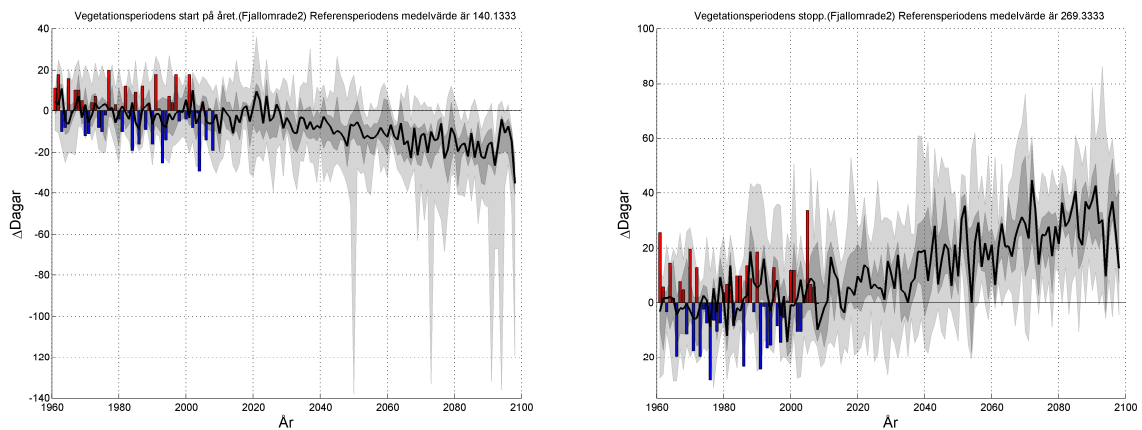
Resultaten visar att vegetationsperioden beräknas infalla tidigare och sluta senare under året i ett framtida varmare klimat. Förändringen sker snabbare avseende vegetationsperiodens slut. Resultaten är relativt lika för delregionerna. Vaxtsäsongens längd ökar gradvis då medeltemperaturen väntas stiga. Det förekommer en viss spridning i resultaten, men medianen av klimatscenariernas ensemble för vegetationsperiodens längd ligger mellan 25 och 75 dagar över referensperiodernas medel mot slutet av seklet. Största ökningen av vegetationsperioden sker mot hösten.



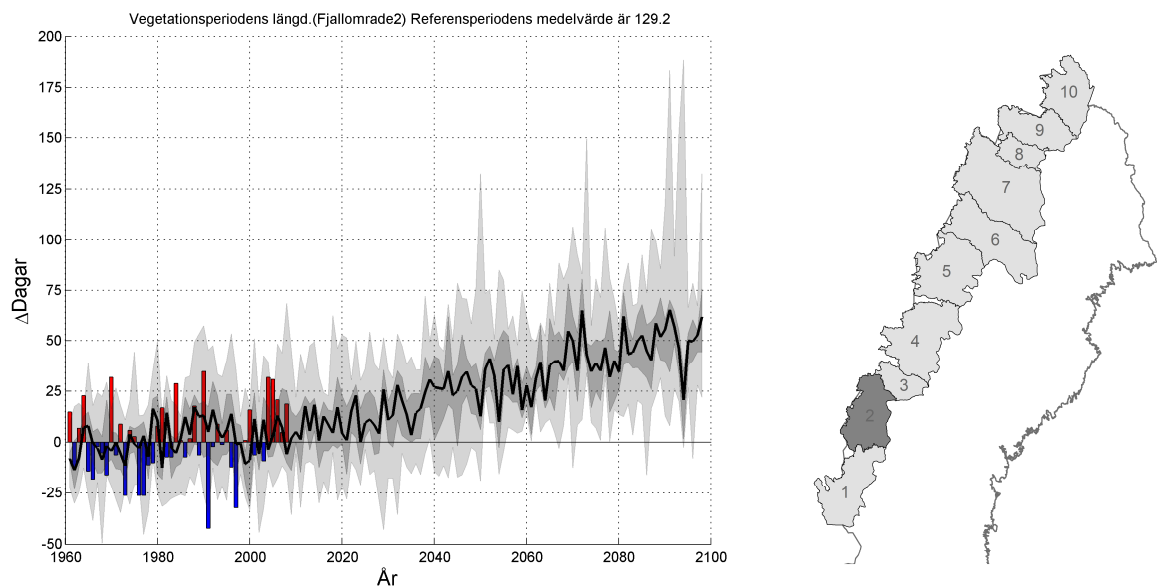
Figur 4-12. Vegetationsperiodens start (till vänster) och slut (till höger) på året relativt referensperioden 1961-1990 för fjällregion 1. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.



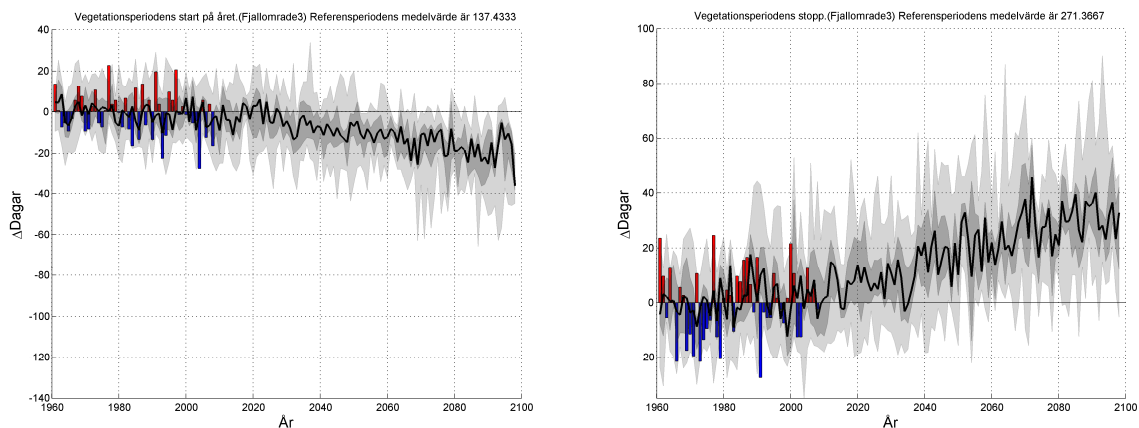
Figur 4-13. Vegetationsperiodens längd relativt referensperioden 1961-1990 för fjällregion 1. Historiska observationer visas som staplar. Observerade perioder längre än referensperiodens medellängd visas som röda staplar och perioder kortare än referensperiodens medellängd visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.



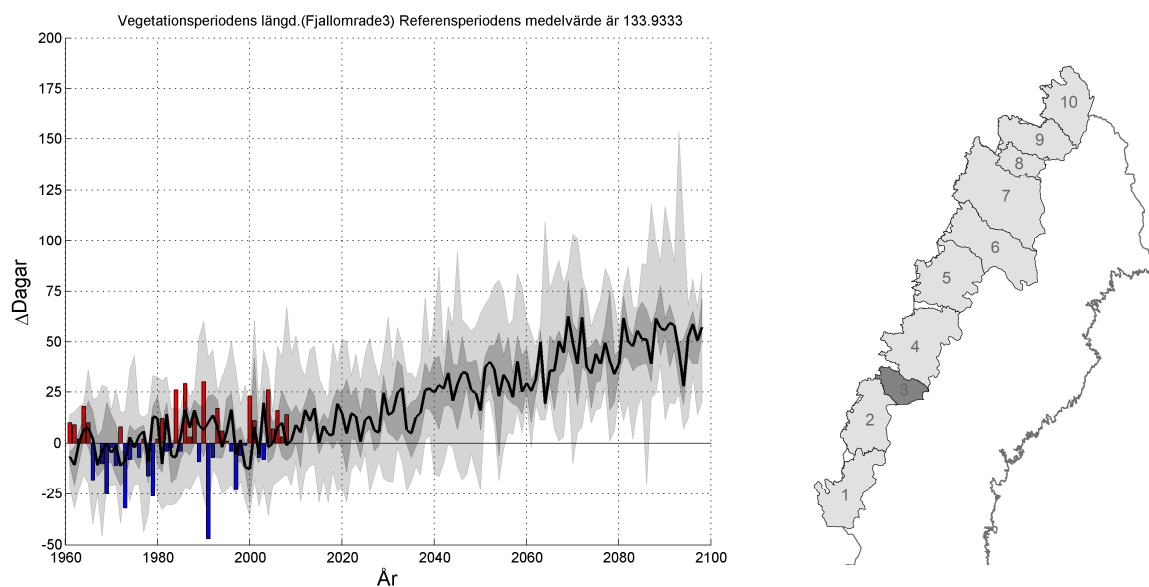
Figur 4-14. Vegetationsperiodens start (till vänster) och slut (till höger) på året relativt referensperioden 1961-1990 för fjällregion 2. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.



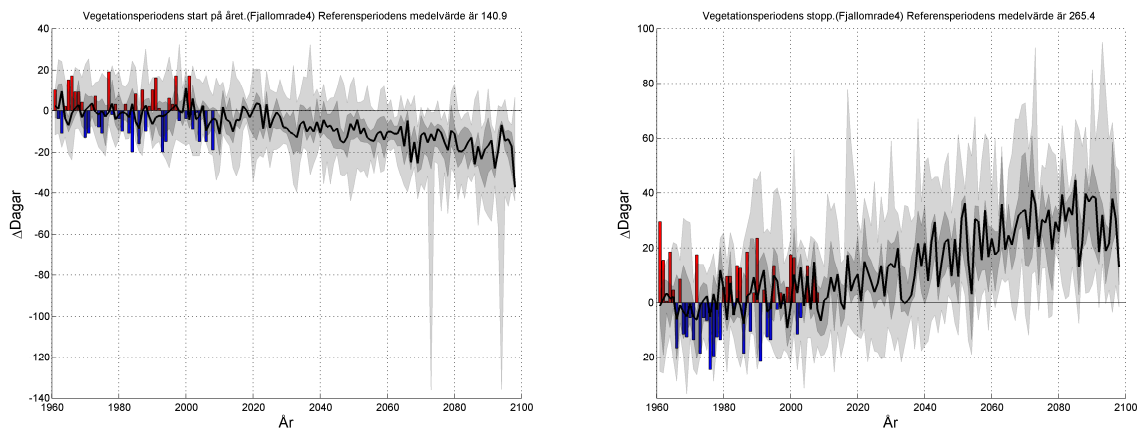
Figur 4-15. Vegetationsperiodens längd relativt referensperioden 1961-1990 för fjällregion 2. Historiska observationer visas som staplar. Observerade perioder längre än referensperiodens medellängd visas som röda staplar och perioder kortare än referensperiodens medellängd visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.



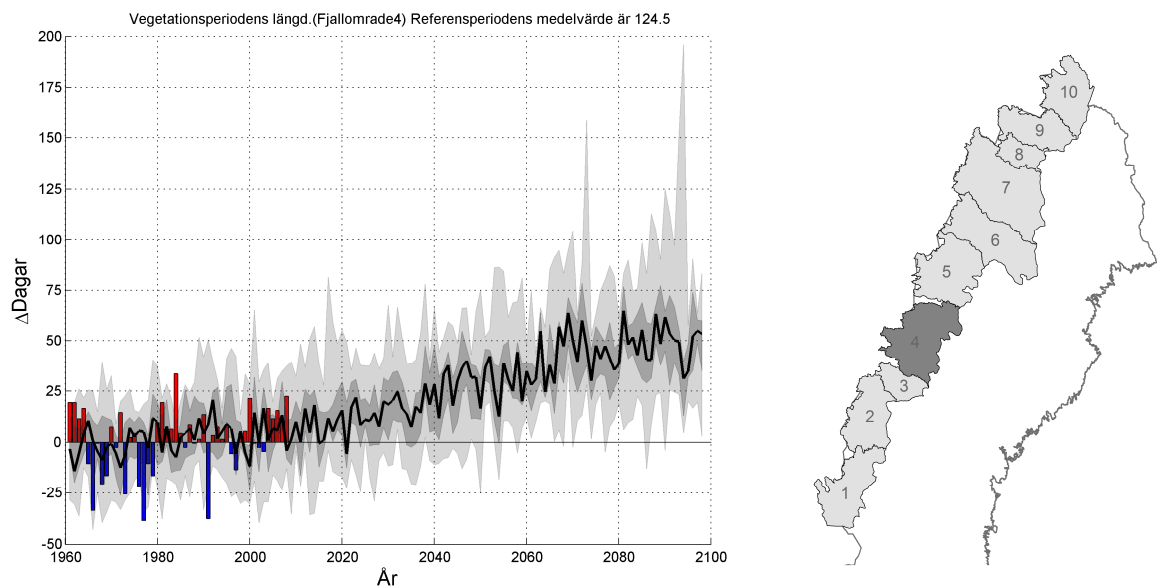
Figur 4-16. Vegetationsperiodens start (till vänster) och slut (till höger) på året relativt referensperioden 1961-1990 för fjällregion 3. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.



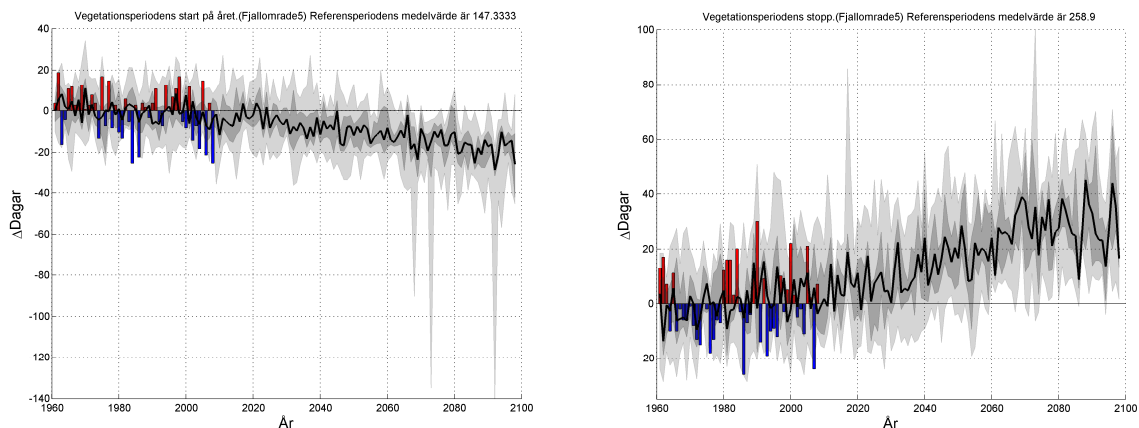
Figur 4-17. Vegetationsperiodens längd relativt referensperioden 1961-1990 för fjällregion 3. Historiska observationer visas som staplar. Observerade perioder längre än referensperiodens medellängd visas som röda staplar och perioder kortare än referensperiodens medellängd visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.



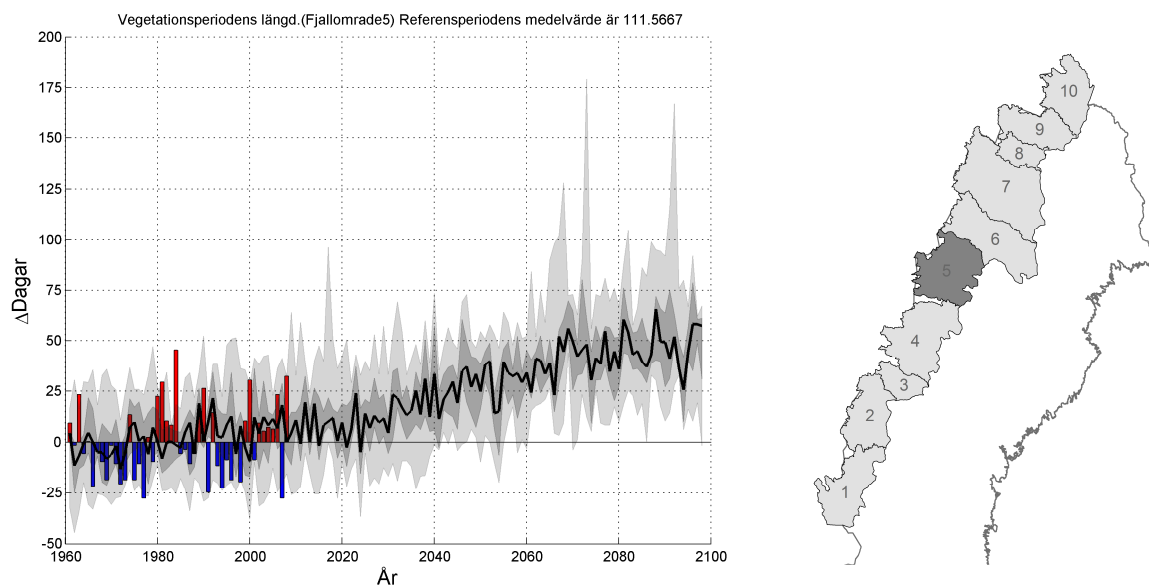
Figur 4-18. Vegetationsperiodens start (till vänster) och slut (till höger) på året relativt referensperioden 1961-1990 för fjällregion 4. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.



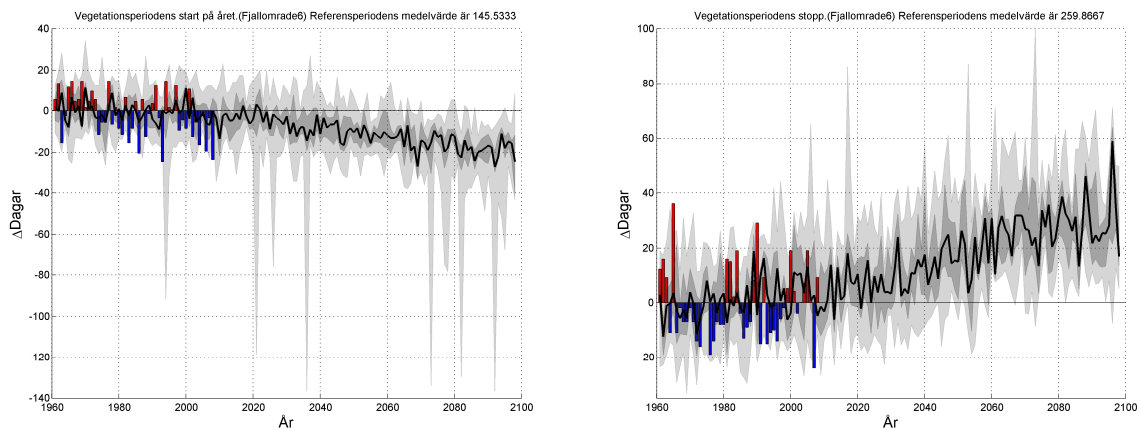
Figur 4-19. Vegetationsperiodens längd relativt referensperioden 1961-1990 för fjällregion 4. Historiska observationer visas som staplar. Observerade perioder längre än referensperiodens medellängd visas som röda staplar och perioder kortare än referensperiodens medellängd visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.



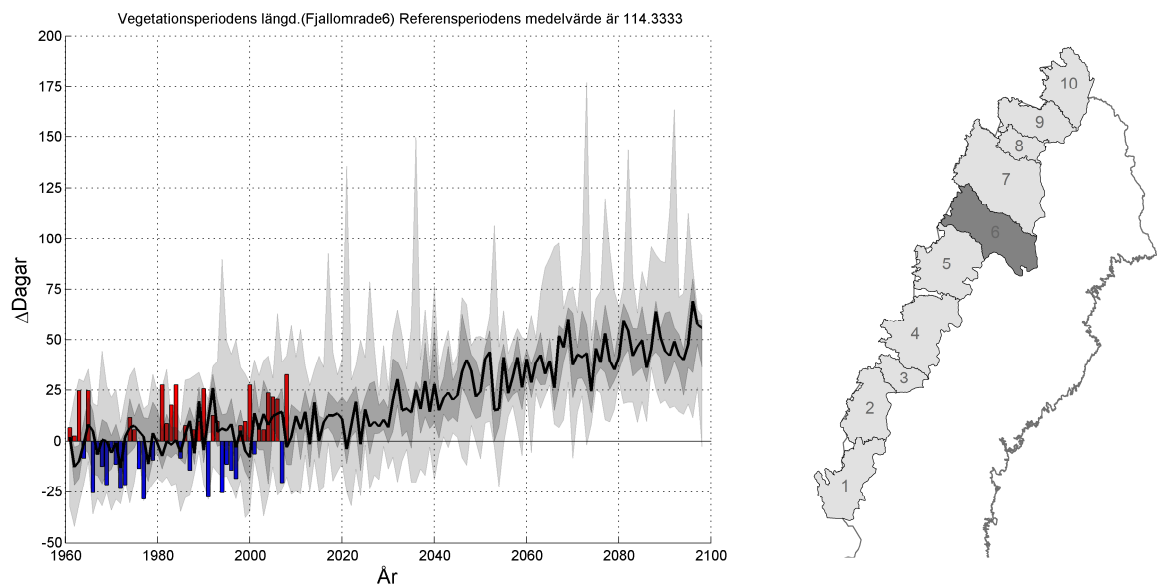
Figur 4-20. Vegetationsperiodens start (till vänster) och slut (till höger) på året relativt referensperioden 1961-1990 för fjällregion 5. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.



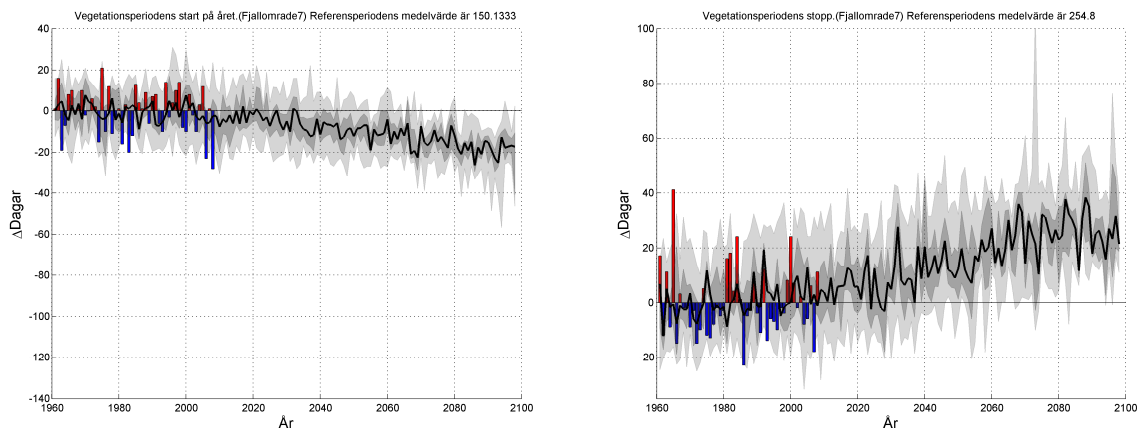
Figur 4-21. Vegetationsperiodens längd relativt referensperioden 1961-1990 för fjällregion 5. Historiska observationer visas som staplar. Observerade perioder längre än referensperiodens medellängd visas som röda staplar och perioder kortare än referensperiodens medellängd visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.



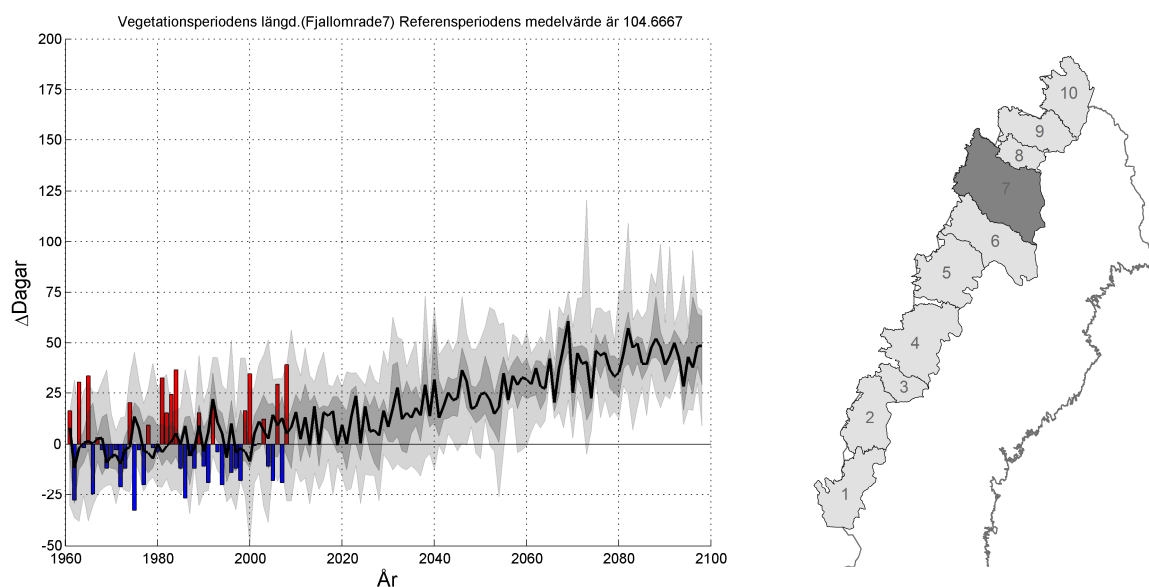
Figur 4-22. Vegetationsperiodens start (till vänster) och slut (till höger) på året relativt referensperioden 1961-1990 för fjällregion 6. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.



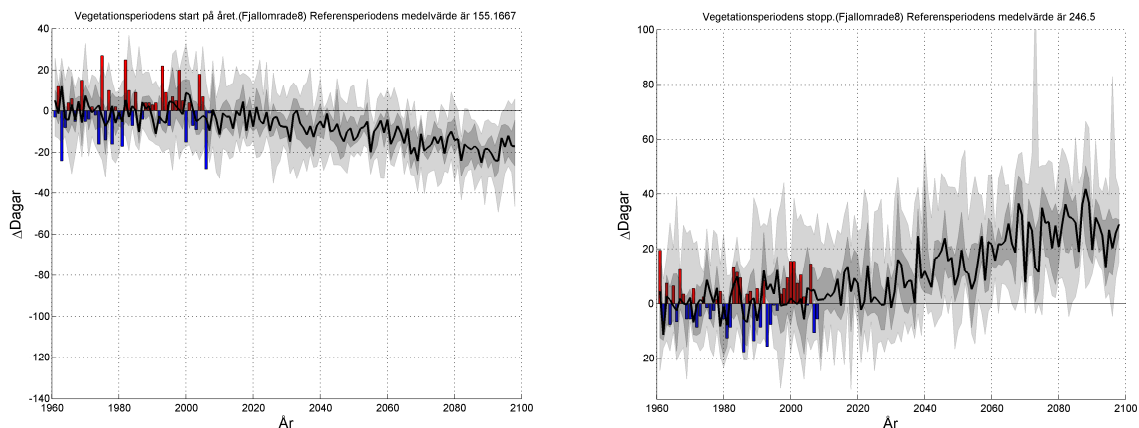
Figur 4-23. Vegetationsperiodens längd relativt referensperioden 1961-1990 för fjällregion 6. Historiska observationer visas som staplar. Observerade perioder längre än referensperiodens medellängd visas som röda staplar och perioder kortare än referensperiodens medellängd visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.



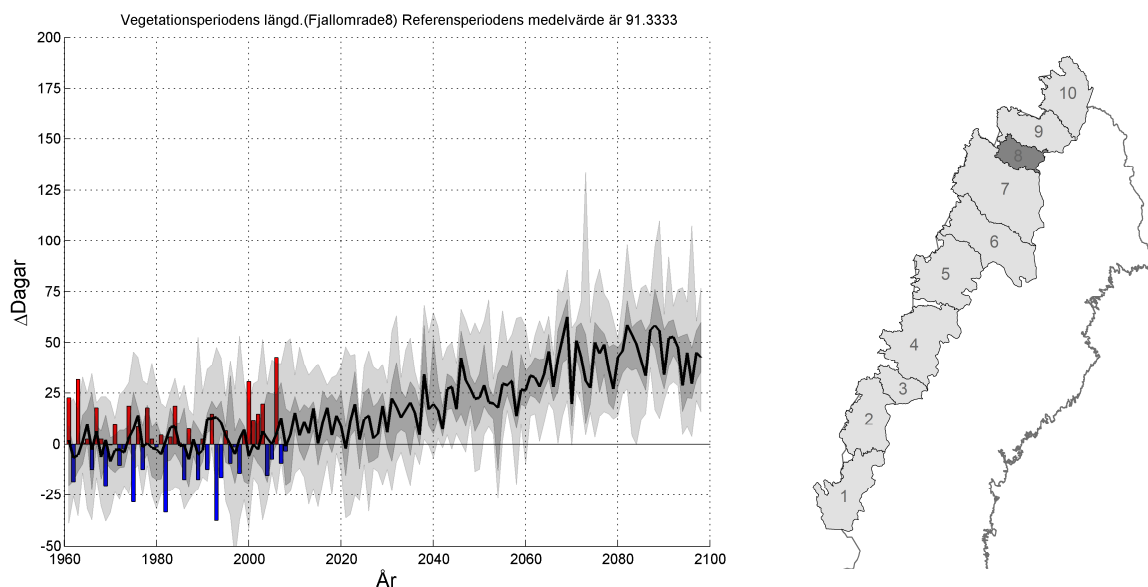
Figur 4-24. Vegetationsperiodens start (till vänster) och slut (till höger) på året relativt referensperioden 1961-1990 för fjällregion 7. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.



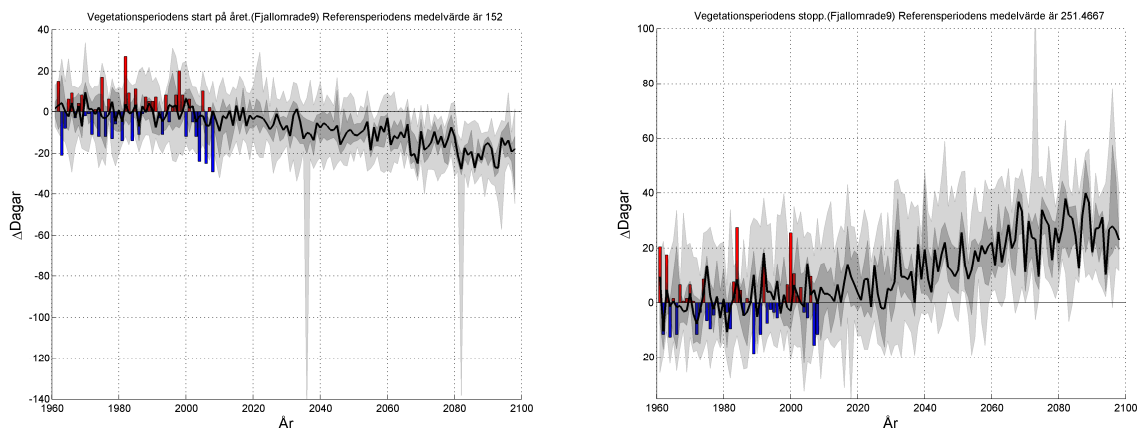
Figur 4-25. Vegetationsperiodens längd relativt referensperioden 1961-1990 för fjällregion 7. Historiska observationer visas som staplar. Observerade perioder längre än referensperiodens medellängd visas som röda staplar och perioder kortare än referensperiodens medellängd visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.



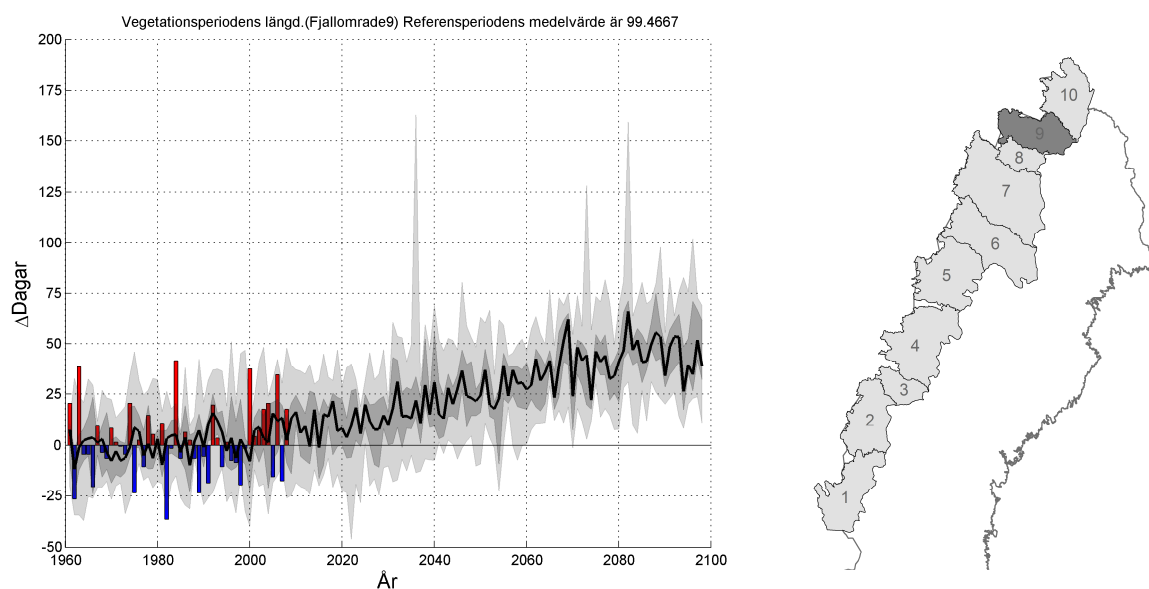
Figur 4-26. Vegetationsperiodens start (till vänster) och slut (till höger) på året relativt referensperioden 1961-1990 för fjällregion 8. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.



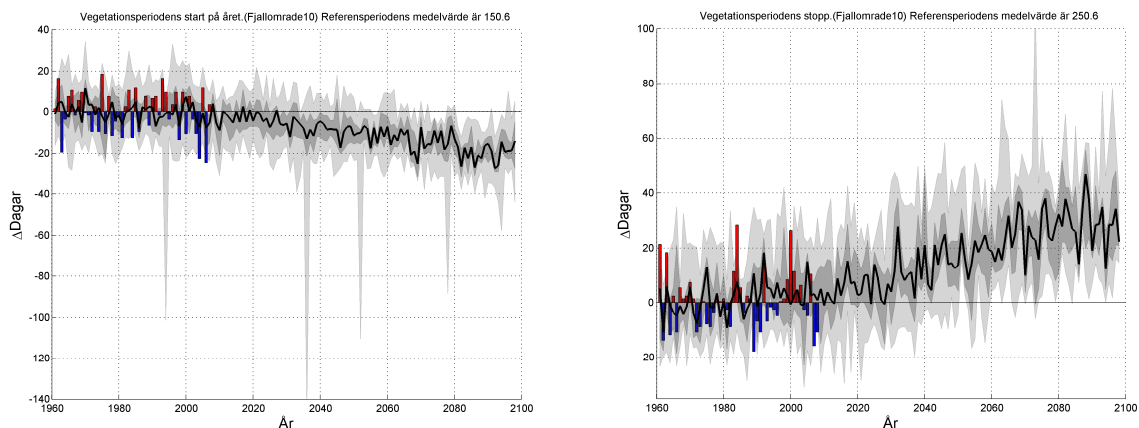
Figur 4-27. Vegetationsperiodens längd relativt referensperioden 1961-1990 för fjällregion 8. Historiska observationer visas som staplar. Observerade perioder längre än referensperiodens medellängd visas som röda staplar och perioder kortare än referensperiodens medellängd visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.



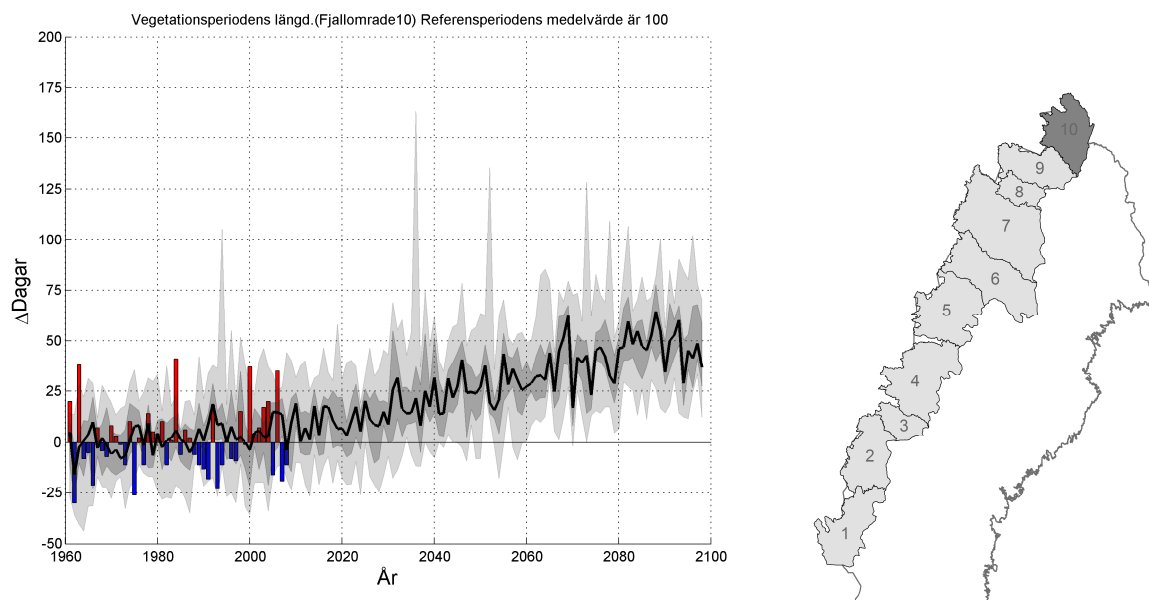
Figur 4-28. Vegetationsperiodens start (till vänster) och slut (till höger) på året relativt referensperioden 1961-1990 för fjällregion 9. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.



Figur 4-29. Vegetationsperiodens längd relativt referensperioden 1961-1990 för fjällregion 9. Historiska observationer visas som staplar. Observerade perioder längre än referensperiodens medellängd visas som röda staplar och perioder kortare än referensperiodens medellängd visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.



Figur 4-30. Vegetationsperiodens start (till vänster) och slut (till höger) på året relativt referensperioden 1961-1990 för fjällregion 10. Historiska observationer visas som staplar. Observerade värden större än referensperiodens medelvärde visas som röda staplar och lägre värden visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.



Figur 4-31. Vegetationsperiodens längd relativt referensperioden 1961-1990 för fjällregion 10. Historiska observationer visas som staplar. Observerade perioder längre än referensperiodens medellängd visas som röda staplar och perioder kortare än referensperiodens medellängd visas som blå staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar.

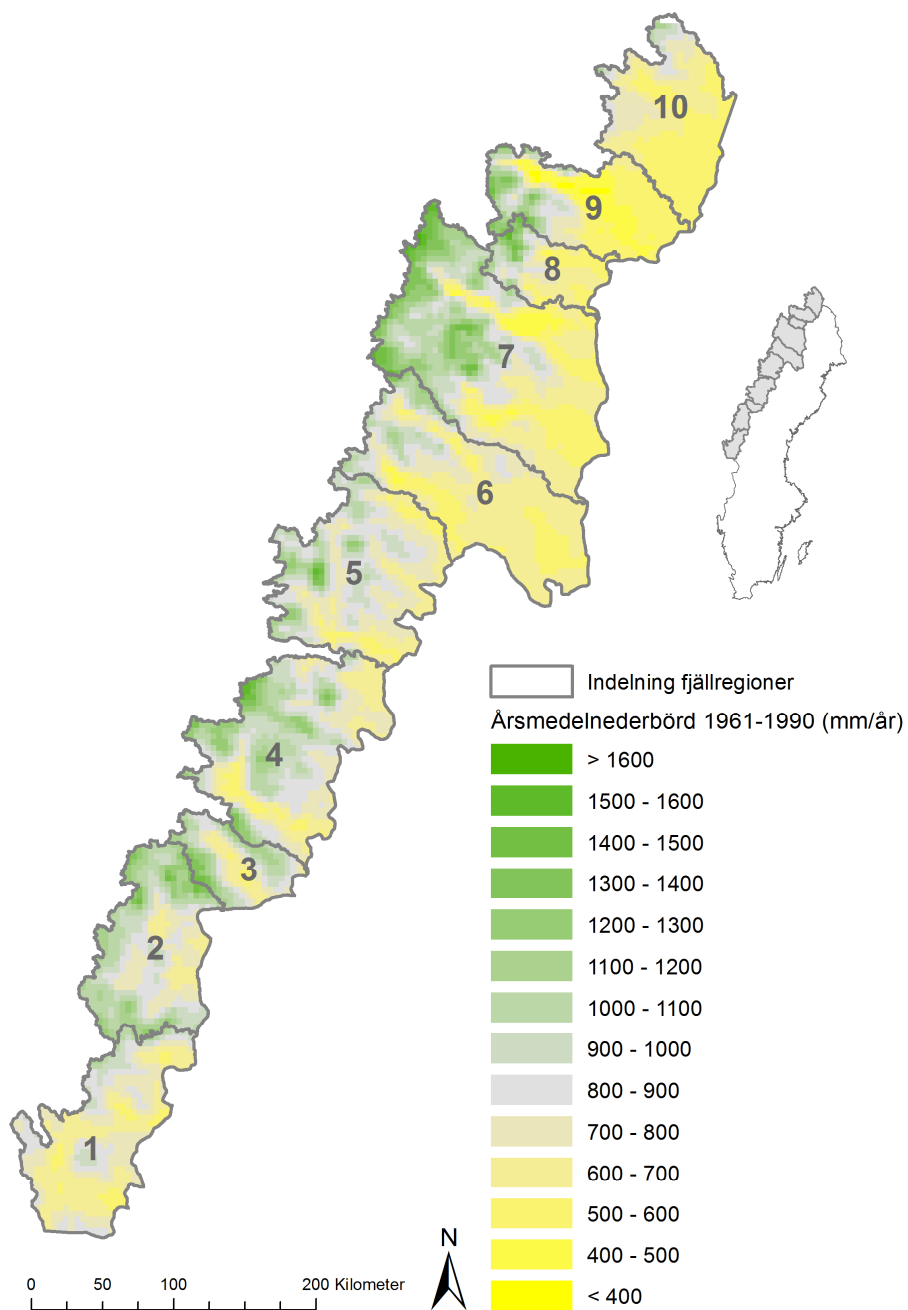
## **4.2 Nederbörd**

### **4.2.1 Referensperiodens nederbörd**

Nederbörd varierar till skillnad från temperaturen avsevärt både i tid och rum. Nederbördens varaktighet och intensitet är nära kopplat till den mekanism som genererar nederbörden. De vanligaste mekanismerna är frontal nederbörd, orografisk nederbörd samt konvektiv nederbörd (Bergström, 1993).

Frontal nederbörd faller i samband med kall- och varmfrontspassager och ger relativt jämnt fördelad nederbörd över stora områden och faller med låg intensitet. Konvektiv nederbörd faller sommartid då luften värms kraftigt lokalt och stiger högt upp i atmosfären. Ofta bildas åskoväder på detta sätt. Karakteristiskt är stora lokala variationer, hög intensitet och kort varaktighet. Orografisk nederbörd uppstår när en luftmassa tvingas över ett bergsparti. Nederbörden ökar på vindsidan och minskar på läsida av bergspartiet, något som ofta samverkar med frontala och konvektiva nederbördstillfällen. Nederbörd har, sett över större områden, en tendens att öka med höjden vilket leder till att fjällkedjan generellt har högre årsnederbörd än resten av landet.

På motsvarande sätt som för temperatur har interpolerad areell nederbörd från PTHBV analyserats för studieområdet. Årsmedelnederbörden över analysområdet var för perioden 1961 – 1990 mellan ca 390 och 1640 mm. Medelvärde över hela området var för samma period 810 mm/år. Generellt sett ökar nederbörden från de östra till de västra delarna vilket beror på orografin och att nederbörden vanligen kommer in över landet från väster.



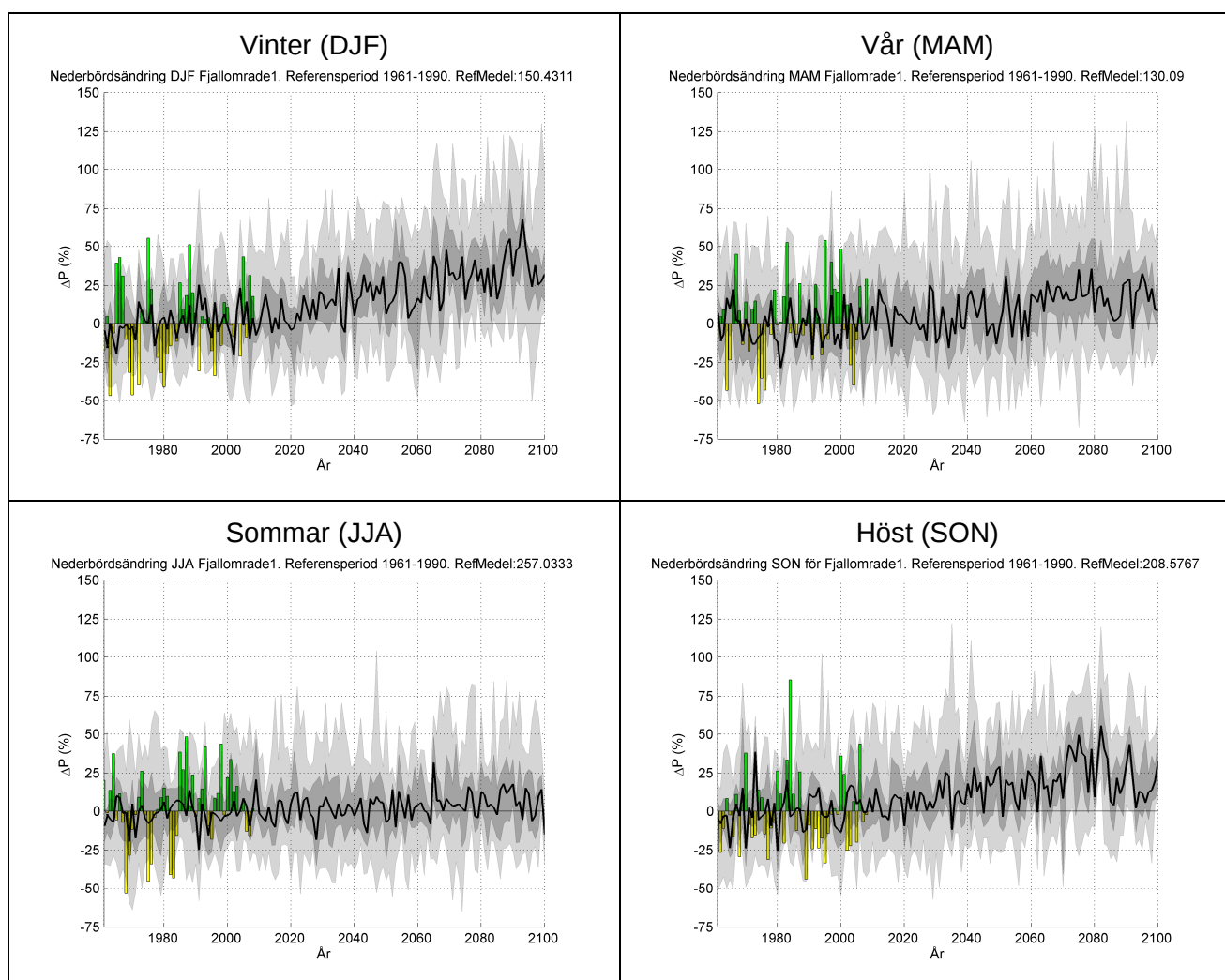
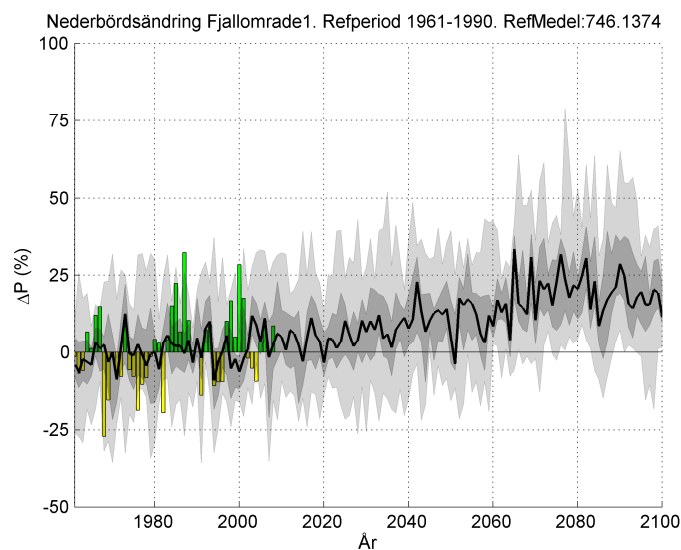
Figur 4-32. Årsmedelnederbörd i fjällkedjan under referensperioden 1961 – 1990 med data från PTHBV.

#### 4.2.2 Medelnederbörd för år och säsong framtida klimat

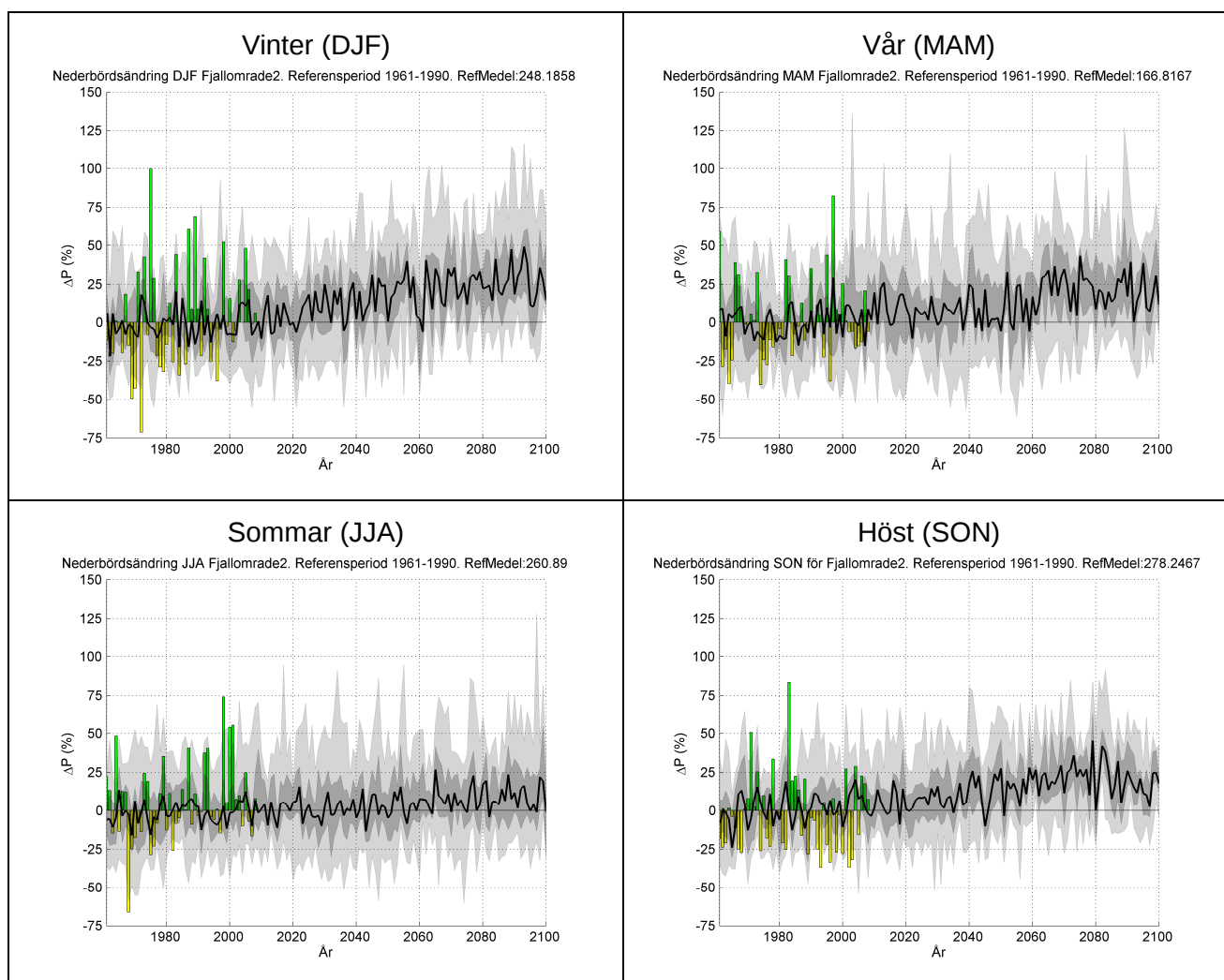
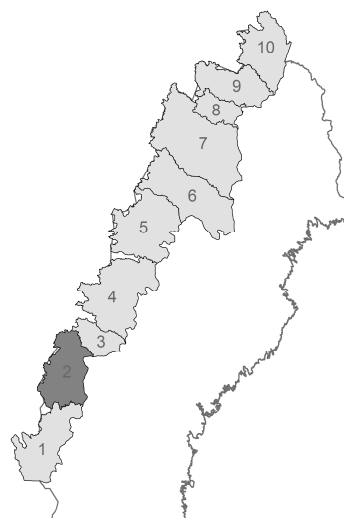
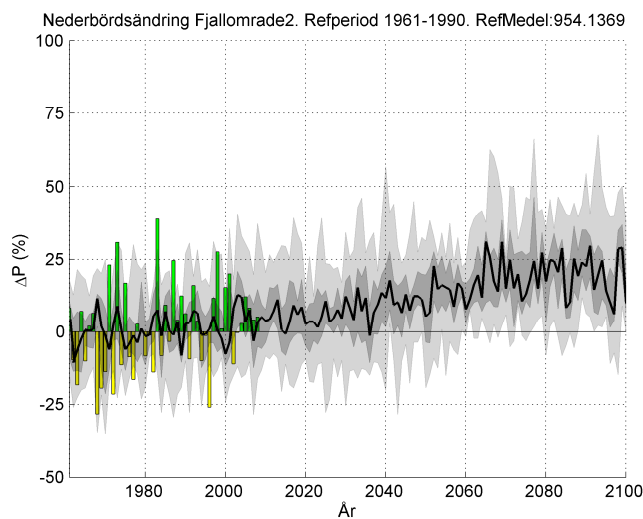
Utvecklingen av årsmedelnederbörd i olika regioner i fjällkedjan har beräknats för samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1. Resultaten visas i Figur 4-33 till Figur 4-42. Förändringen anges som procentuell avvikelse från referensperioden. Historiska observationers avvikelse från referensperiodens medelnederbörd för respektive region visas med staplar. Positiv avvikelse visas i gröna staplar och negativ avvikelse visas i gula staplar

De olika skuggningarna är statistiska mått som beskriver variationen i resultat mellan olika klimatscenarier. Dessa fält är uppifrån och nedåt: maximalt värde, 75:e percentilen, 25:e percentilen och minimalt värde från samtliga klimatscenarier jämfört med referensperioden. Medianvärdet av ensemblens klimatscenarier visas med en svart linje. På samma sätt visas parallellt motsvarande data för de olika regionerna uppdelat på de fyra årstiderna, där vinter definieras som december – februari (DJF), vår som mars – maj (MAM), sommar som juni – augusti (JJA) och höst som september – november (SON).

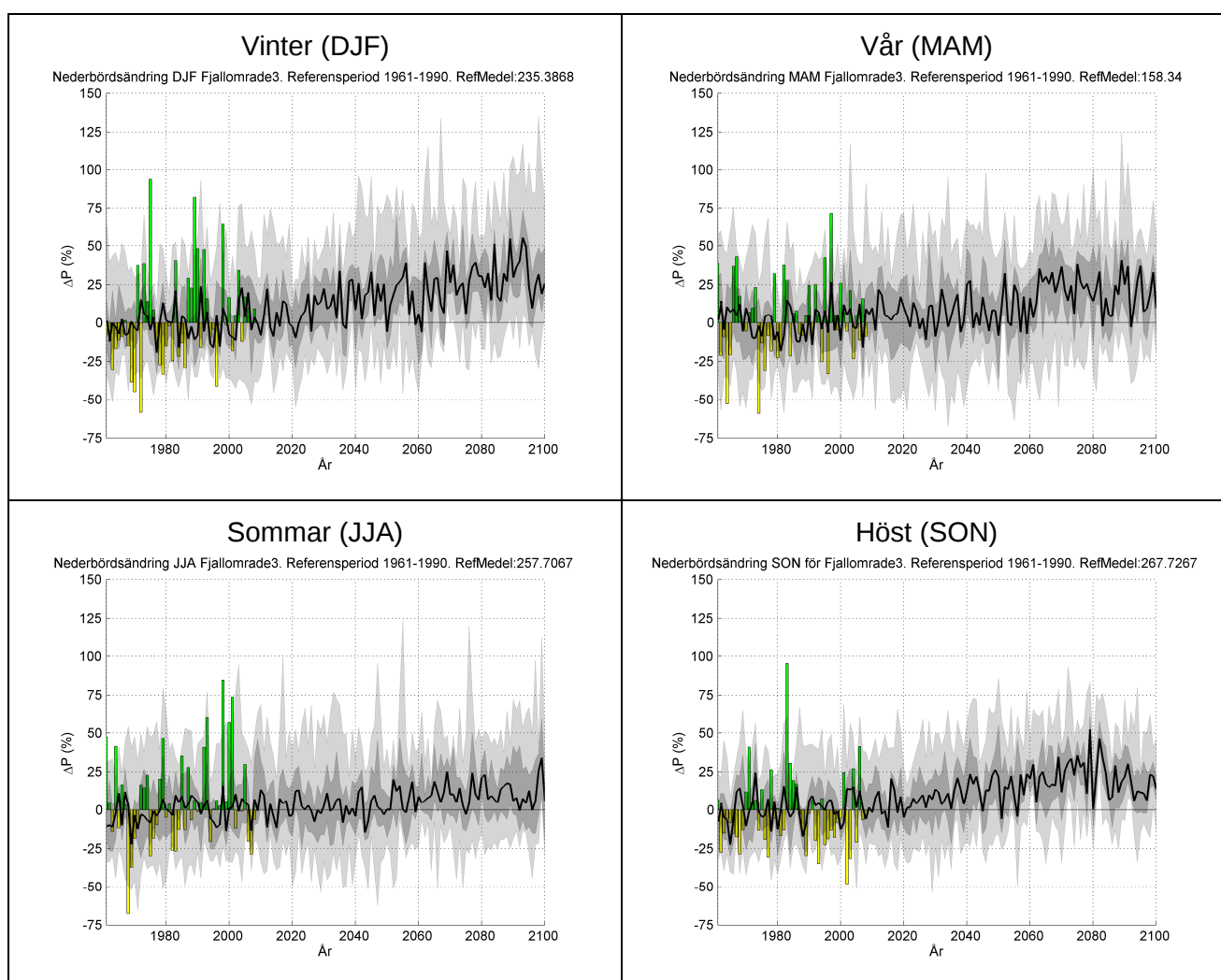
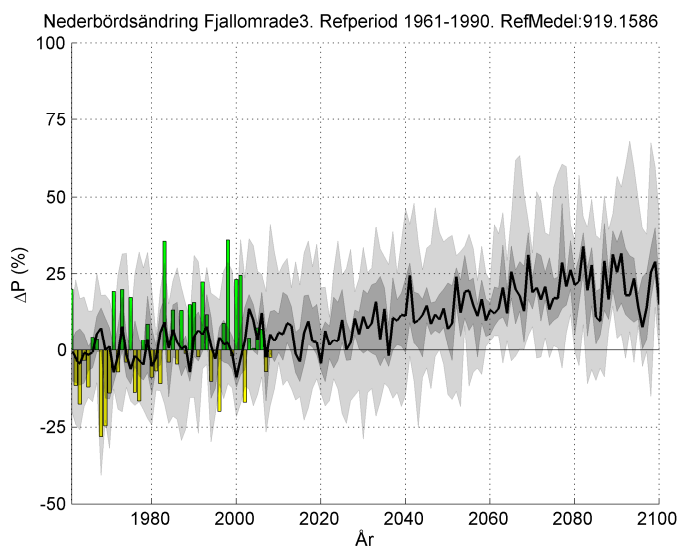
Resultaten visar en gradvis ökning av årsmedelnederbörd och säsongsmedelnederbörd under resten av seklet. Årsmedelbörden väntas öka med mellan 10 till 40 % mot slutet av seklet då klimatsceniernas ensemblermedian studeras. Förändringen är likartad i de olika studerade regionerna med en tendens till tydligast ökning vintertid. Resultaten visar stor spridning mellan åren vilket också är fallet med observationerna.



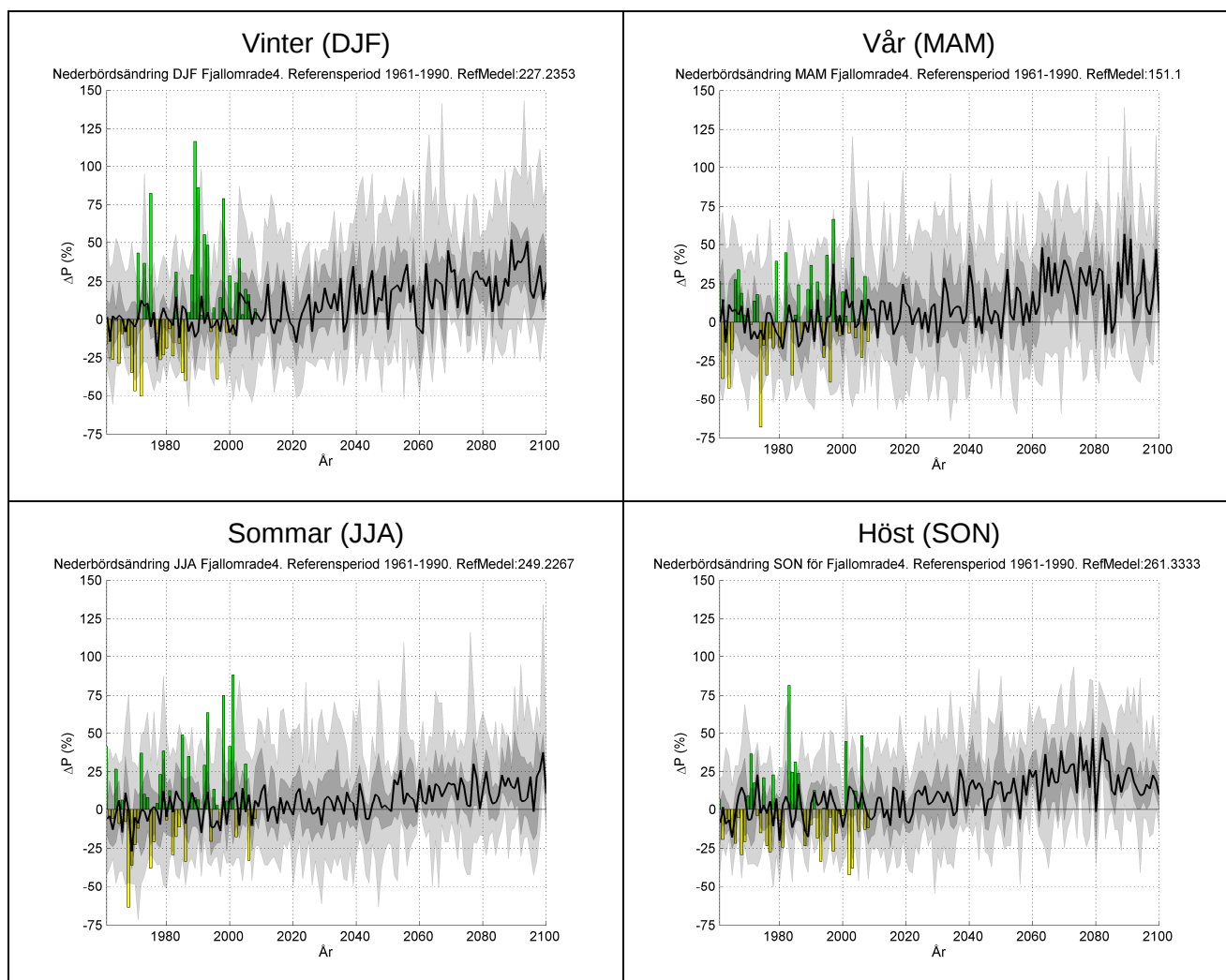
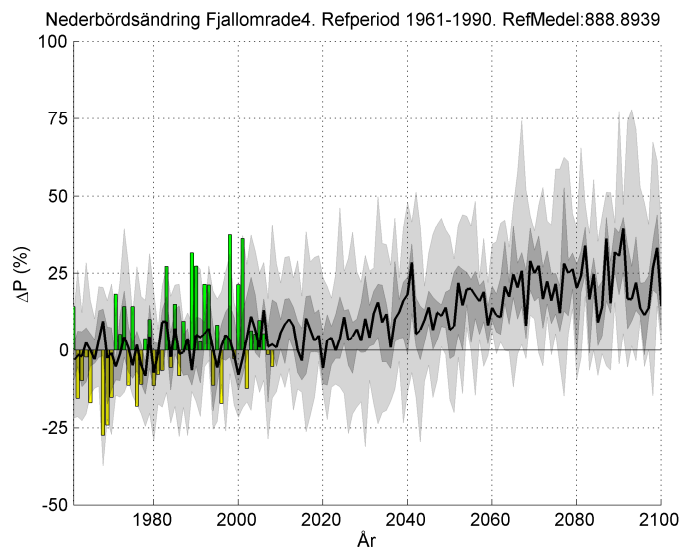
Figur 4-33. Övre figuren visar beräknad utveckling av årsmedelnederbörd i Fjällregion 1 baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedelnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Övriga figurer visar på motsvarande sätt temperaturutvecklingen under Vinter (december, januari, februari), Vår (mars, april, maj), Sommar (juni, juli, augusti), Höst (september, oktober, november).



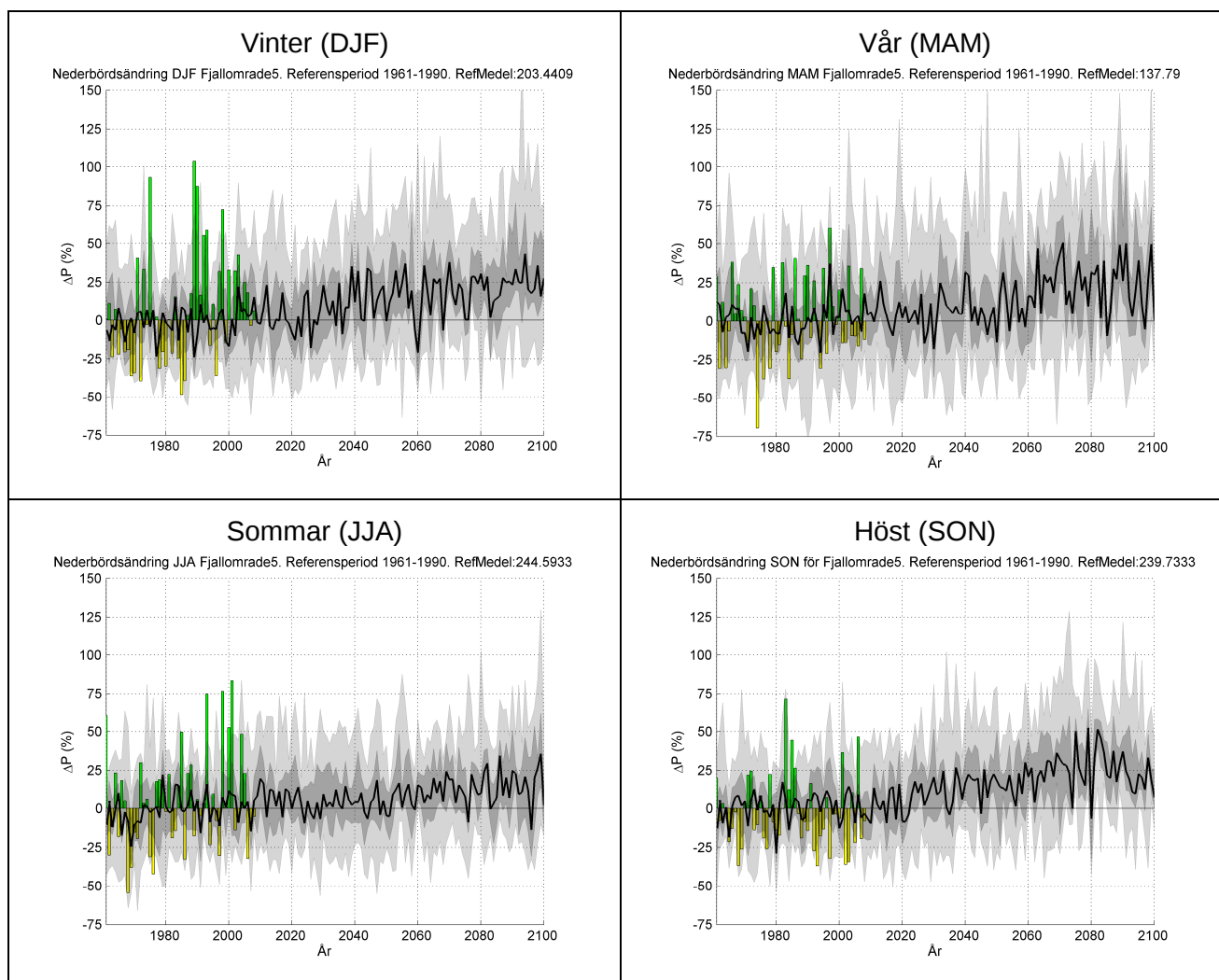
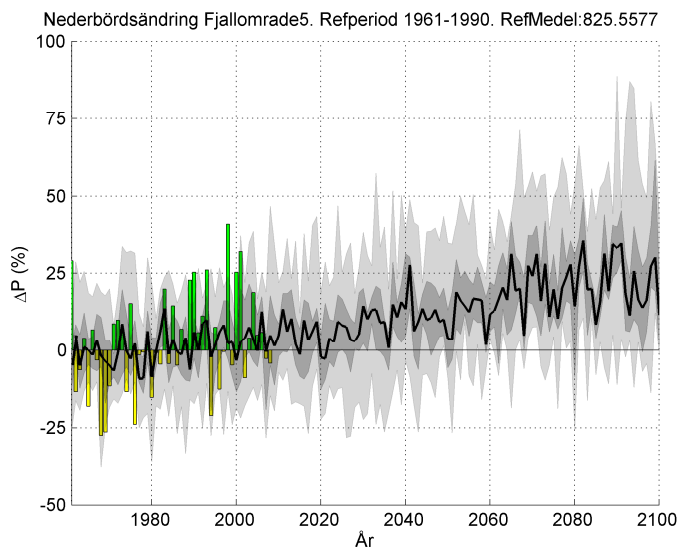
Figur 4-34. Övre figuren visar beräknad utveckling av årsmedelnederbörd i Fjällregion 2 baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedelnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Övriga figurer visar på motsvarande sätt temperaturutvecklingen under Vinter (december, januari, februari, Vår (mars, april, maj), Sommar (juni, juli, augusti), Höst (september, oktober, november).



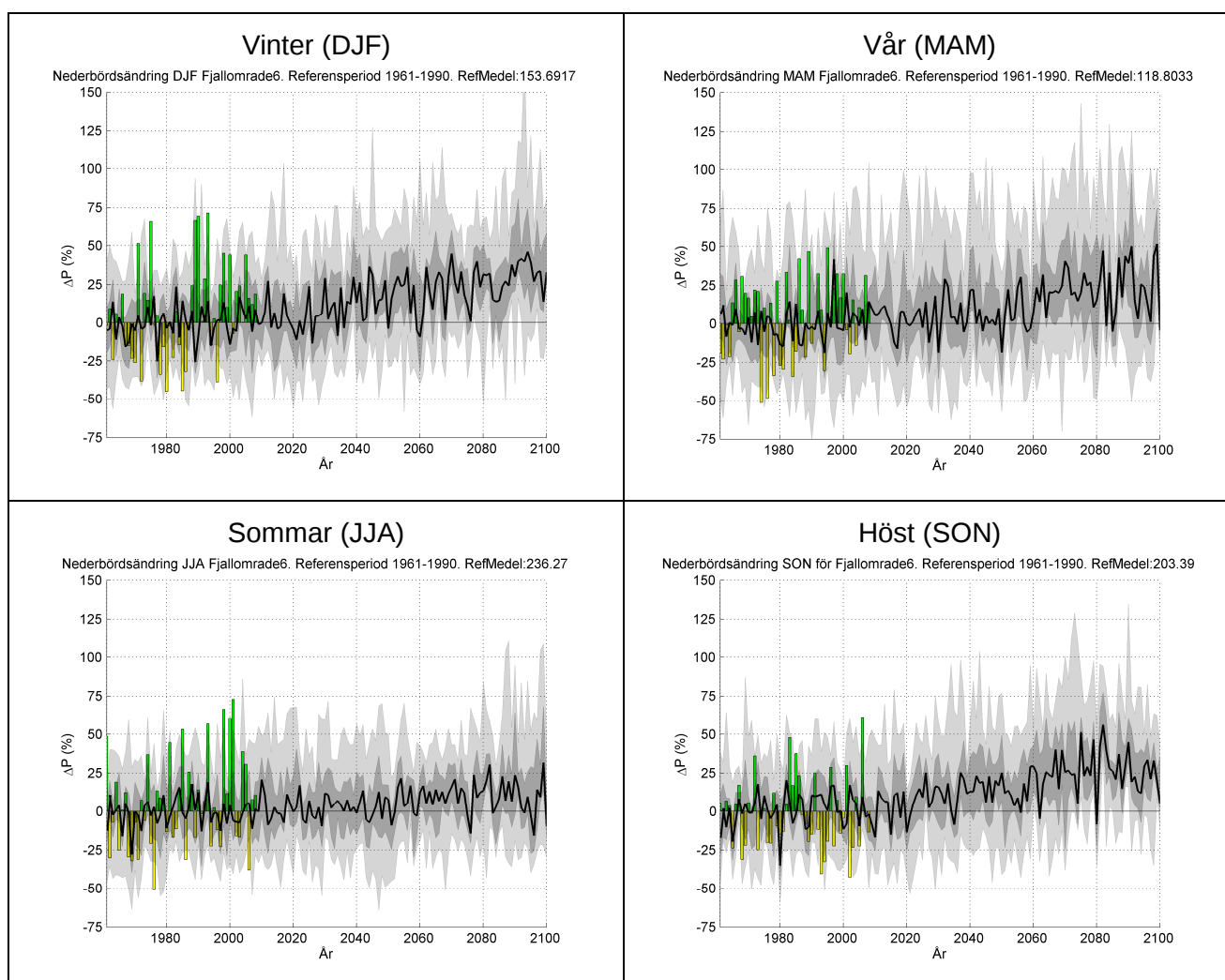
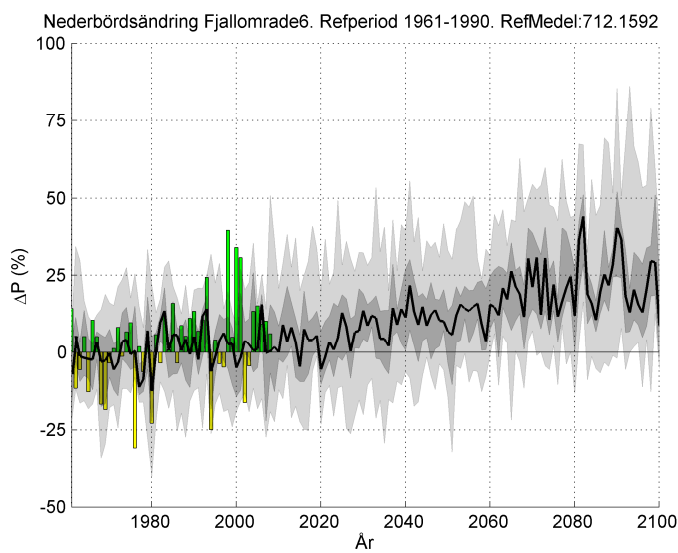
Figur 4-35. Övre figuren visar beräknad utveckling av årsmedelnederbörd i Fjällregion 3 baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedelnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Övriga figurer visar på motsvarande sätt temperaturutvecklingen under Vinter (december, januari, februari), Vår (mars, april, maj), Sommar (juni, juli, augusti), Höst (september, oktober, november).



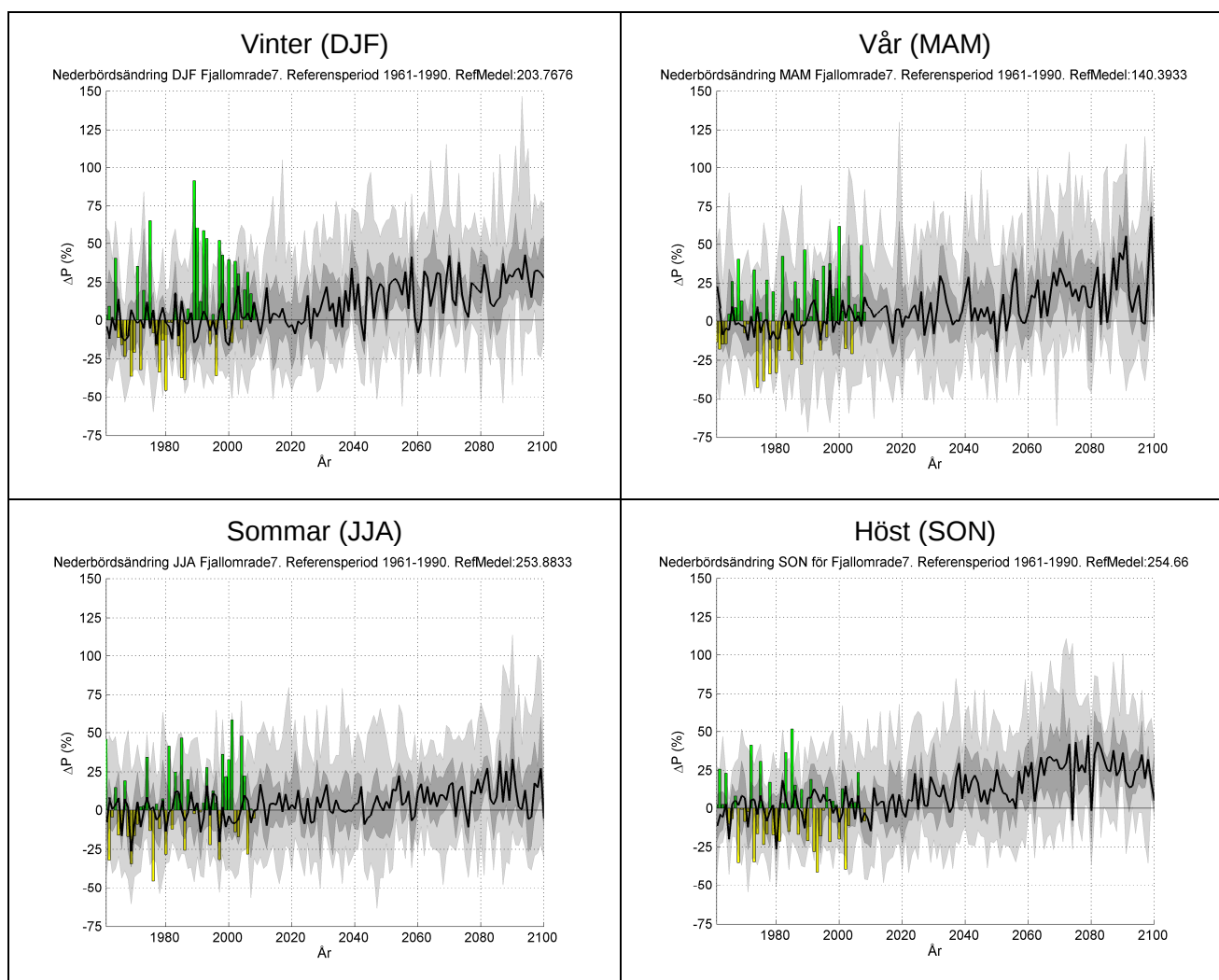
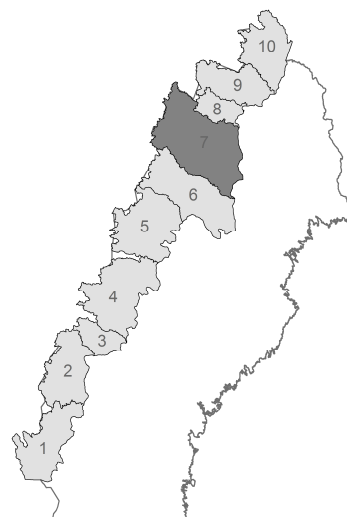
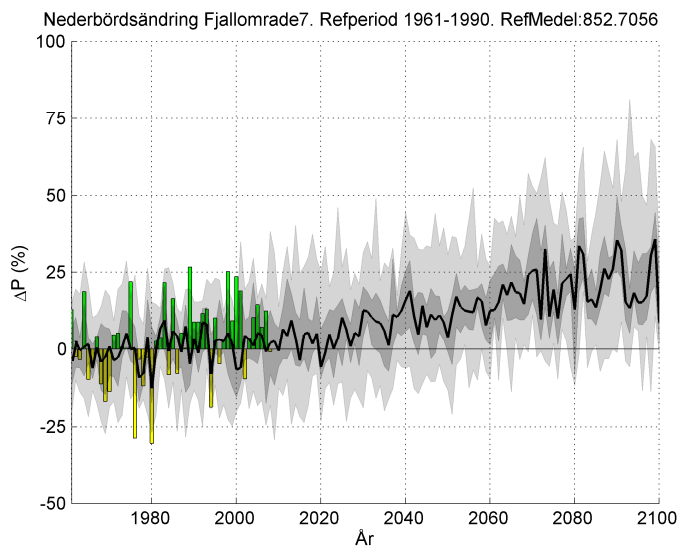
Figur 4-36. Övre figuren visar beräknad utveckling av årsmedelnederbörd i Fjällregion 4 baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedelnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Övriga figurer visar på motsvarande sätt temperaturutvecklingen under Vinter (december, januari, februari, Vår (mars, april, maj), Sommar (juni, juli, augusti), Höst (september, oktober, november).



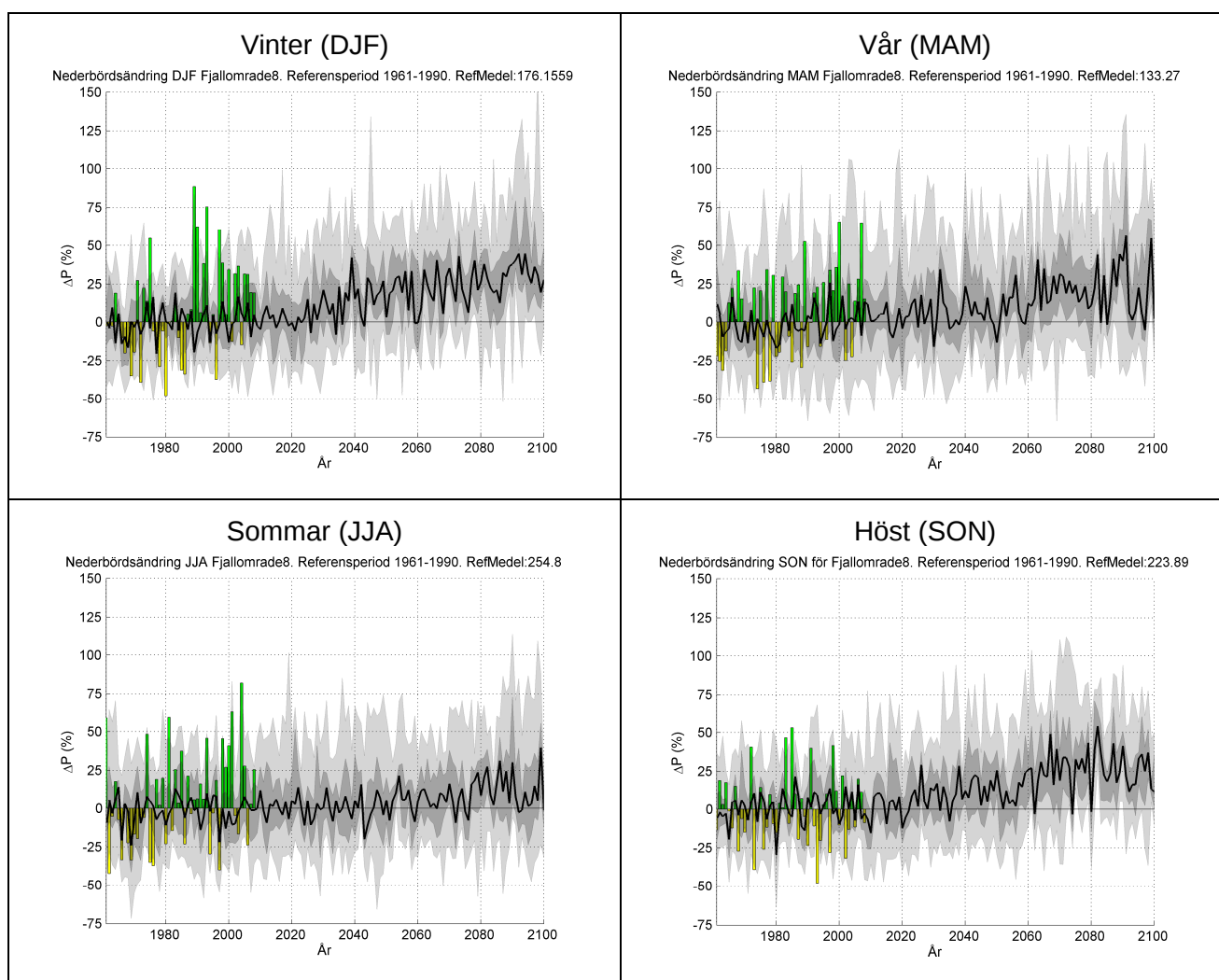
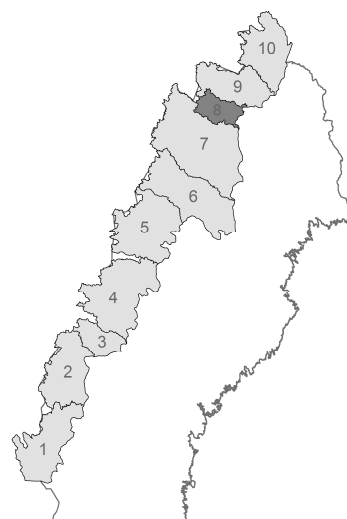
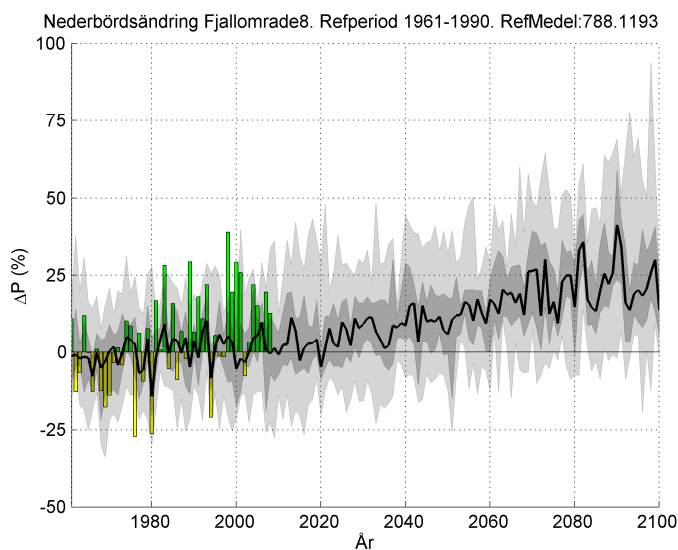
Figur 4-37. Övre figuren visar beräknad utveckling av årsmedelnederbörd i Fjällregion 5 baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedelnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Övriga figurer visar på motsvarande sätt temperaturutvecklingen under Vinter (december, januari, februari, Vår (mars, april, maj), Sommar (juni, juli, augusti), Höst (september, oktober, november).



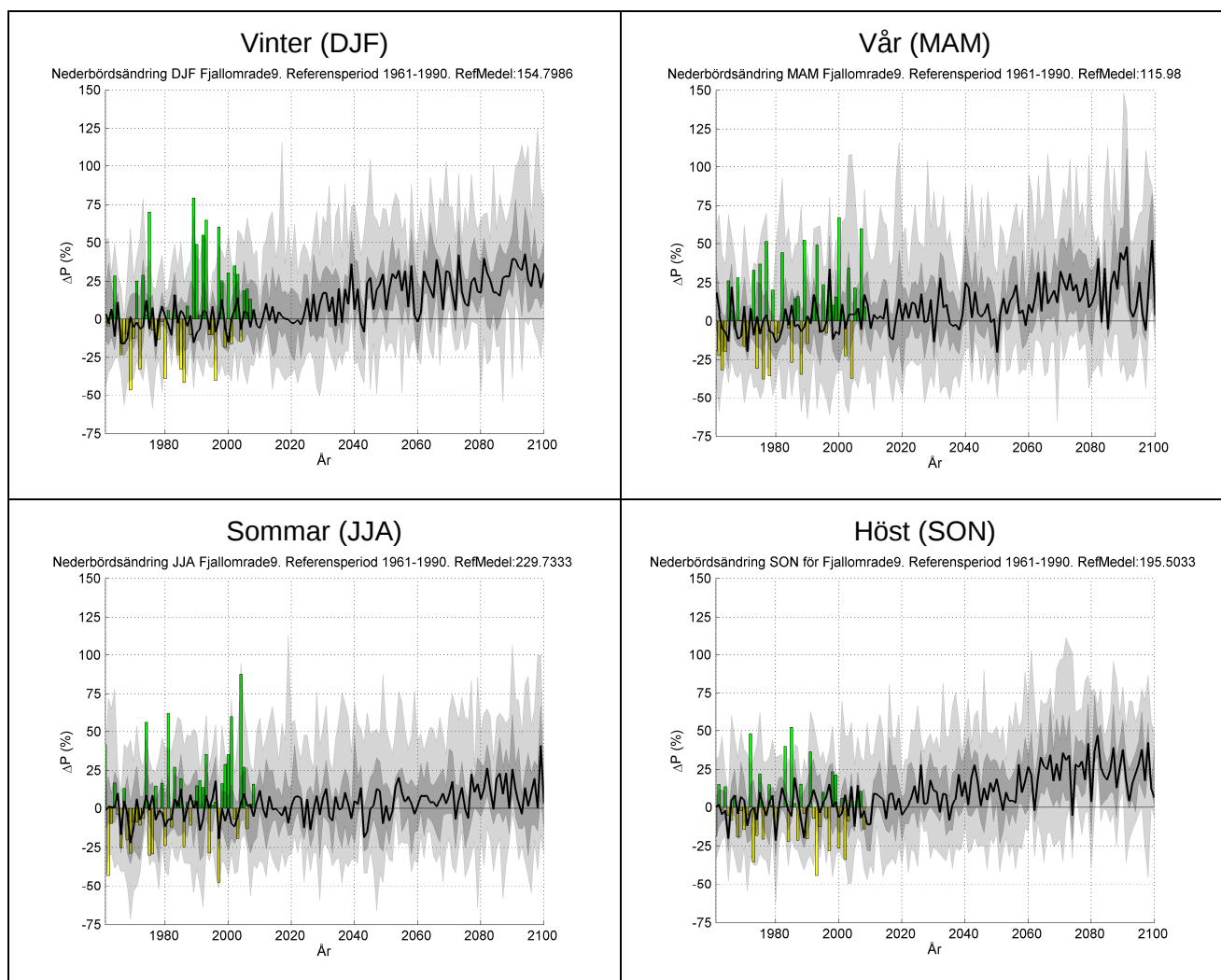
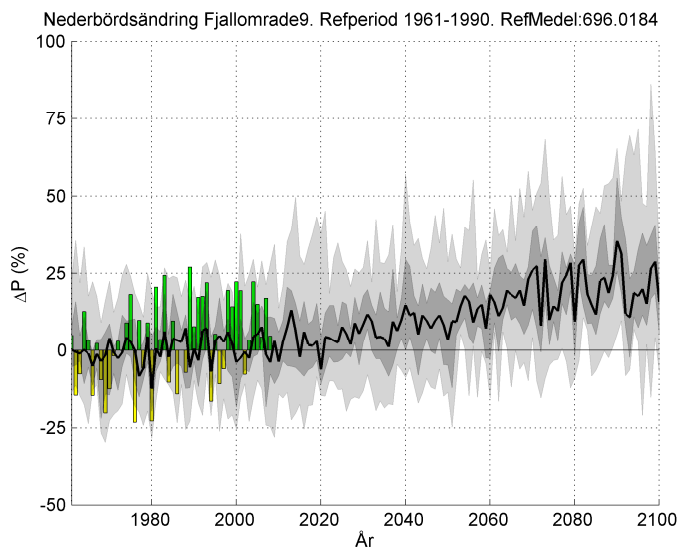
Figur 4-38. Övre figuren visar beräknad utveckling av årsmedelnederbörd i Fjällregion 6 baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedelnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Övriga figurer visar på motsvarande sätt temperaturutvecklingen under Vinter (december, januari, februari, Vår (mars, april, maj), Sommar (juni, juli, augusti), Höst (september, oktober, november).



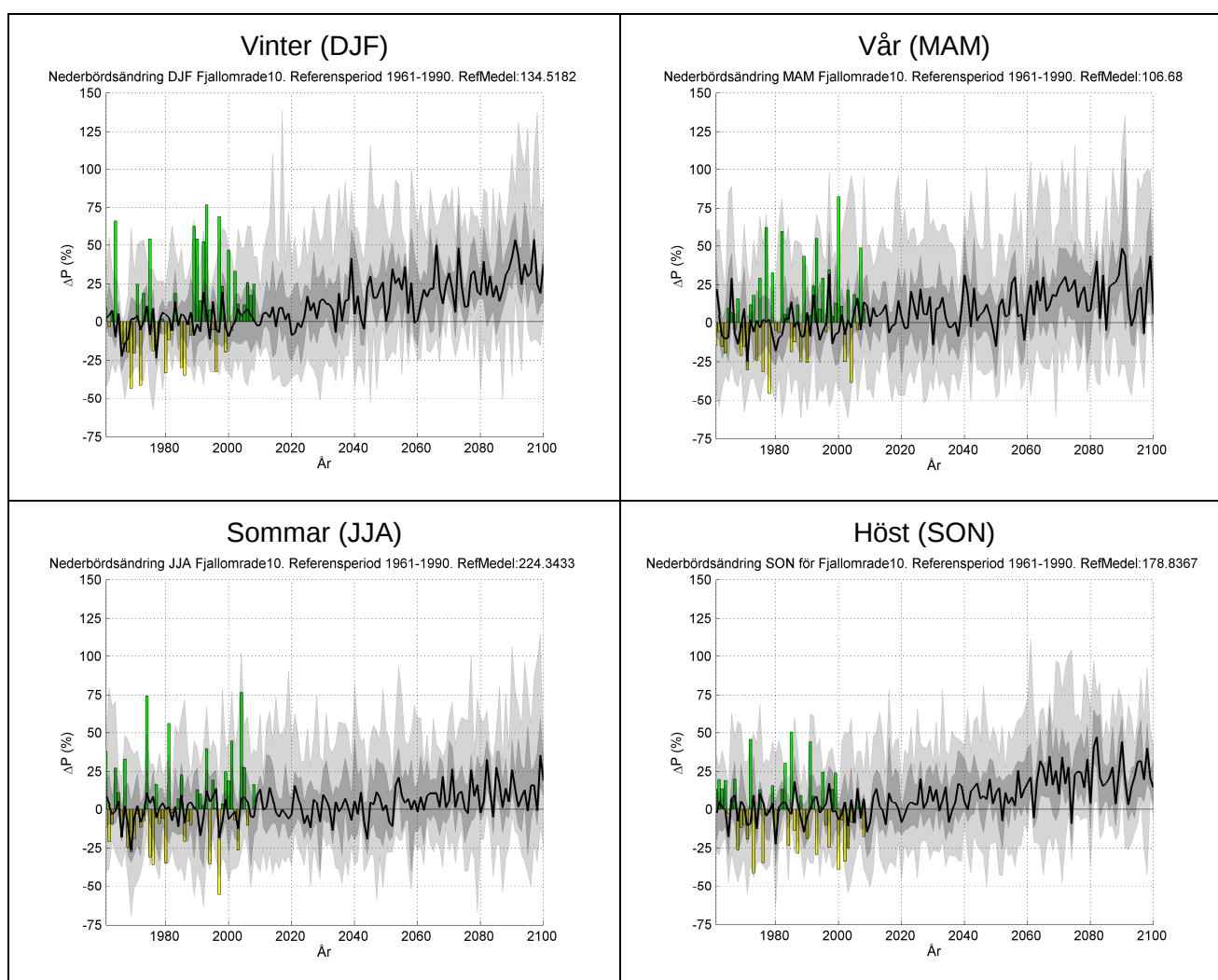
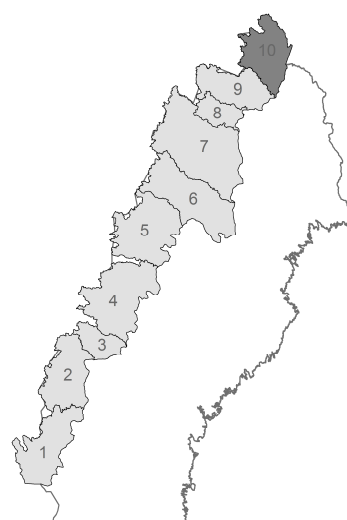
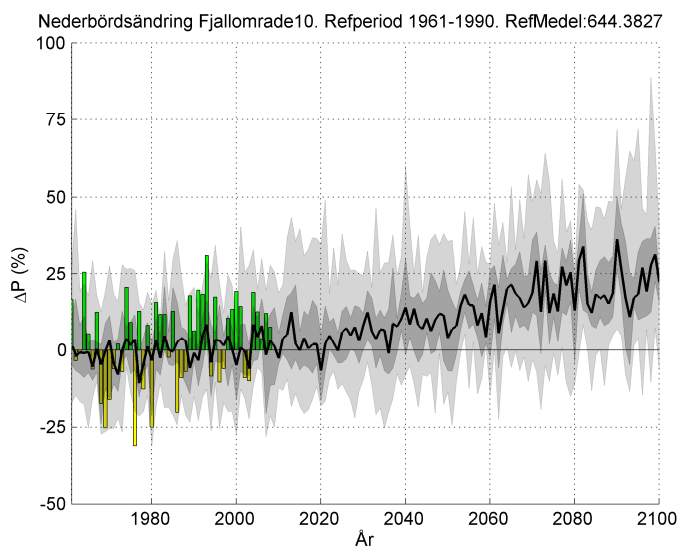
Figur 4-39. Övre figuren visar beräknad utveckling av årsmedelnederbörd i Fjällregion 7 baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedelnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Övriga figurer visar på motsvarande sätt temperaturutvecklingen under Vinter (december, januari, februari, Vår (mars, april, maj), Sommar (juni, juli, augusti), Höst (september, oktober, november).



Figur 4-40. Övre figuren visar beräknad utveckling av årsmedelnederbörd i Fjällregion 8 baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedelnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Övriga figurer visar på motsvarande sätt temperaturutvecklingen under Vinter (december, januari, februari, Vår (mars, april, maj), Sommar (juni, juli, augusti), Höst (september, oktober, november).



Figur 4-41. Övre figuren visar beräknad utveckling av årsmedelnederbörd i Fjällregion 9 baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedelnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Övriga figurer visar på motsvarande sätt temperaturutvecklingen under Vinter (december, januari, februari, Vår (mars, april, maj), Sommar (juni, juli, augusti), Höst (september, oktober, november).



Figur 4-42. Övre figuren visar beräknad utveckling av årsmedelnederbörd i Fjällregion 10 baserat på samtliga klimatscenarier i Tabell 3-1. Historiska observationer visas som staplar där positiv avvikelse från referensperiodens medelvärde visas som gröna staplar och negativ som gula staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av årsmedelnederbörden från samtliga klimatberäkningar. Övriga figurer visar på motsvarande sätt temperaturutvecklingen under Vinter (december, januari, februari, Vår (mars, april, maj), Sommar (juni, juli, augusti), Höst (september, oktober, november).

## 4.3 Isläggning och Islossning

För att kunna beräkna isläggnings- och islossningstidpunkt i framtiden har förhållandet mellan lufttemperatur och tidpunkt för dessa händelser analyserats för sjöar i fjällkedjan. Observerad isläggning och islossning under perioden 1961-2008 har använts för att finna optimala temperatursamband under relevant period innan isläggning respektive islossning för de studerade sjöarna. Dessa samband har sedan applicerats på framtida scenarier för lufttemperatures utveckling.

### 4.3.1 Om isläggning, istillväxt och islossning

#### 4.3.1.1 Isläggning

Faktorer som påverkar isläggning är lufttemperatur, nederbörd, vind, molnighet, sjöareal, sjödjup och strömningsförhållanden. Under sommaren har en sjös ytvatten högre temperatur än djupvattnet. Under hösten sjunker lufttemperaturen och vindarna tilltar vilket ger omblandning av sjövattnet (Lindh och Falkenmark, 1972). Så småningom har vatten på alla djup samma temperatur. När vattnet kyls ytterligare kommer ytvattnet vara kallare än vatten vid botten eftersom vatten har sin högsta densitet vid +4 °C. Omvänd skiktning har därmed skett. Ytvattnet kyls sedan ytterligare till nära 0 °C.

För att isläggning skall ske måste ytvattnet vara nollgradigt, lufttemperaturen låg och vädret klart och vindstilla. Isen lägger sig först i lugna vikar och längs stränderna, ofta en klar och kall natt. I stora och djupa sjöar kan det dröja från den första isläggningen tills hela sjön är isbelagd, därför att omvänd skiktning måste hinna ske i de djupare delarna, samt att det måste vara relativt vindstilla innan isläggning sker.

En liten, grund sjö med stor vattenomsättning har ofta tidig isläggning eftersom omblandning snabbt sker. På en vidutsatt sjö sker isläggningen ofta senare än på en mindre vindpåverkad sjö. Små sjöar och sjöar genomströmmade av kallt älvvatten lägger sig tidigast och stora och djupa sjöar lägger sig senast (Eklund, 1999).

#### 4.3.1.2 Istillväxt

Istillväxt sker genom att värme transporteras från isens undersida, uppåt genom isen och eventuellt snötäcke, ut i luften. Vattnet närmast isens undersida kyls och fryser till varvid istäckets tjocklek ökar. Istillväxthastigheten beror på hur fort värmen kan transporteras bort. Detta påskyndas av låg lufttemperatur, låg luftfuktighet, liten molnighet och hög vindhastighet. En större temperaturgradient mellan isens undersida och luft ger snabbare och större istillväxt (Eklund, 1999).

#### 4.3.1.3 Islossning

Tidpunkt för islossning beror av väderförhållandena under isavsmältning och islossning och isens tjocklek, som beror av hela vinterns väderförhållanden.

Isen försvagas under våren av framför allt direkt solstrålning. Lufttemperaturen påverkar inte smältningen lika mycket eftersom isen inte så lätt tar upp energi direkt ur luften (Fremling, 1950 och 1977, Eriksson, 1920), dock påverkar solinstrålningen lufttemperaturen. Regn kan påskynda islossningen. Ofta blir isen landlös, dvs den släpper i strandkanterna, vilket gör att den smälter snabbare. Ökad genomströmning i sjön på grund av snösmältning påskyndar också islossningen. När isen försvagats av sol och andra faktorer bryts den ofta upp av vind och smälter då ofta snabbt (Eklund, 1999).

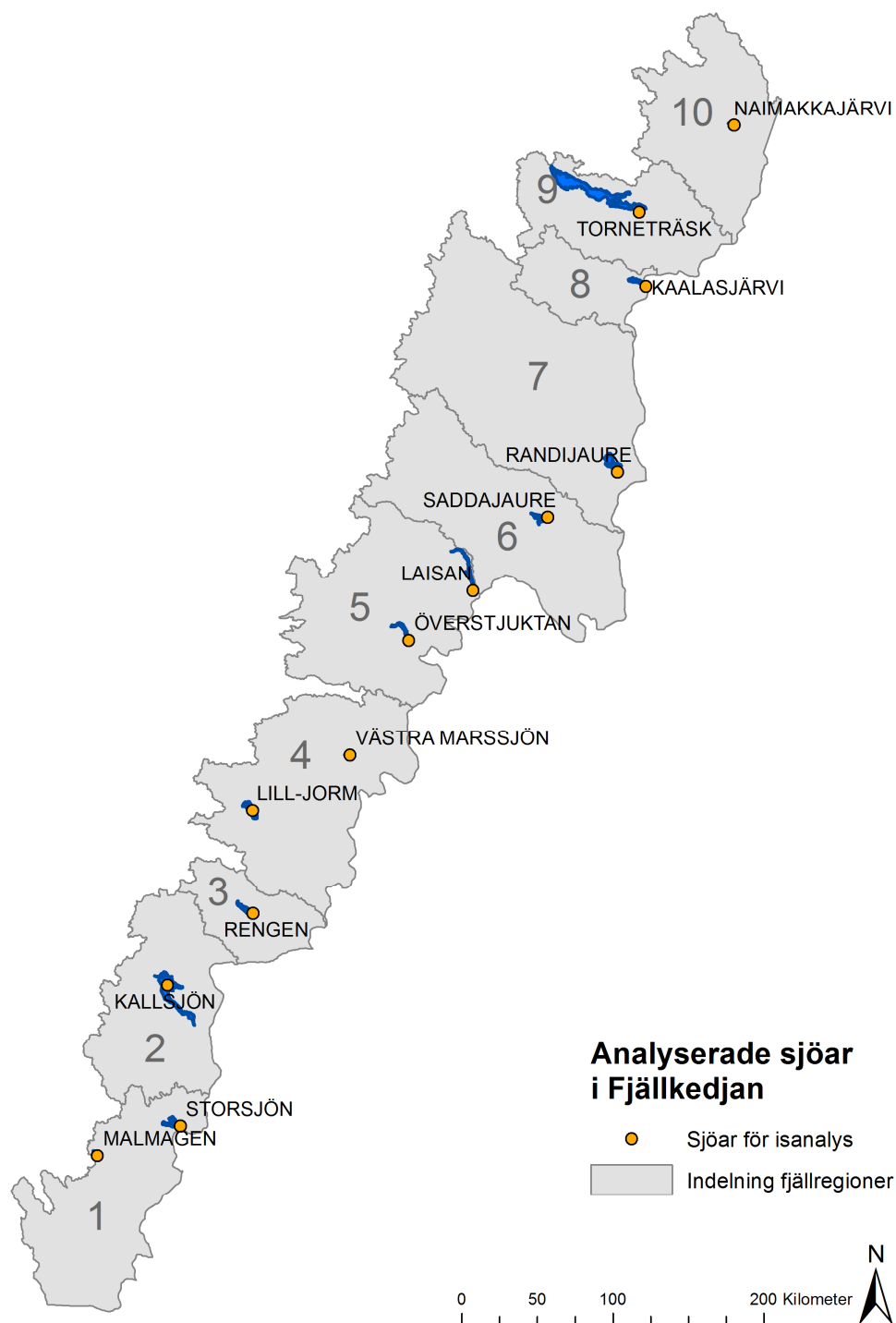
### 4.3.2 Isobservationer

Isläggingsdatum definieras i SMHIs observationer som det datum då hela sjön islades för första gången och legat kvar minst tre dagar. Islossningsdatum definieras som det datum då sjöns is i stort sett är borta. Om det förekommer flera perioder med is avses den sista islossningen. Systematiska isobservationer har utförts sedan 1870 (Eklund, 1999).

De sjöar för vilka observationer använts i denna studie återfinns i Figur 4-43 och i Tabell 4-1. Observationer under perioden 1961 – 2008 har använts. Sjöurvalet har skett med avseende på tillgänglig data och var i fjällkedjan sjöarna ligger. Sjöarna varierar stort i areal, djup och höjd över havet.

Tabell 4-1. Sjöar i fjällkedjan för vilka islossnings- och isläggingsanalys har gjorts. Information om djup och volym anges i de fall den är känd.

| Sjönr | Sjö             | Fjällregion | Sjöarea (km <sup>2</sup> ) | Medeldjup (m) | Maxdjup (m) | Volym (milj m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----------------|-------------|----------------------------|---------------|-------------|------------------------------|
| 314   | Malmagen        | 1           | 2                          | -             | -           | -                            |
| 331   | Storsjön        | 1           | 29                         | -             | 27          | -                            |
| 369   | Kallsjön        | 2           | 154                        | 40,1          | 134         | 6140                         |
| 427   | Rengen          | 3           | 22                         | 21            | 70          | 414                          |
| 479   | Västra Marssjön | 4           | 5                          | -             | -           | -                            |
| 462   | Lilljorm        | 4           | 20                         | 36,2          | 92          | 720,5                        |
| 537   | Laisan          | 5           | 28                         | 23            | 78,5        | 637                          |
| 520   | Överstjuktan    | 5           | 23                         | 20,3          | 51          | 475                          |
| 558   | Saddajaure      | 6           | 22                         | -             | -           | -                            |
| 571   | Randijaure      | 7           | 49                         | 5,4           | 31,1        | 264,8                        |
| 591   | Kaalasjärvi     | 8           | 14                         | -             | -           | -                            |
| 595   | Torneträsk      | 9           | 330                        | 51,8          | 168         | 17100                        |
| 599   | Naimakkajärvi   | 10          | 3                          | -             | -           | -                            |



Figur 4-43. Sjöar i fjällkedjan för vilka islossnings- och isläggningsanalys med avssende på lufttemperatur har gjorts.

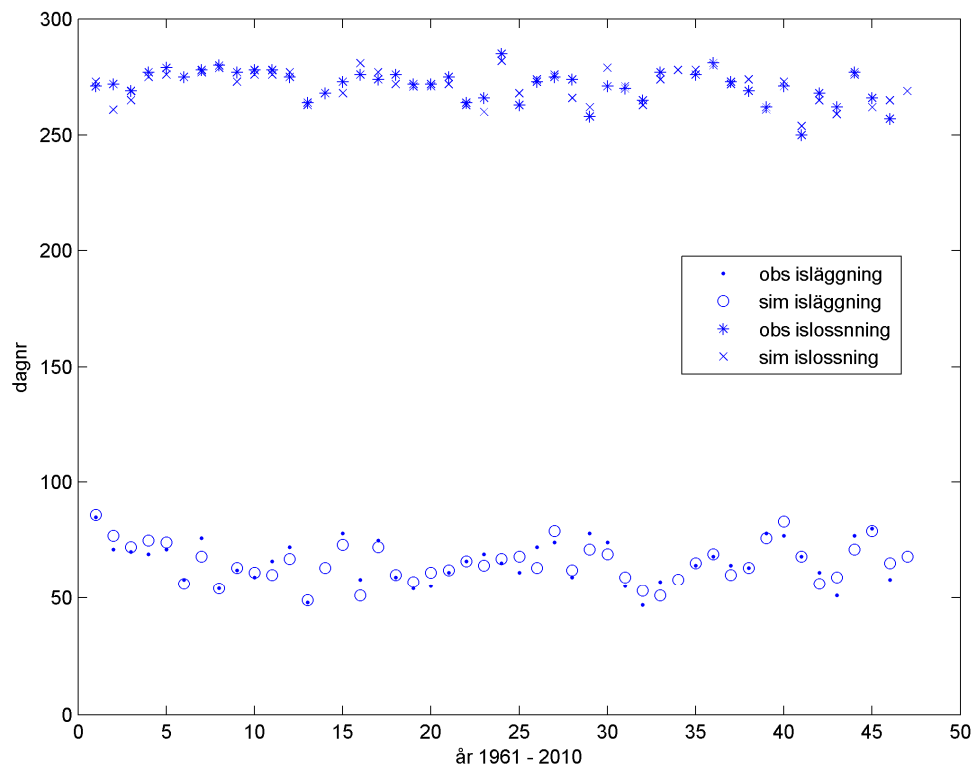
Tabell 4-2. Isstatistik för de analyserade sjöarna för standardnormalperioden 1961-2008.

| Sjönr | Sjö             | Fjäll-region | Isläggning (datum) | Islossning (datum) | Isvaraktighet (antal dagar) |
|-------|-----------------|--------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|
| 314   | Malmagen        | 1            | 29 okt             | 31 maj             | 214                         |
| 331   | Storsjön        | 1            | 14 nov             | 24 maj             | 191                         |
| 369   | Kallsjön        | 2            | 10 jan             | 19 maj             | 129                         |
| 427   | Rengen          | 3            | 7 dec              | 19 maj             | 163                         |
| 479   | Västra Marssjön | 4            | 6 nov              | 29 maj             | 205                         |
| 462   | Lilljorm        | 4            | 9 dec              | 26 maj             | 168                         |
| 537   | Laisan          | 5            | 19 nov             | 1 jun              | 194                         |
| 520   | Överstjuktan    | 5            | 23 nov             | 3 jun              | 191                         |
| 558   | Saddajaure      | 6            | 1 nov              | 1 jun              | 212                         |
| 571   | Randijaure      | 7            | 7 nov              | 29 maj             | 203                         |
| 591   | Kaalasjärvi     | 8            | 16 okt             | 6 jun              | 233                         |
| 595   | Torneträsk      | 9            | 23 dec             | 11 jun             | 170                         |
| 599   | Naimakkajärvi   | 10           | 14 okt             | 2 jun              | 231                         |

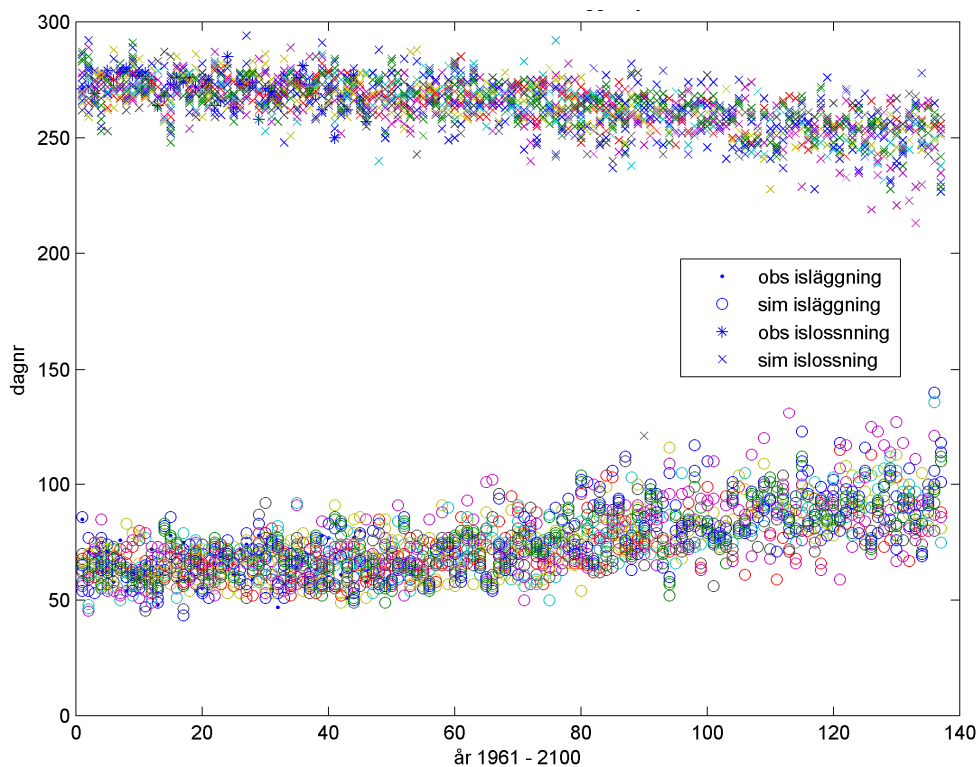
#### 4.3.3 Isanalys

Analys av framtida isläggning och islossning har gjorts baserat på klimatscenarioensemblen för temperaturdata. Areellt interpolerad temperaturdata från PTHBV över delavrinningsområdena närmast kring respektive sjö har använts.

Observerad isläggning och islossning under perioden 1961-2008 har använts för att ta fram optimala temperatursamband för den avgörande perioden innan isläggning respektive islossning. Löpande medelvärden av lufttemperaturen för olika långa perioder innan observerad isläggning respektive islossning har beräknats. Den tröskeltemperatur och tidsperiod som vid simulering visat sig ge bäst korrelation med observerad tidpunkt för isläggning och islossning har använts för beräkning av framtida dagnummer för isläggning och islossning. Perioderna och tröskeltemperaturerna skiljer sig mellan sjöarna. Resultaten av dessa analyser visas i grafer i Bilaga 1 och Bilaga 2. Se Figur 4-44 och Figur 4-43 för exempel på simuleringar och observationer för Västra Marssjön. Klimatscenario-ensemblens simulering av historisk period är relativt god för samtliga sjöar.



Figur 4-44. Simulerad isläggning och islossning för Västra Marssjön för åren 1961-2008. Dagnummer på y-axeln avser hydrologiskt år med start den 1 september.

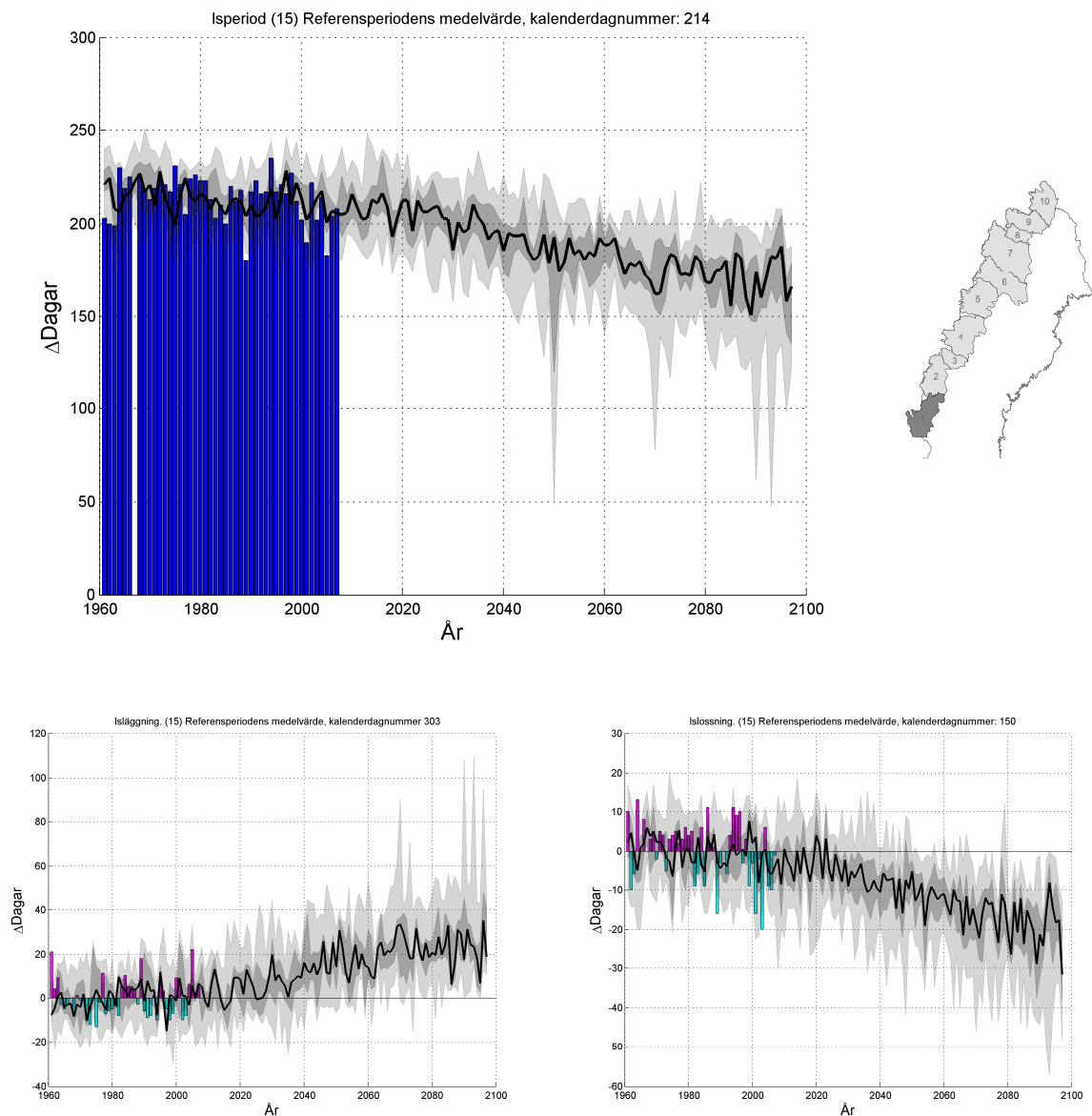


Figur 4-45. Simulerad framtida islossning och isläggning för Västra Marssjön med samtliga scenarier (olikfärgade ringar respektive kryss). Observerad islossning och isläggning ligger som markörer enligt legenden men döljs mestadels av klimatscenarioensemblen. Klimatscenarierna lyckas alltså relativt väl återskapa observerade förhållanden. Dagnummer på y-axeln avser hydrologiskt år med start den 1 september.

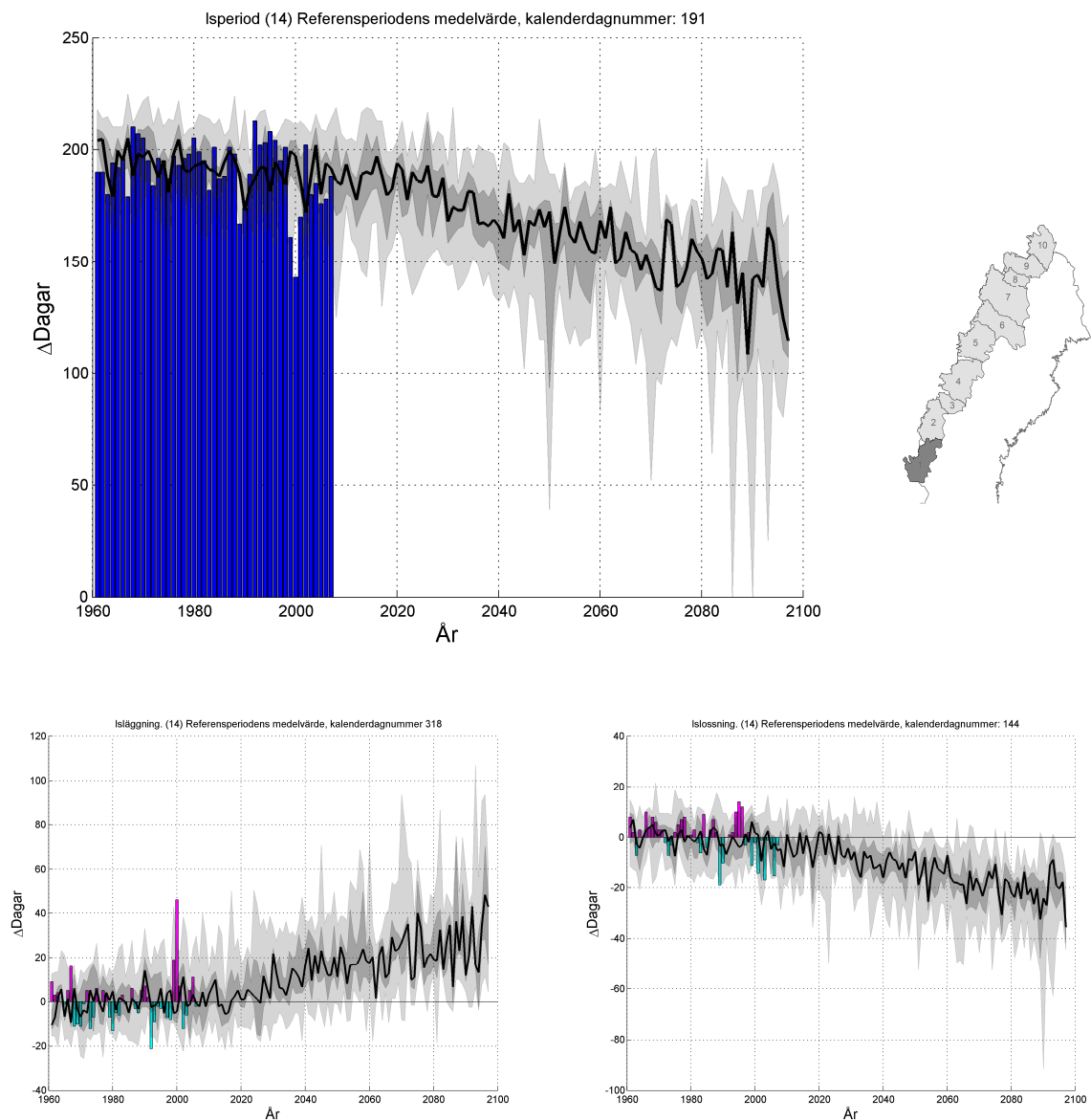
Resultaten visar att det är möjligt att simulera isläggning och islossning utifrån lufttemperatur relativt väl då medelvärden för den period bakåt i tiden som har relevans för isläggning och islossning används. Korrelationen mellan observerad tidpunkt och simulerad tidpunkt under referensperioden är relativt god för samtliga sjöar, mellan 0.6 och 0.9 för isläggning och mellan 0,65 och 0,9 för islossning.

Resultaten av klimatscenarioanalysen redovisas i Figur 4-43 till Figur 4-58 för respektive sjö. Utifrån referensperiodens dagnummer för isläggning och islossning redovisas observerade år med senare inträffad händelse som lila staplar och observerade år med tidigare inträffade händelser som turkos staplar. Skuggningarna avser uppifrån och nedåt, maximivärdet, 75:e percentilen, medianvärdet (svart linje), 25:e percentilen och minimivärdet av samtliga klimatberäkningar. På motsvarande sätt visas isläggning. Framtida isperiods längd baserad på klimatscenarioensemblem visas i den större figuren, blå staplar visar observerad isperiods längd.

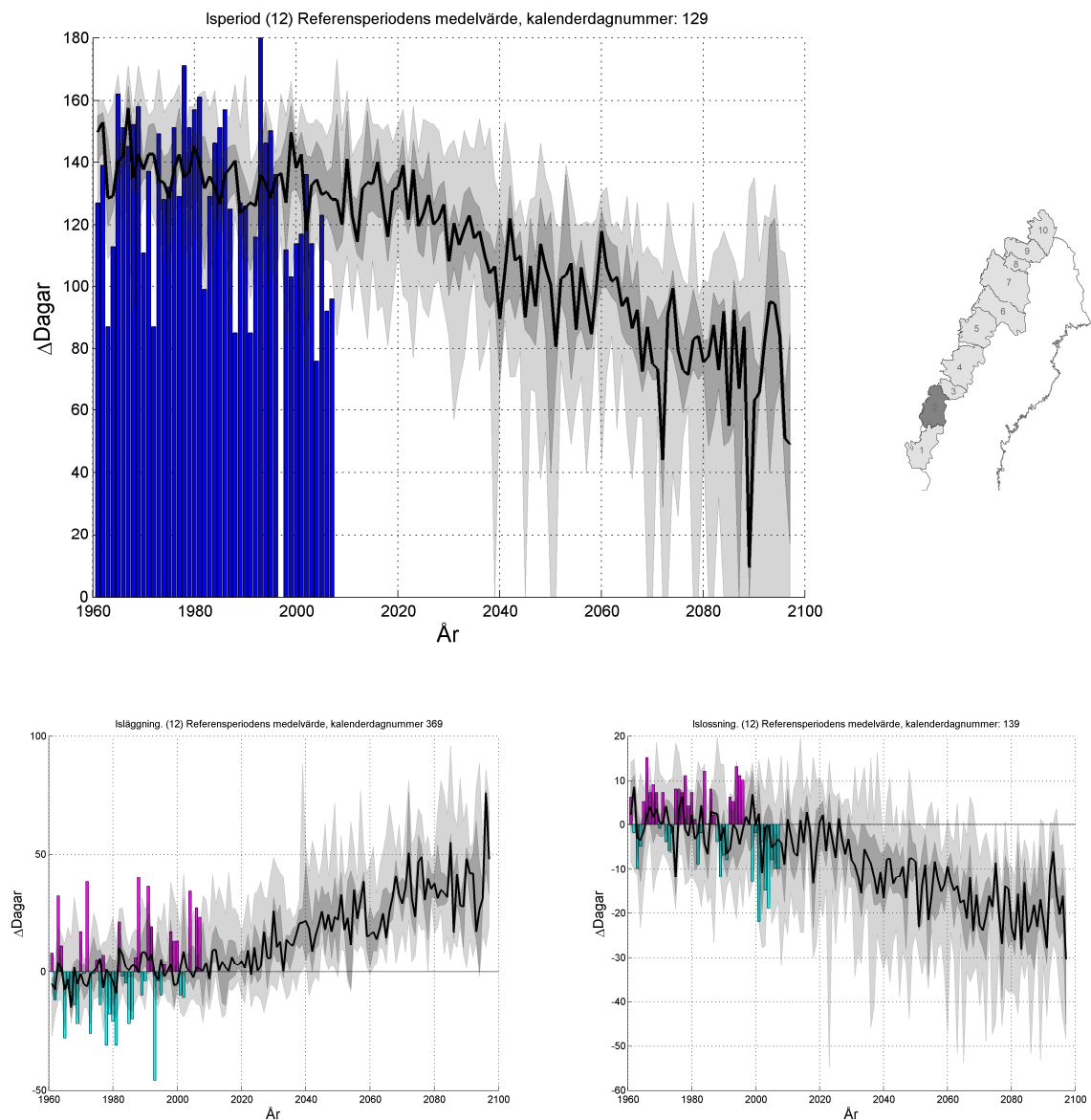
Resultaten visar att isläggning generellt väntas ske senare och islossning tidigare för samtliga sjöar, som en effekt av stigande lufttemperaturer i alla områden, med kortare isperiod som följd i alla områden. Framför allt är det isläggningen som väntas senareläggas något mer än vad islossningen tidigare läggs. Då medianen av klimatscenarioensemblen studeras för slutet av seklet syns att Kallsjön, Rengen och Lilljorm visar trender på något mer senarelagd isläggning (upp mot 50-60 dagar) än övriga sjöar i de sydligare fjällregionerna (region 1 -4). Islossningen väntas ske upp till 20 – 30 dagar tidigare. Sjöarna i de norra fjällregionerna (region 5 – 10) visar en senare isläggning med upp till ca 40 dagar och en tidigare islossning med ca 20 – 30 dagar oberoende av sjöareal och djup. Klimatscenerierna visar på stor spridning, vilket också är fallet med observerade händelser.



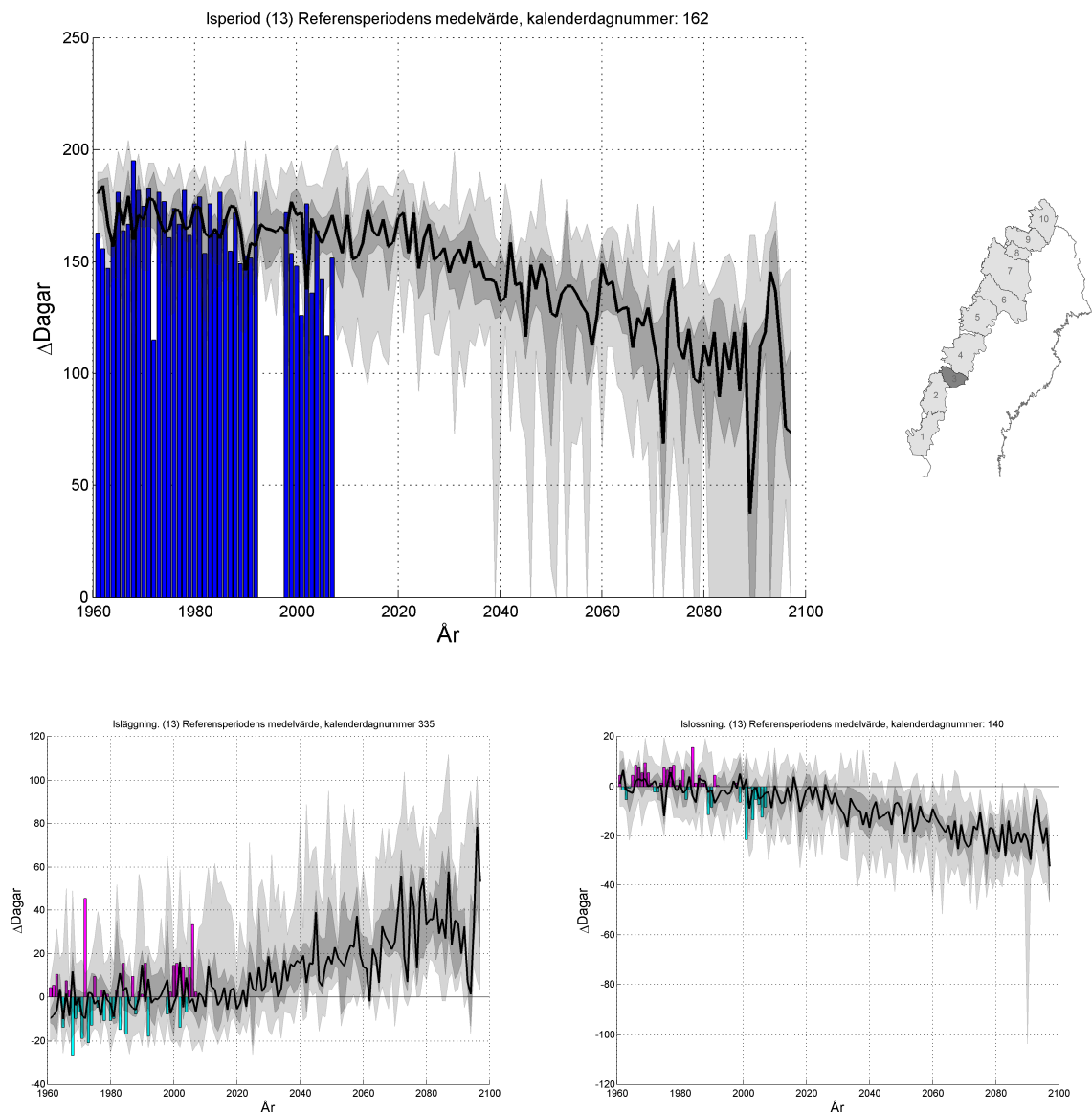
Figur 4-46. Malmagen (fjällområde 1). Överst: Beräknad förändring av isperiod. Observerade värden visas som blå staplar (luckorna beror på saknade data). Nere till vänster avvikelse i dagnummer jämfört med referensperioden för isläggning, nere till höger motsvarande för islossning. Observerade avvikelser visas som staplar, lila staplar senare och turkosa staplar tidigare datum. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier visas i samtliga figurer med den svarta linjen. Den mörkare skuggningen avser spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarieensemblen. Den ljusare skuggningen visar maximalt respektive minimalt värde av samtliga klimatberäkningar.



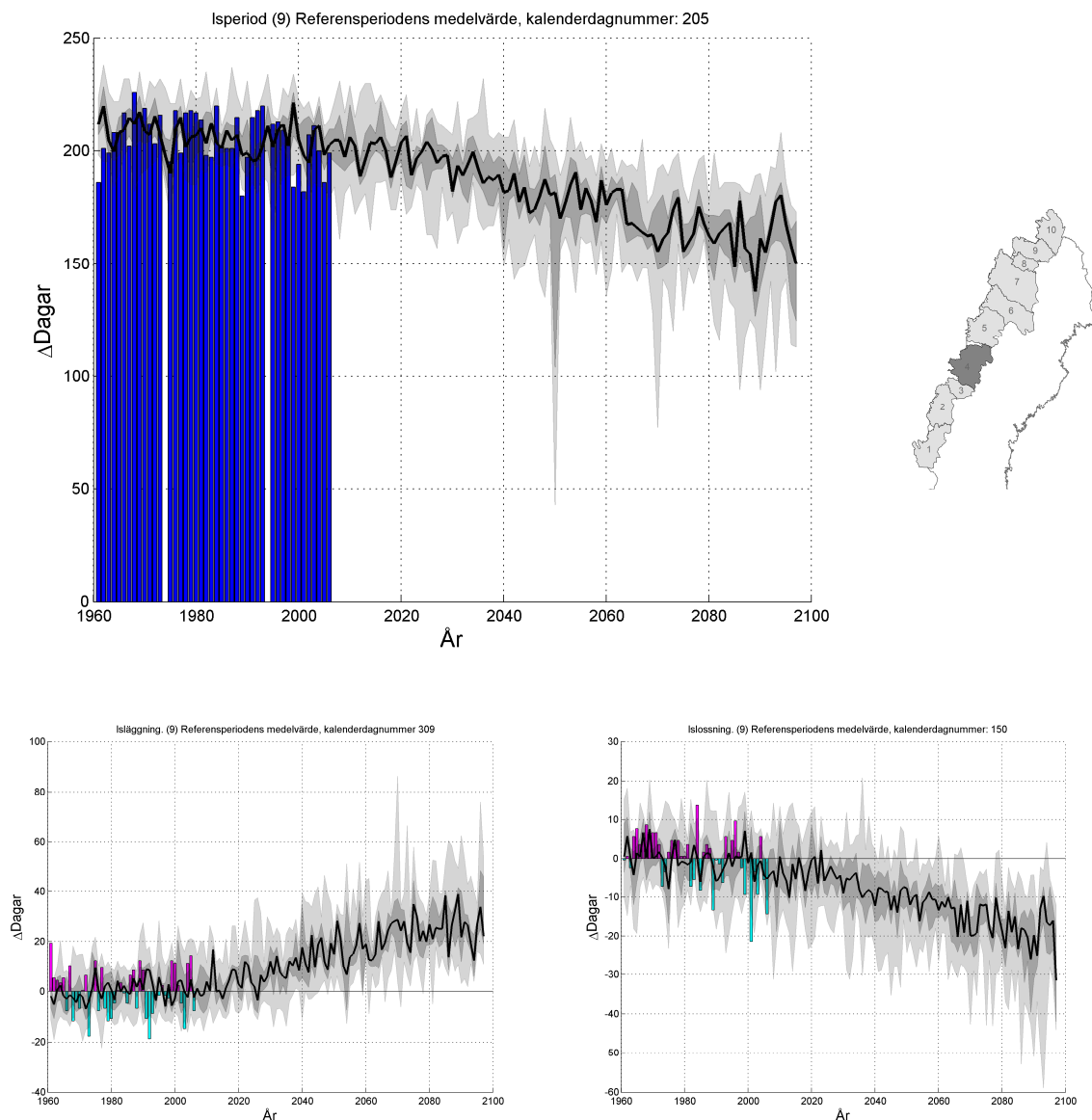
Figur 4-47. Storsjön (fjällområde 1). Överst: Beräknad förändring av isperiod. Observerade värden visas som blå staplar (luckorna beror på saknade data). Nere till vänster avvikelse i dagnummer jämfört med referensperioden för isläggning, nere till höger motsvarande för islossning. Observerade avvikelser visas som staplar, lila staplar senare och turkosa staplar tidigare datum. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier visas i samtliga figurer med den svarta linjen. Den mörkare skuggningen avser spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarieensemblen. Den ljusare skuggningen visar maximalt respektive minimalt värde av samtliga klimatberäkningar.



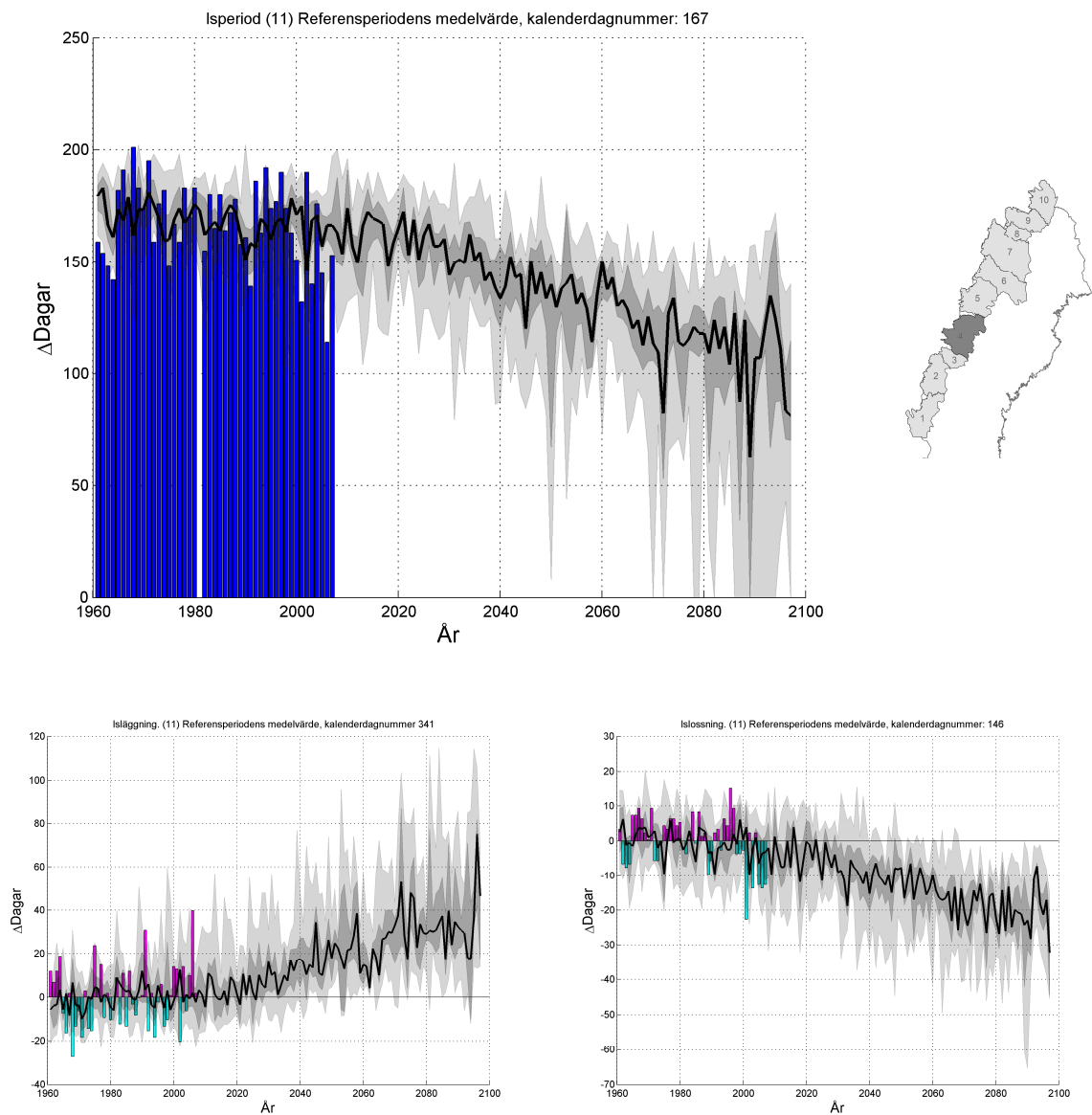
Figur 4-48. Kallsjön (fjällområde 2). Överst: Beräknad förändring av isperiod. Observerade värden visas som blå staplar (luckorna beror på saknade data). Nere till vänster avvikelse i dagnummer jämfört med referensperioden för isläggning, nere till höger motsvarande för islossning. Observerade avvikelser visas som staplar, lila staplar senare och turkosa staplar tidigare datum. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier visas i samtliga figurer med den svarta linjen. Den mörkare skuggningen avser spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarieensemblen. Den ljusare skuggningen visar maximalt respektive minimalt värde av samtliga klimatberäkningar.



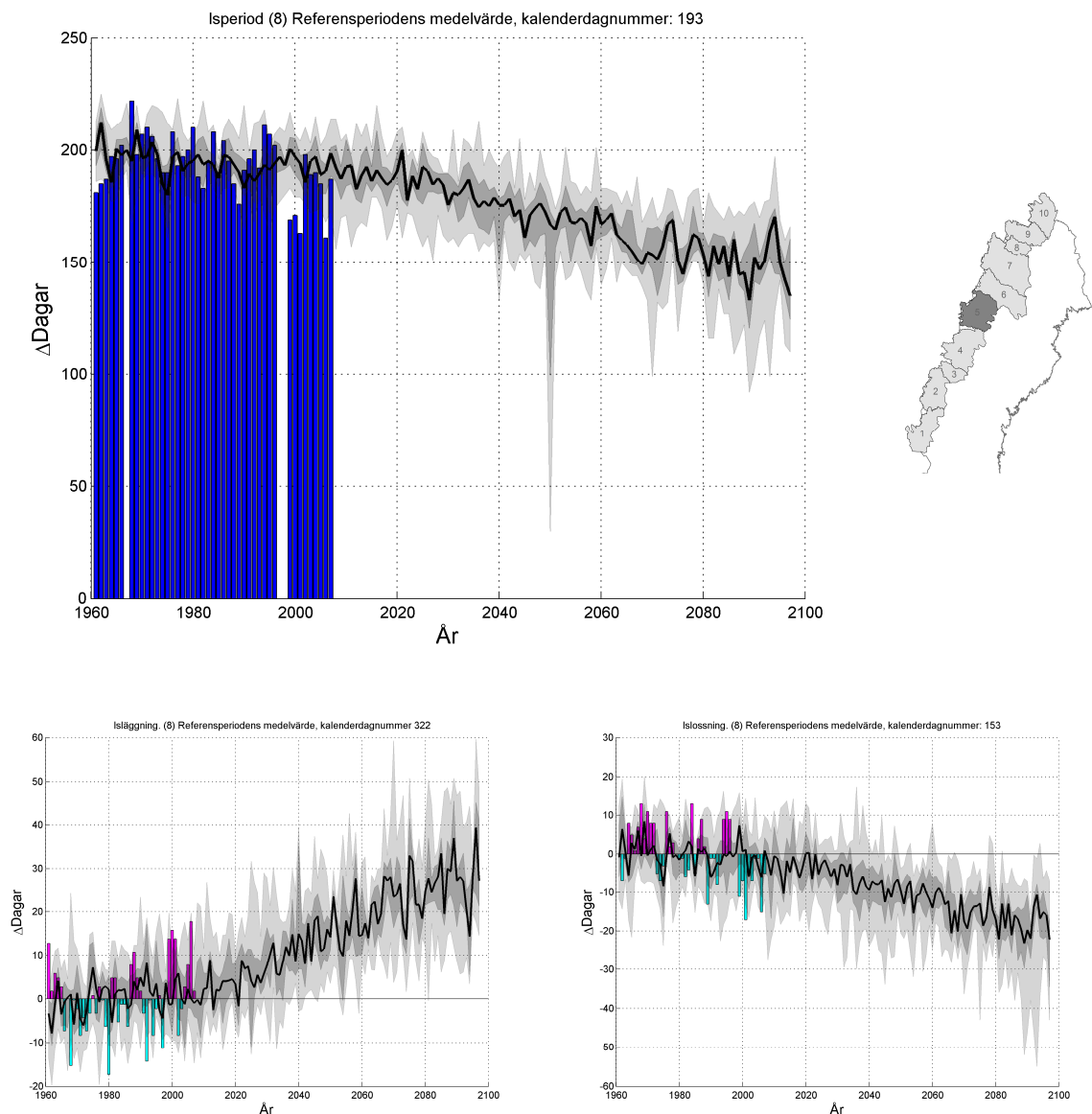
Figur 4-49. Rengen (fjällområde 3). Överst: Beräknad förändring av isperiod. Observerade värden visas som blå staplar (luckorna beror på saknade data). Nere till vänster avvikelse i dagnummer jämfört med referensperioden för isläggning, nere till höger motsvarande för islossning. Observerade avvikelser visas som staplar, lila staplar senare och turkosa staplar tidigare datum. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier visas i samtliga figurer med den svarta linjen. Den mörkare skuggningen avser spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarieensemblen. Den ljusare skuggningen visar maximalt respektive minimalt värde av samtliga klimatberäkningar.



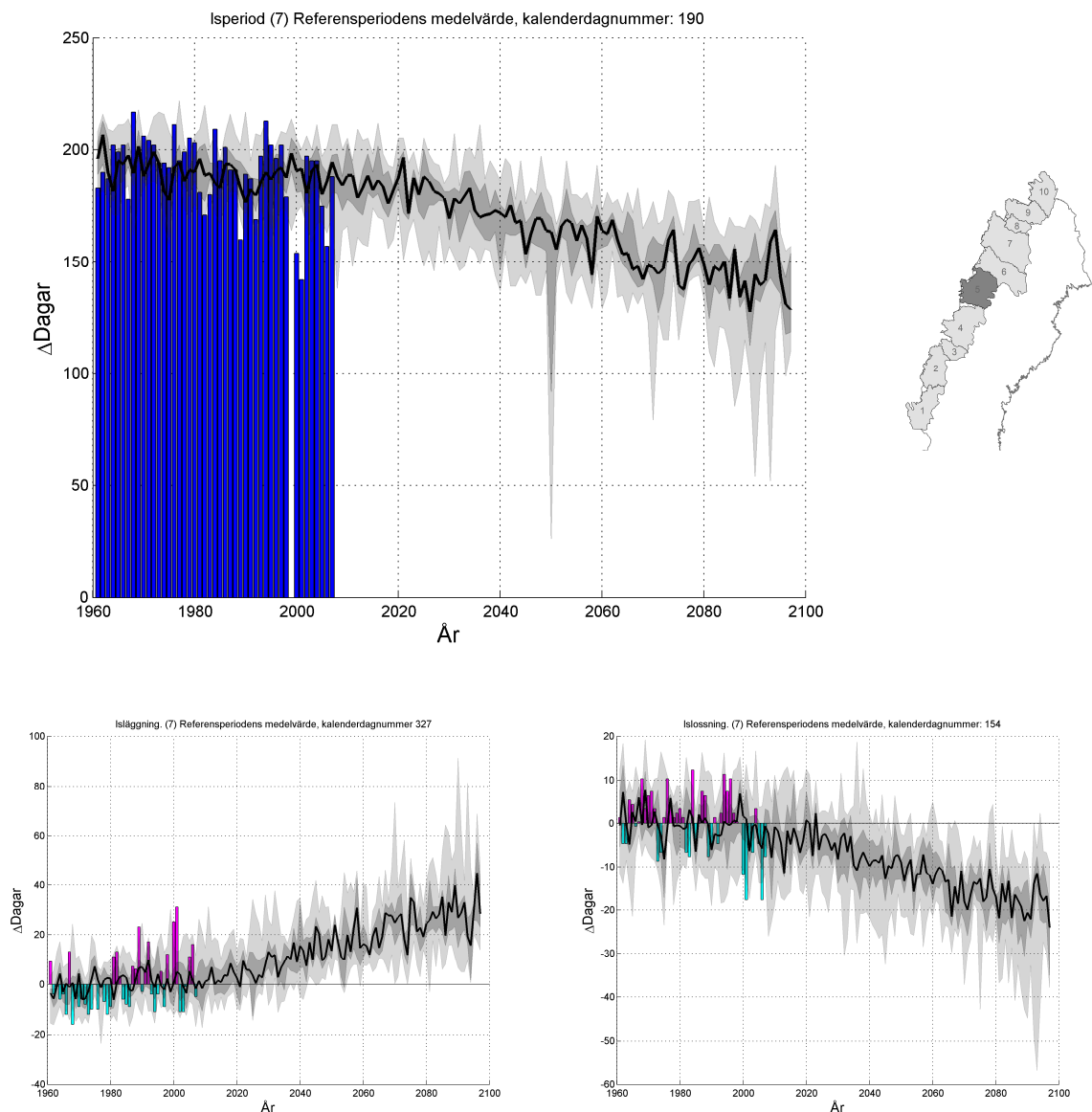
Figur 4-50. Västra Marssjön (fjällområde 4). Överst: Beräknad förändring av isperiod. Observerade värden visas som blå staplar (luckorna beror på saknade data). Nere till vänster avvikelse i dagnummer jämfört med referensperioden för isläggning, nere till höger motsvarande för islossning. Observerade avvikelser visas som staplar, lila staplar senare och turkosa staplar tidigare datum. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier visas i samtliga figurer med den svarta linjen. Den mörkare skuggningen avser spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarieensemblen. Den ljusare skuggningen visar maximalt respektive minimalt värde av samtliga klimatberäkningar.



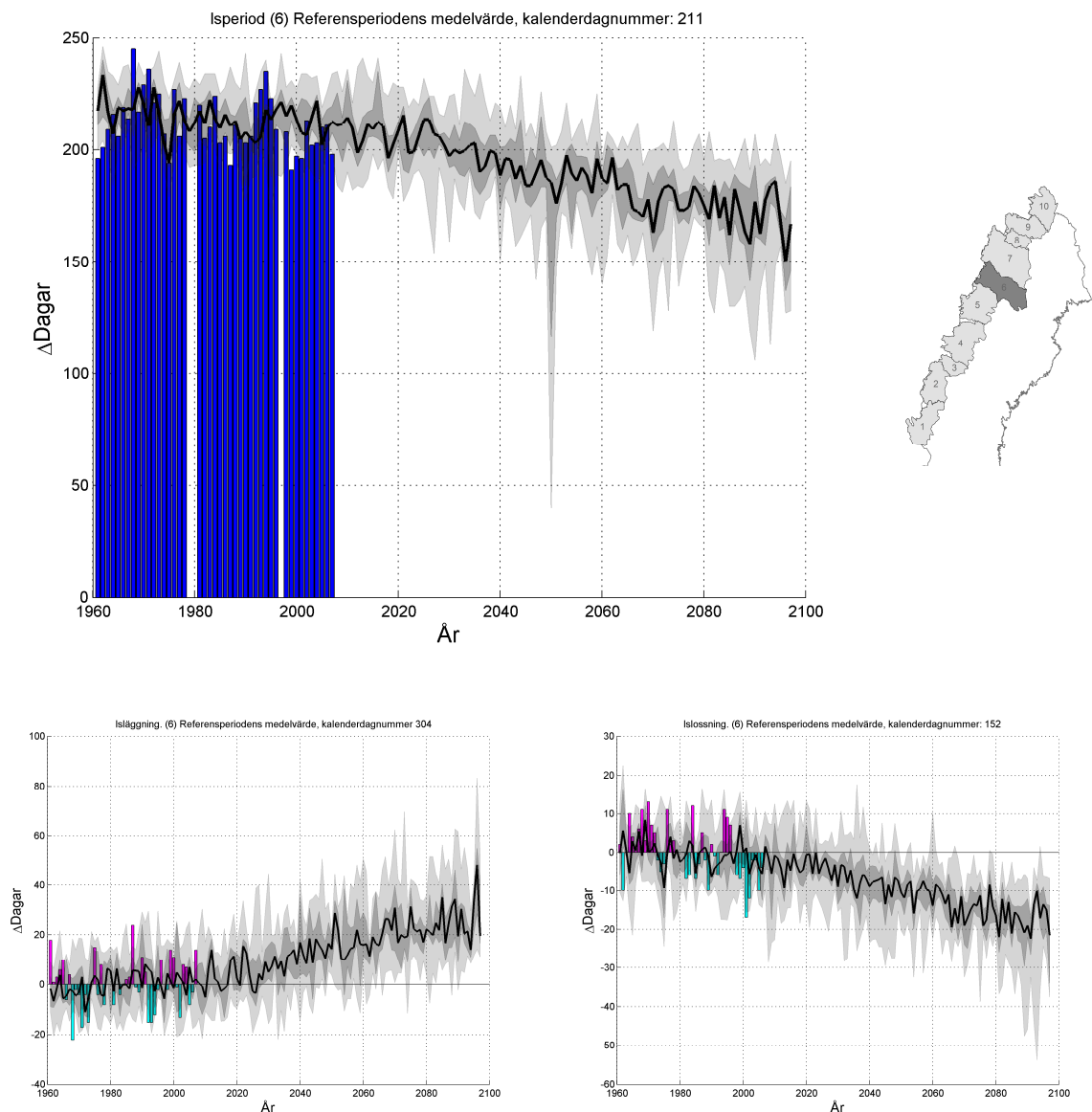
Figur 4-51. Lilljorm (fjällområde 4). Överst: Beräknad förändring av isperiod. Observerade värden visas som blå staplar (luckorna beror på saknade data). Nere till vänster avvikelse i dagnummer jämfört med referensperioden för isläggning, nere till höger motsvarande för islossning. Observerade avvikelser visas som staplar, lila staplar senare och turkosa staplar tidigare datum. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier visas i samtliga figurer med den svarta linjen. Den mörkare skuggningen avser spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarieensemblen. Den ljusare skuggningen visar maximalt respektive minimalt värde av samtliga klimatberäkningar.



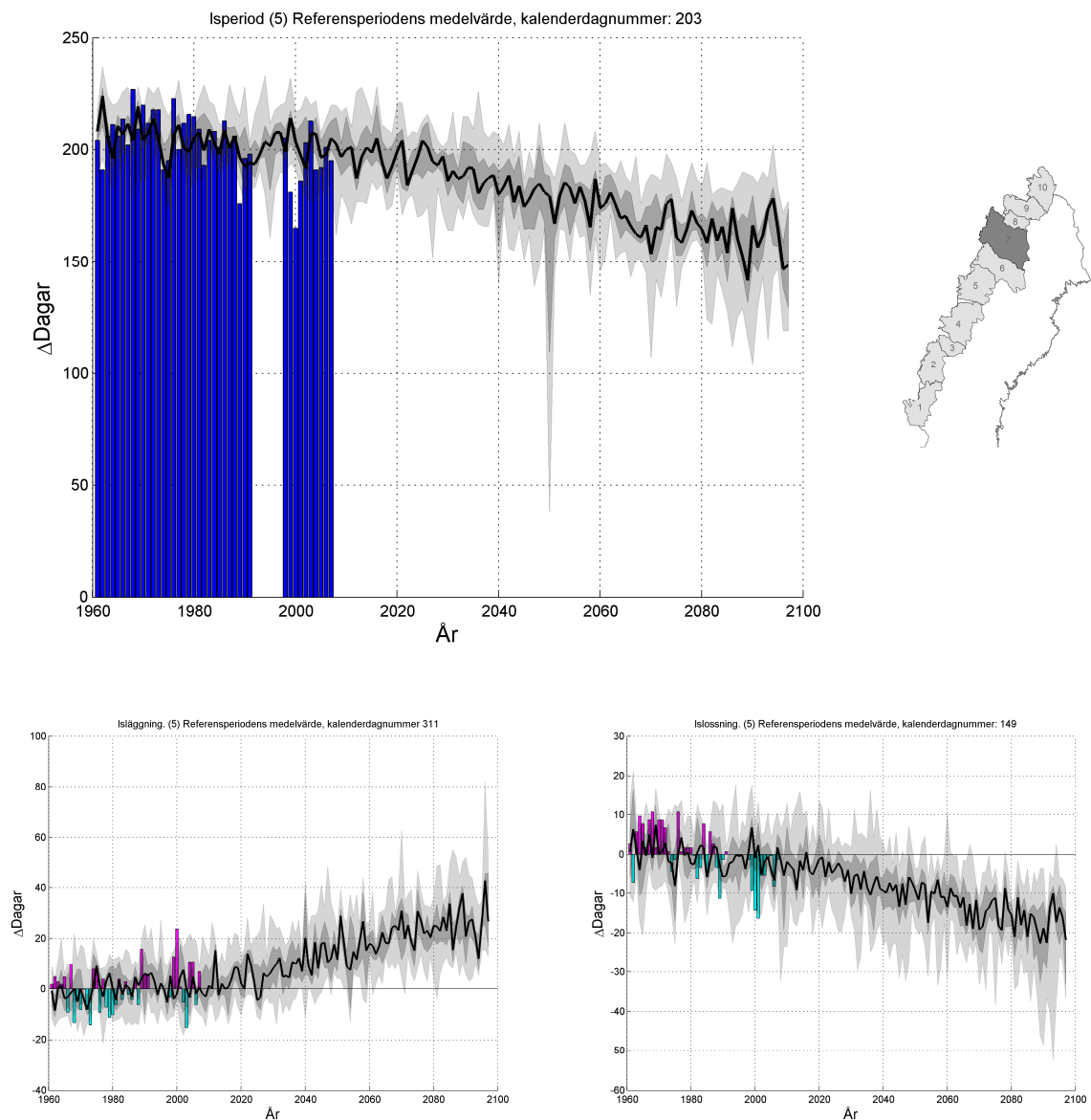
Figur 4-52. Laisan (fjällområde 5). Överst: Beräknad förändring av isperiod. Observerade värden visas som blå staplar (luckorna beror på saknade data). Nere till vänster avvikelse i dagnummer jämfört med referensperioden för isläggning, nere till höger motsvarande för islossning. Observerade avvikelser visas som staplar, lila staplar senare och turkosa staplar tidigare datum. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier visas i samtliga figurer med den svarta linjen. Den mörkare skuggningen avser spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarieensemblen. Den ljusare skuggningen visar maximalt respektive minimalt värde av samtliga klimatberäkningar.



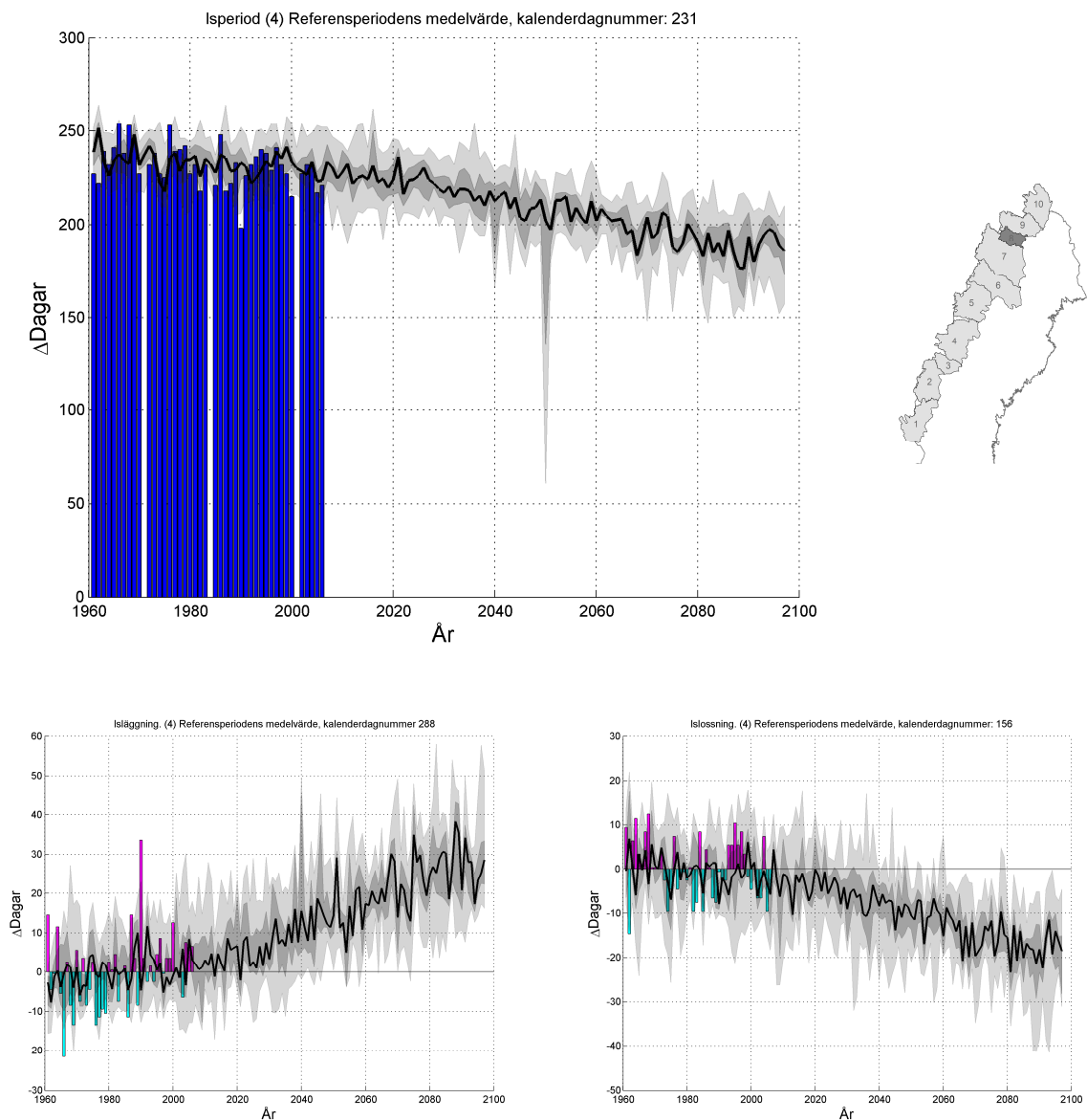
Figur 4-53. Överstjuktan (fjällområde 5). Överst: Beräknad förändring av isperiod. Observerade värden visas som blå staplar (luckorna beror på saknade data). Nere till vänster avvikelse i dagnummer jämfört med referensperioden för isläggning, nere till höger motsvarande för islossning. Observerade avvikelser visas som staplar, lila staplar senare och turkosa staplar tidigare datum. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier visas i samtliga figurer med den svarta linjen. Den mörkare skuggningen avser spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarieensemblen. Den ljusare skuggningen visar maximalt respektive minimalt värde av samtliga klimatberäkningar.



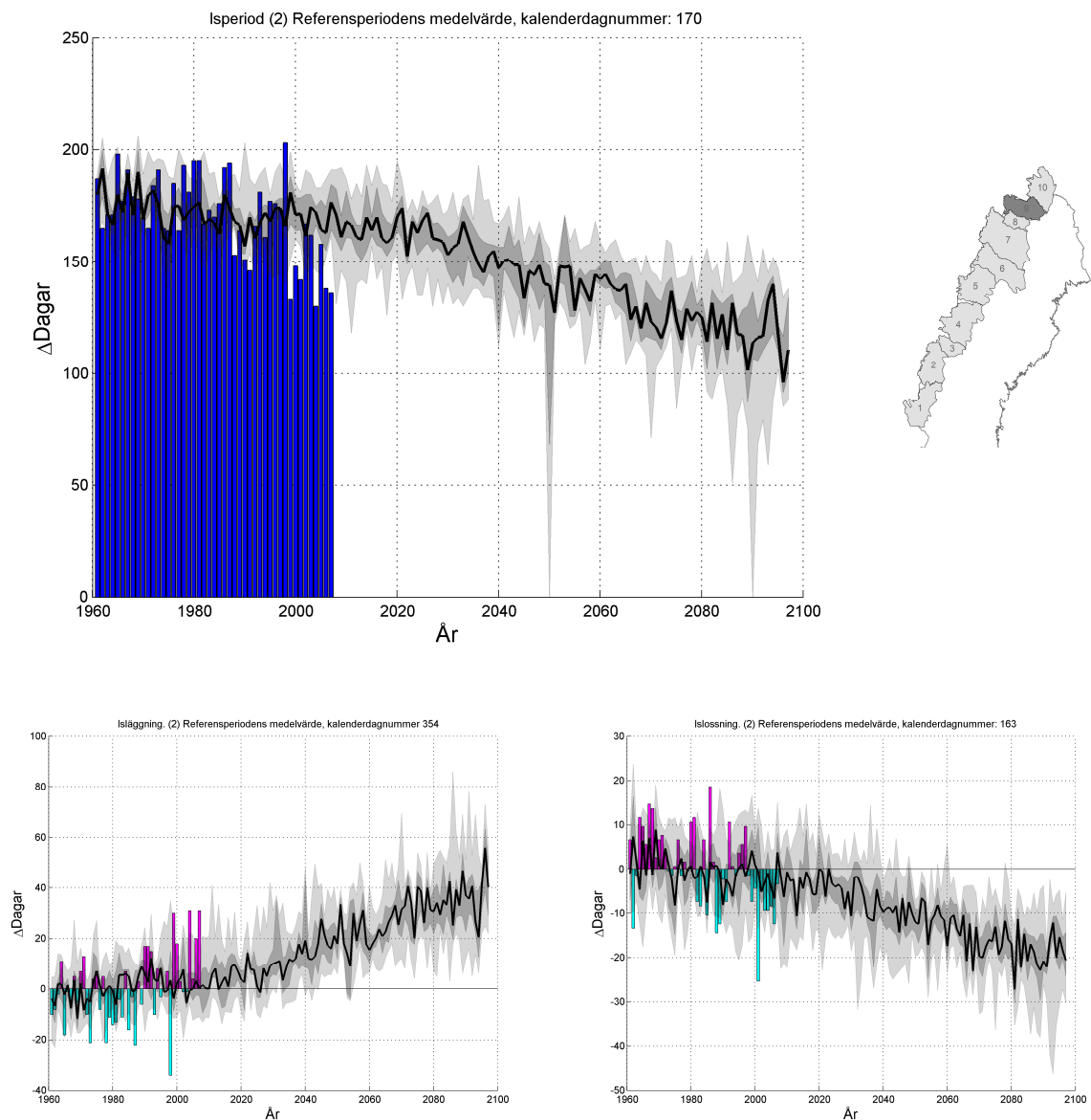
Figur 4-54. Saddingjåure (fjällområde 6). Överst: Beräknad förändring av isperiod. Observerade värden visas som blå staplar (luckorna beror på saknade data). Nere till vänster avvikelse i dagnummer jämfört med referensperioden för isläggning, nere till höger motsvarande för islossning. Observerade avvikelser visas som staplar, lila staplar senare och turkosa staplar tidigare datum. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier visas i samtliga figurer med den svarta linjen. Den mörkare skuggningen avser spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarieensemblen. Den ljusare skuggningen visar maximalt respektive minimalt värde av samtliga klimatberäkningar.



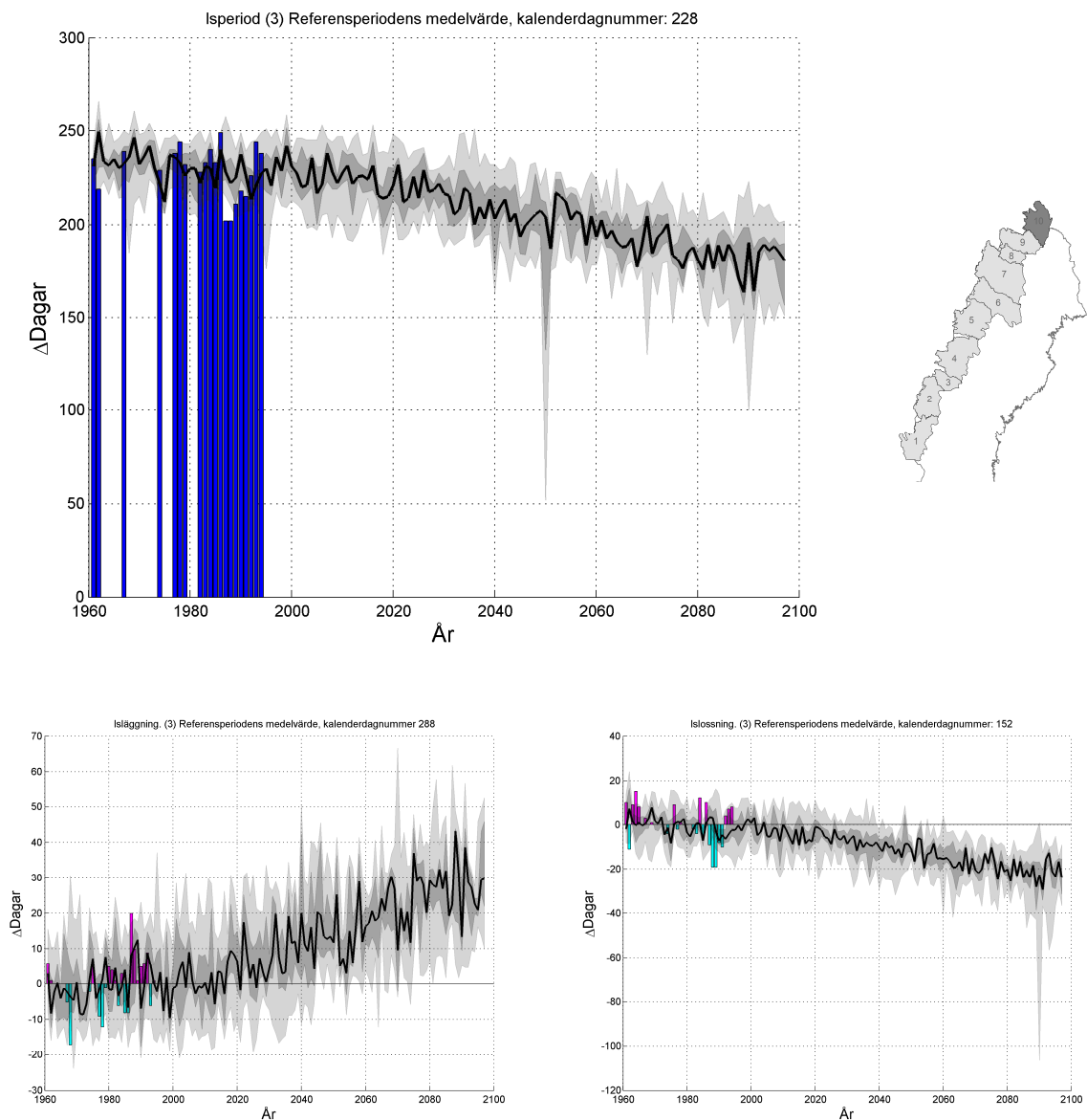
Figur 4-55. Randijaure (fjällområde 7). Överst: Beräknad förändring av isperiod. Observerade värden visas som blå staplar (luckorna beror på saknade data). Nere till vänster avvikelse i dagnummer jämfört med referensperioden för isläggning, nere till höger motsvarande för islossning. Observerade avvikelser visas som staplar, lila staplar senare och turkosa staplar tidigare datum. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier visas i samtliga figurer med den svarta linjen. Den mörkare skuggningen avser spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarieensemblen. Den ljusare skuggningen visar maximalt respektive minimalt värde av samtliga klimatberäkningar.



Figur 4-56. Kaalasjärvi (fjällområde 8). Överst: Beräknad förändring av isperiod. Observerade värden visas som blå staplar (luckorna beror på saknade data). Nere till vänster avvikelse i dagnummer jämfört med referensperioden för isläggning, nere till höger motsvarande för islossning. Observerade avvikelser visas som staplar, lila staplar senare och turkosa staplar tidigare datum. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier visas i samtliga figurer med den svarta linjen. Den mörkare skuggningen avser spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarieensemblen. Den ljusare skuggningen visar maximalt respektive minimalt värde av samtliga klimatberäkningar.



Figur 4-57. Torneträsk (fjällområde 9). Överst: Beräknad förändring av isperiod. Observerade värden visas som blå staplar (luckorna beror på saknade data). Nere till vänster avvikelse i dagnummer jämfört med referensperioden för isläggning, nere till höger motsvarande för islossning. Observerade avvikelser visas som staplar, lila staplar senare och turkosa staplar tidigare datum. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier visas i samtliga figurer med den svarta linjen. Den mörkare skuggningen avser spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarieensemblen. Den ljusare skuggningen visar maximalt respektive minimalt värde av samtliga klimatberäkningar.



Figur 4-58. Naimakkajärvi (fjällområde 10). Överst: Beräknad förändring av isperiod. Observerade värden visas som blå staplar (luckorna beror på saknade data). Nere till vänster avvikelse i dagnummer jämfört med referensperioden för isläggning, nere till höger motsvarande för islossning. Observerade avvikelser visas som staplar, lila staplar senare och turkosa staplar tidigare datum. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier visas i samtliga figurer med den svarta linjen. Den mörkare skuggningen avser spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarieensemblen. Den ljusare skuggningen visar maximalt respektive minimalt värde av samtliga klimatberäkningar.

## 4.4 Snö

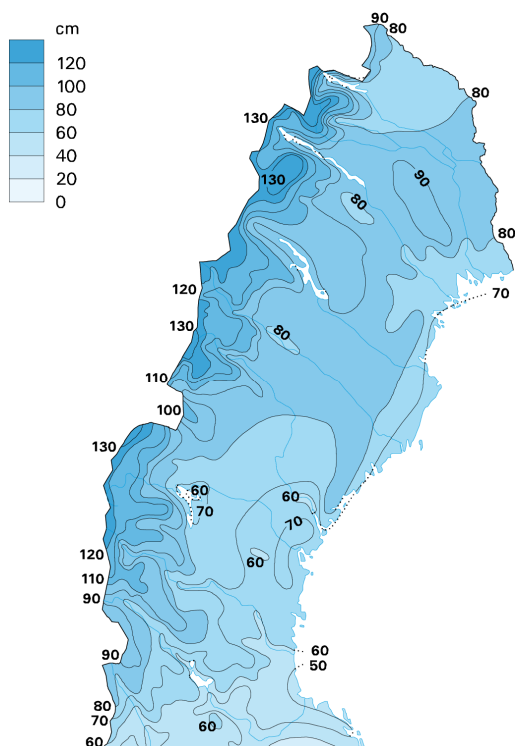
Framtida maximalt vatteninnehåll i snön under året och framtida snödaggar har beräknats med HBV-modellen utifrån de klimatindata som beskrivs under avsnitt 3.9. Snöanalysen har gjorts för delavrinningsområdena närmast kring de sjöar som också ingår i islossnings- och isläggingsanalysen i denna rapport, se Tabell 4-1.

### 4.4.1 Framtida maximalt vatteninnehåll i snön

Medelvärdena av de största observerade snödjupen under referensperioden 1961-1990 var mellan 80 till mer än 130 cm för Fjällregionen, (Figur 4-59). Beräknat maximalt vatteninnehåll i snön (mm) för referensperioden redovisas i *Tabell 4-3* för de undersökta delavrinningsområdena närmast kring 13 sjöar i fjällkedjan. Observera att beräkningarna är gjorda för millimeter vatteninnehåll och inte i snödjup. Observationerna är däremot uppmätta som snödjup, därför kan observationer och beräkningar inte jämföras direkt.

Förändringen av det maximala vatteninnehållet i snön (vatteninnehållet i snön under det dygn med beräknat störst snötäcke, d.v.s varje års maximala snötäcke) i medeltal under glidande 30-årsperioder jämfört med referensperiodens (1963 - 1992) medel av maximalt vatteninnehåll i snön visas i Figur 4-60 till Figur 4-72. Förändringen visas som %-avvikelse från referensperioden 1963-1992 för 13 avrinningsområden. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar.

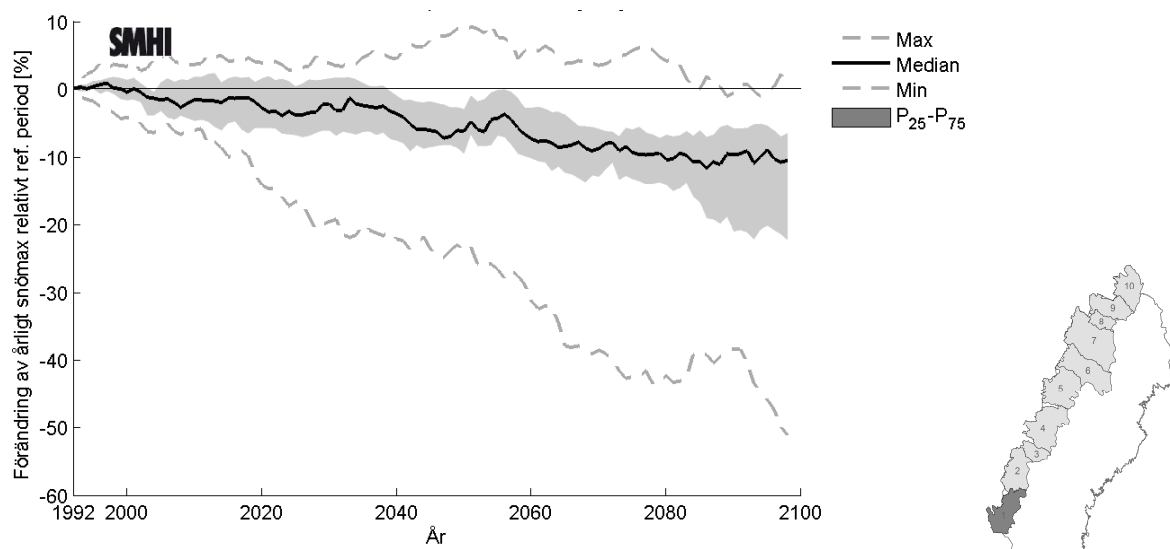
Resultaten från klimatberäkningarna visar på en nedåtgående trend för största vatteninnehåll i snön, och därmed snömängden, för i stort sett alla undersökta beräkningsområden i varierande grad under innevarande sekel, ner mot -40 %. Det är främst efter mitten på seklet som minskningen tar fart. Största procentuella avvikelsen i slutet av seklet kan ses för områdena kring Lilljorm (region 4), Kallsjön och Rengen (region 2 respektive 3) och närmast Västra Marssjön (region 4). De nordligaste områdena (region 7-10) uppvisar minst förändring.



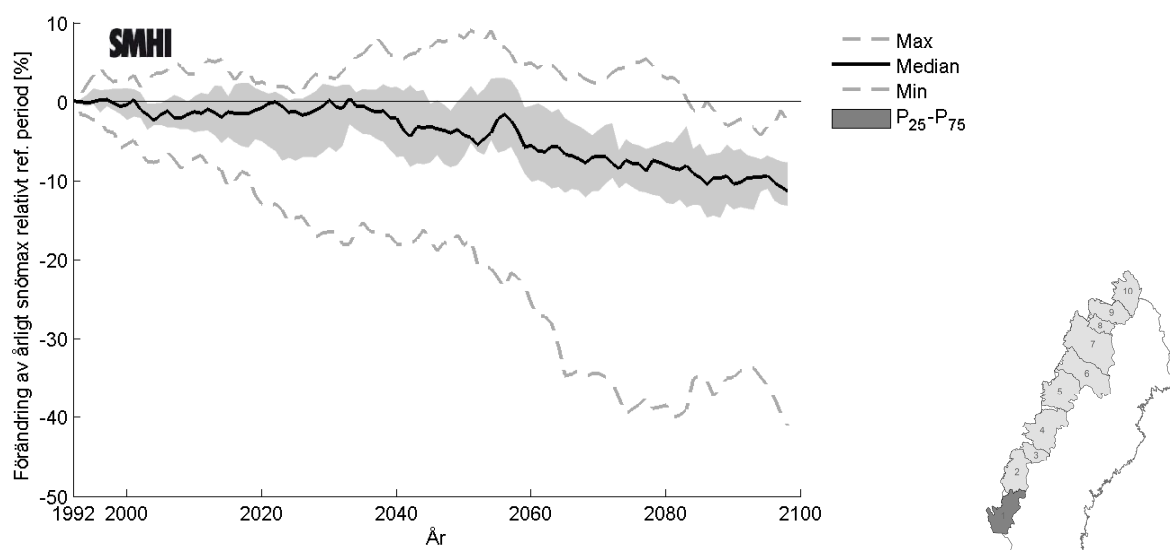
Figur 4-59. Medelvärden av observerade största snödjup (cm) 1961 – 1990 (Beskuren från Brandt, m. fl., 1999).

Tabell 4-3. Beräknat maximalt vatteninnehåll i snön (mm) under referensperioden 1963-1992 för områden närmast utvalda sjöar i fjällkedjan.

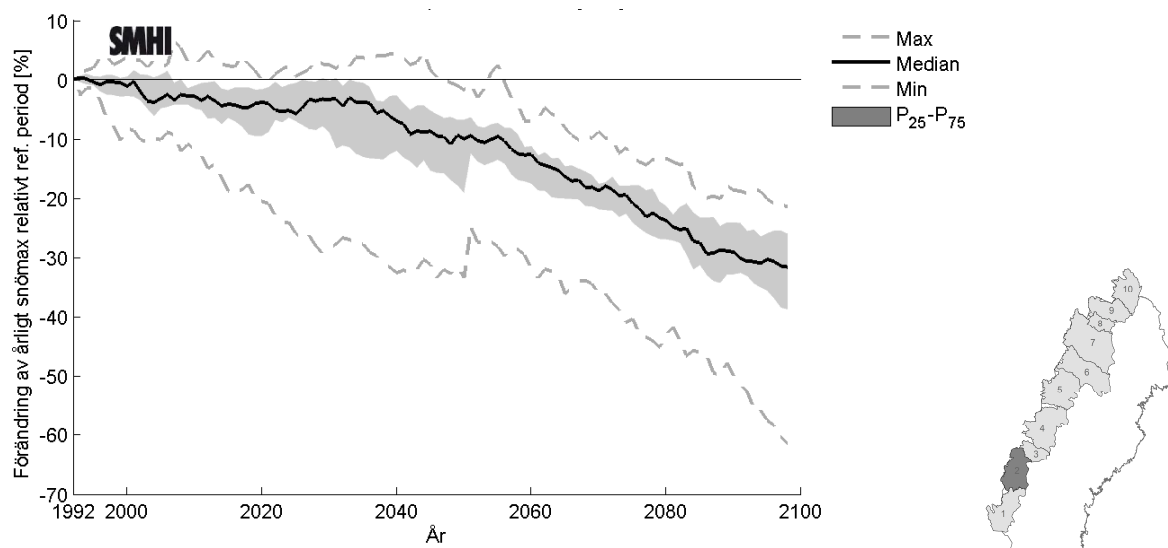
| Avrinningsområde till sjö | Fjällregion | Beräknat medelvärde av maximalt vatteninnehåll i snön för referensperioden 1963 - 1992 |
|---------------------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Malmagen                  | 1           | 295 mm                                                                                 |
| Storsjön                  | 1           | 249 mm                                                                                 |
| Kallsjön                  | 2           | 226 mm                                                                                 |
| Rengen                    | 3           | 319 mm                                                                                 |
| Västra Marssjön           | 4           | 199 mm                                                                                 |
| Lilljorm                  | 4           | 290 mm                                                                                 |
| Laisan                    | 5           | 202 mm                                                                                 |
| Överstjuktan              | 5           | 372 mm                                                                                 |
| Saddajaure                | 6           | 201 mm                                                                                 |
| Randijaure                | 7           | 134 mm                                                                                 |
| Kaalasjärvi               | 8           | 178 mm                                                                                 |
| Torneträsk                | 9           | 311 mm                                                                                 |
| Naimakkajärvi             | 10          | 217 mm                                                                                 |



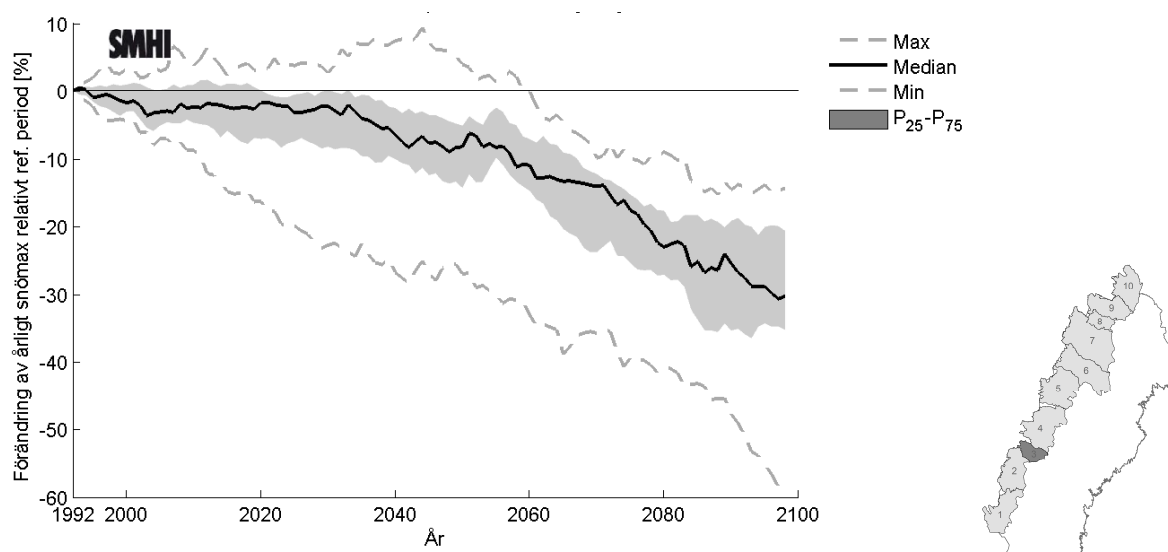
Figur 4-60. Beräknad framtida förändring av snömax för Malmagen (fjällregion 1) jämfört med referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från medel av snömax för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet från 1963-1992). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar området mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar de maximala respektive minimala värdena från samtliga klimatberäkningar.



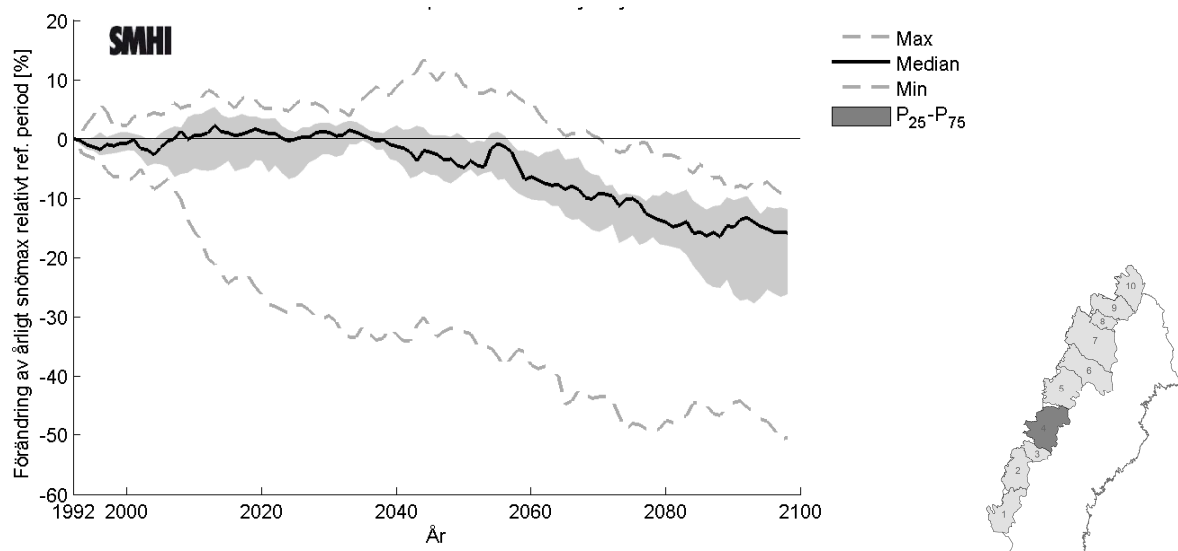
Figur 4-61. Beräknad framtida förändring av snömax för Storsjön (fjällregion 1) jämfört med referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från medel av snömax för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet från 1963-1992). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar området mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar de maximala respektive minimala värdena från samtliga klimatberäkningar.



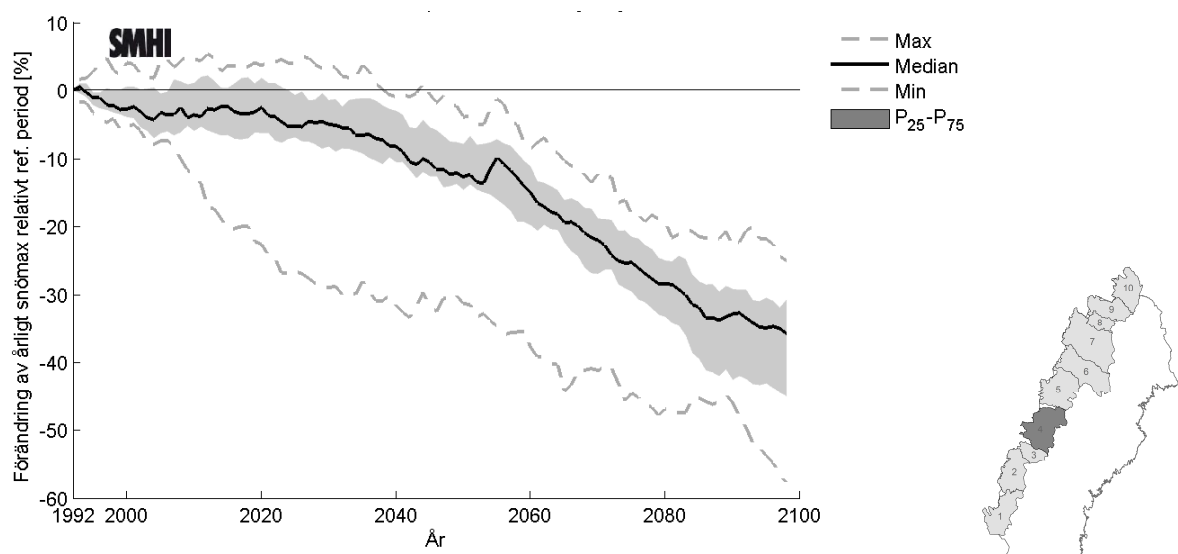
Figur 4-62. Beräknad framtida förändring av snömax för Kallsjön (fjällregion 2) jämfört med referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från medel av snömax för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet från 1963-1992). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar området mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensembeln. De streckade linjerna visar de maximala respektive minimala värdena från samtliga klimatberäkningar.



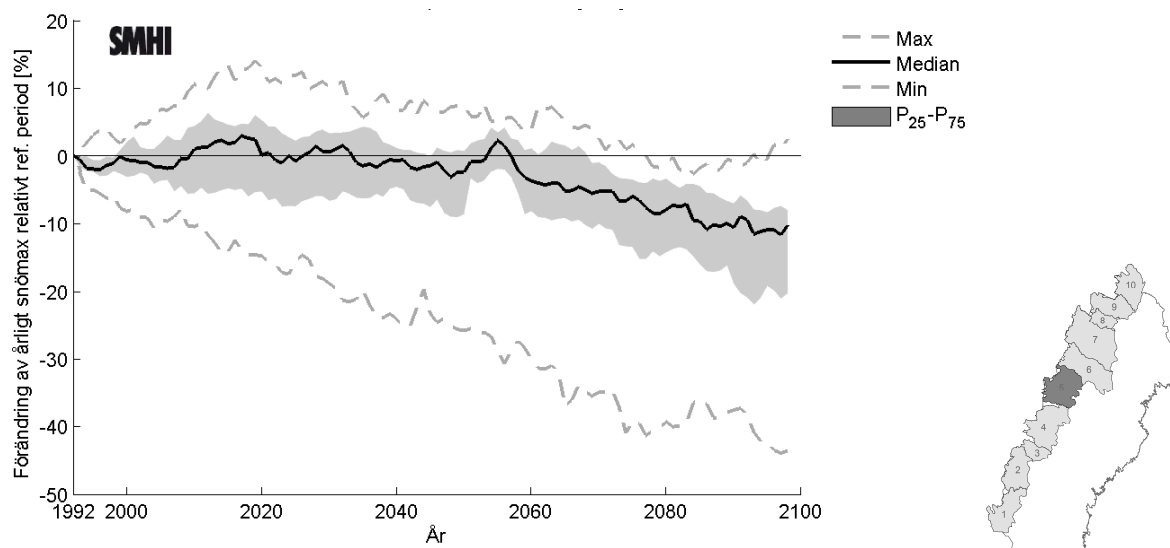
Figur 4-63. Beräknad framtida förändring av snömax för Rengen (fjällregion 3) jämfört med referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från medel av snömax för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet från 1963-1992). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar området mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensembeln. De streckade linjerna visar de maximala respektive minimala värdena från samtliga klimatberäkningar.



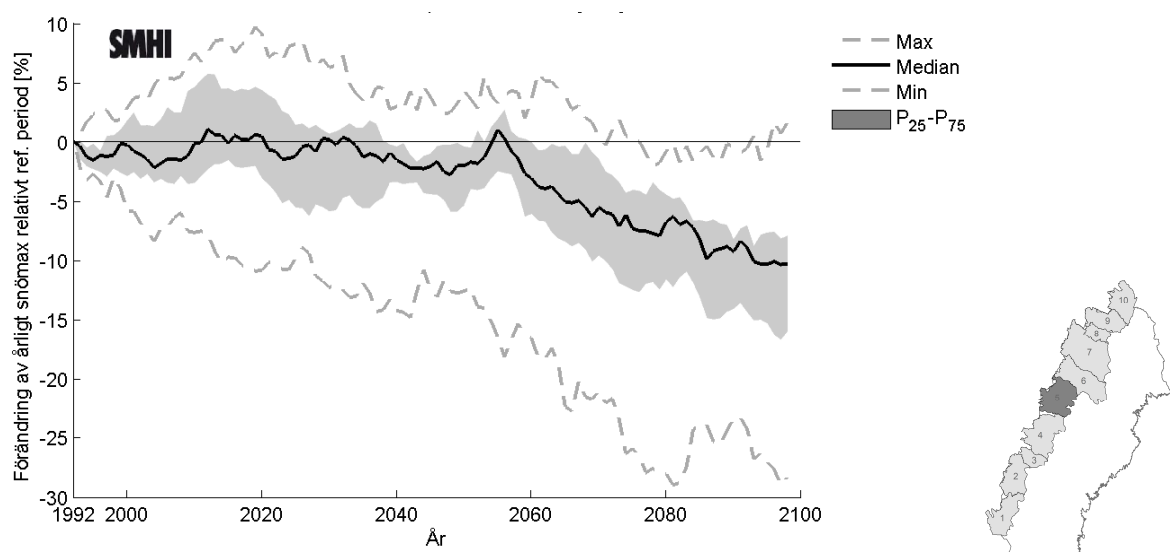
Figur 4-64. Beräknad framtida förändring av snömax för Västra Marssjön (fjällregion 4) jämfört med referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från medel av snömax för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet från 1963-1992). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar området mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar de maximala respektive minimala värdena från samtliga klimatberäkningar.



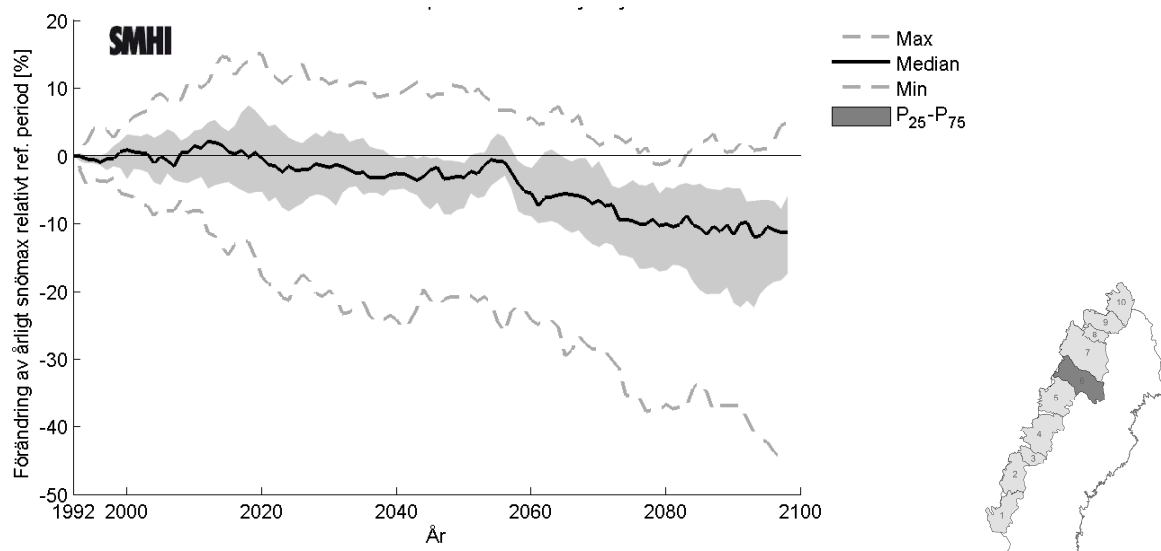
Figur 4-65. Beräknad framtida förändring av snömax för Lilljorm (fjällregion 4) jämfört med referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från medel av snömax för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet från 1963-1992). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar området mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar de maximala respektive minimala värdena från samtliga klimatberäkningar.



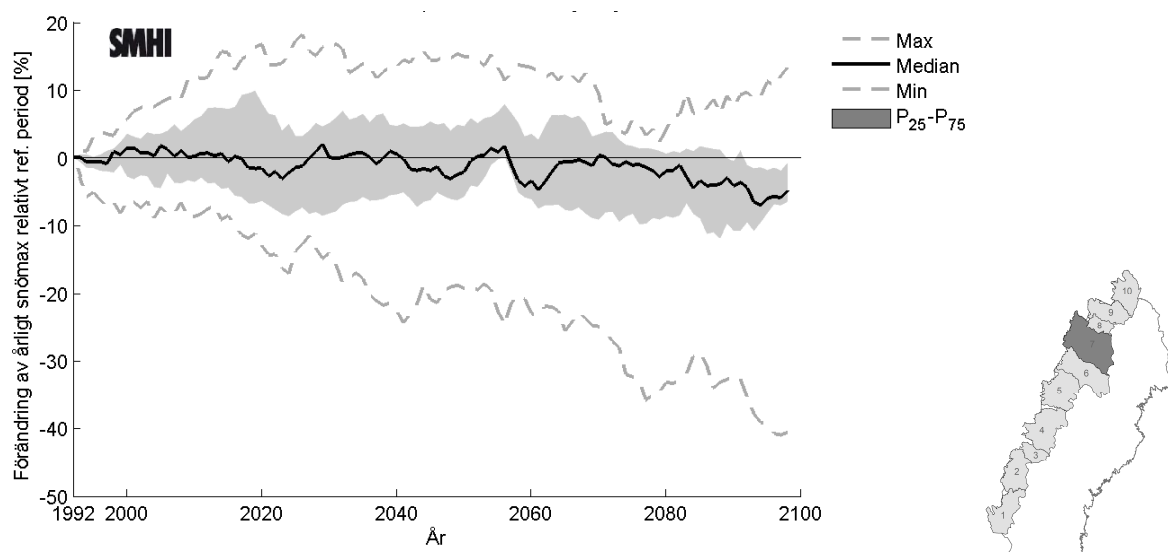
Figur 4-66. Beräknad framtida förändring av snömax för Laisan (fjällregion 5) jämfört med referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från medel av snömax för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet från 1963-1992). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar området mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensembeln. De streckade linjerna visar de maximala respektive minimala värdena från samtliga klimatberäkningar.



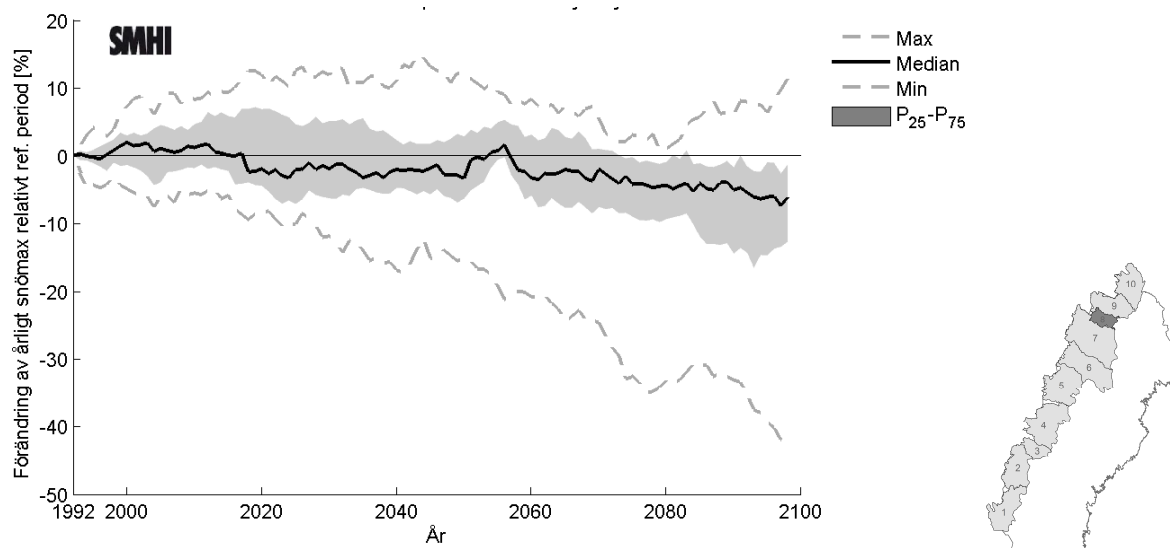
Figur 4-67. Beräknad framtida förändring av snömax för Överstjuktan (fjällregion 5) jämfört med referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från medel av snömax för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet från 1963-1992). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar området mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensembeln. De streckade linjerna visar de maximala respektive minimala värdena från samtliga klimatberäkningar.



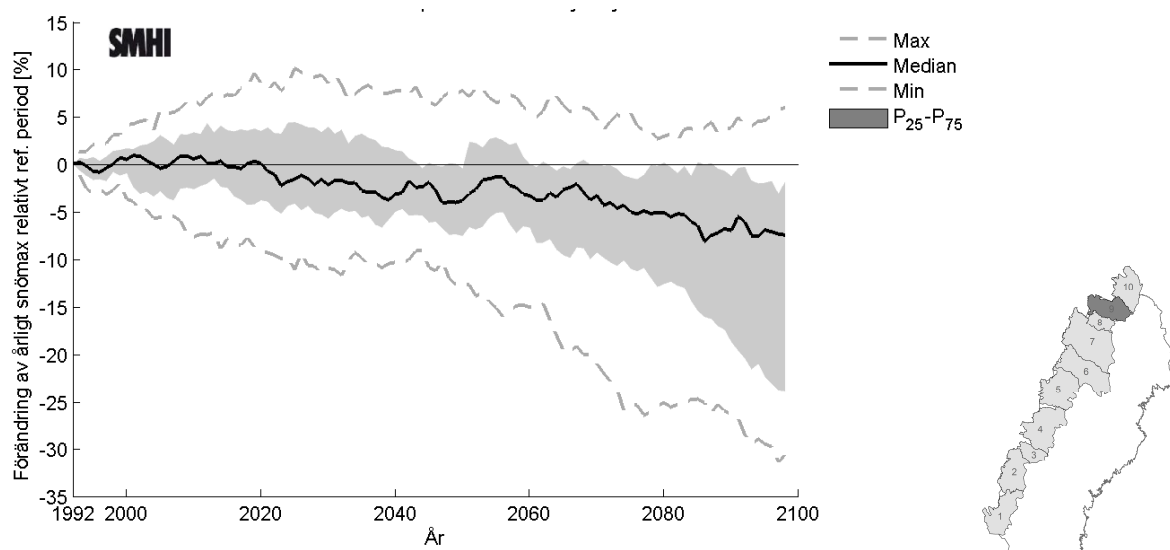
Figur 4-68. Beräknad framtida förändring av snömax för Saddajaure (fjällregion 6) jämfört med referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från medel av snömax för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet från 1963-1992). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar området mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar de maximala respektive minimala värdena från samtliga klimatberäkningar.



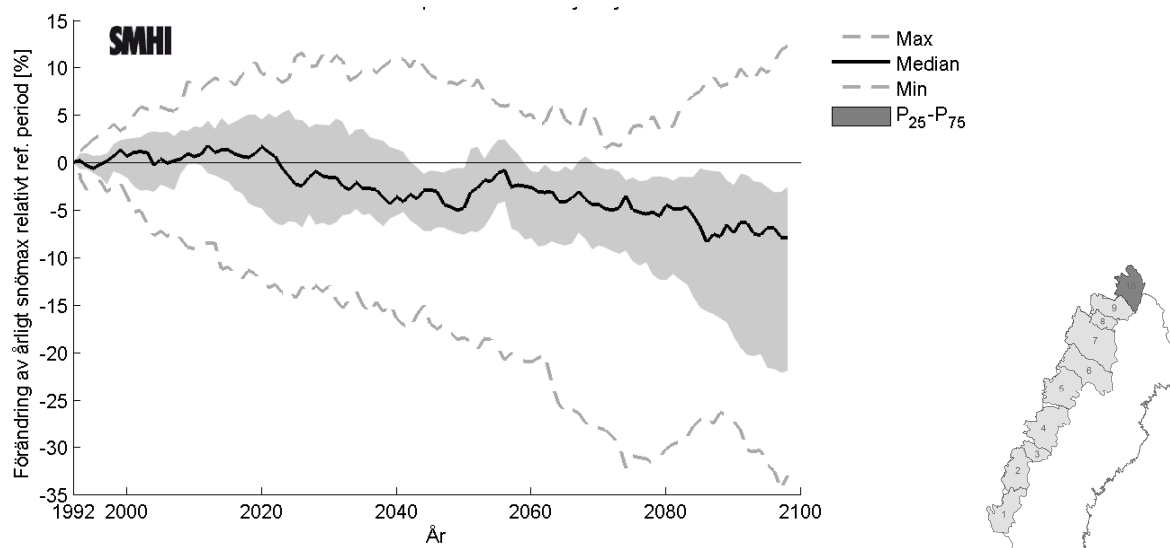
Figur 4-69. Beräknad framtida förändring av snömax för Randijaure (fjällregion 7) jämfört med referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från medel av snömax för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet från 1963-1992). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar området mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar de maximala respektive minimala värdena från samtliga klimatberäkningar.



Figur 4-70. Beräknad framtida förändring av snömax för Kaalasjärvi (fjällregion 8) jämfört med referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från medel av snömax för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet från 1963-1992). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar området mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar de maximala respektive minimala värdena från samtliga klimatberäkningar.



Figur 4-71. Beräknad framtida förändring av snömax för Torneträsk (fjällregion 9) jämfört med referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från medel av snömax för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet från 1963-1992). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar området mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar de maximala respektive minimala värdena från samtliga klimatberäkningar.



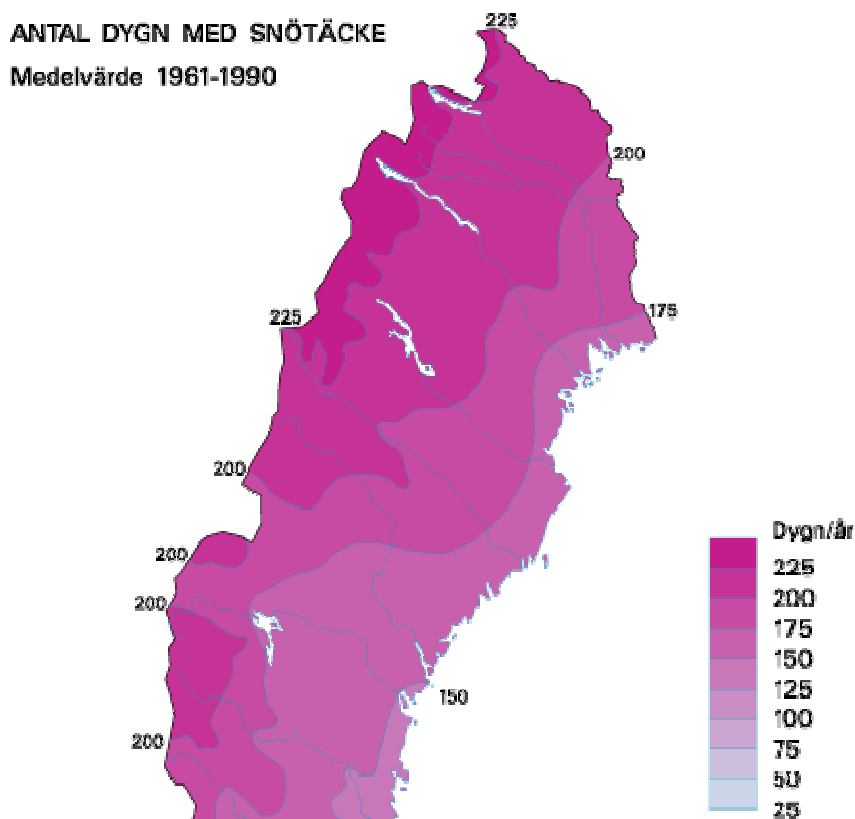
Figur 4-72. Beräknad framtida förändring av snömax för Naimakalärvi (fjällregion 10) jämfört med referensperioden 1963-1992. Varje års värde har beräknats från medel av snömax för de 30 föregående åren (exempelvis är värdet 2050 beräknat från perioden 2021-2050 jämfört med medelvärdet från 1963-1992). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar området mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar de maximala respektive minimala värdena från samtliga klimatberäkningar.

#### 4.4.2 Framtida antal snödag

Medelvärdena av antalet observerade snödag under referensperioden 1961-1990 är för fjällkedjan mellan 175 och 225 (Figur 4-73. ). Detta stämmer relativt väl med de resultat som erhöles från de hydrologiska klimatberäkningarna för de olika undersökta delavrinningsområdena närmast 13 sjöar i fjällkedjan, dock överskattas antalet snödag i modellberäkningarna generellt något mot observationerna, se Tabell 4-4.

Förändringen av antal dagar per år med snötäcke (snödag) visas i Figur 4-74 till Figur 4-86 för områdena i Tabell 4-4. I diagrammen visas medelvärden av antal snödag (antal dagar med snötäcke med vatteninnehåll > 5 mm) under glidande 30-årsperioder. Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras som en svart linje. Skuggningen visar området mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar.

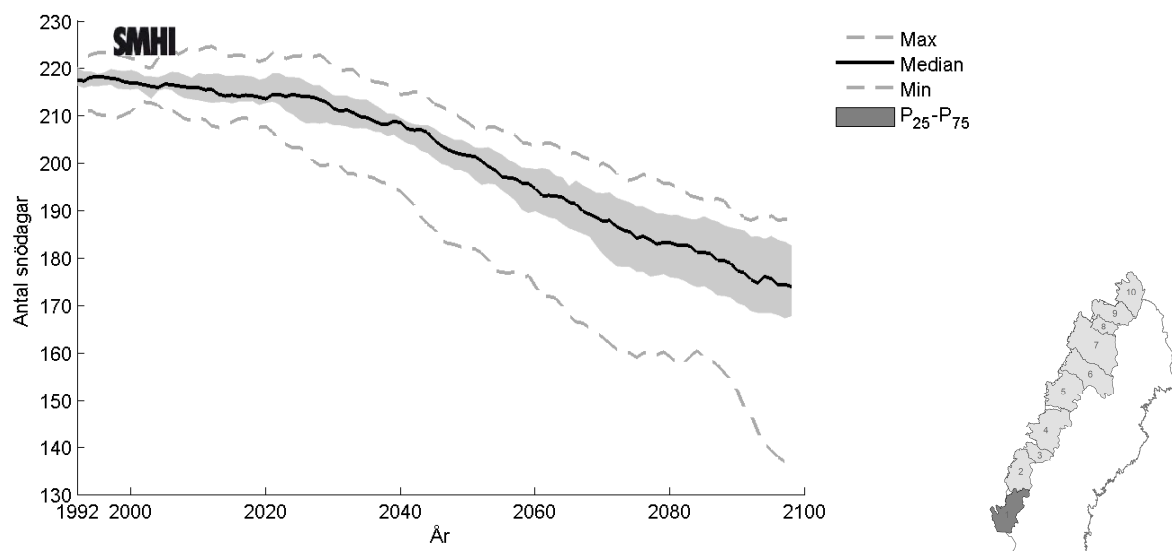
Resultaten från beräkningarna visar att antalet snödag väntas minska för samtliga regioner i fjällkedjan under innevarande sekel. Minskningen av antalet snödag ökar kring år 2040. Vid jämförelse mellan referensperioden och slutet av seklet är förändringen mellan cirka 30-50 dagar. Den minsta förändringen syns för områdena i region 6-8 och den största i regionerna 3-4 och 8-10. Det innebär för de nordligaste regionerna att antalet snödag ser ut att minska kraftigt mot slutet av århundradet men att maximala vatteninnehållet i snön (se avsnitt 4.4.1) påverkas mindre än för områdena i de övriga regionerna. För områdena i region 2 och 3, som uppvisar den största framtida förändringen avseende vatteninnehåll i snön minskar också antalet snödag kraftigt.



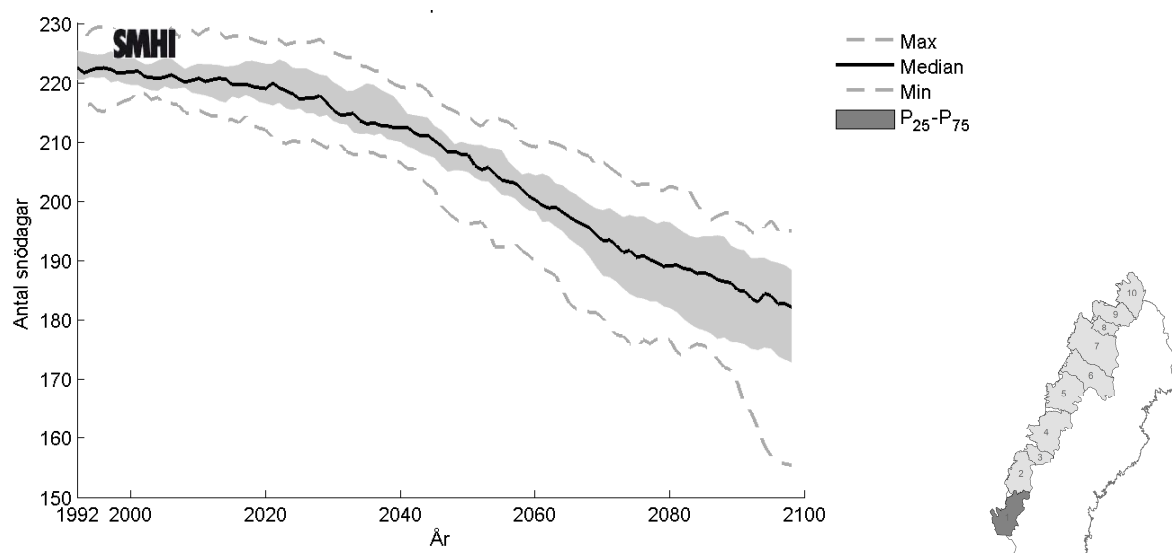
Figur 4-73. Antal dygn med snötäcke 1961 – 1990 i norra Sverige (Beskuren från Brandt, m. fl., 1999).

Tabell 4-4. Observerade och beräknade antal snö dagar under referensperioden för delavrinningsområdena närmast 13 sjöar i fjällregionen.

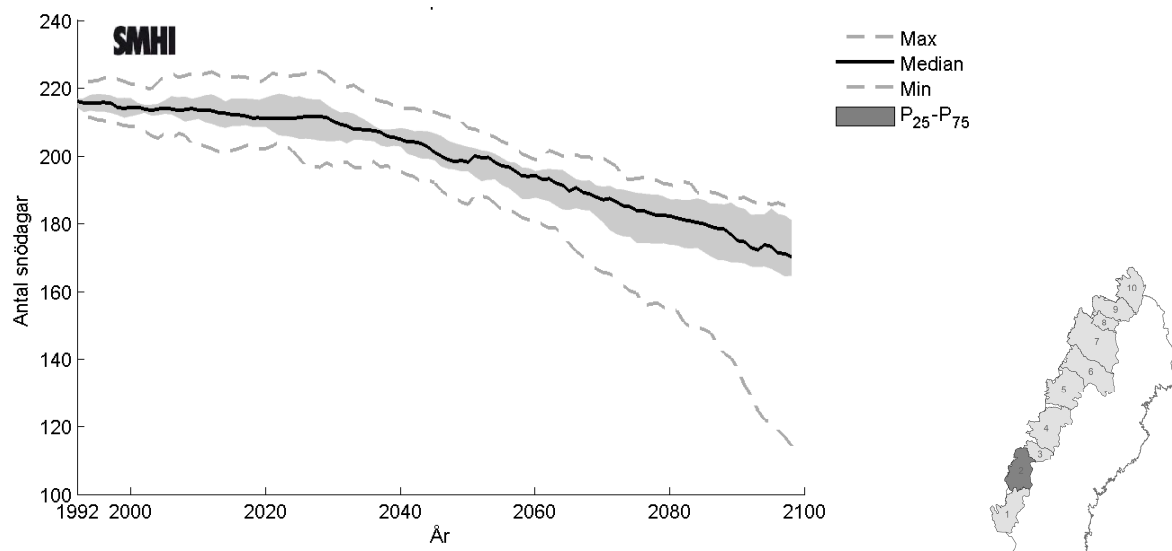
| Avrinningsområde till sjö | Fjällregion | Observerade antal snö dagar under referensperioden 1961 - 1990 | Median av beräknade antal snö dagar under referensperioden 1963 - 1992 |
|---------------------------|-------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Malmagen                  | 1           | 200-225                                                        | 217                                                                    |
| Storsjön                  | 1           | 200-225                                                        | 222                                                                    |
| Kallsjön                  | 2           | 175-200                                                        | 216                                                                    |
| Rengen                    | 3           | 175-200                                                        | 232                                                                    |
| Västra Marssjön           | 4           | 200-225                                                        | 208                                                                    |
| Lilljorm                  | 4           | 200-225                                                        | 221                                                                    |
| Laisan                    | 5           | 200-225                                                        | 223                                                                    |
| Överstjuktan              | 5           | Ca 225                                                         | 251                                                                    |
| Saddajaure                | 6           | 200-225                                                        | 214                                                                    |
| Randijaure                | 7           | 200-225                                                        | 200                                                                    |
| Kaalasjärvi               | 8           | 200-225                                                        | 231                                                                    |
| Torneträsk                | 9           | 200-225                                                        | 268                                                                    |
| Naimakkajärvi             | 10          | 200-225                                                        | 233                                                                    |



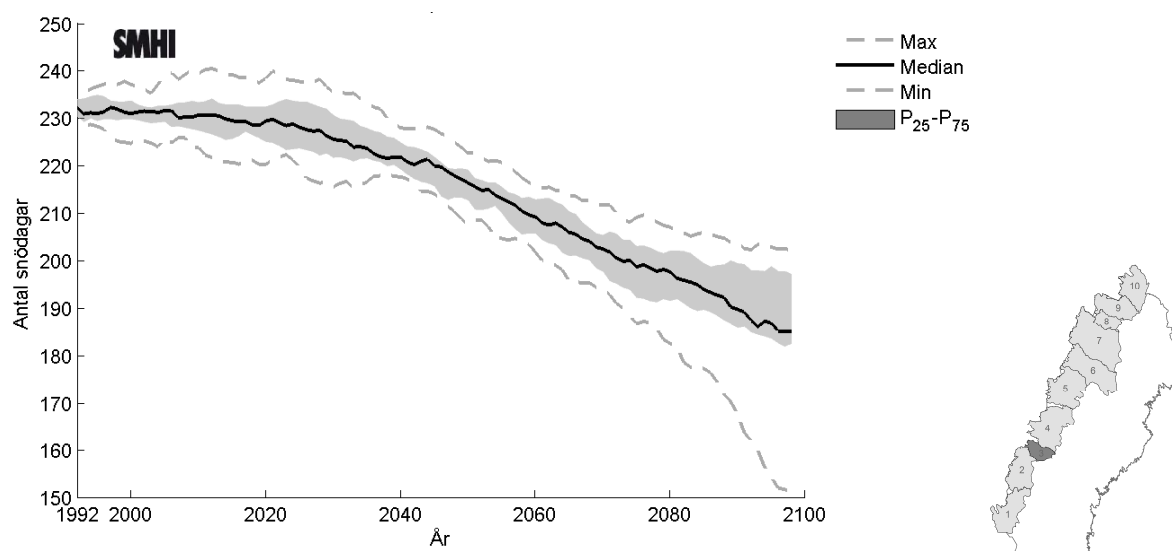
Figur 4-74. Beräknad förändring av snö dagar för Malmagen (fjällregion 1). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar.



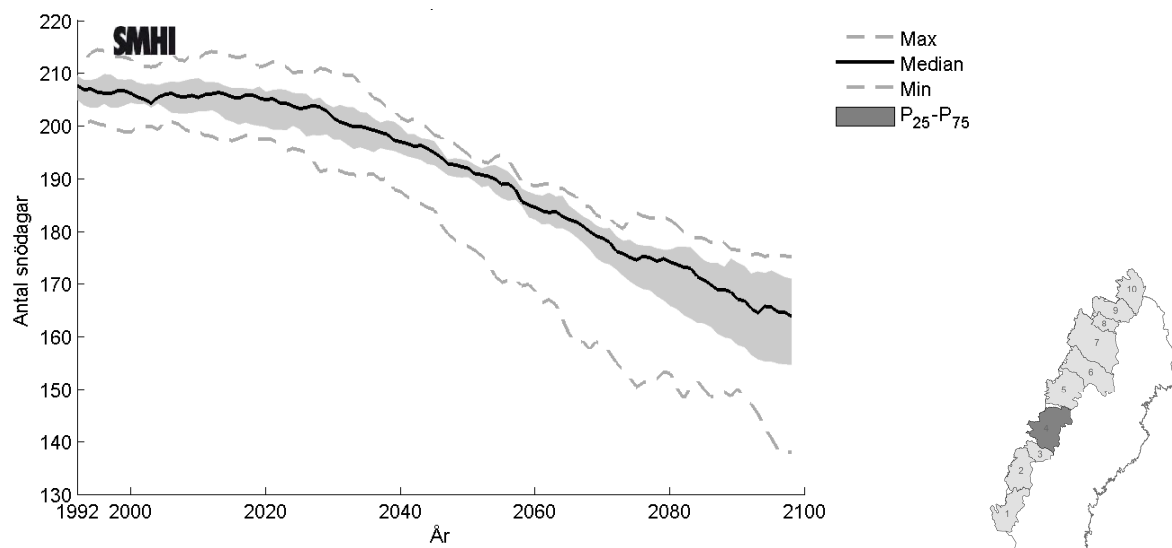
Figur 4-75. Beräknad förändring av snö dagar för Storsjön (fjällregion 1). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar.



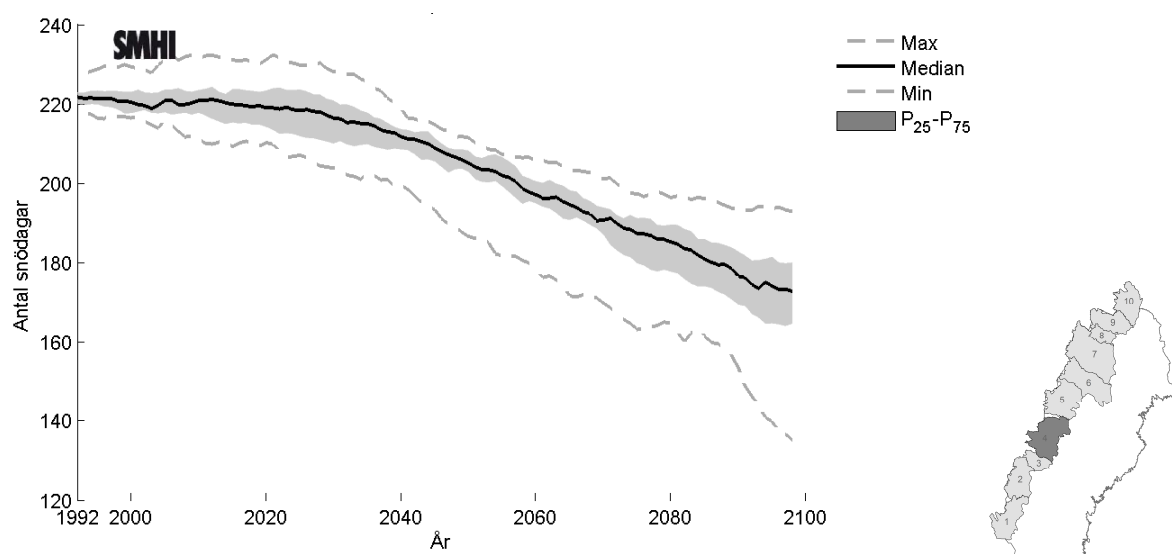
Figur 4-76. Beräknad förändring av snödaggar för Kallsjön (fjällregion 2). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar.



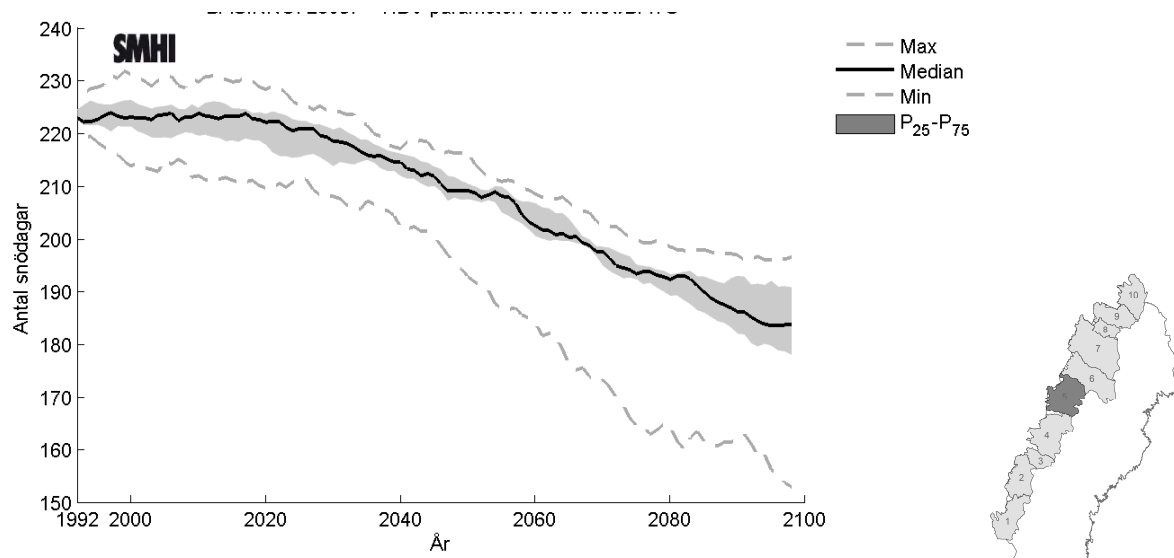
Figur 4-77. Beräknad förändring av snödaggar för Rengen (fjällregion 3). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar.



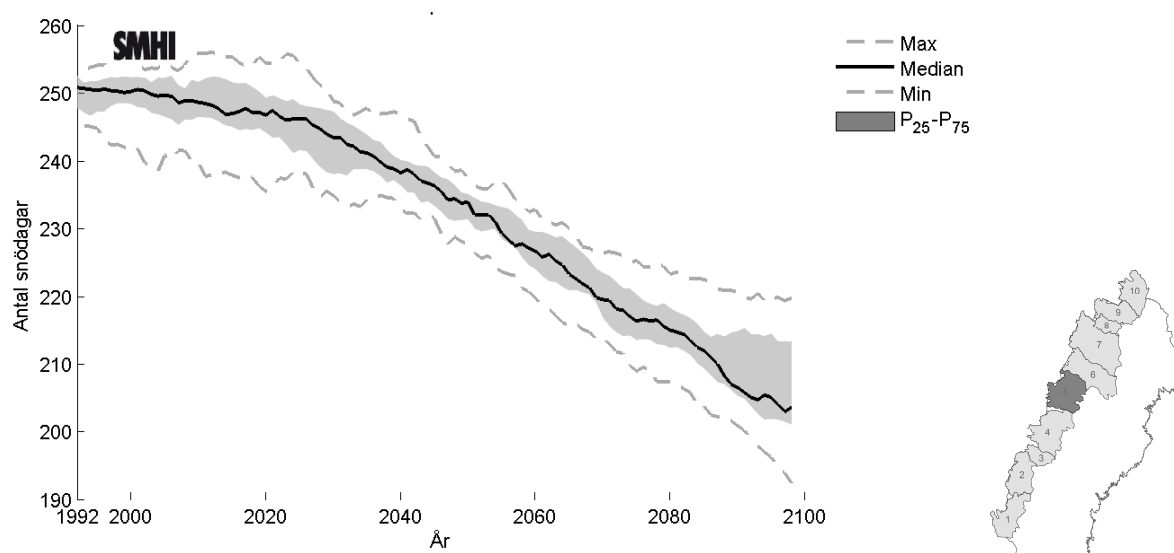
Figur 4-78. Beräknad förändring av snödaggar för Västra Marssjön (fjällområde 4). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar.



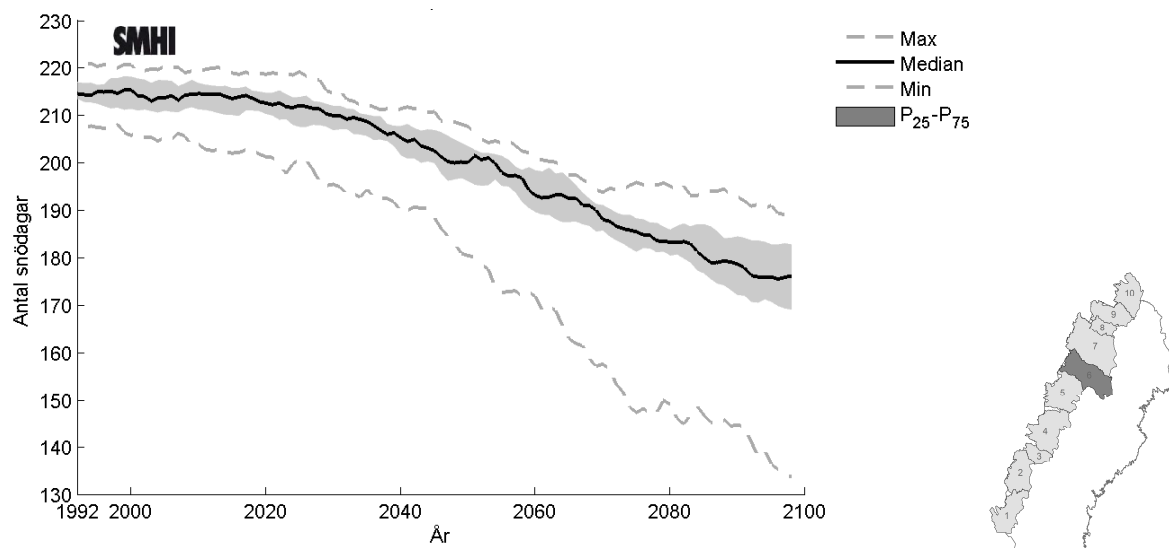
Figur 4-79. Beräknad förändring av snödaggar för Lilljorm (fjällområde 4). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar.



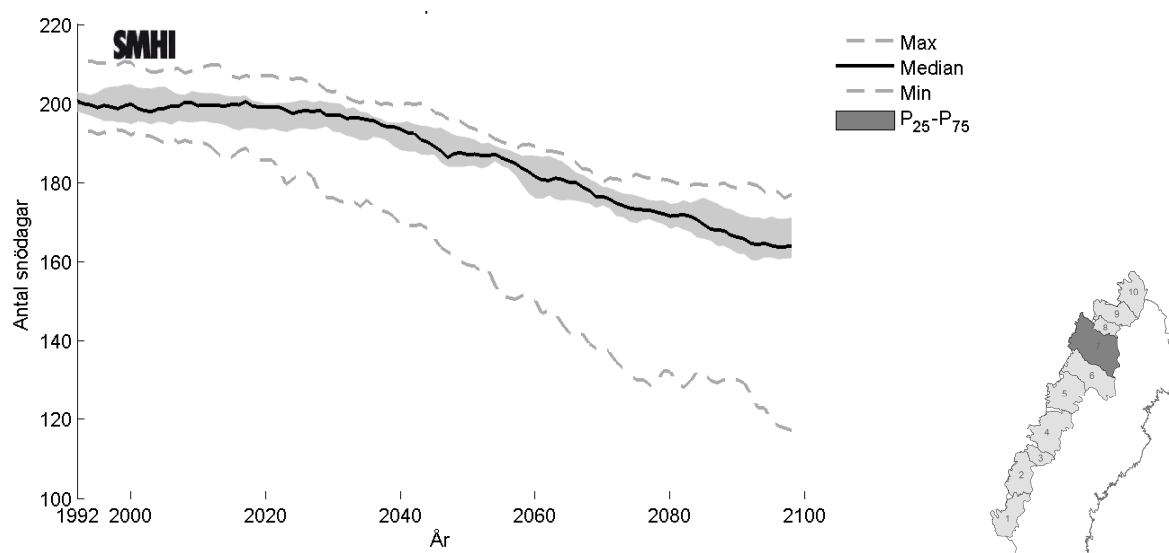
Figur 4-80. Beräknad förändring av snödaggar för Laisan (fjällområde 5). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar.



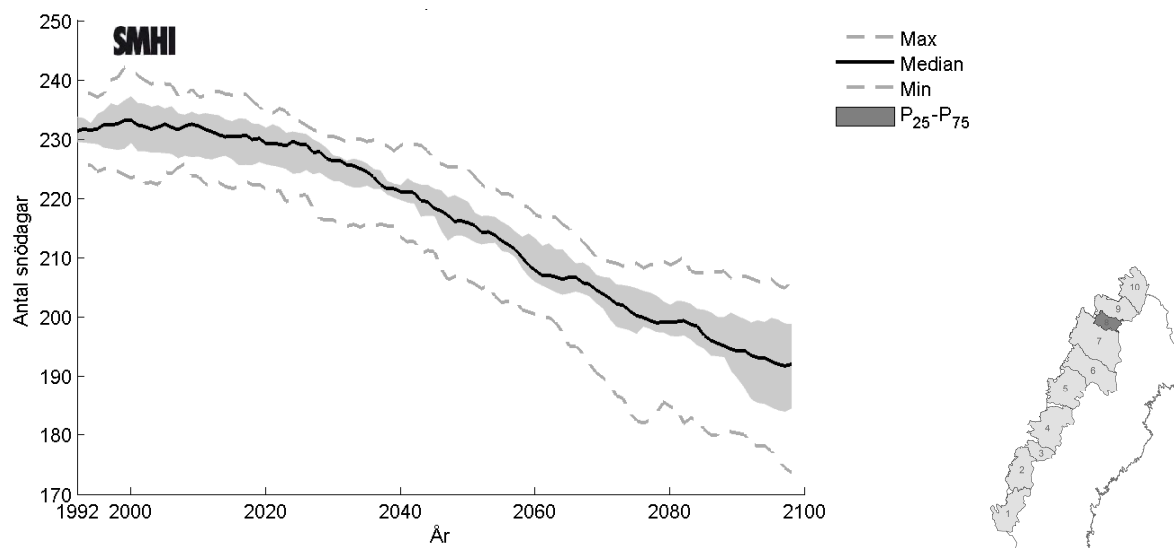
Figur 4-81. Beräknad förändring av snödaggar för Överstjuktan (fjällområde 5). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar.



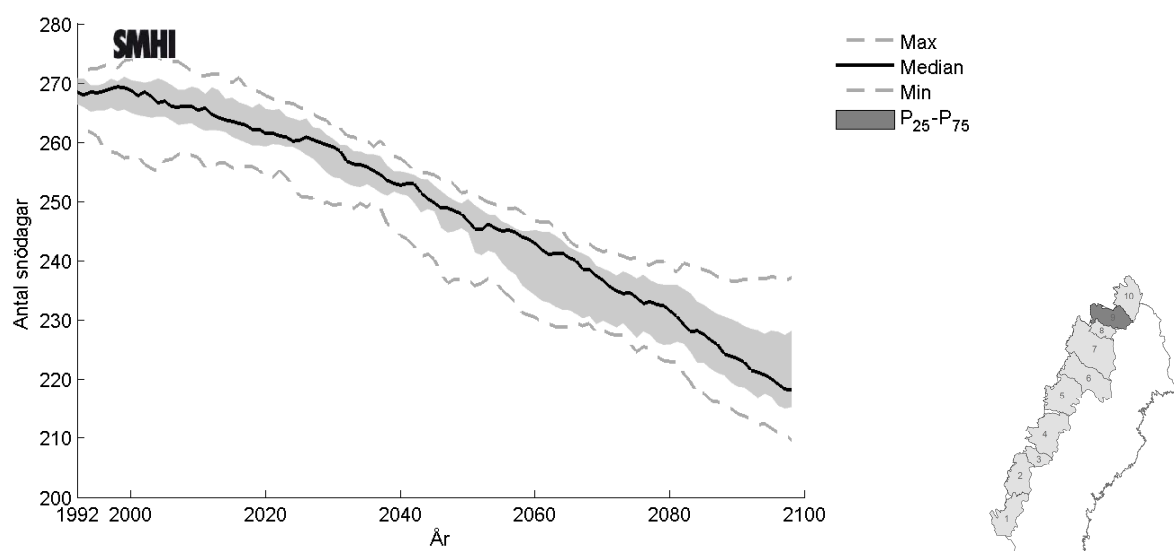
Figur 4-82. Beräknad förändring av snödaggar för Saddajaure (fjällområde 6). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar.



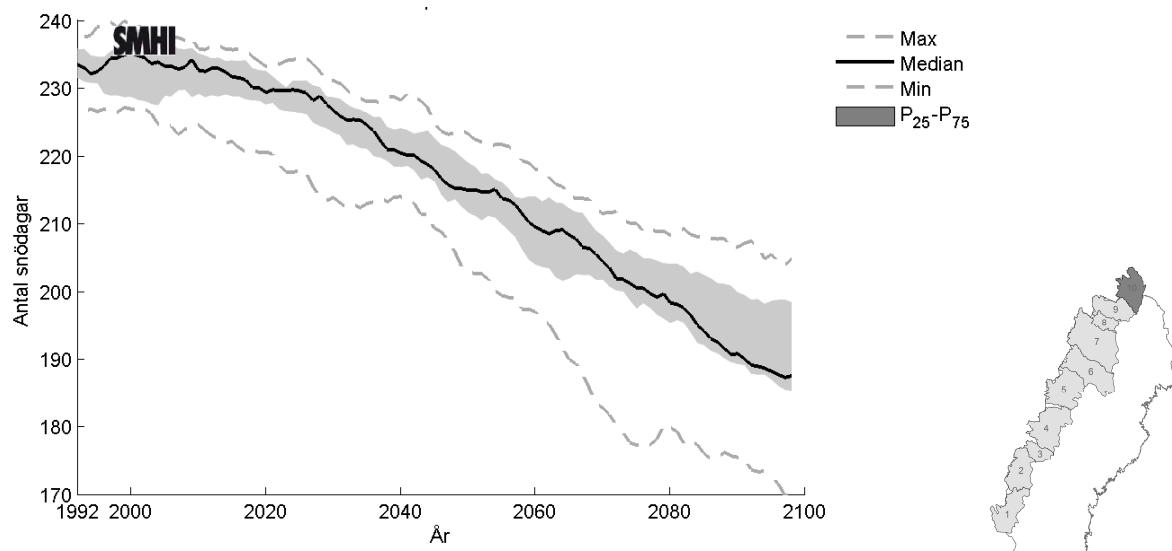
Figur 4-83. Beräknad förändring av snödaggar för Randijaure (fjällområde 7). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar.



Figur 4-84. Beräknad förändring av snödaggar för Kaalasjärvi (fjällområde 8). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar.



Figur 4-85. Beräknad förändring av snödaggar för Torneträsk (fjällområde 9). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar.



Figur 4-86. Beräknad förändring av snödaggar för Naimakkajärvi (fjällområde 10). Medianvärdet av samtliga klimatscenarier presenteras med den svarta linjen. Skuggningen visar spannet mellan 75:e och 25:e percentilen av scenarioensemblen. De streckade linjerna visar maximalt respektive minimalt värde från samtliga klimatberäkningar.

## 5 Slutsatser

I föreliggande rapport redovisas en stor mängd data och beräkningar som syftar till att ge en bild av klimatförhållandena i fjällkedjan såväl under dagens klimatförhållanden som enligt framtida klimatscenarier. Arbetet är baserat på observationer och analyser från SMHI samt klimatscenarier från den internationella klimatforskningen. Framtidsberäkningarna avser 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. Man bör vara medveten om att klimatforskningen ständigt kommer med nya resultat som kan komma att modifiera bilden ytterligare.

Följande huvuddrag framgår av föreliggande klimatanalyser:

- Klimatberäkningarna visar en gradvis ökning av årsmedeltemperaturen under det innevarande seklet för alla delar av fjällkedjan. I många fall innebär detta att medeltemperaturen under vår och höst kan förskjutas från under noll till över noll, under vintern väntas medeltemperaturen öka men troligen ligga kvar under noll under detta sekel.
- Vegetationsperioden förlängs likartat i de olika fjällregionerna och till följd av gradvis ökande temperatur och det är främst slutet av säsongen som förlängs. Medianen av de olika klimatscenarierna visar att vegetationsperiodens längd ökar med 25-75 dagar i slutet av seklet jämfört med referensperioden 1961-1990.
- Årsmedelnederbörden väntas öka med mellan 10 till 40 % mot slutet av seklet då klimatscenariernas ensemblemedian studeras. Förändringen är likartad i de olika studerade regionerna med en tendens till tydligast ökning vintertid. Resultaten visar stor spridning mellan åren vilket också är fallet med observationerna.
- Snötillgången beräknas minska i Fjällkedjan efterhand som klimatet väntas bli varmare. Snöns maximala vatteninnehåll, den största snömängden under ett år, beräknas minska med mellan 0 och 40 % mot slutet av seklet. Det är främst efter mitten på seklet som minskningen tar fart. Sjöarna i Fjällregion 2, 3 och 4, vilka tillhör de varmare områdena i fjällkedjan, väntas minska mest, medan de nordligare områdena uppvisar minst förändring.
- Antalet snödagars väntas minska för samtliga regioner i fjällkedjan under innevarande sekel. Minskningen av antalet snödagars ökar kring år 2040. Vid jämförelse mellan referensperioden och slutet av seklet är förändringen mellan cirka 30-50 dagar. Den minsta förändringen syns för områdena i region 6-8 och den största i regionerna 3-4 och 8-10. För områdena i region 2 och 3, som uppvisar den största framtida förändringen avseende vatteninnehåll i snön, minskar också antalet snödagars kraftigt.
- Med de för denna undersökning framtagna metoderna tycks det vara möjligt att simulera isläggning och islossning utifrån lufttemperatur relativt väl. Analysen av framtida isläggning och islossning visar att i takt med förväntat ökande temperaturer förkortas också issäsongen. Framför allt är det isläggningen som väntas senareläggas något mer än vad islossningen tidigareläggs. Då medianen av klimatscenarioensemblen studeras för slutet av seklet syns att Kallsjön, Rengen och Lilljorm visar trender på något mer senarelagd isläggning (upp mot 50-60 dagar) än övriga sjöar i de sydligare fjällregionerna (region 1 -4). Islossningen

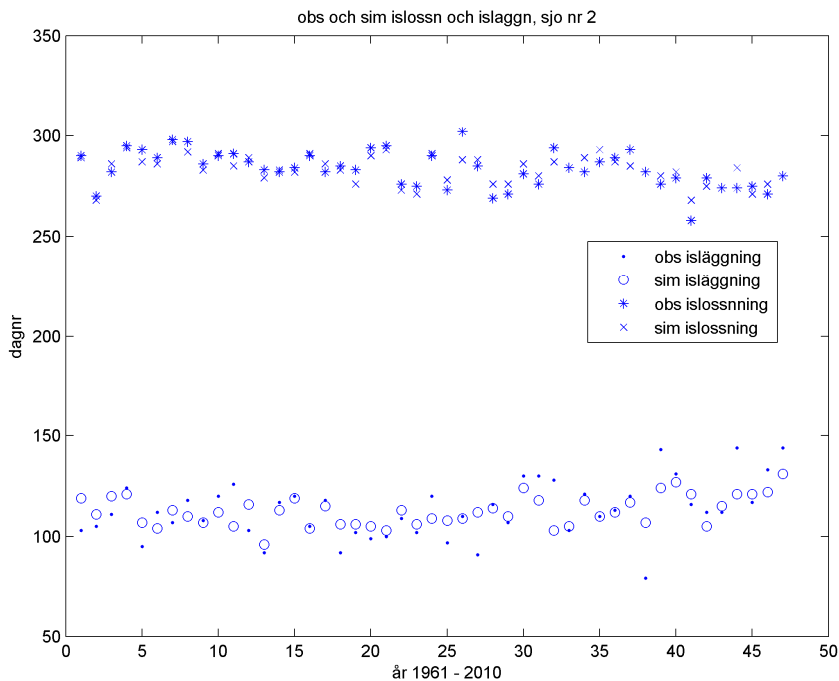
väntas ske upp till 20 – 30 dagar tidigare. Sjöarna i de norra fjällregionerna (region 5 – 10) visar en senare isläggning med upp till ca 40 dagar och en tidigare islossning med ca 20 – 30 dagar oberoende av sjöareal och djup. Klimatscenarierna visar på stor spridning, vilket också är fallet med observerade händelser

## 6 Referenser

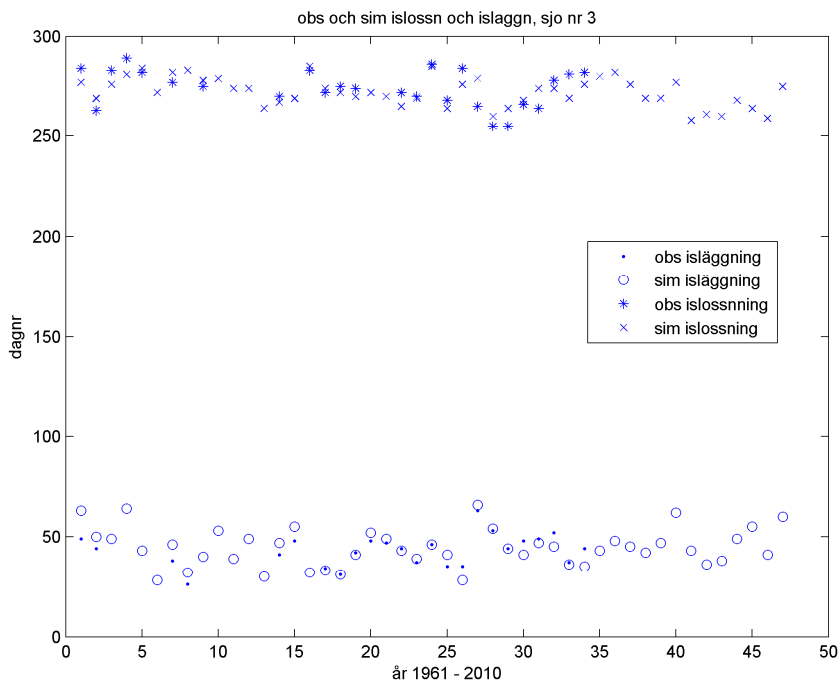
- Bergström, S. (1993) *Sveriges hydrologi –grundläggande hydrologiska förhållanden*. SMHI/Svenska Hydrologiska Rådet, maj 1993.
- Brandt, M., Eklund, A. och Westman, Y. (1999) *Snö i Sverige, Snödjup och vatteninnehåll i snön*, SMHI, Faktablad Hydrologi Nr 2, november 1999.
- Eklund, A. (1999) *Isläggning och islossning i svenska sjöar*. SMHI-rapport nr. 81, 1999.
- Fremling, S. (1977) *Is på sjöar och älvar*. Omarbetat 1991 och 1997 av T. Karlin och B. Raab. SMHI.
- Fremling, S. (1977) *Sjöisars beroende av väder och vind, snö och vatten*. SMHI-rapport RHO 12.
- Eriksson, J. V. (1920) *Isläggning och islossning i Sveriges insjöar*. Meddelande från Statens Meteorologisk-Hydrologiska Anstalt (SMHA). Band 1. N:o 2.
- IPCC (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Johansson, B. (2000) *Areal precipitation and temperature in the Swedish mountains. An evaluation from a hydrological perspective*. Nordic Hydrology, 31, 207-228.
- Johansson, B. and Chen, D. (2003) *The influence of wind and topography on precipitation distribution in Sweden: Statistical analysis and modelling*. International Journal of Climatology, 23, 1523-1535.
- Johansson, B. and Chen, D. (2005) *Estimation of areal precipitation for runoff modelling using wind data: a case study in Sweden*. Climate Research, 29, 53-61.
- Lindh, G. och Falkenmark, M. (1972) *Hydrologi. En inledning till vattenresursläran*, Studentlitteratur
- 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.
- SOU (2007:60). *Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter. Slutbetänkande av Klimat- och sårbarhetsutredningen*. SOU 2007:60, Stockholm.
- Linden, van der, 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.
- 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.

## 7 Bilaga 1

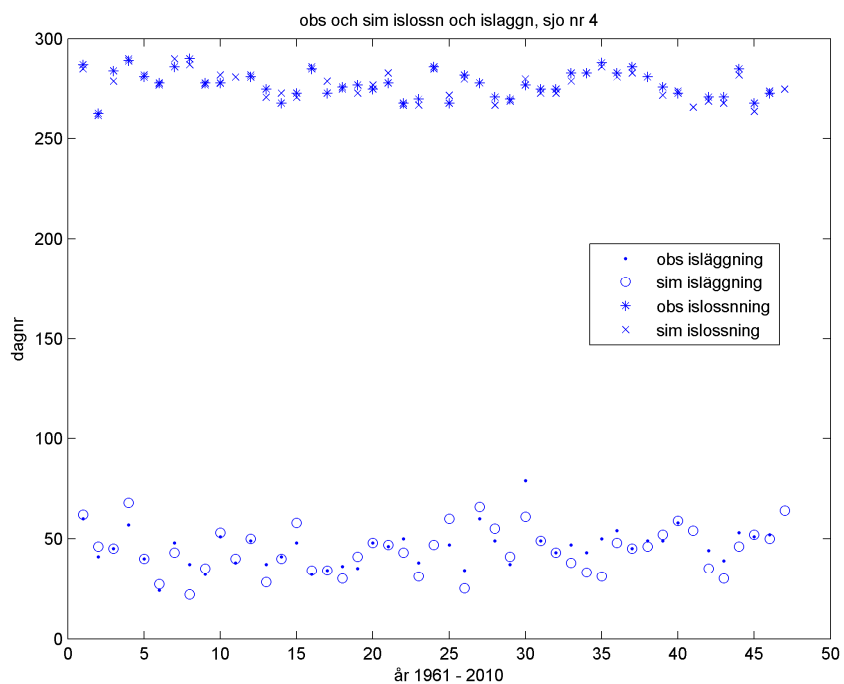
Simulerad och observerad isläggning och islossning för de analyserade sjöarna för det medelvärde av lufttemperaturen under den tidsperiod som ger bäst korrelation mellan simulerad och observerad islossning visas i figurerna nedan för åren 1961 -2008. Observera att det redovisade dagnumret avser hydrologiskt år med start den 1 september och slut den sista augusti.



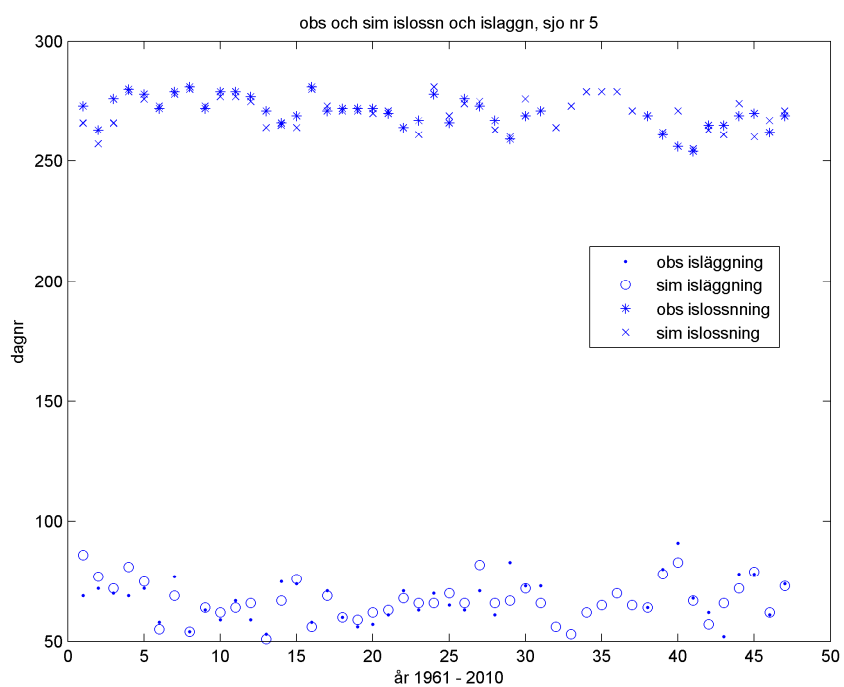
Figur 7-1. Torneträsk



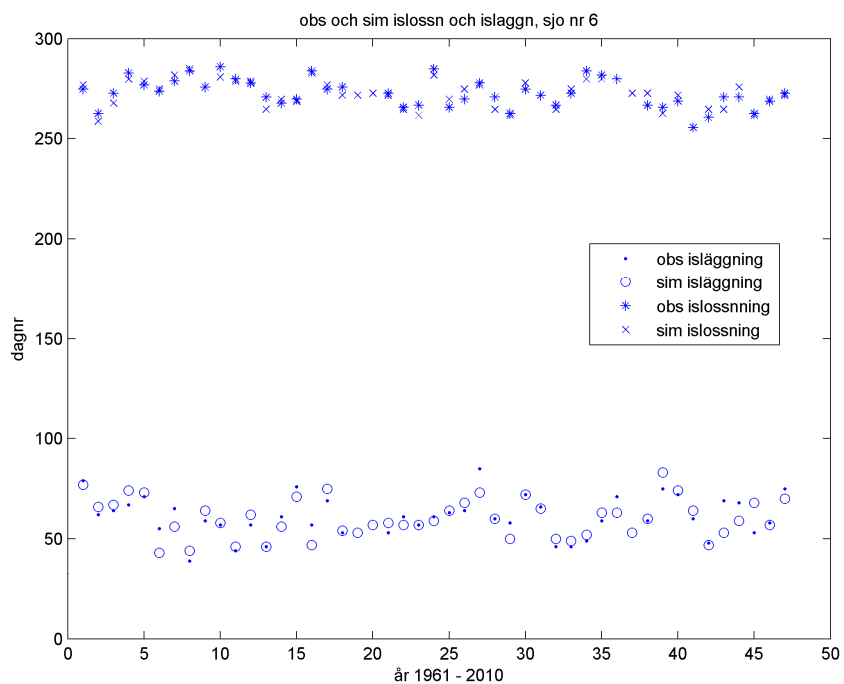
Figur 7-2. Naimakkajärvi



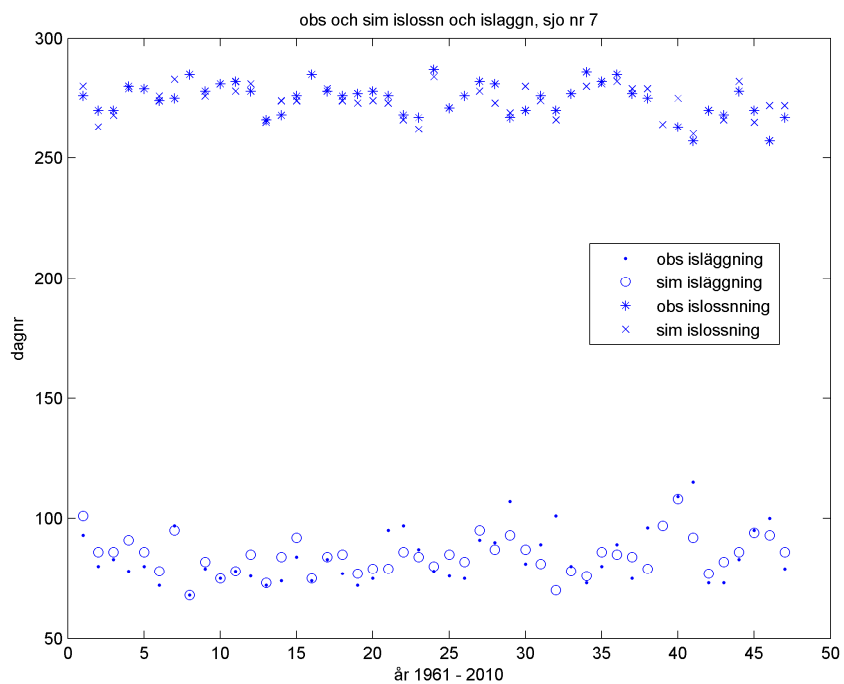
Figur 7-3. Kaalasjärvi



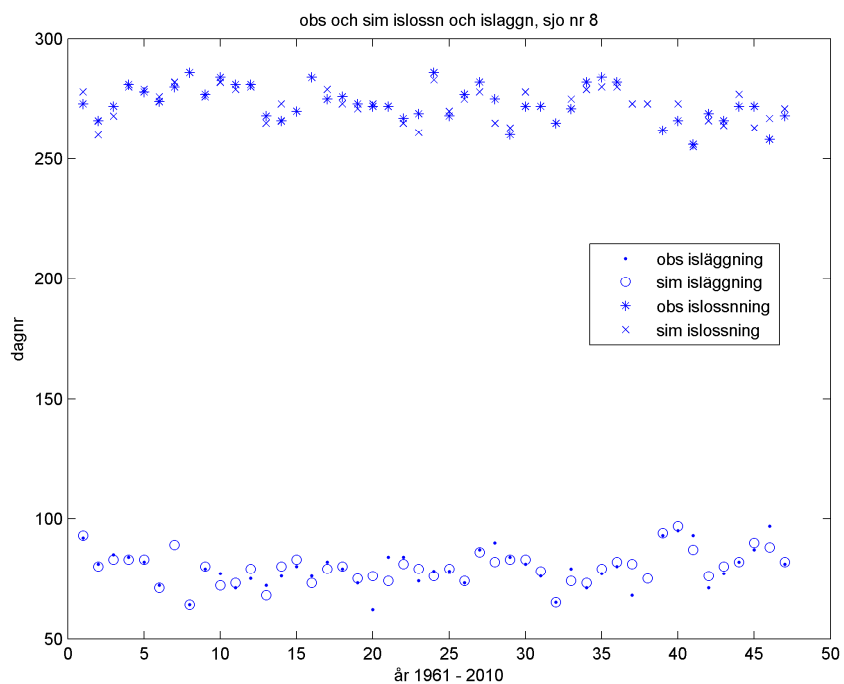
Figur 7-4. Randijaure



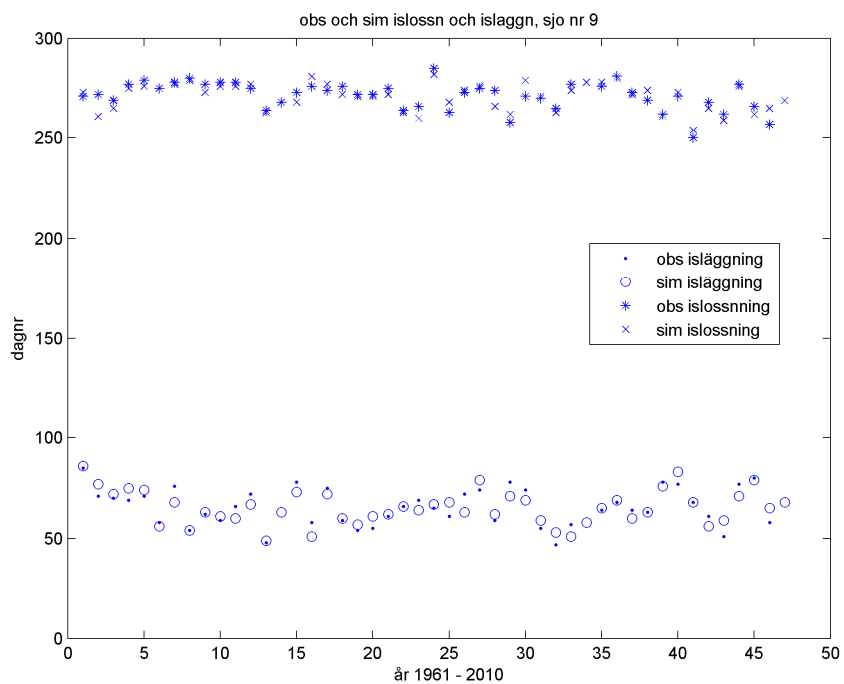
Figur 7-5. Saddajaure



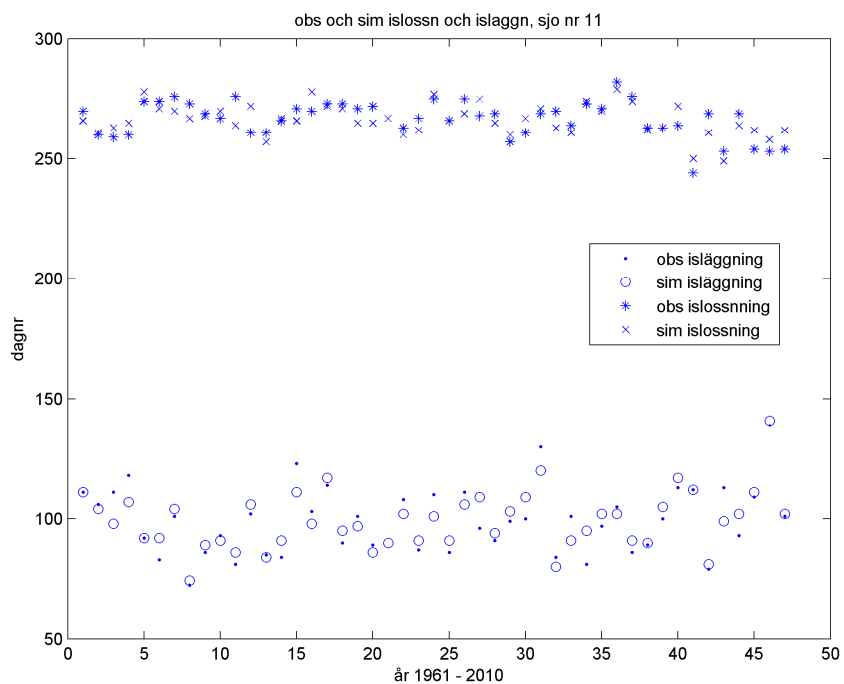
Figur 7-6. Överstjuktan



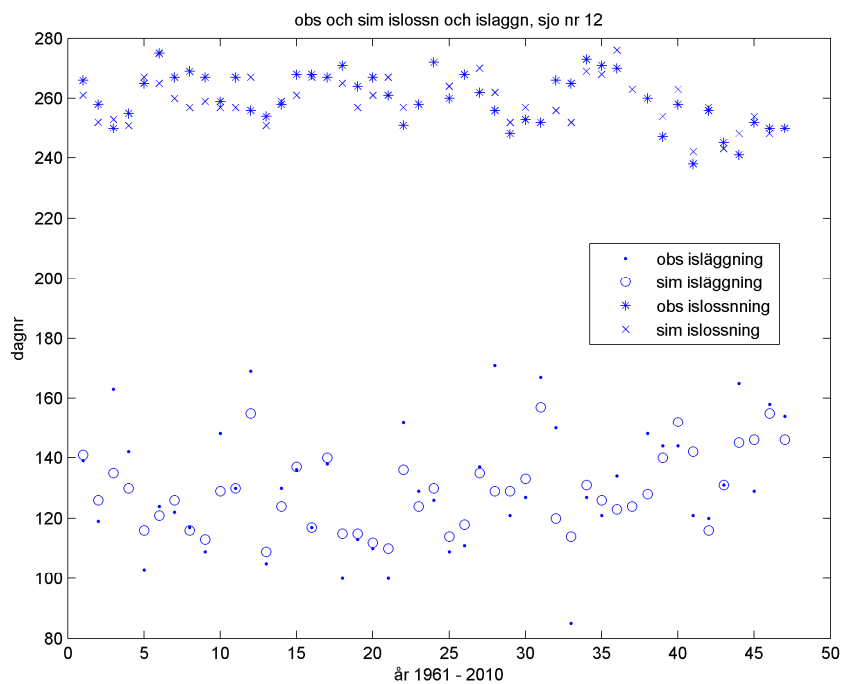
Figur 7-7. Laisan



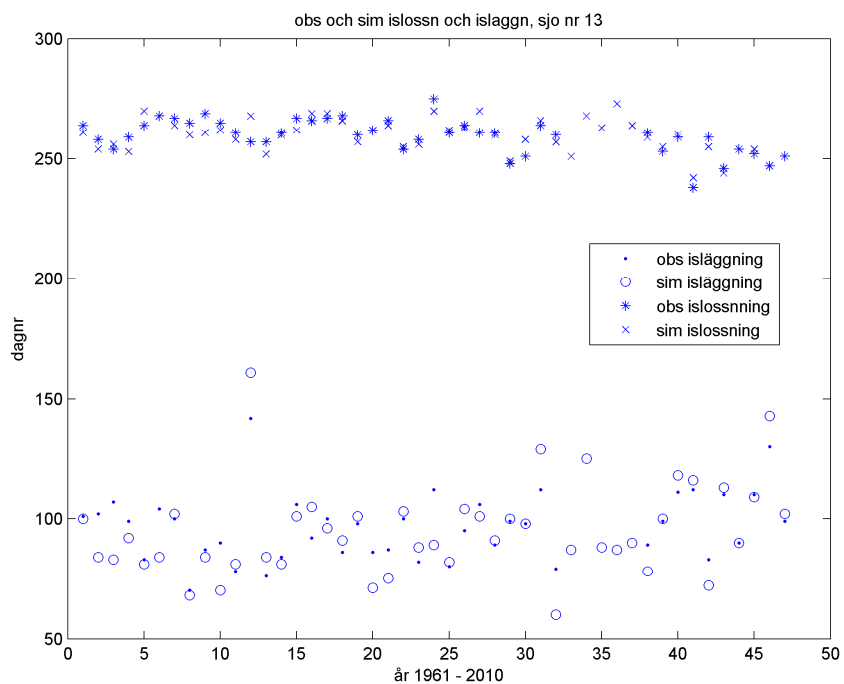
Figur 7-8. Västra Marssjön



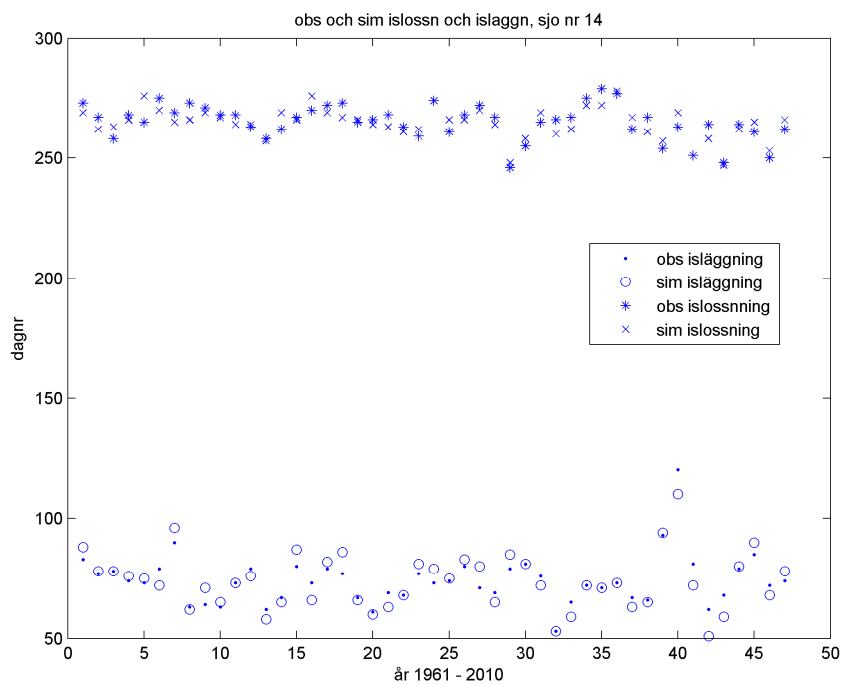
Figur 7-9. Lilljorm



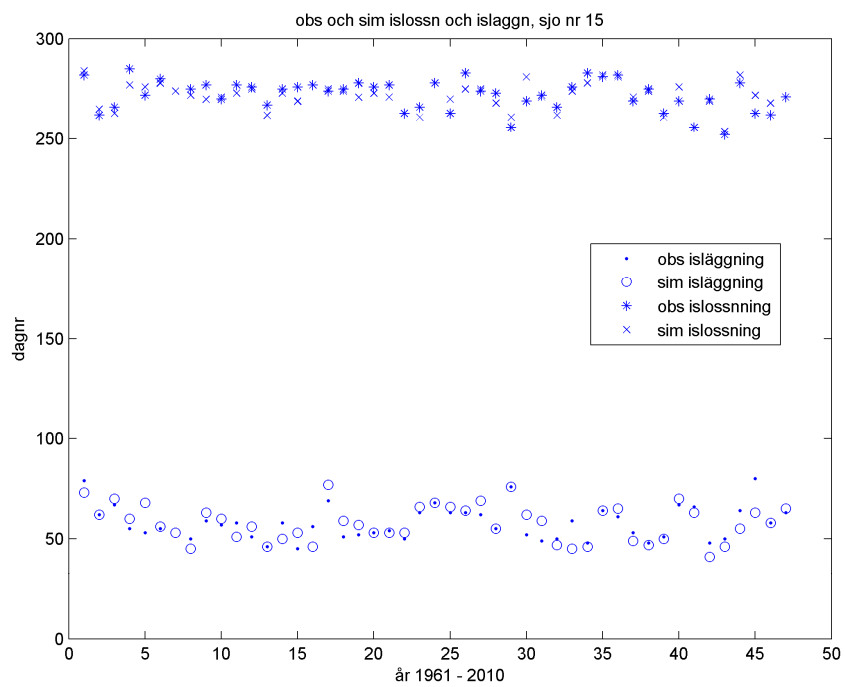
Figur 7-10. Kallsjön



Figur 7-11. Rengen



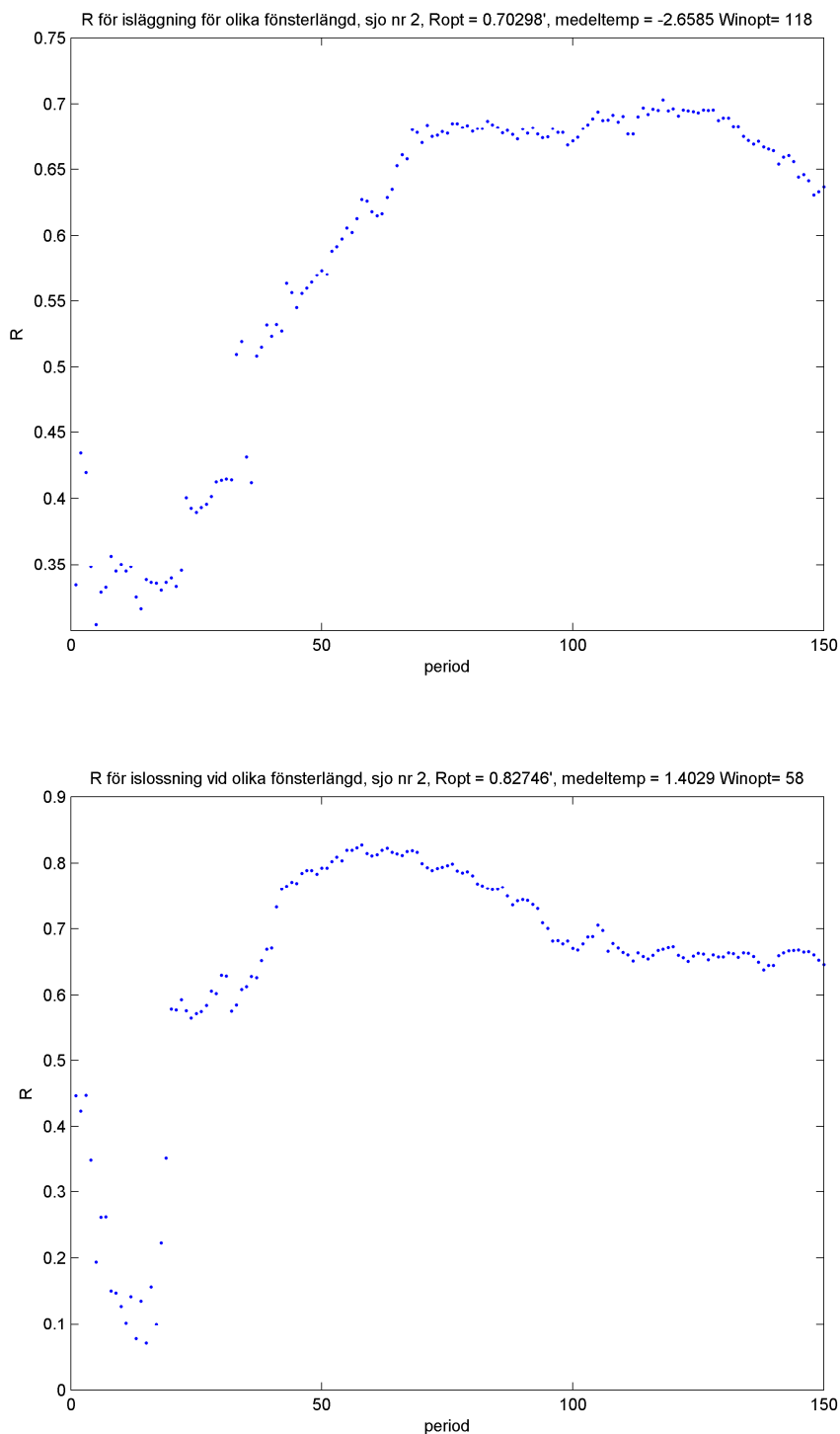
Figur 7-12. Storsjön



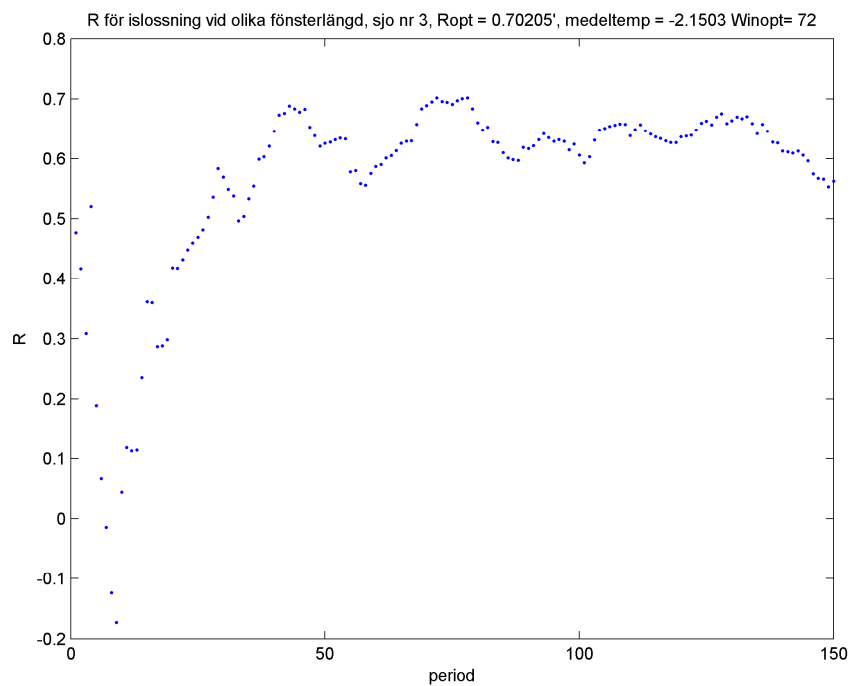
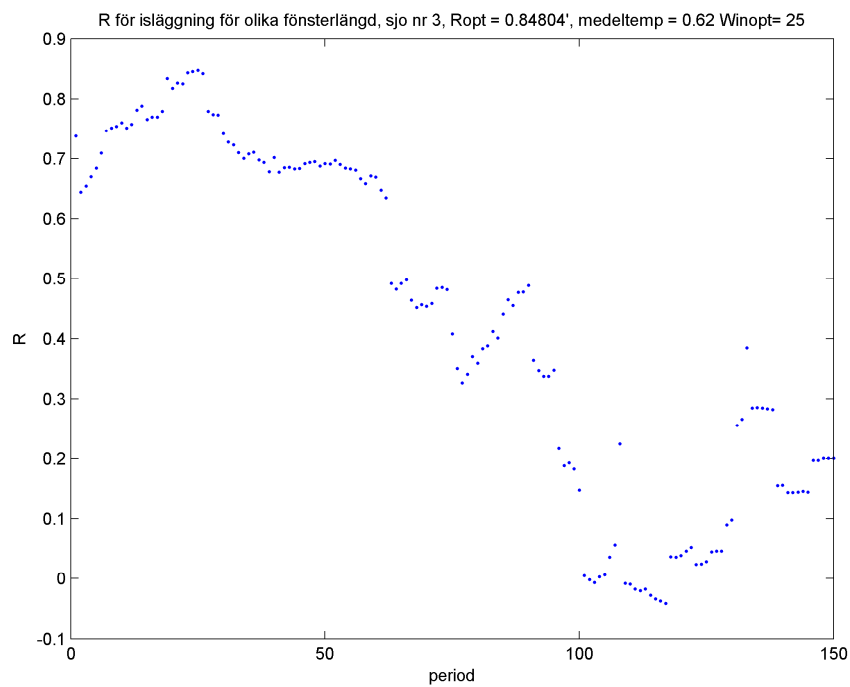
Figur 7-13. Malmagen

## 8 Bilaga 2

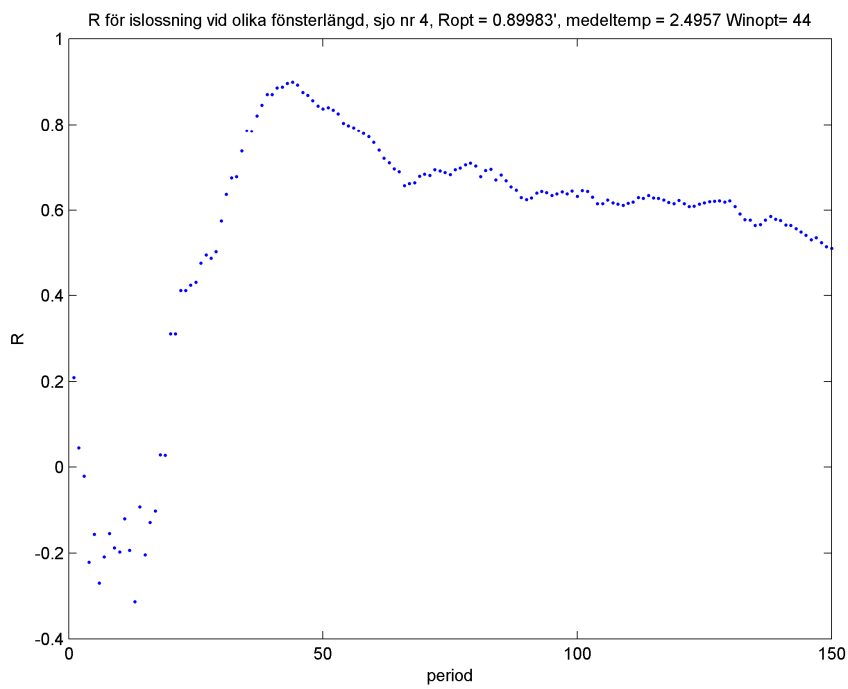
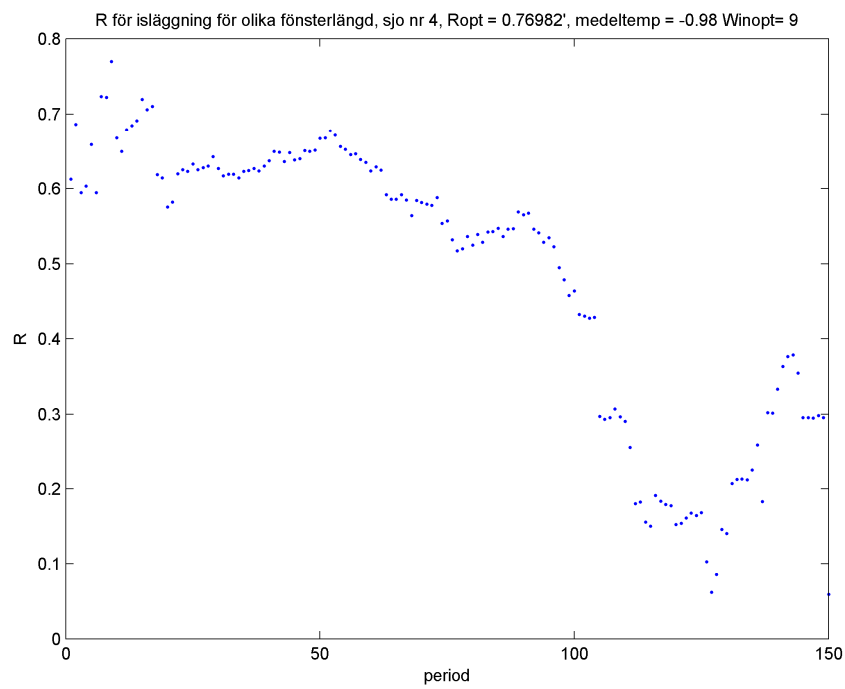
Korrelation mellan simulerad och observerad isläggning och islossning för olika lufttemperaturmedelvärde under olika tidsperioder före respektive händelse visas i figurena nedan för de analyserade sjöarna. Korrelationskoefficienten  $R$  visas på y-axeln och antal dygn i tidsperioden visas på x-axeln. Observera att i vissa fall har en annan (längre) period använts för klimatsenariosimuleringarna än den som givit högst korrelation vid simulering och observationer (till exempel i fallet Kaalasjärvi).



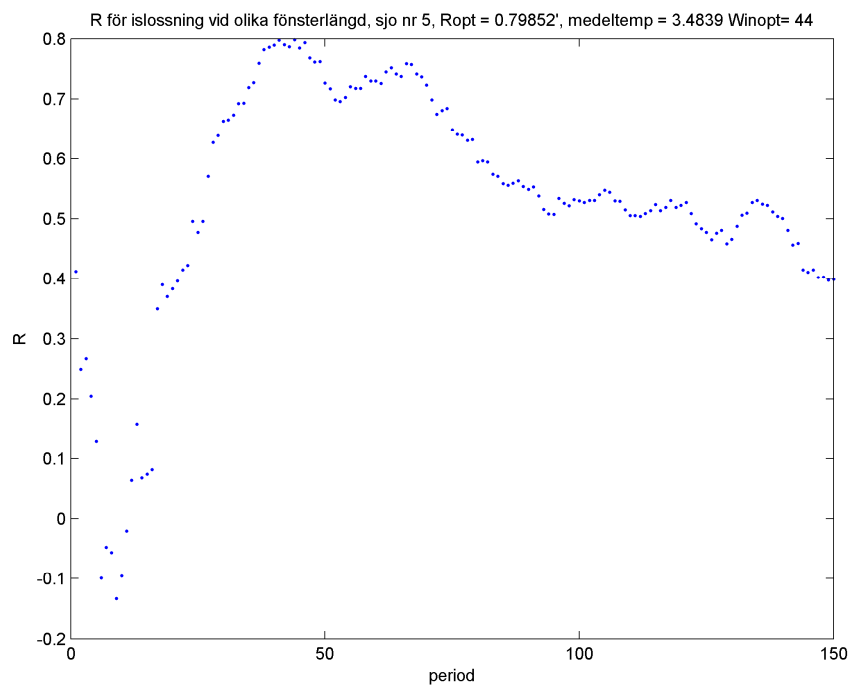
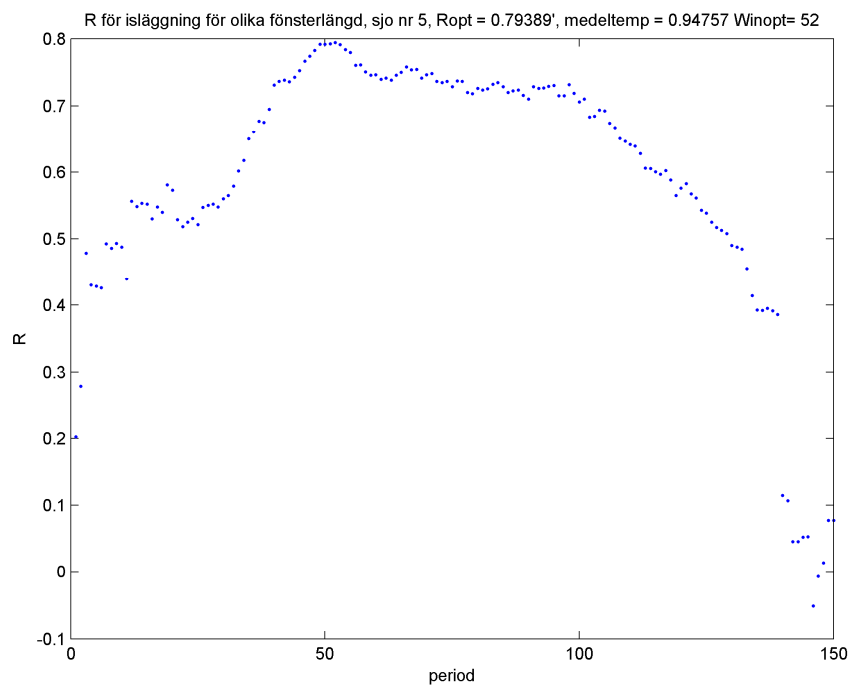
Figur 8-1. Torneträsk



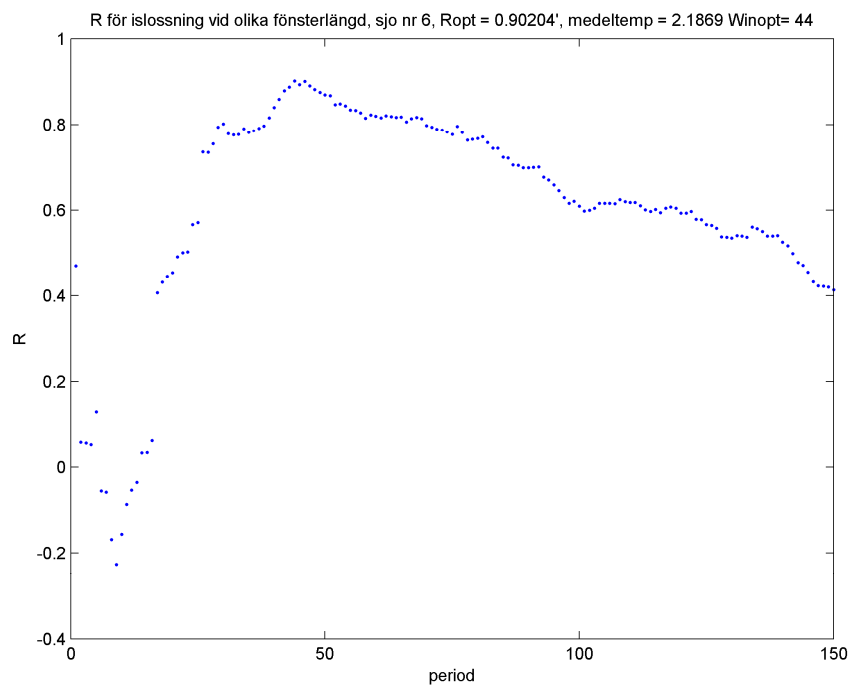
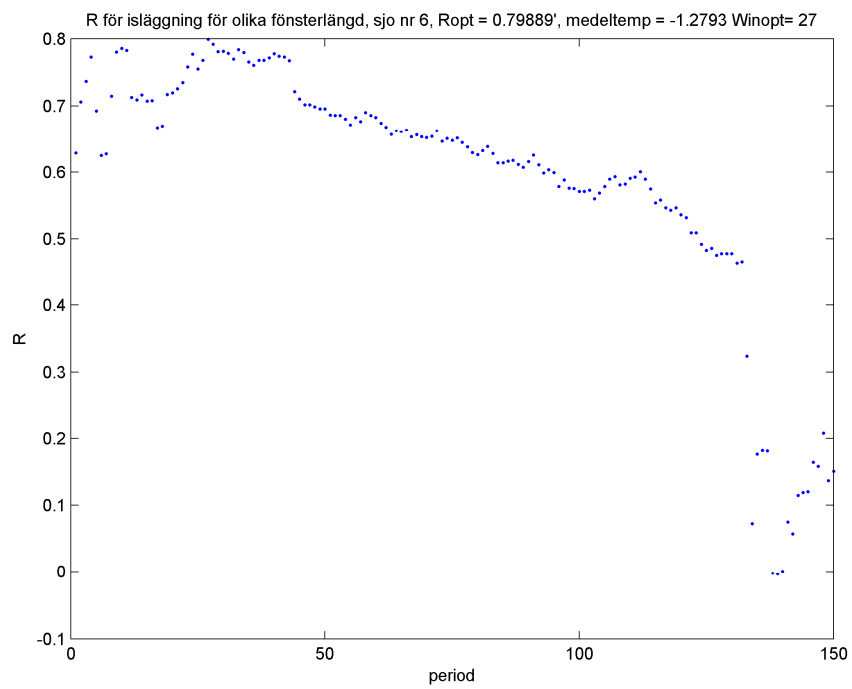
Figur 8-2. Naimakkajärvi



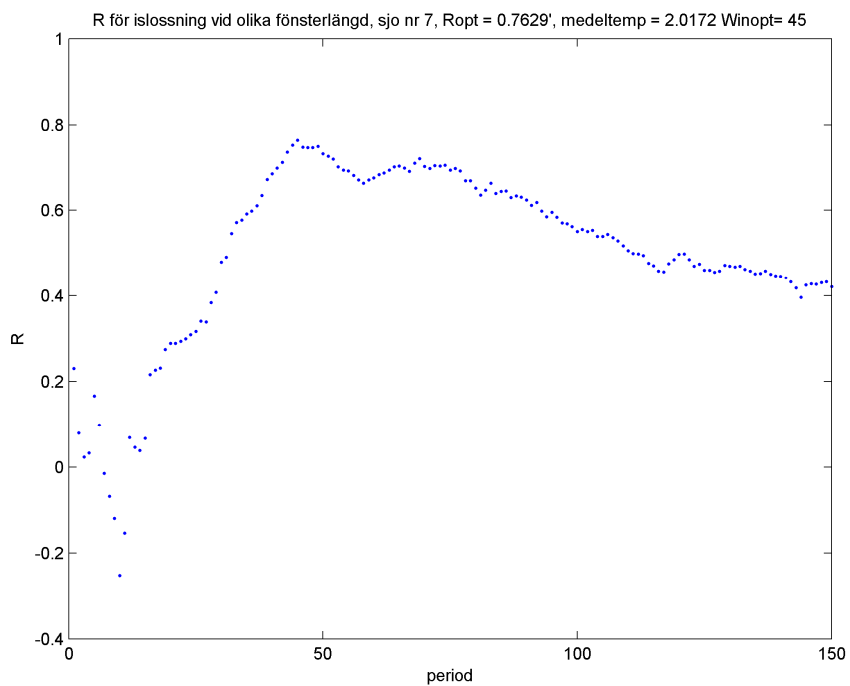
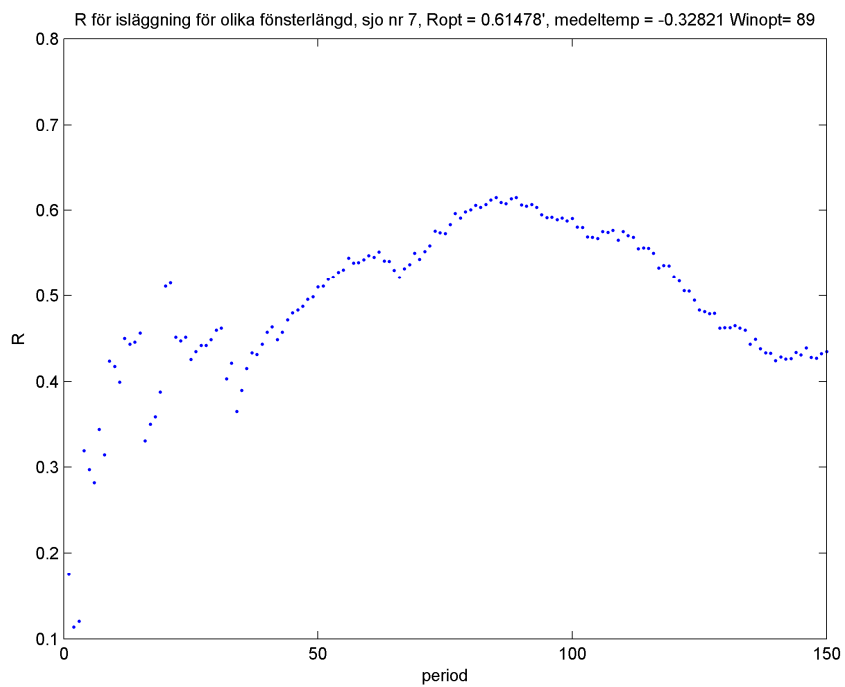
Figur 8-3. Kaalasjärvi



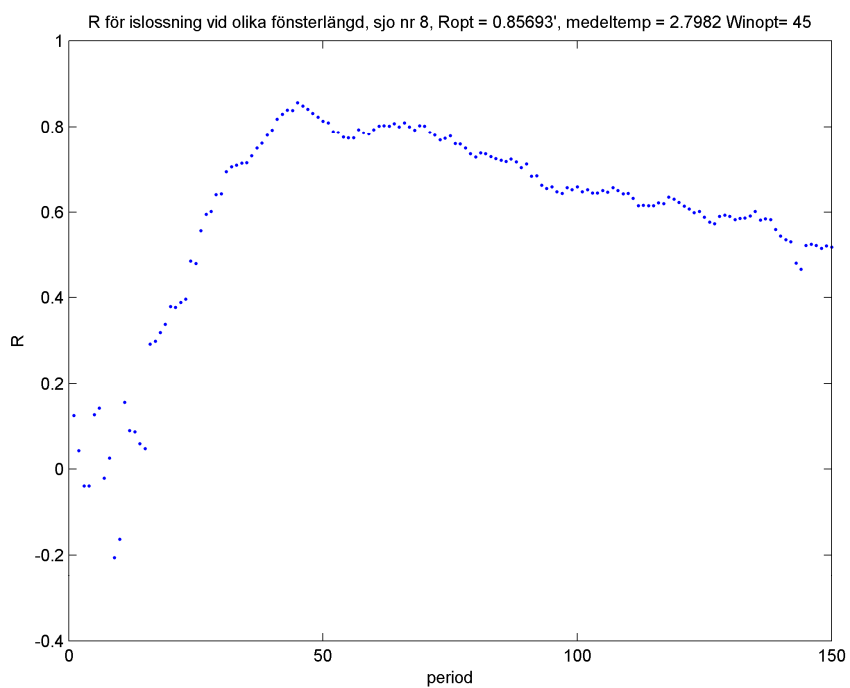
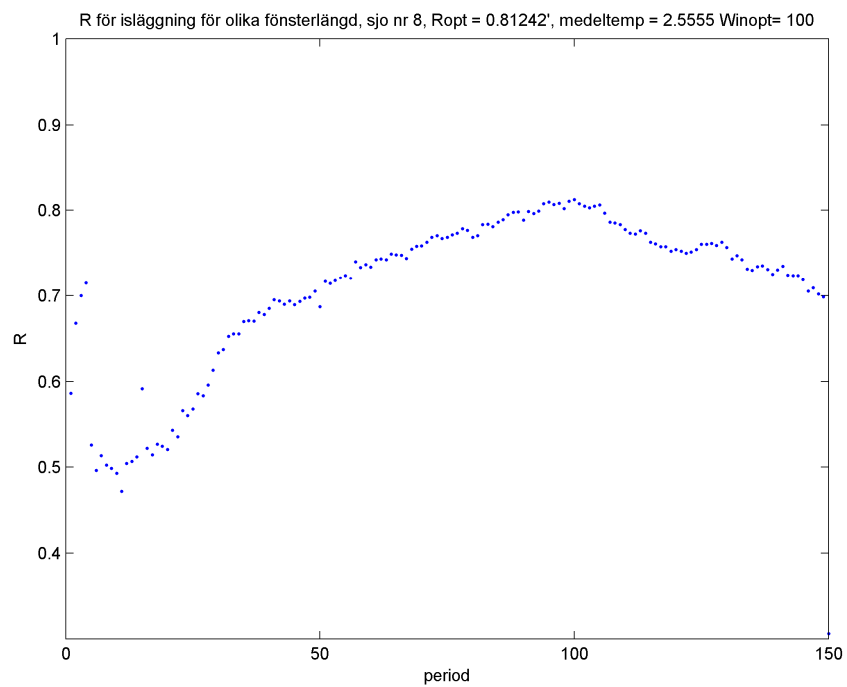
*Figur 8-4. Randijaure*



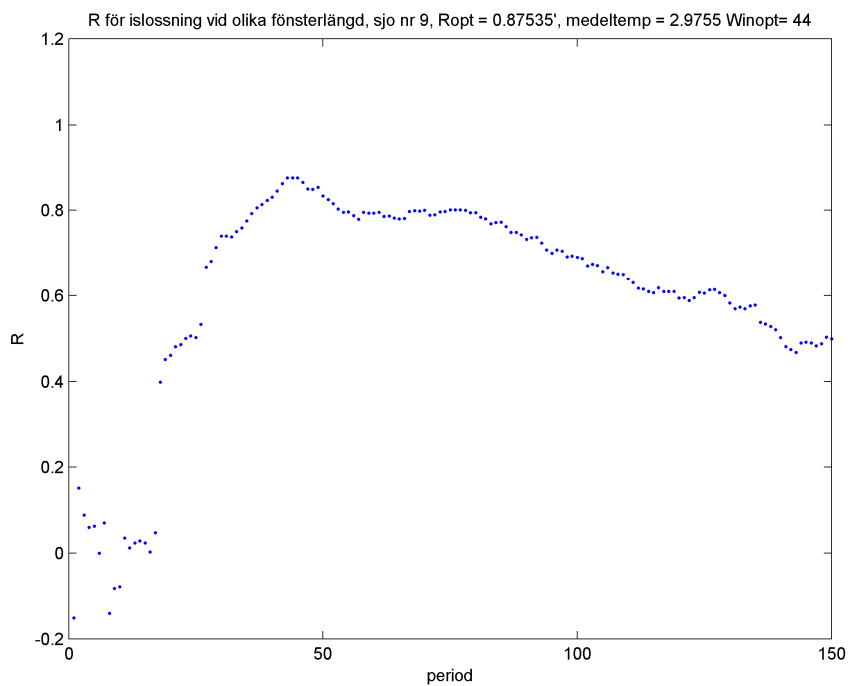
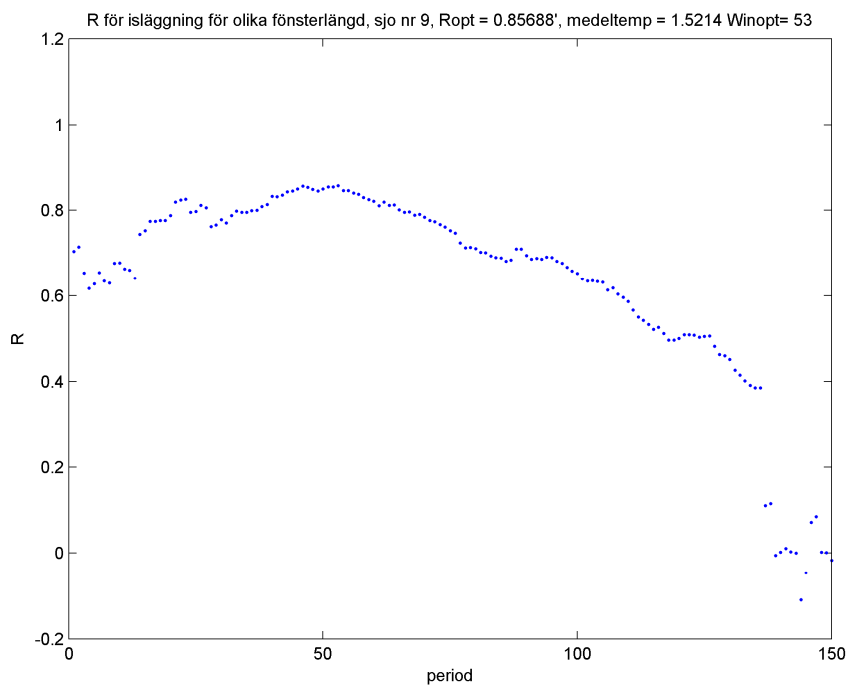
Figur 8-5. Saddajaure



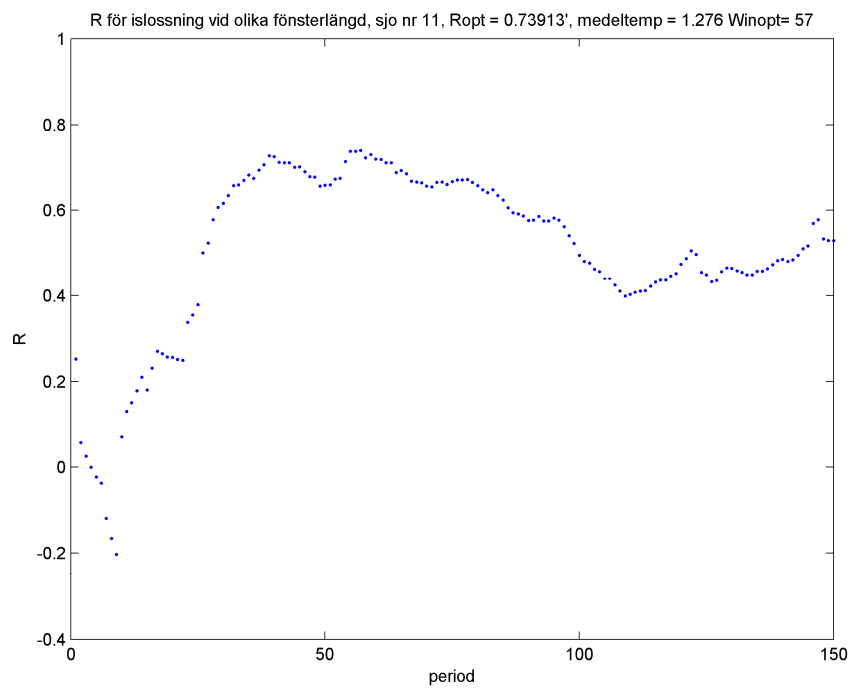
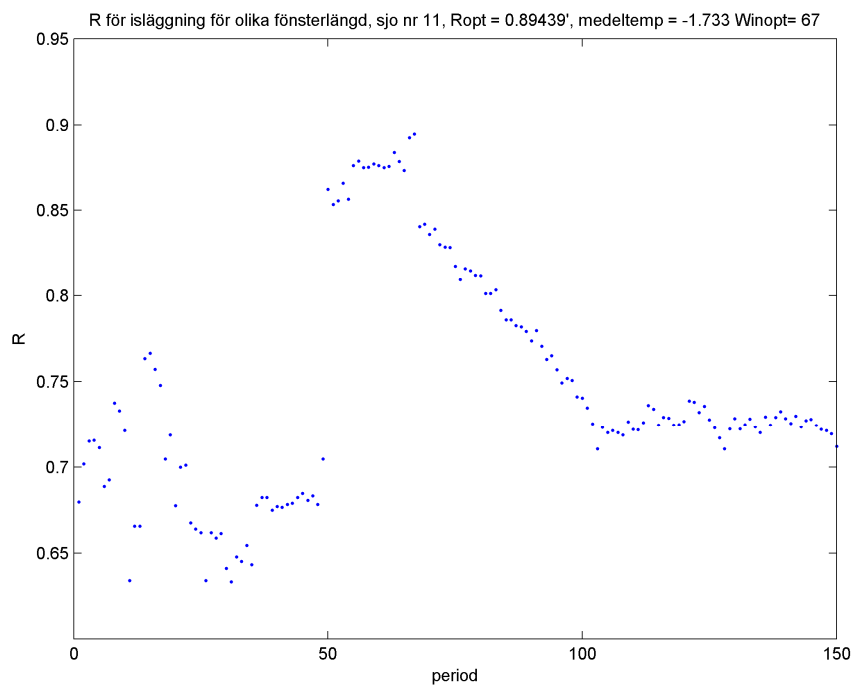
Figur 8-6. Överstjuktan



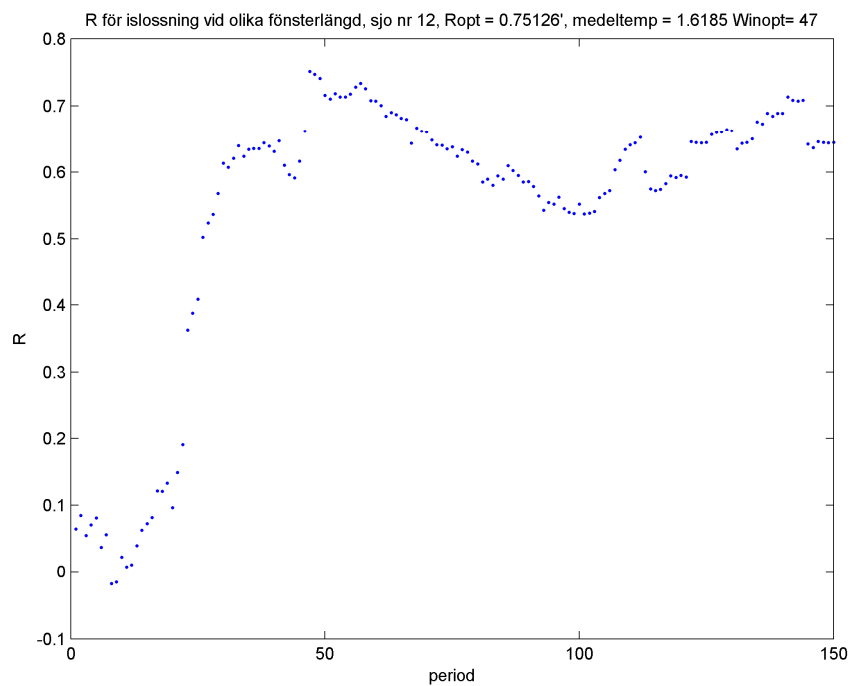
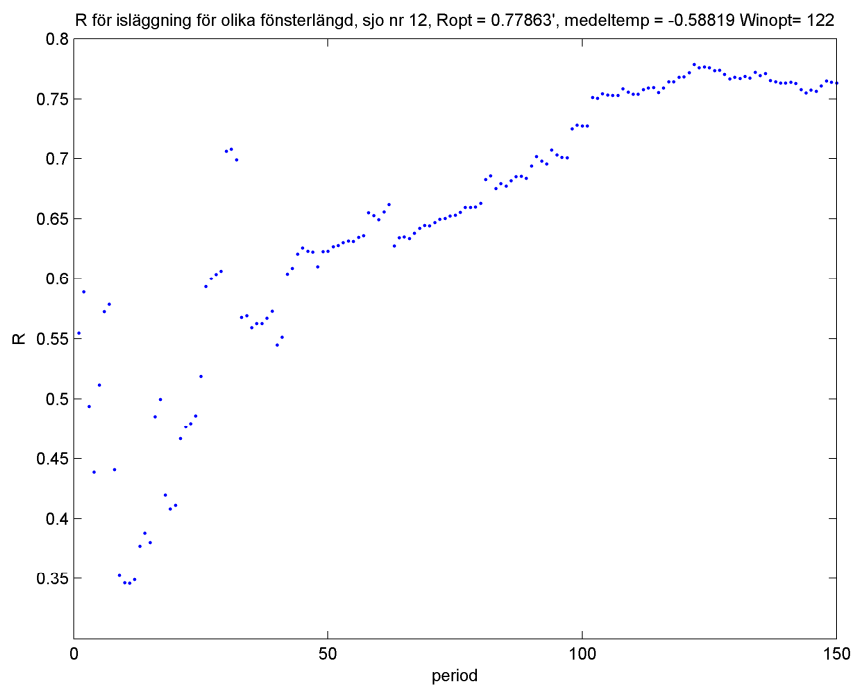
Figur 8-7. Laisan



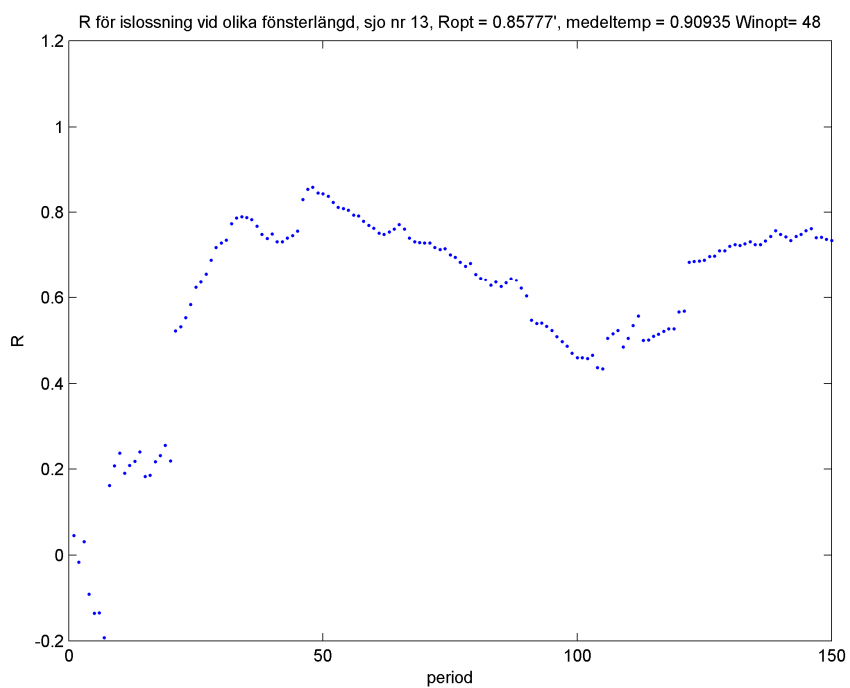
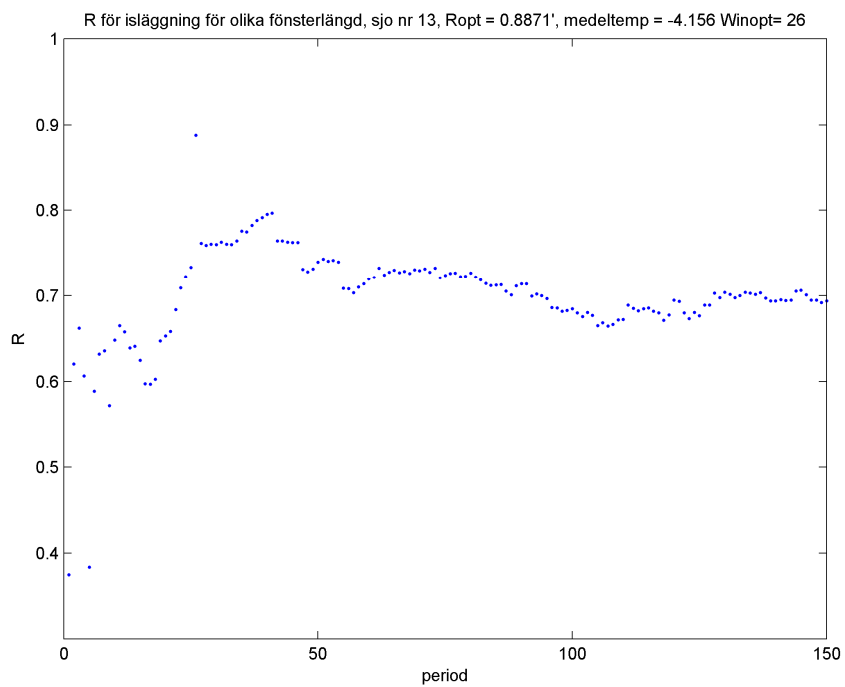
Figur 8-8. Västra Marssjön



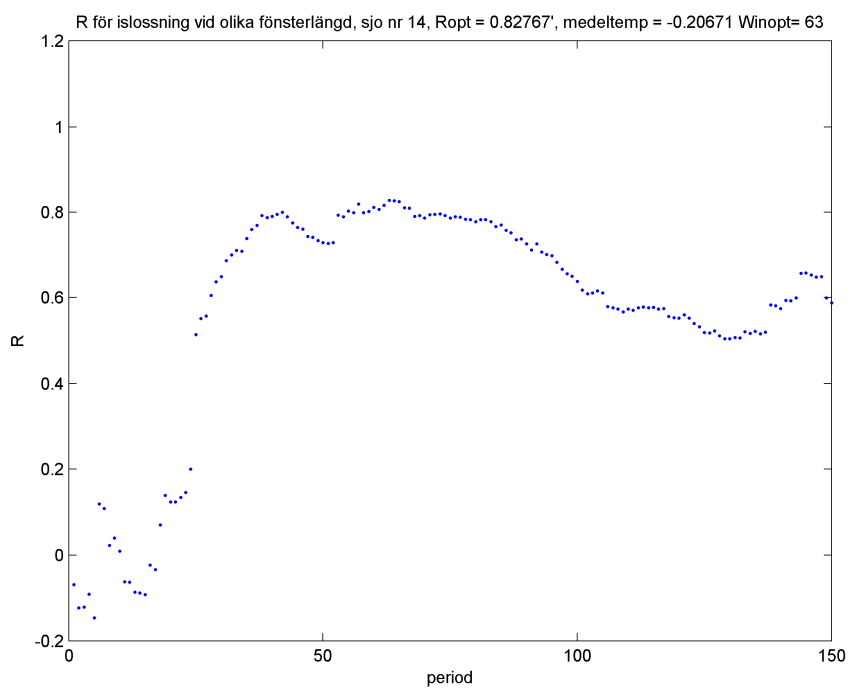
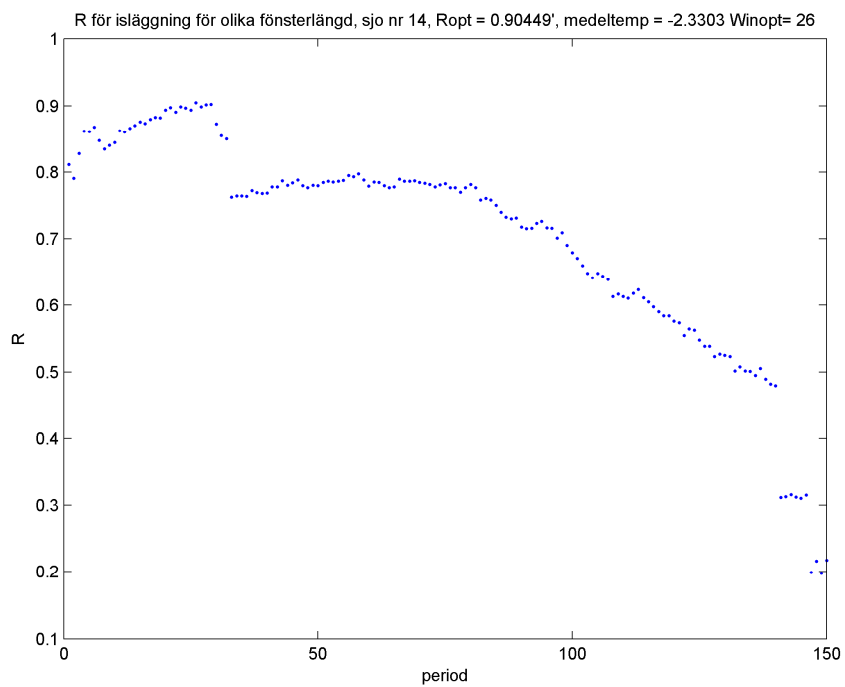
Figur 8-9. Lilljorm



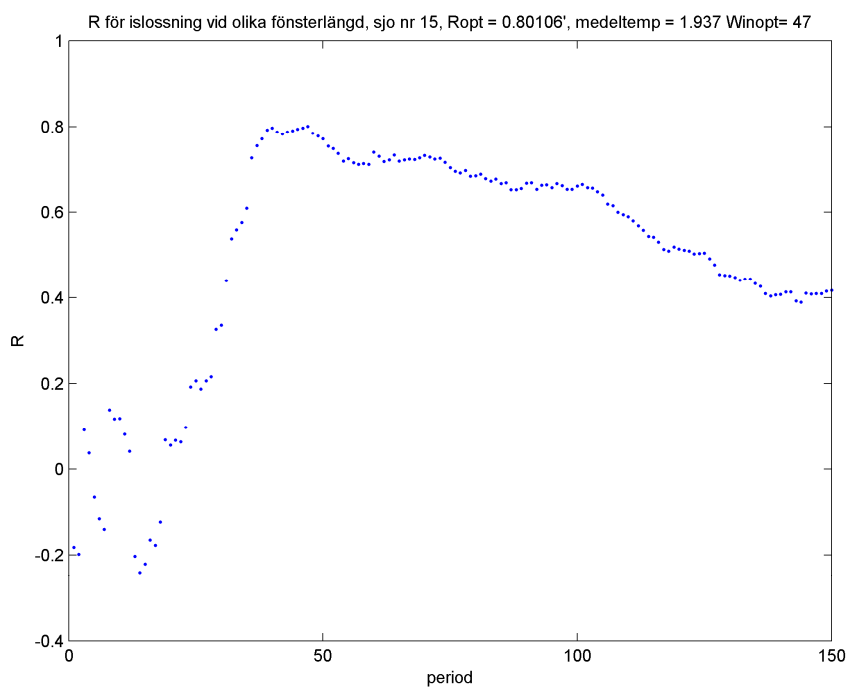
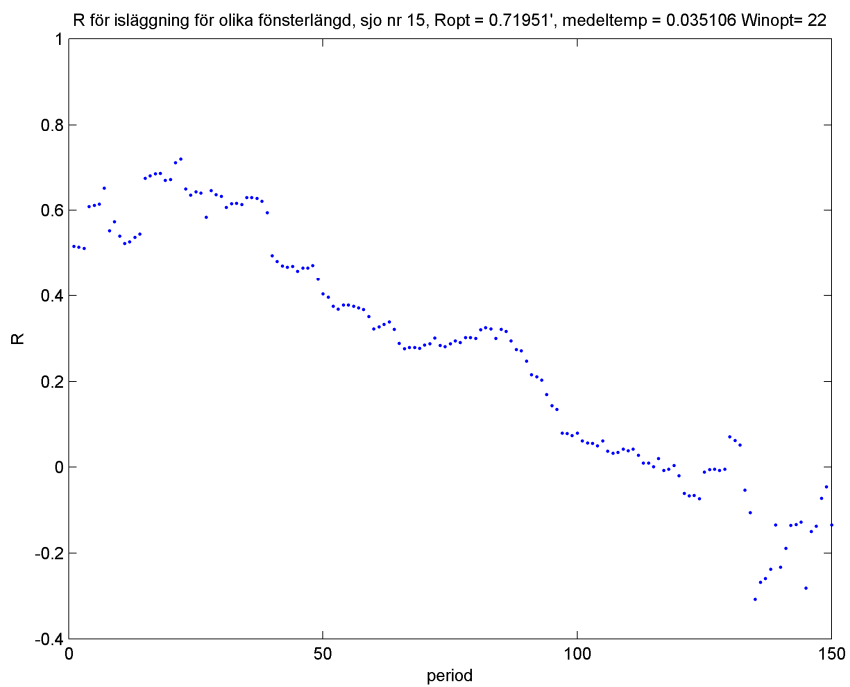
Figur 8-10. Kallsjön



Figur 8-11. Rengen



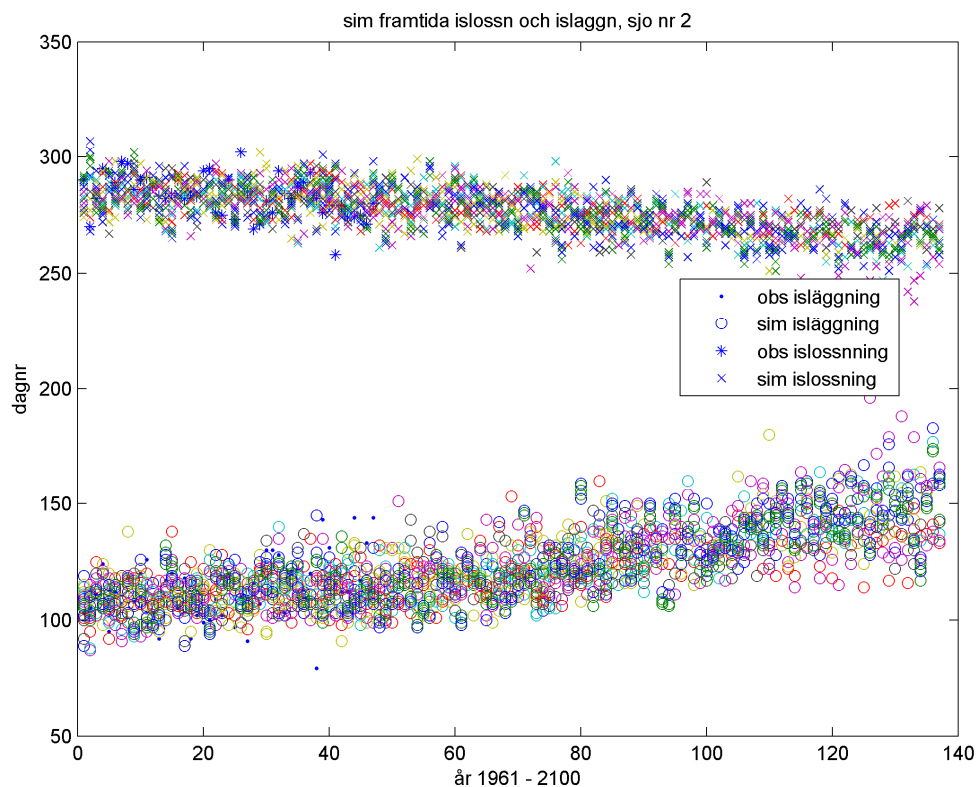
Figur 8-12. Storsjön



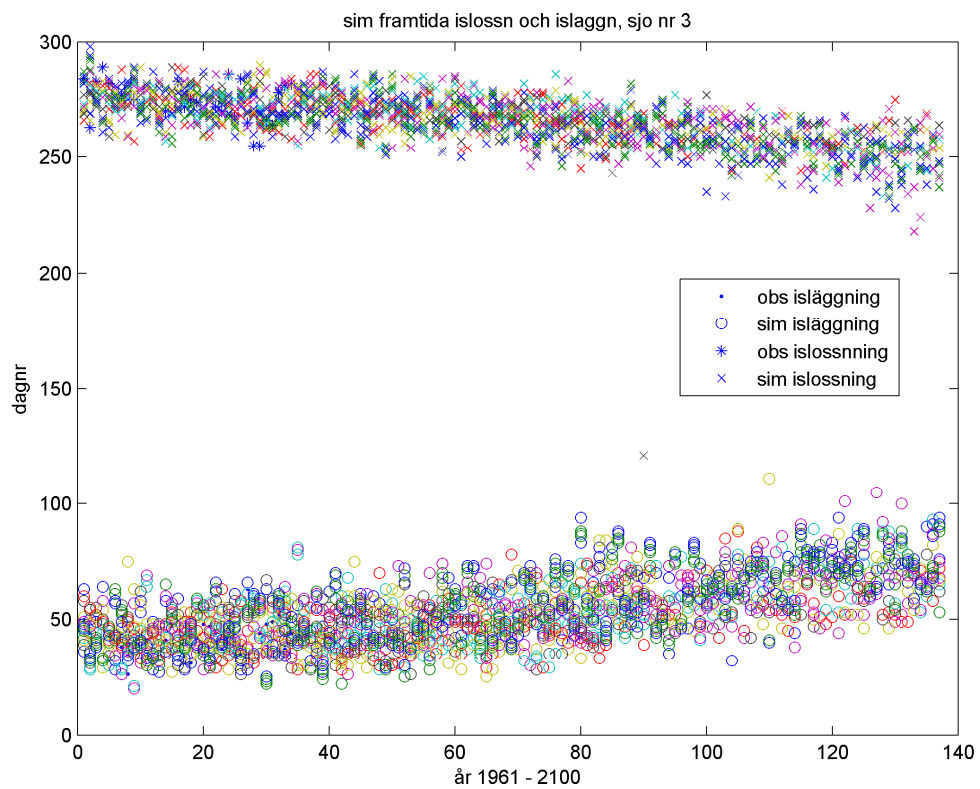
*Figur 8-13. Malmagen*

## 9 Bilaga 3

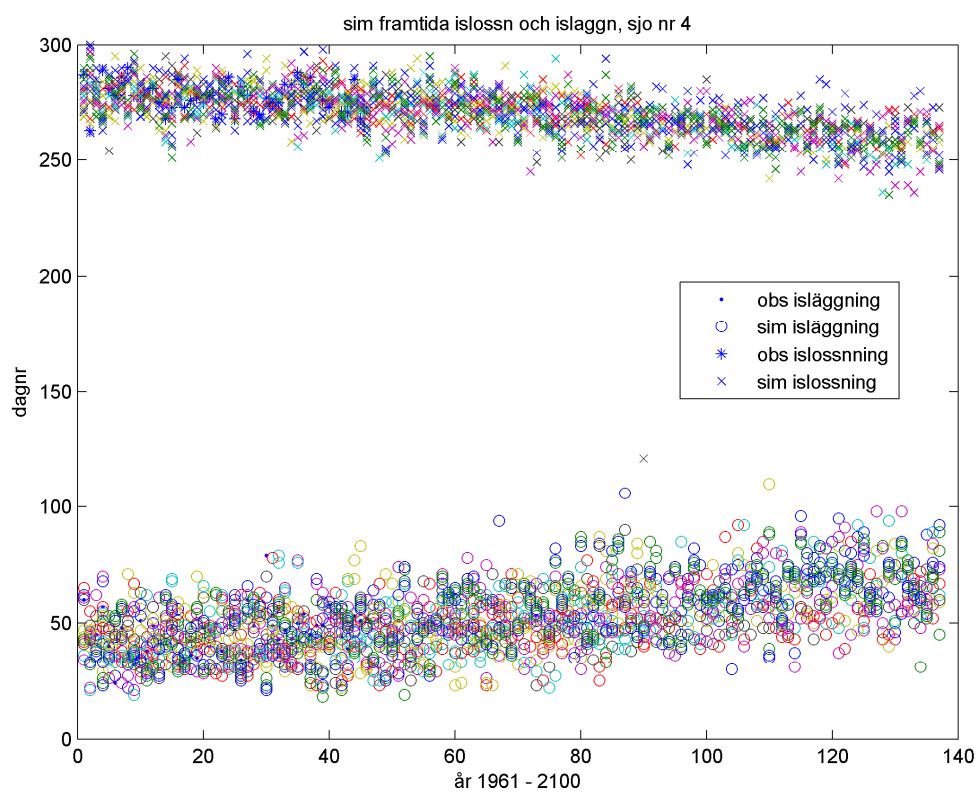
Simulerad isläggning och islossning för samtliga klimatscenarier visas i graferna nedan för perioden 1961-2098. Även simulerad och observerad isläggning och islossning för de analyserade sjöarna för det medelvärde av lufttemperaturen under den tidsperiod som ger bäst korrelation mellan simulerad och observerad islossning visas i figurerna nedan för åren 1961 -2008 visas i figurerna men dessa döljs till största delen av klimatscenariernas markörer. Observera att det redovisade dagnumret avser hydrologiskt år med start den 1 september och slut den sista augusti.



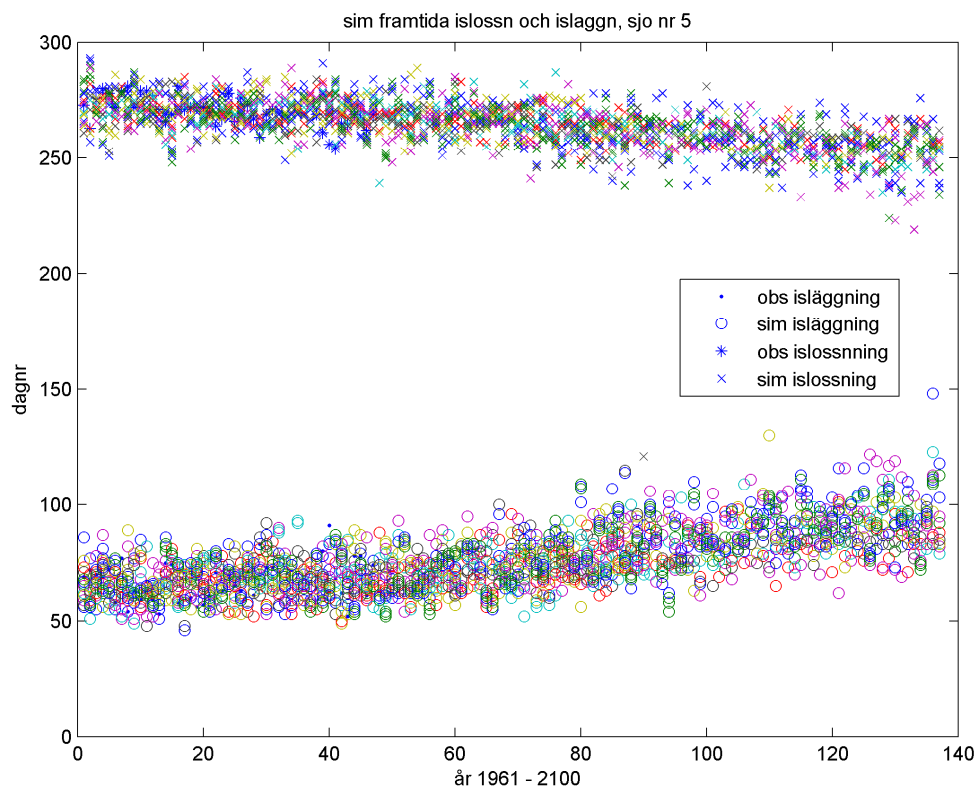
Figur 9-1. Torneträsk



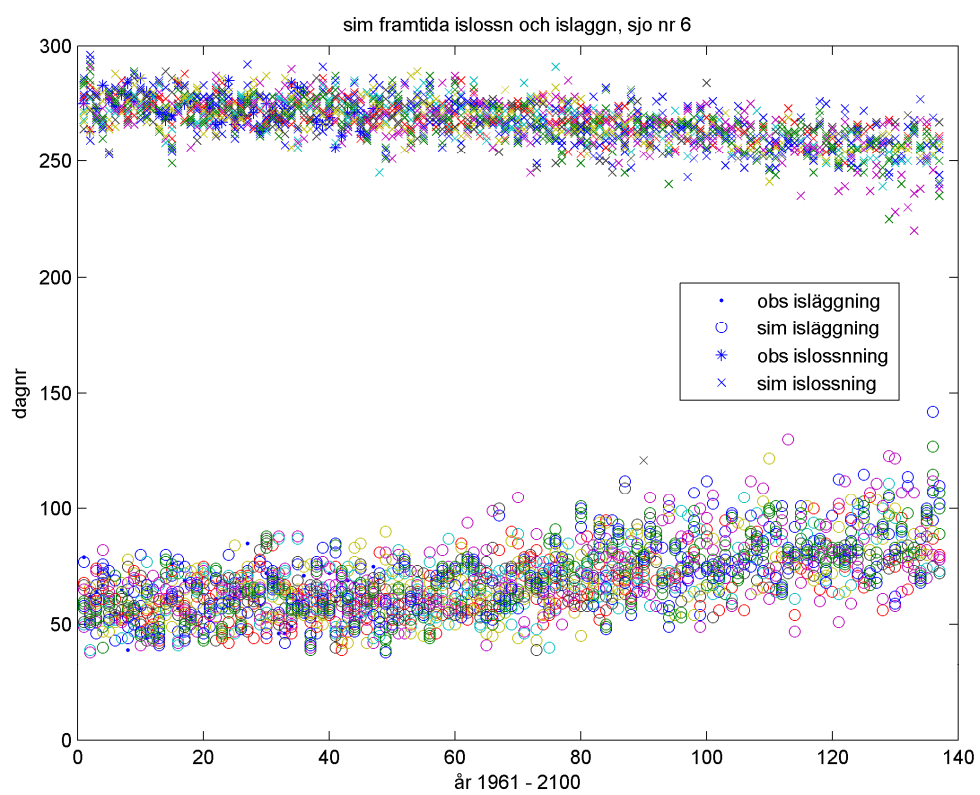
Figur 9-2. Naimakkajärvi



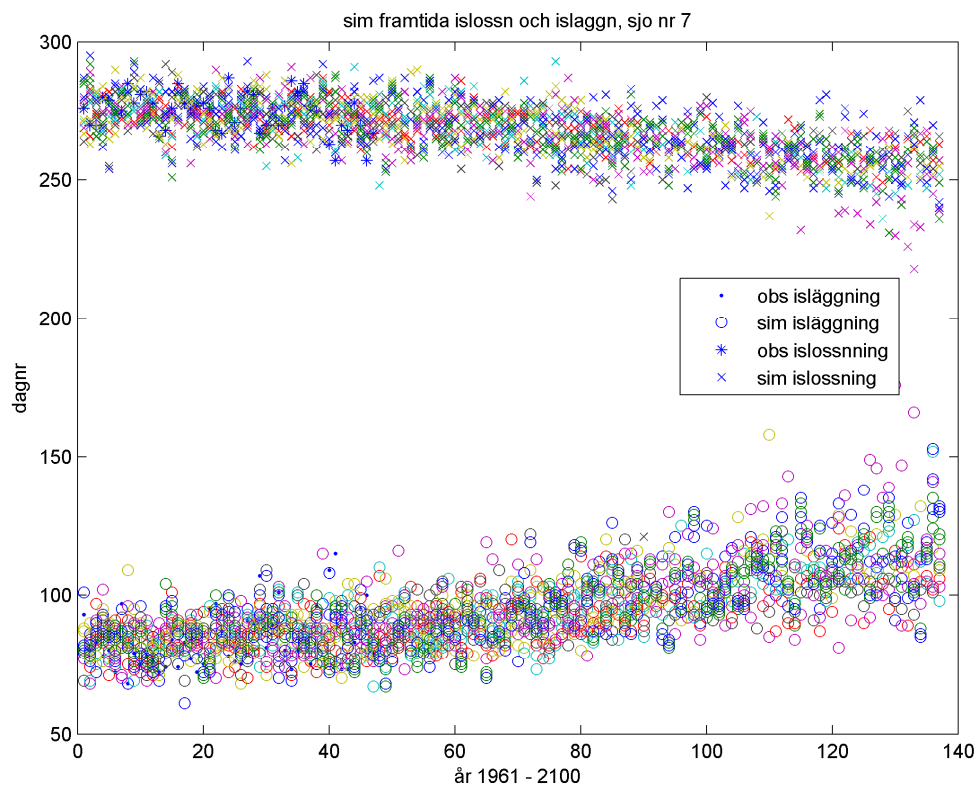
Figur 9-3. Kaalasjärvi



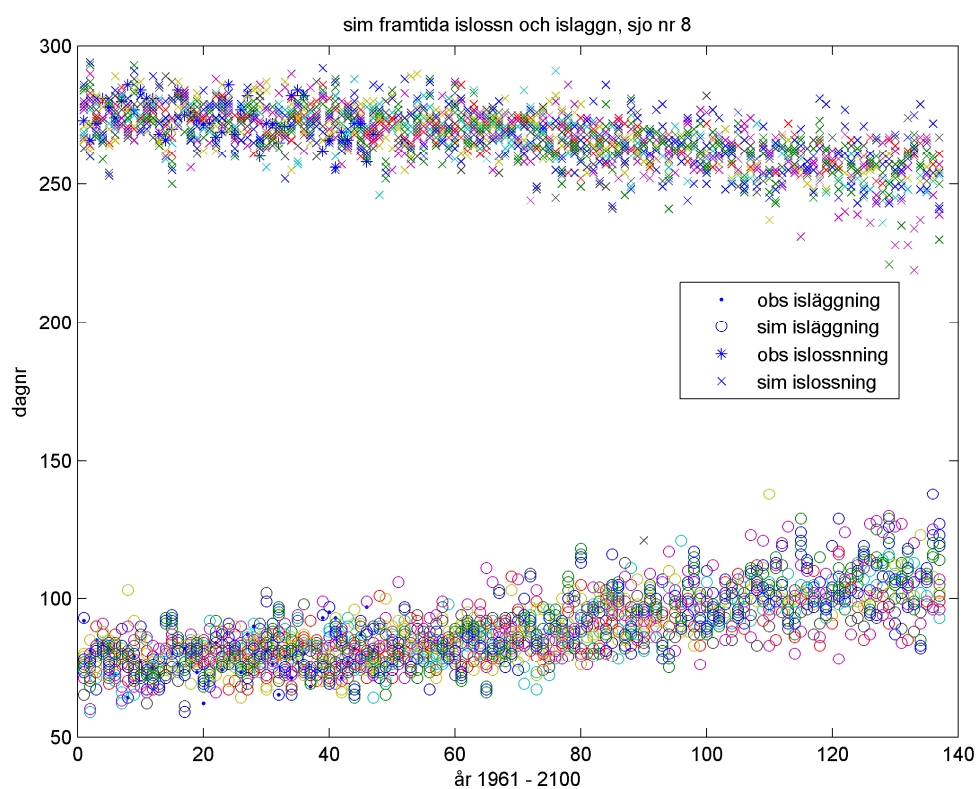
Figur 9-4. Randijaure



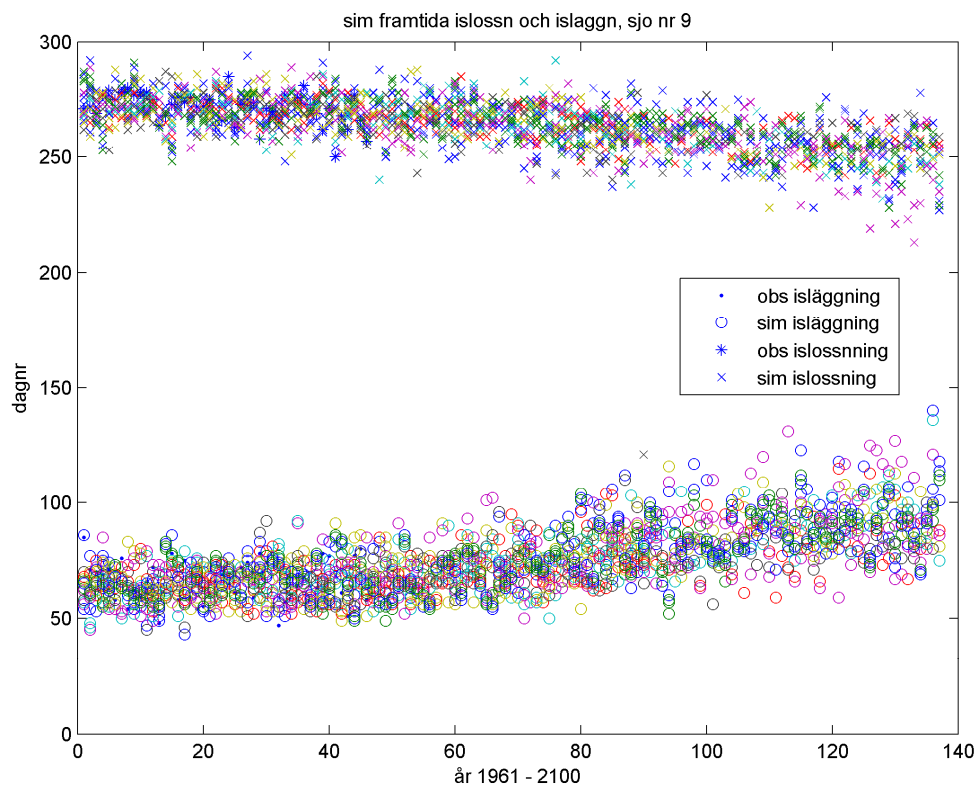
Figur 9-5. Saddajaure



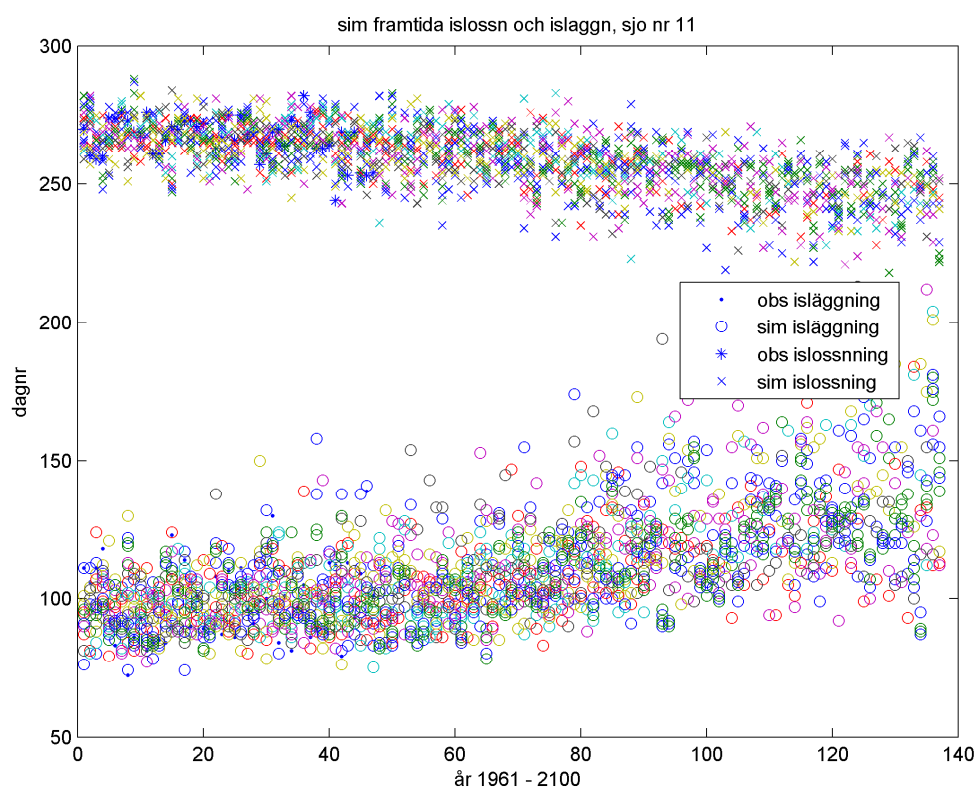
Figur 9-6. Överstjuktan



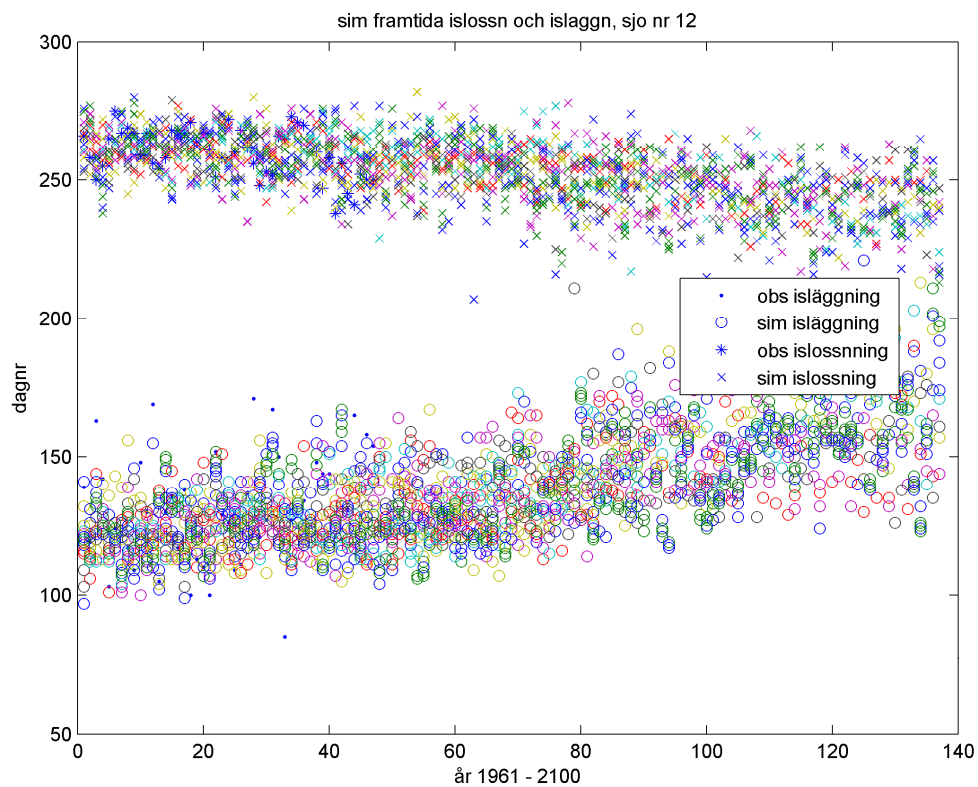
Figur 9-7. Laisan



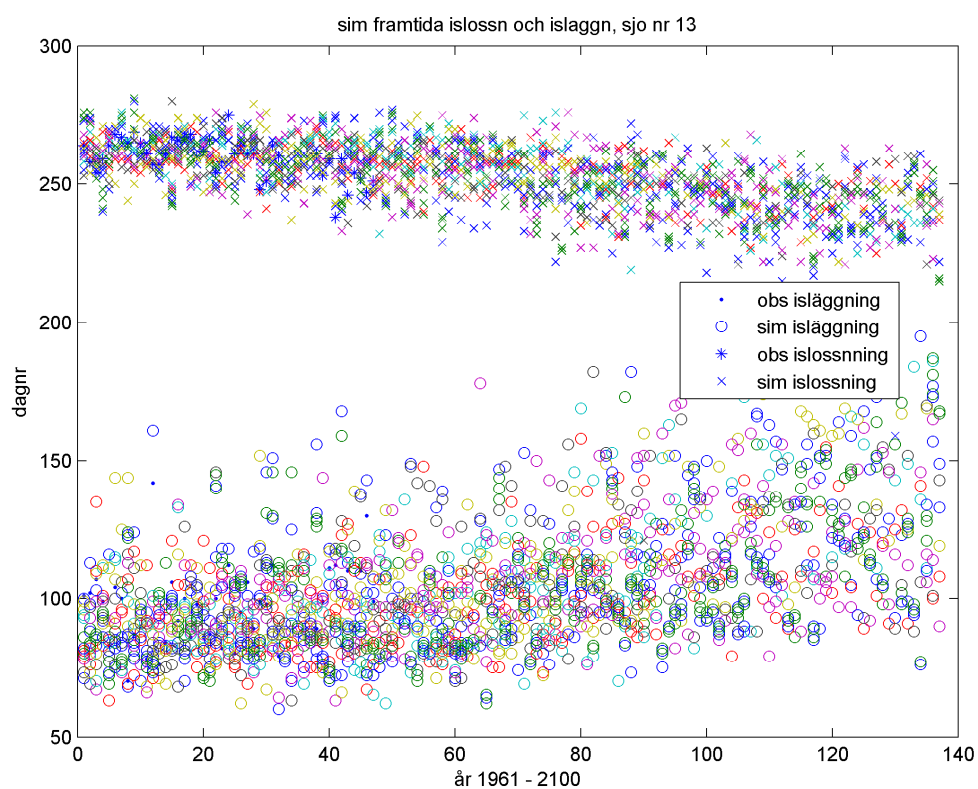
Figur 9-8. Västra Marssjön



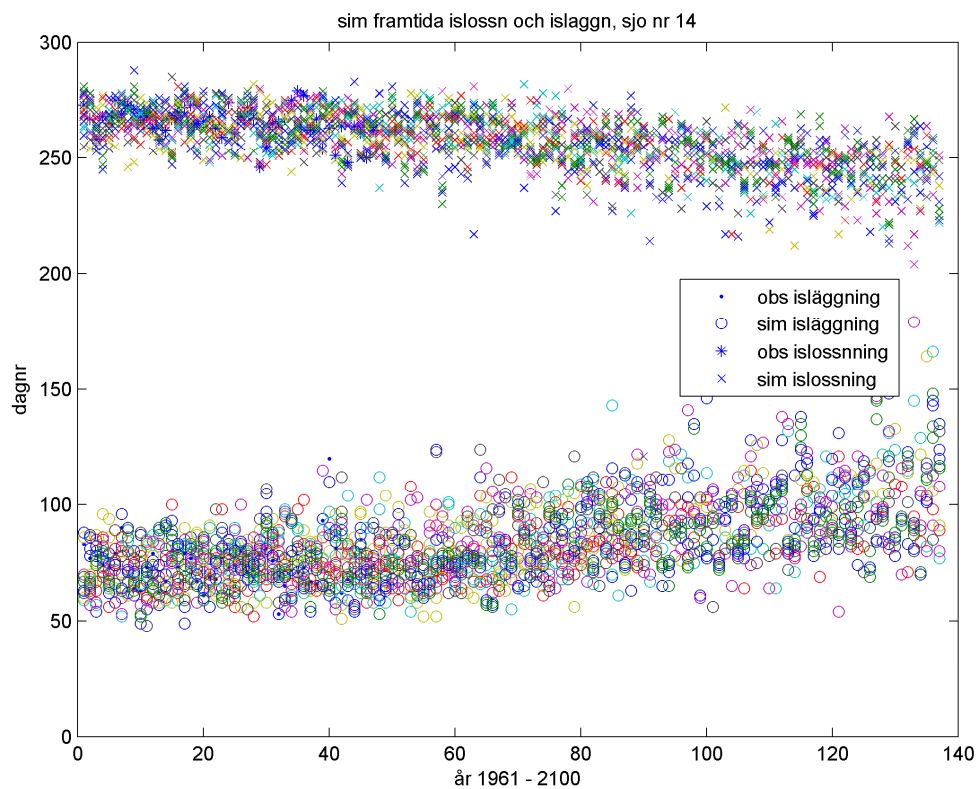
Figur 9-9. Lilljorm



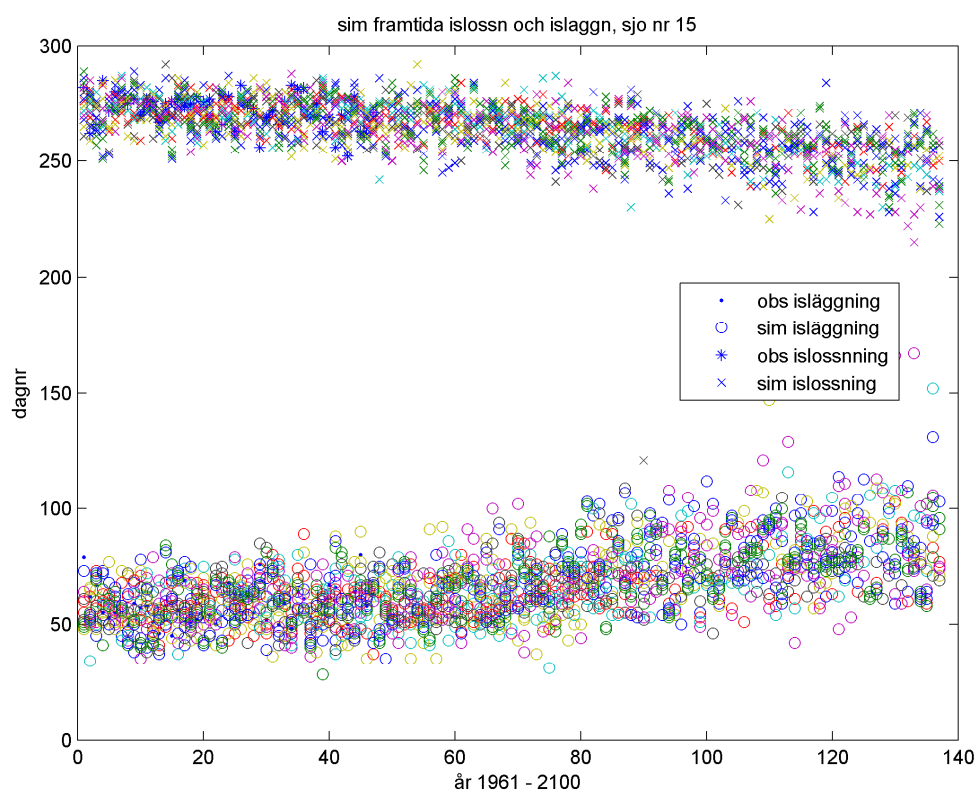
Figur 9-10. Kallsjön



Figur 9-11. Rengen



Figur 9-12. Storsjön



Figur 9-13. Malmagen



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





Länsstyrelsen  
Norrbotten



Länsstyrelsen  
Västerbotten



Länsstyrelsen  
Jämtlands län



LÄNSSTYRELSEN  
DALARNAS LÄN

**SMHI**