

Marie Gardelin, Johan Andréasson, Jonas Olsson, Jörgen Sahlberg,  
Björn Stensen och Wei Yang

**UPPDRAGSRAPPORT NR 2011-77**

## **Scenarier för framtida skogsbrandrisk**

**- Studier med två brandriskmodeller**



*Pärbild.  
Foto skogsbrand*



Författare:

**Marie Gardelin, Johan Andréasson  
Jonas Olsson, Jörgen Sahlberg,  
Björn Stensen, Wei Yang**

Datum:

**2011-12-20**

Uppdragsgivare:

**MSB**

**UPPDRAGSRAPPORT NR 2011-77**

Dnr:

**2010/2260/180**

**2010/1380/180**

---

# Scenarier för framtida skogsbrandrisk

## - Studier med två brandriskmodeller

---

Uppdragstagare

**SMHI  
601 76 Norrköping**

Projektansvarig

**Marie Gardelin  
011-495 8334  
marie.gardelin@smhi.se**

---

Uppdragsgivare

**MSB  
Myndigheten för samhällsskydd och beredskap  
651 81 Karlstad**

Kontaktperson

**Leif Sandahl  
010-240 5312  
leif.sandahl@msb.se**

---

Distribution

---

Klassificering

**Affärssekretess**

---

Nyckelord

**Brandrisk, Skogsbrand, Klimatscenarier, HBV, FWI, Skogsbrandmodell**

---

Övrigt

---



## Sammanfattning

I den här rapporten redovisas resultat från etapp 1 och 2 av projekten *Klimatscenarier Brandrisk HBV* och *Klimatscenarier Brandrisk FWI* som SMHI har genomfört på uppdrag av MSB under 2009-2011. I arbetet har regionala klimatscenarier och brandriskmodeller utnyttjats för att beskriva den effekt som framtida förändringar av klimatet kan förväntas ha på skogsbrandrisken i Sverige. Brandriskberäkningarna har genomförts med de två skogsbrandmodeller som rutinemässigt används på SMHI för brandriskprognoser. Den svenska beräkningsmodellen HBV-Skogsbrand utnyttjar nederbörd och lufttemperatur som indata och beskriver fuktigheten i de markskikt som har störst betydelse för framförallt antändningsrisken i skogsmark. Den kanadensiska FWI-modellen utnyttjar, förutom nederbörd och lufttemperatur, även luftfuktighet och vindhastighet som indata och beskriver även spridningsrisk och brandbeteende. Beräkningarna med HBV-modellen har utförts i ett rikstäckande rutnät, medan FWI-beräkningarna avser 64 meteorologiska stationer i landet.

De 11 regionala klimatscenarier som utnyttjats i studien bygger på beräkningar med flera regionala klimatmodeller, vilka drivits med data från olika globala klimatmodeller och olika utsläppsscenarioer. Med hjälp av en statistisk skaleringsmetod, den s.k. DBS-metoden, har utdata från de regionala klimatmodellerna anpassats för att kunna användas som indata till brandriskberäkningar. Metoden innebär att meteorologiska observationer används för att justera systematiska fel i klimatmodelldata. Korrigeringsfaktorer fastställs för en referensperiod i dagens klimat och dessa bibehålls sedan i scenarioräkningar för framtida klimat. Eftersom anpassningen av klimatmodelldata är en av de grundläggande förutsättningarna för att kunna genomföra scenarioräkningarna, har stor del av arbetet ägnats åt att vidareutveckla och verifiera skaleringsmetoderna.

Resultaten visar att den använda DBS-metoden avsevärt förbättrar överensstämmelsen mellan observationer och klimatmodelldata för alla de meteorologiska variabler som brandriskmodellerna utnyttjar. Utvärderingen för dagens klimat visar också att nivåer och variationsmönster i beräknade brandriskvärden förbättras betydligt när skalerade data utnyttjas. För FWI-modellen kvarstår dock, även efter skaleringen, en viss generell underskattning av brandriskvärdena när beräkningarna baseras på klimatmodelldata. Detta indikerar att skaleringsmetoderna inte fullt ut förmår hantera samverkan mellan FWI-modellens fyra indatavariabler i modellberäkningarna. Resultaten när det gäller förändringar till scenarioperioderna, kan därmed betraktas som mer osäkra för FWI-modellen än för HBV-modellen.

För att beskriva förändringar av skogsbrandrisken i framtida klimat, har olika typer av bearbetningar utförts av de beräknade dagliga brandriskvärdena gällande olika tidsperioder. Resultat redovisas för en referensperiod i dagens klimat och för scenarioperioderna 2021-2050 och 2068-2097. Geografiska förändringar och förändringar av brandrisksäsongen redovisas dels som medelvärden och som genomsnittligt antal dagar med höga brandriskvärden och dels som längden av sammanhängande högriskperioder av olika svårighetsgrad.

I scenarioräkningarna har ingen hänsyn tagits till framtida förändringar av skogsmarkens utbredning eller till eventuella förändringar av skog och vegetation som kan påverka exempelvis avdunstningsprocesserna. Allmänt gäller att när effekten av en framtida förändring av klimatet studeras, finns stora osäkerheter. Resultaten bygger på en kedja av beräkningssteg som vart och ett innebär olika antaganden och förenklingar av komplicerade processer. På grund av de många osäkerhetsfaktorerna i beräkningarna, är det viktigt att inte uttolka detaljer exempelvis i den geografiska utbredningen eller i detaljresultat för enskilda stationer. Resultaten bör användas för att beskriva övergripande förväntade förändringar av brandrisken i framtida klimat.

Den mest tydliga gemensamma signal som kan uttydas av resultaten när det gäller förändringar från referensperioden till scenarioperioderna är en ökning av brandrisknivåerna i framförallt de östra delarna av Götaland och södra Svealand. Tendensen till höjda brandrisknivåer i dessa områden finns i resultaten från både HBV- och FWI-modellen och i flera av de olika klimatscenarioerna. I resultaten för HBV-modellen syns även en viss ökning av brandrisknivåerna längs Norrlandskusten, medan resultaten för FWI-modellen är mer svårtolkade för Norrland. Vissa analyser och scenarier visar för FWI-modellen istället en minskning av brandrisknivåerna i norra Sverige. Liknande förändringar av brandriskvärdena kan iaktas både när genomsnittligt antal dagar med höga index studeras, liksom när sammanhängande högriskperioder studeras. För HBV-modellen syns en kontinuerlig ökning av brandrisken från referensperioden mot scenarioperioderna 2021-2050 och 2068-2097, medan trenden inte är lika tydlig under den första scenarioperioden i resultaten för FWI-modellen. Analysen av förändringar av säsongen för hög brandrisk har inte varit tillräckligt detaljerad för att kunna dra generella slutsatser om förväntade förändringar i framtida klimat.



## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>BAKGRUND</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>SYFTE</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>METODER</b> .....	<b>2</b>
<b>3.1</b>	<b>Brandriskmodeller</b> .....	<b>2</b>
3.1.1	HBV skogsbrandmodell .....	2
3.1.2	FWI skogsbrandmodell .....	3
<b>3.2</b>	<b>Klimatscenarier</b> .....	<b>5</b>
<b>3.3</b>	<b>Bearbetning av klimatmodelldata</b> .....	<b>7</b>
3.3.1	Skalering HBV .....	8
3.3.2	Skalering FWI .....	8
<b>3.4</b>	<b>Definition av högriskperioder</b> .....	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>DATABAS</b> .....	<b>9</b>
<b>4.1</b>	<b>Databas HBV</b> .....	<b>9</b>
<b>4.2</b>	<b>Databas FWI</b> .....	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>RESULTAT HBV SKOGSBRANDMODELL</b> .....	<b>12</b>
<b>5.1</b>	<b>Skalering av meteorologiska indata</b> .....	<b>12</b>
<b>5.2</b>	<b>Skaleringens effekt på beräknade brandriskvärden</b> .....	<b>12</b>
<b>5.3</b>	<b>Förändring av brandriskvärden i framtida klimat</b> .....	<b>16</b>
5.3.1	Medelförändring .....	16
5.3.2	Genomsnittligt antal dagar med höga brandriskvärden .....	16
5.3.3	Sammanhängande högriskperioder .....	23
5.3.4	Säsongsförändring .....	30
<b>6</b>	<b>RESULTAT FWI SKOGSBRANDMODELL</b> .....	<b>32</b>
<b>6.1</b>	<b>Skalering av meteorologiska indata</b> .....	<b>32</b>
<b>6.2</b>	<b>Skaleringens effekt på beräknade brandriskvärden</b> .....	<b>36</b>
<b>6.3</b>	<b>Förändring av brandriskvärden i framtida klimat</b> .....	<b>49</b>
6.3.1	Medelförändring .....	49
6.3.2	Genomsnittligt antal dagar med höga brandriskvärden .....	57
6.3.3	Sammanhängande högriskperioder .....	61
6.3.4	Säsongsförändring .....	61
<b>7</b>	<b>JÄMFÖRELSE MELLAN RESULTATEN FÖR HBV- OCH FWI-MODELLEN</b> .....	<b>68</b>
<b>8</b>	<b>DISKUSSION OCH SLUTSATSER</b> .....	<b>70</b>
<b>9</b>	<b>SLUTORD</b> .....	<b>71</b>
<b>10</b>	<b>REFERENSER</b> .....	<b>72</b>





# 1 Bakgrund

I Sverige har få studier genomförts av förväntade förändringar av skogsbrandrisken till följd av ett förändrat framtida klimat. Inom den statliga Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU, 2007) genomfördes en enkel effektstudie där regionala klimatscenarier utnyttjades för beräkningar med en skogsbrandmodell. Resultaten visade en tendens till ökning av antal dagar med hög brandrisk i ett framtida klimat, främst i södra Sverige. I studien gjordes också en jämförelse mellan brandriskvärden gällande dagens klimat som beräknats med hjälp av observationer, med motsvarande värden som baserats på utdata från en regional klimatmodell. Jämförelsen visade att de värden som baserats på klimatmodellen, genomgående låg på lägre brandrisknivåer än de värden som baserats på observationer. Studien visade därmed på svårigheterna med att använda obearbetade utdata från klimatmodeller till effektstudier.

På uppdrag av MSB genomförde SMHI under 2009-2010 de första etapperna av två projekt (Gardelin m.fl., 2010a och 2010b) där två olika skogsbrandmodeller användes för att undersöka effekterna på skogsbrandrisken av framtida förändringar av klimatet. I det ena projektet användes den svenska brandriskmodellen HBV-Skogsbrand (Gardelin, 2001) och i det andra projektet användes den kanadensiska FWI-modellen (van Wagner, 1987). HBV-Skogbrand, som utnyttjar nederbörd och lufttemperatur som indata, speglar markfuktigheten i de skikt som har betydelse för framförallt antändningsrisken i skogsmark. FWI-modellen utnyttjar, förutom nederbörd och temperatur, även luftfuktighet och vindhastighet som indata och beskriver även spridningsrisk och brandbeteende.

I båda de tidigare projekten utnyttjades en särskild skaleringsmetod (Yang m.fl., 2010) för att anpassa utdata från de regionala klimatmodellerna så att de kan användas som indata för brandriskberäkningar. Med hjälp av metoden justeras nivån i klimatmodellernas utdata så att de överensstämmer bättre med observationer, samtidigt som klimatmodellernas variabilitet bibehålls. Preliminära resultat från projektets första etapper visade realistiska brandrisknivåer för dagens klimat och vissa förändringar mot högre brandrisk i delar av Sverige i framtida klimat. I denna rapport redovisas resultaten från den andra etappen av både HBV- och FWI-projekten och vissa resultat från de första etapperna sammanfattas. Under det fortsatta arbetet har skaleringsmetoderna vidareutvecklats, framförallt för anpassning av luftfuktighet och vindhastighet, vilket krävs för användning av FWI-modellen i den här typen av effektstudier. Dessutom har databasen utökats och fler bearbetningar har genomförts av beräkningsresultaten.

I andra länder har FWI-modellen använts i ett stort antal studier av effekten av framtida klimatförändringar på skogsbrandrisken. I tidiga studier, exempelvis Flannigan m.fl. (1991), används ofta en s.k. delta change-teknik. I denna teknik används klimatscenarier för att beräkna den relativa skillnaden mellan dagens och framtida klimat. Därefter appliceras denna skillnad, t.ex. en viss procentuell ökning av nederbörden, på en serie observationsdata. I många studier därefter, har data från globala klimatmodeller istället använts som direkt indata till beräkningar med FWI-modellen, exempelvis Bergeron och Flannigan (1995), Wotton m.fl. (2003 och 2010), Flannigan m.fl. (2005) och Spracklen m.fl. (2009). Den teknik som används för anpassningen av klimatmodellsdata i flera av dessa studier beskrivs t.ex. av Logan m.fl. (2004). Ofta har en anpassning skett av nederbörd och relativ luftfuktighet, medan temperatur och vindhastighet inte justerats på liknande sätt. Utdata från regionala klimatmodeller har på motsvarande sätt anpassats och använts för beräkningar med FWI-modellen av exempelvis Moriondo m.fl. (2006), Le Goff m.fl. (2009) och Carvalho m.fl. (2009).

## 2 Syfte

Studiens syfte har varit att med hjälp av regionala klimatscenarier beskriva den effekt som framtida förändringar av klimatet kan förväntas ha på skogsbrandrisken i Sverige så som den beskrivs av skogsbrandmodellerna HBV och FWI. Syftet har också varit att utveckla och värdera metoder för anpassning av klimatmodellernas utdata så att de kan användas som indata till brandriskberäkningar, samt att bygga upp system och databaser som möjliggör fortsatt bearbetning och analys av beräknade brandriskvärden för olika tidsperioder.

## 3 Metoder

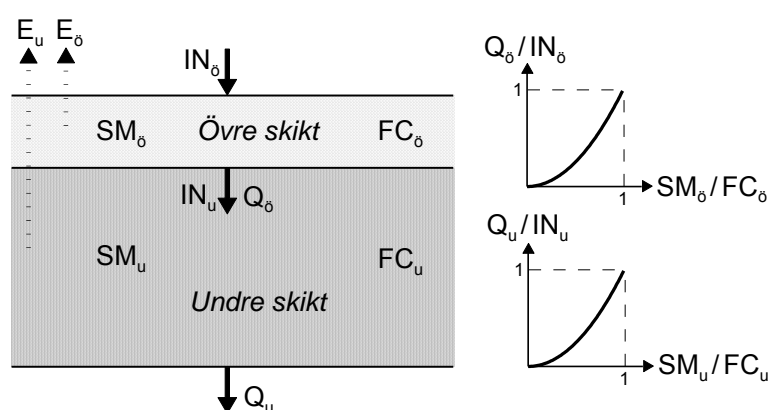
### 3.1 Brandriskmodeller

#### 3.1.1 HBV skogsbrandmodell

Beräkningsmodellen HBV-Skogsbrand (Gardelin, 2001) används rutinmässigt under sommarhalvåret på SMHI för prognoser av antändningsrisk och markfuktighet i skogsmark. Modellen är en specialtillämpning av den hydrologiska avrinningsmodellen HBV (Bergström, 1995, Lindström m.fl., 1997), som utvecklats vid SMHI sedan början av 1970-talet. För skogsbrandtillämpning används de delar av HBV-modellen där beräkning sker av snöackumulering och avsmältning samt avdunstning och markfuktighet.

HBV-Skogsbrand beskriver fuktigheten i de markskikt som har störst betydelse för framförallt antändningsrisken i skogsmark. Modellen är verifierad mot statistik över inträffade skogsbränder och nedbrunnen skogsareal i Sverige. För rikstäckande tillämpningar används generella regionala parametervärden i modellen. Modellens indata är dygnsnederbörd och dygnsmedeltemperatur. Potentiell avdunstning, som används av modellen, beräknas utgående från lufttemperaturen.

I modellen beräknas fuktigheten i två markskikt enligt principerna i Figur 3.1. Fuktigheten i markskikten bestäms av nederbörd, snösmältning, avdunstning och avrinning till djupare markskikt. Hur stor andel av en viss regnmängd som kan hållas kvar i markskikten är beroende av den aktuella markfuktigheten. Om marken är torr, kan stor del av regnmängden magasineras i marken, men om marken redan är blöt, förs stor del av regnet vidare till avrinning. Avdunstningen beror av potentiell avdunstning och markfuktighet. Maximal vattenmagasinerings beror av region i landet och är 20-25 mm i det övre skiktet och 180-225 mm i det undre skiktet.



Figur 3.1. Princip för beräkning av fuktigheten i de två markskikten i HBV-skogsbrandmodell. FC anger den maximala vattenmagasinerings i respektive markskikt och SM anger aktuell markfuktighet. IN avser vattentillförsel till skiktet, Q avrinning och E avdunstning från skiktet.  $IN_o$  utgörs av regn och snösmältning och  $Q_u$  utgör det vatten som förs bort från markvattenzonen och går vidare till avrinning.

Fuktigheten i de två markskikten anges i procent av den maximala vattenmagasinerings i respektive markskikt, d.v.s. låga värden anger torra förhållanden och hög brandrisk. Fuktighetsvärdena vägs i modellen samman till ett viktat markfuktighetsvärde. Extremt höga brandriskvärden kan endast erhållas när fuktigheten är låg i båda markskikten. För att ta hänsyn till fukt på vegetation, sker en korrektion av fuktighetsvärdet under de dagar då det faller nederbörd. Det slutliga markfuktighetsvärdet benämns HBVS och översätts till de 6 nivåerna av markfuktighetsindexet HBVSI enligt Tabell 3.1. I operationell drift används beteckningen 5E för den högsta brandriskklassen.

Tabell 3.1. Gränsvärden för brandriskindex med HBV-Skogsbrandmodell.

Viktat markfuktighetsvärde HBVS	Index för markfuktighet HBVSI
$0 \leq \text{HBVS} < 28$	6 (5E) - Extremt torrt
$28 \leq \text{HBVS} < 33$	5 - Mycket torrt
$33 \leq \text{HBVS} < 43$	4 - Torrt
$43 \leq \text{HBVS} < 59$	3 - Måttligt blött
$59 \leq \text{HBVS} < 74$	2 - Blött
$74 \leq \text{HBVS} \leq 100$	1 - Mycket blött

I studien har brandriskvärden beräknats för punkter i ett rutnät som täcker hela landet. Liksom i den operationella modellen, bygger beräkningarna enbart på meteorologiska indata och generella brandriskvärden erhålls i alla beräkningspunkter, oavsett skogens verkliga utbredning. När modellen drivs med utdata från klimatmodeller för att studera effekterna av olika klimatscenarier, kan därför ingen hänsyn tas till eventuella förändringar av skogen eller dess utbredning i ett framtida klimat. Förändringen av den potentiella avdunstningen i ett framtida klimat antas också vara proportionell mot temperaturändringen och ingen hänsyn kan tas till eventuell förändring av hur avdunstningen sker i det framtida klimatet beroende på exempelvis förändrad vegetation.

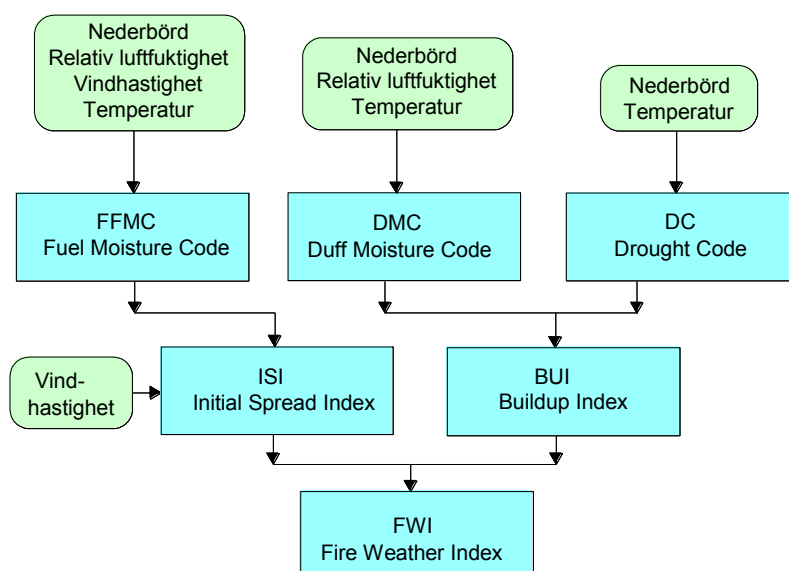
### 3.1.2 FWI skogsbrandmodell

Den kanadensiska brandriskmodell som använts i denna studie ingår i ett större modellsystem för bedömning av brandrisk och brandbeteende som benämns The Canadian Forest Fire Danger Rating System (Stocks m.fl., 1989). Delmodellen för bedömning av skogsbrandrisk är The Canadian Forest Fire Weather Index System (van Wagner, 1987), där huvudindexet kallas FWI (Fire Weather Index). FWI-modellen utvecklades ursprungligen för en standardiserad skogstyp i Kanada, men används nu i flera länder i Nord- och Sydamerika, i södra Europa samt exempelvis i Nya Zeeland och Indonesien.

Brandriskbedömningen i FWI-modellen bygger på beräkning av tre grundvärden för fukthalter i olika bränsleskikt (se Figur 3.2). FPMC (Fine Fuel Moisture Code) är det ytligaste skiktet och representerar fuktigheten i finfördelat bränsle, som förna eller mossa, i ett cirka 1 cm tjockt skikt vid markytan. Den maximala vattenmagasinerings i detta skikt är mindre än 1 mm och fukthalten i detta skikt kan variera snabbt beroende på luftfuktigheten. DMC (Duff Moisture Code) representerar fuktigheten i bränsleskikt i en något djupare del av det ytliga markskiktet, bestående av mossa, förna eller humus. I skiktet kan maximalt 15 mm vatten magasineras, vilket normalt motsvarar ett cirka 7 cm djupt skikt. DC (Drought Code) kan magasinera 100 mm vatten och representerar fukthalten i tjocka kompakta humuslager där fukthalten förändras långsamt. Påfyllnad

och uttorkning av de olika skikten sker enligt olika empiriska samband som tagits fram under många års studier av fuktighet i olika markskikt i Kanada.

Uttorkningen av de olika skikten sker i modellen exponentiellt avtagande med tiden. Den tid som under en uttorkningsfas åtgår för att cirka 2/3 av vattenmagasinet ska ha torkat ut, är för det ytligaste skiktet (FFMC) cirka 0,7 dygn (van Wagner, 1987). För DMC-skiktet sker motsvarande uttorkning på 12 dygn och för DC-skiktet åtgår 52 dygn för denna uttorkning.



Figur 3.2. FWI-modellens struktur.

Brandriskvärdet (FWI) beräknas ur de tre grundvärdena med hjälp av två mellanindex kallade BUI (Buildup Index) och ISI (Initial Spread Index). BUI beräknas som ett viktat medelvärde av DMC och DC och kan ses som ett allmänt fuktighetsmått för de något djupare markskikten, vilka representerar det tillgängliga brännbara materialet. ISI indikerar en brands möjliga spridningshastighet och bestäms av FFMC och vindhastigheten. Det slutliga brandriskvärdet (FWI) beräknas ur en kombination av ISI och BUI, och används ofta som ett generellt mått för att beskriva brandbeteende och brandspridning. FWI-värdet återges ofta som ett regionalt utvecklat FWI-index med stigande index för ökande skogsbrandrisk. Tabell 3.2 visar de gränsvärden för FWI-index som tillämpas i Sverige och i denna studie.

Tabell 3.2. Gränsvärden för brandriskindex baserade på FWI-modellen.

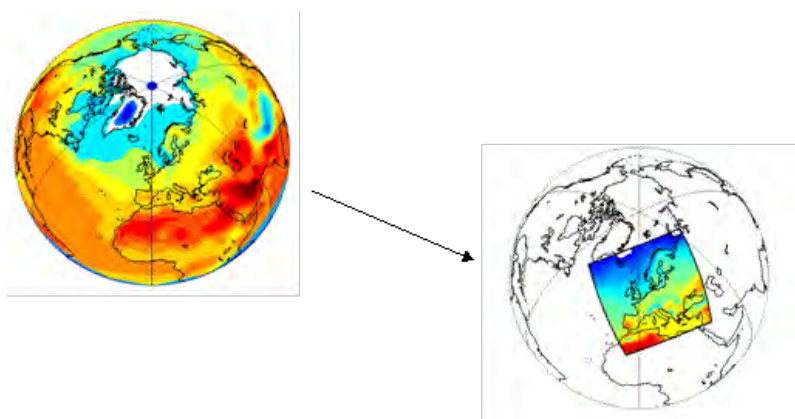
FWI grundvärde	Brandriskindex
$28 \leq \text{FWI}$	6 (5E) - Extremt stor brandrisk
$22 \leq \text{FWI} < 28$	5 - Mycket stor brandrisk
$17 \leq \text{FWI} < 22$	4 - Stor brandrisk
$7 \leq \text{FWI} < 17$	3 - Normal brandrisk
$1 \leq \text{FWI} < 7$	2 - Liten brandrisk
$\text{FWI} < 1$	1 - Mycket liten brandrisk

Indata till dagliga beräkningar med FWI-modellen är dygnsnederbörd samt temperatur, relativ fuktighet och vindhastighet mitt på dagen (kl. 12). För produktion av rikstäckande brandriskprognoser i operationell drift, startas modellen upp från blöta markförhållanden i början av varje år efter det att snötäcket smält bort. I denna studie har inte hänsyn tagits till snöns utbredning, utan beräkningarna har startats från blöta markförhållanden den första januari varje år. Liksom i operationell drift, har i denna studie lufttemperatur kl. 12 använts som indata. I många klimateffektstudier med FWI-modellen, exempelvis Logan m.fl. (2004), används istället dygnets maximala temperatur som indata.

### 3.2 Klimatscenarier

Globala klimatmodeller (GCM) används för att få en översiktlig bild av framtidens klimat. Modellerna drivs bland annat med antaganden om framtidens utsläpp av växthusgaser, så kallade utsläppsscenarier. För mer detaljerade regionala analyser krävs en bättre beskrivning av geografiska förhållanden som påverkar det regionala klimatet, såsom skillnader i altitud och uppdelning mellan land och hav. Därför kopplas de globala klimatberäkningarna till regionala klimatmodeller (RCM) med högre upplösning och beskrivning av detaljer som påverkar det regionala klimatet. De regionala klimatmodellerna drivs av resultat från globala modeller vid de yttre gränserna av sitt modellområde (Figur 3.3). Detta gör att valet av global modell får stor betydelse för slutresultatet även regionalt.

Vid modelleringen av klimatet sker en indelning av jorden i beräkningsrutor. För närvarande har en global klimatmodell normalt en upplösning i storleksordningen 150-300 km, medan regionala klimatmodeller normalt har upplösningen 25-50 km.

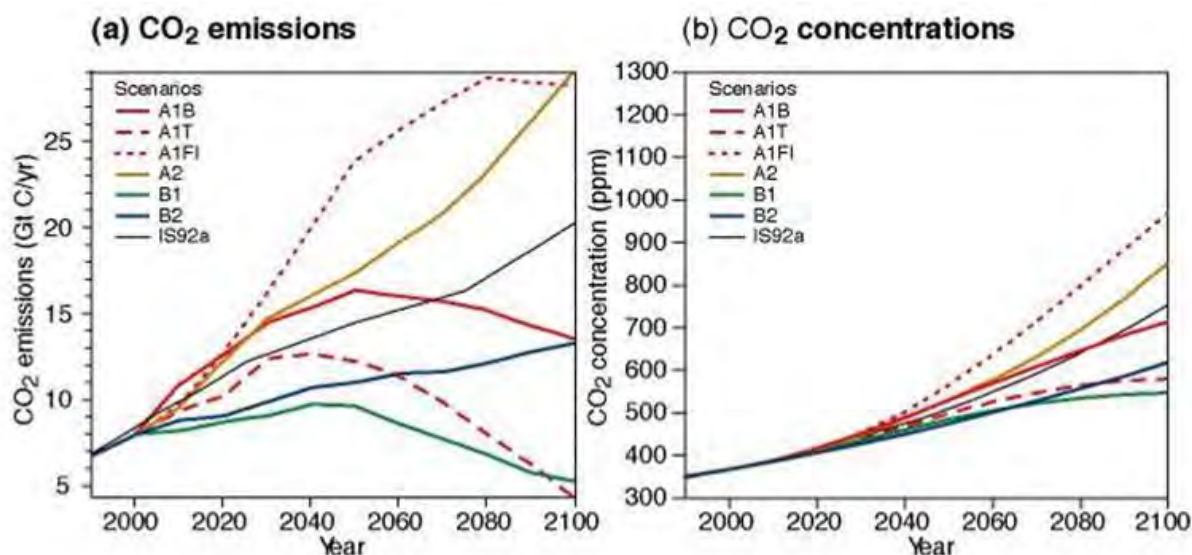


Figur 3.3. Modellområde för global respektive regional modell.

FN:s klimatpanel, IPCC, har utarbetat olika antaganden om framtida utsläpp av växthusgaser som används för att driva de globala klimatmodellerna. Utsläppsscenarierna bygger på antaganden om världens utveckling fram till år 2100 och innebär olika antaganden om jordens befolkning, 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.

I denna studie har de utsläppsscenarier använts som benämns A1B, B1 och A2. Inom Klimat- och sårbarhetsutredningen baserades klimatscenarierna på utsläppsscenario A2 respektive B2. I Figur 3.4 visas ett antal utsläppsscenarier, där A1B, A2 och B1 ingår. Scenario A1B representerar utsläppsökningar som storleksmässigt ligger mellan scenario A2 och B2 och där

koldioxidutsläppen till atmosfären beräknas att kulminera runt år 2050. Koldioxiden i atmosfären fortsätter dock enligt detta scenario att stiga även efter 2050. Scenario B1, som också använts i denna studie, representerar lägre utsläpp och kan närmast betraktas som ett stabiliseringsscenario där koldioxiden i atmosfären i slutet av seklet planar ut på lägre nivå än övriga scenarier (se Figur 3.4). Ur Figur 3.4 ses även att skillnaden mellan effekten av olika utsläppsscenarioer är liten fram till mitten av seklet och ökar därefter.



Figur 3.4. 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).

För att illustrera osäkerheterna i klimatscenarioerna, har denna studie utnyttjat totalt 11 olika regionala klimatsimuleringar. Tabell 3.3 sammanfattar utsläppsscenarioer, global och regional modellversion samt den regionala modellens olika areella upplösning. På grund av brandriskmodellernas olika indatkrav har inte alla scenarier kunnat användas för alla brandriskberäkningar. FWI-delen av studien utnyttjar 9 scenarier som alla producerats med den regionala klimatmodellen RCA3 vilken utvecklats vid Rossby Centre på SMHI:s forskningsavdelning. HBV-delen av studien utnyttjar 6 scenarier, varav ett producerats med den regionala modellen HadRM3, som utvecklats vid Hadley Centre i Storbritannien, och ett producerats med den regionala modellen RACMO som utvecklats vid KNMI-institutet i Nederländerna. De 4 första scenarierna i Tabell 3.3. är gemensamma för HBV- och FWI-delen.

Data har utnyttjats från 4 olika globala klimatmodeller. Den globala klimatmodellen ECHAM5, som ligger till grund för 7 av scenarierna, har utvecklats vid Max-Planck-institutet för meteorologi i Tyskland. De tre olika scenarierna från ECHAM5 skiljer sig genom att de vid beräkningarnas start, i mitten av 1800-talet, har startats från olika initialtillstånd. Mycket små skillnader i initialtillstånd kan få klimatet att variera på olika sätt. Detta innebär att de tre scenarierna kan sägas representera ett mått på den naturliga variabiliteten i klimatet. Övriga globala klimatmodeller är CCSM3 (från NCAR-institutet i USA), HadCM3 (från Hadley Centre i Storbritannien) och BCM (från Met.no i Norge).

Samtliga scenarier för det framtida klimatet pekar mot en generell ökning av årsnederbörden i Sverige. Samtidigt sker en omfördelning av nederbörden mot vinterhalvåret. För sommarnederbörden är resultaten mer varierande mellan olika klimatscenarier. Temperaturen förväntas generellt öka. Temperaturökningen är större i norra Sverige än i södra delarna av landet. I resultatavsnitten av denna rapport redovisas företrädesvis exempel från scenariot SMHI-E53-50-A1B, då detta initialtillstånd har visat sig ha bäst överensstämmelse med observerad klimatförändring under slutet av 1900-talet.

Tabell 3.3. Sammanställning av de klimatscenarier som har använts i denna studie. De fyra första scenarierna är gemensamma för HBV- och FWI-delen av studien. ECHAM5(1), ECHAM5(2) resp. ECHAM5(3) anger att scenarioberäkningarna med den globala klimatmodellen har utgått från tre olika initialtillstånd.

Scenariobeteckning	Utsläpps-scenario	Global klimatmodell (GCM)	Regional klimatmodell (RCM)	Regional modell-upplösning	Brandrisk-tillämpning
SMHI-E51-50-A1B	A1B	ECHAM5(1)	RCA3	50 km	HBV + FWI
SMHI-E52-50-A1B	A1B	ECHAM5(2)	RCA3	50 km	HBV + FWI
SMHI-E53-50-A1B	A1B	ECHAM5(3)	RCA3	50 km	HBV + FWI
SMHI-CCSM3-50-A1B	A1B	CCSM3	RCA3	50 km	HBV + FWI
HC-HCQ0-25-A1B	A1B	HadCM3 (Q0)	HadRM3	25 km	HBV
KNMI-E53-25-A1B	A1B	ECHAM5(3)	RACMO	25 km	HBV
SMHI-E53-25-A1B	A1B	ECHAM5(3)	RCA3	25 km	FWI
SMHI-HCQ0-50-A1B	A1B	HadCM3 (Q0)	RCA3	50 km	FWI
SMHI-BCM-50-A1B	A1B	BCM	RCA3	50 km	FWI
SMHI-E51-50-B1	B1	ECHAM5(1)	RCA3	50 km	FWI
SMHI-E51-50-A2	A2	ECHAM5(1)	RCA3	50 km	FWI

### 3.3 Bearbetning av klimatmodelldata

För att kunna använda klimatmodellernas utdata till att studera effekten på skogsbrandrisken, krävs ett gränssnitt mellan klimatmodellen och brandriskmodellen. Anledningen är att klimatmodellerna inte kan beskriva det nutida klimatet tillräckligt väl för att ge en trovärdig beskrivning av dagens brandrisk, när utdata från klimatmodellen används direkt som indata till brandriskmodellen.

Under senare år har en ny metod utvecklats som gör det möjligt att anpassa utdata från klimatmodellerna. Utvecklingen har skett för att kunna använda klimatmodelldata för hydrologiska modellberäkningar. 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 reducera de systematiska felen. Vid klimateffektstudier med hydrologiska modeller är det särskilt viktigt att den överskattning av antalet nederbördsdagar som ges av klimatmodellerna korrigeras på ett korrekt sätt. Korrigeringsfaktorer fastställs för en referensperiod i dagens klimat och bibehålls sedan vid beräkningen av framtidens klimat, varefter klimatberäkningens utdata direkt kan användas som indata till hydrologiska modeller. Vid användning av DBS-metoden bibehåller man, förutom förändringar i medelvärden, även de förändringar i klimatets variabilitet som ges av klimatmodellen. Kalenderbaserade säsongssamband används för att variera skaleringens storlek över året.

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.

### 3.3.1 Skalering HBV

För anpassning av indata till HBV-Skogsbrand används den DBS-metod som rutinmässigt används på SMHI för hydrologiska studier av klimateffekter (se exempelvis Andréasson m.fl., 2011). Metoden innebär att dygnsnederbörd och dygnsmedeltemperatur justeras enligt säsongsbaserade samband som fastställts genom statistisk analys av 30 års observationsdataserier. Skaleringen baseras på en indelning i fyra säsonger enligt kalenderårstiderna, d.v.s. en uppdelning i månaderna december-februari, mars-maj, juni-augusti och september-november.

### 3.3.2 Skalering FWI

Samma metodik som används för anpassning av dygnsnederbörd och dygnsmedeltemperatur för HBV-Skogsbrand, har varit möjlig att använda även vid anpassning av dygnsnederbörd och temperatur mitt på dagen för användning i FWI-modellen. För luftfuktighet och vindhastighet har nya metoder utvecklats, men metodiken följer samma princip som nederbördsskaleringen.

Vid bestämningen av skaleringssambanden för FWI-modellen, användes i projektets första etapp samma säsongindelning som för HBV-modellen. För att förbättra anpassningen till observationsdata för vind och luftfuktighet, justerades säsongindelningen för samtliga variabler under projektets andra etapp. Den slutliga skalering som redovisas här, bygger på tre säsonger med en uppdelning i månaderna januari-april, maj-augusti och september-december.

Skaleringssambanden har bestämts med hjälp av tillgängliga observationsdata vid respektive station. Det betyder att 30 års data använts för 35 av stationerna och 20 års data har använts för övriga stationer (se avsnitt 4.2).

En utförligare beskrivning av metoderna presenteras i en vetenskaplig artikel som är under bearbetning (Yang, m.fl., 2012).

## 3.4 Definition av högriskperioder

Perioder med hög brandrisk har i den här studien undersökts dels som det genomsnittliga antalet dagar med höga brandriskindex och dels som sammanhängande perioder med höga index, d.v.s. högriskperioder. I databasen med beräknade brandriskvärden har den längsta sammanhängande högriskperioden per år eller per säsong identifierats. Högriskperiodens längd har redovisats som medianvärdet för alla de ingående åren i den studerade perioden eller som den maximala sammanhängande perioden under något av de studerade åren.

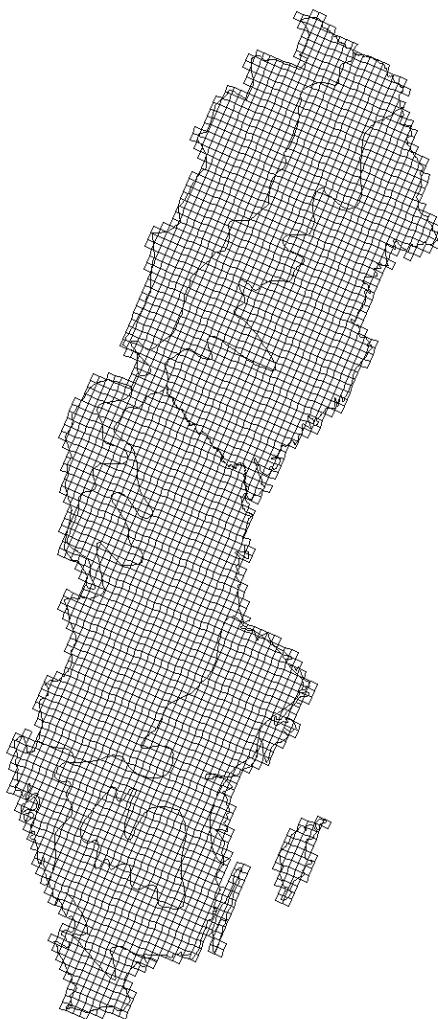
Högriskperioderna har undersökts med en uppdelning i två olika svårighetsgrader. Dels har sammanhängande perioder med index 4, 5 eller 6 studerats och dels har sammanhängande perioder med enbart index 6 studerats. Högriskperioderna har definierats på samma sätt för både HBVS-index och FWI-index. Först har en minimigräns tillämpats för hur korta de sammanhängande perioderna kan vara för att anses utgöra en högriskperiod. För att ingå i beräkningen av sammanhängande perioder måste index 6 ha uppnåtts under minst 4 dagar *eller* lägst index 5 ha uppnåtts under minst 6 dagar *eller* lägst index 4 ha uppnåtts under minst 10 dagar. Under högriskperioden tillåts dessutom indexet att tillfälligt, under maximalt 2 dagar, gå ner till index 1, 2 eller 3 utan att högriskperioden avbryts.



## 4 Databas

### 4.1 Databas HBV

I HBV-delen av studien har brandriskvärden beräknats för punkter i ett rutnät som täcker hela landet och har upplösningen 11x11 km (Figur 4.1). Rutnätet omfattar cirka 4000 punkter och är detsamma som används i rutindrift för beräkningar av dagliga brandriskprognoser. Av klimatologiska och beräkningstekniska orsaker är rutnätet uppdelat i 15 beräkningsregioner. En databas med beräknade värden har skapats som innehåller, förutom HBVS och HBVSI, även fuktighet i övre och undre markskikt, nederbörd, temperatur samt snödata.



Figur 4.1. Beräkningsrutnät och regionindelning för HBV-Skogsbrand.

Baserat på utdata från 6 klimatmodeller (se Tabell 3.3) har dagliga brandriskvärden beräknats för perioden 1961-2097. 30-årsperioden 1961-1990 har valts som referensperiod att representera dagens klimat. Det framtida klimatet har studerats under två 30-årsperioder, 2021-2050 respektive 2068-2097.

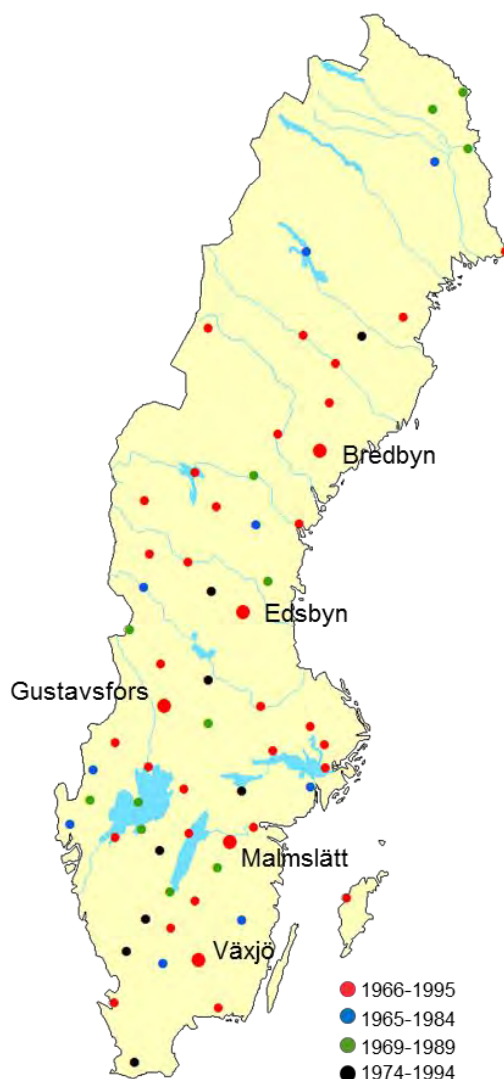
Brandriskvärden har även beräknats baserat på meteorologiska observationer under perioden 1961-2005. Observationsdata har hämtats från den areellt interpolerade databasen PTHBV (Johansson, 2000, Johansson och Chen 2003 och 2005). I databasen interpoleras observationer från meteorologiska stationer till beräkningsrutorna med hjälp av en geostatistisk interpolationsmetod som benämns optimal interpolation. Metoden innebär att hänsyn tas både till stationernas avstånd från beräkningsrutan och till deras inbördes korrelation. För att i interpolationen kunna beskriva den rumsliga variationen, utnyttjas höjddata samt (för nederbörd) även information om typisk

vindriktning och vindstyrka under olika delar av året och i olika delar av landet. I databasen har den observerade nederbörden även korrigerats för mätförluster, som framför allt orsakas av att en del av nederbörden blåser förbi mätaren.

## 4.2 Databas FWI

Observationer motsvarande FWI-modellens indatakrav, d.v.s. ackumulerad dygnsnederbörd samt temperatur, vindhastighet och relativ fuktighet kl. 12, har extraherats från SMHI:s databas. I databasen används tidsangivelsen kl. 12 UTC, vilket motsvarar kl. 13 svensk normaltid och kl. 14 svensk sommartid. Av tillgängliga stationer undantogs stationer som saknade någon av indatavariablerna under någon tidsperiod, samt vindutsatta kuststationer och stationer ovanför trädgränsen i fjällen.

Ursprungstanken var att använda WMO:s standardnormalperiod 1961-1990 som referensperiod i detta projekt. Emellertid finns det många stationer som antingen saknar en stor mängd data i början av 1960-talet eller inte startades förrän i mitten på 1960-talet. Därför valdes i stället perioden 1966-1995 som referensperiod. För 35 av de stationer som ingår i databasen, och som användes i projektets första etapp, finns data tillgängliga under hela referensperioden (se Figur 4.2). Samtliga dessa stationer har under perioden mindre än 1 % saknade värden, i genomsnitt endast 0.2 %.



Figur 4.2. Geografiskt läge för de totalt 64 meteorologiska stationerna i FWI-databasen samt de 4 tidsperioder som utnyttjats vid olika stationer. De 5 teststationerna markerade med namn och större punkt.

För att öka dataunderlaget och förbättra den geografiska täckningen av olika regioner i landet, utökades databasen under projektets andra etapp med ytterligare 29 stationer (se Figur 4.2). Från dessa stationer utnyttjas observationsdata från 3 olika 20-årsperioder under vilka datatillgången är lika god som från de ursprungliga 35 stationerna. Vid 9 stationer utnyttjas data för perioden 1965-1984, vid 12 stationer perioden 1969-1989 och vid 8 stationer perioden 1974-1994. Totalt ingår alltså 64 meteorologiska stationer i databasen.

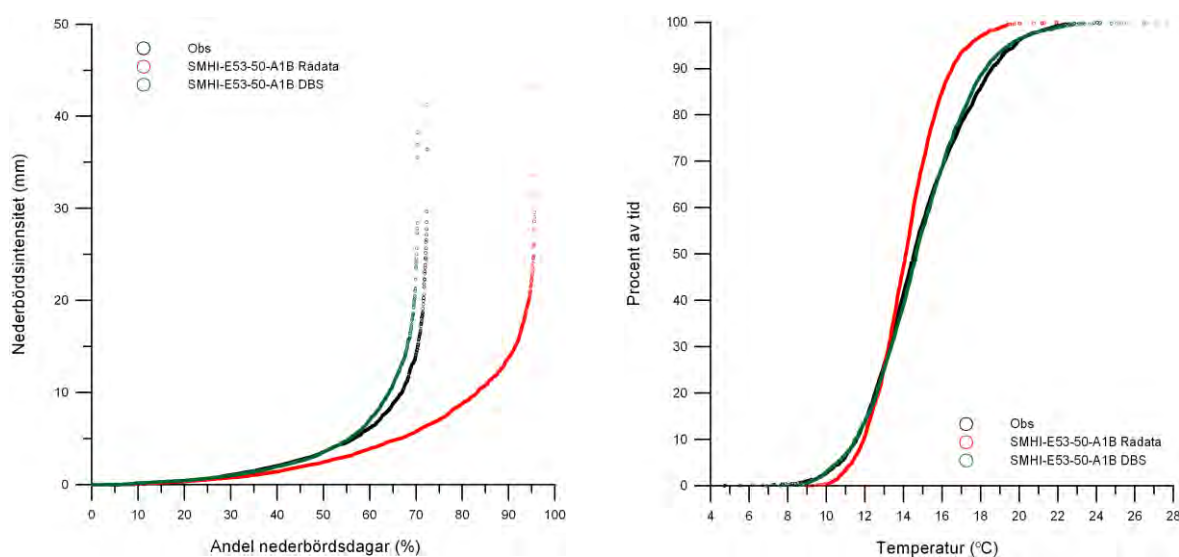
Från de 35 stationer som har data tillgängliga 1965-1995 utvaldes 5 stationer med god datatillgång för att användas vid metodutveckling och test inom projektet. De 5 teststationerna är Bredbyn, Edsbyn, Gustavsfors, Malmslätt och Växjö (se Figur 4.2). Stationerna ligger geografiskt jämnt fördelade för att representera Götalands och Svealands inland, samt Norrlands kustland. För att underlätta användandet av dessa data ersattes för dessa 5 stationer alla saknade observationer med värdet från närmast fungerande station (bland de 35 utvalda).

Baserat på utdata från 9 klimatmodeller (se Tabell 3.3) har dagliga brandriskvärden beräknats för perioden 1961-2097. 30-årsperioden 1966-1995 har valts som referensperiod att representera dagens klimat. Det framtida klimatet har studerats under två 30-årsperioder, 2021-2050 respektive 2068-2097.

## 5 Resultat HBV skogsbrandmodell

### 5.1 Skalering av meteorologiska indata

Nederbörds- och temperaturdata till HBV-Skogsbrand har skalerats enligt den DBS-metod som rutinemässigt används för hydrologiska klimatstudier på SMHI. Figur 5.1 visar en jämförelse mellan obearbetade data från en klimatmodell (scenario SMHI-E53-50-A1B) och data som anpassats med DBS-metoden för ett område i södra Sverige gällande perioden 1961-1990. Både temperatur och nederbörd visar efter skaleringen betydligt större överensstämmelse med observationsdata än rådata från klimatmodellen. Särskilt viktigt för att erhålla realistiska brandriskvärden med HBV-Skogsbrand är att skaleringen lyckas korrigera andelen nederbördsdagar till nivåer som överensstämmer med observationsdata



Figur 5.1. Jämförelse mellan observationsdata (svart), obearbetade data (rådata) från en klimatmodell (röd) samt data som anpassats med DBS-metoden (grön) för ett område i södra Sverige (månaderna juni-augusti 1961-1990). Till vänster nederbörd (andel dagar med olika nederbördsintensitet), till höger dygnsmedeltemperatur (procent av tiden som viss dygnsmedeltemperatur underskreds).

### 5.2 Skaleringens effekt på beräknade brandriskvärden

För att utvärdera metoden som använts för att anpassa klimatmodellernas utdata, har beräknade HBVS-värden som baserats på klimatmodelldata jämförts med motsvarande värden som baserats på observationer. I Figur 5.2 redovisas resultat för 5 beräkningspunkter i landet som motsvarar läget för de 5 teststationerna som används i FWI-delen av studien (se Figur 4.2). Diagrammen visar varaktighetsfördelningen av HBVS under månaderna april-september för referensperioden 1961-1990.

Diagrammen ger en översiktlig bild av hur HBVS varierar i landet. Vid den nordligaste testpunkten (Bredbyn) ligger HBVS i observationsdata på maximala värdet 100 under mer än 20 % av tiden, d.v.s. under cirka en månad. Vid de sydligaste stationerna (Malmslätt och Växjö) däremot, råder så blöta förhållanden under betydligt kortare tid. HBVS-värden under 33, d.v.s. motsvarande HBVS-index 5 och 6, förekommer vid den nordligaste testpunkten (Bredbyn) under endast några procent av tiden, d.v.s. under några få dagar. Vid testpunkt Malmslätt är motsvarande period cirka 12 dagar.

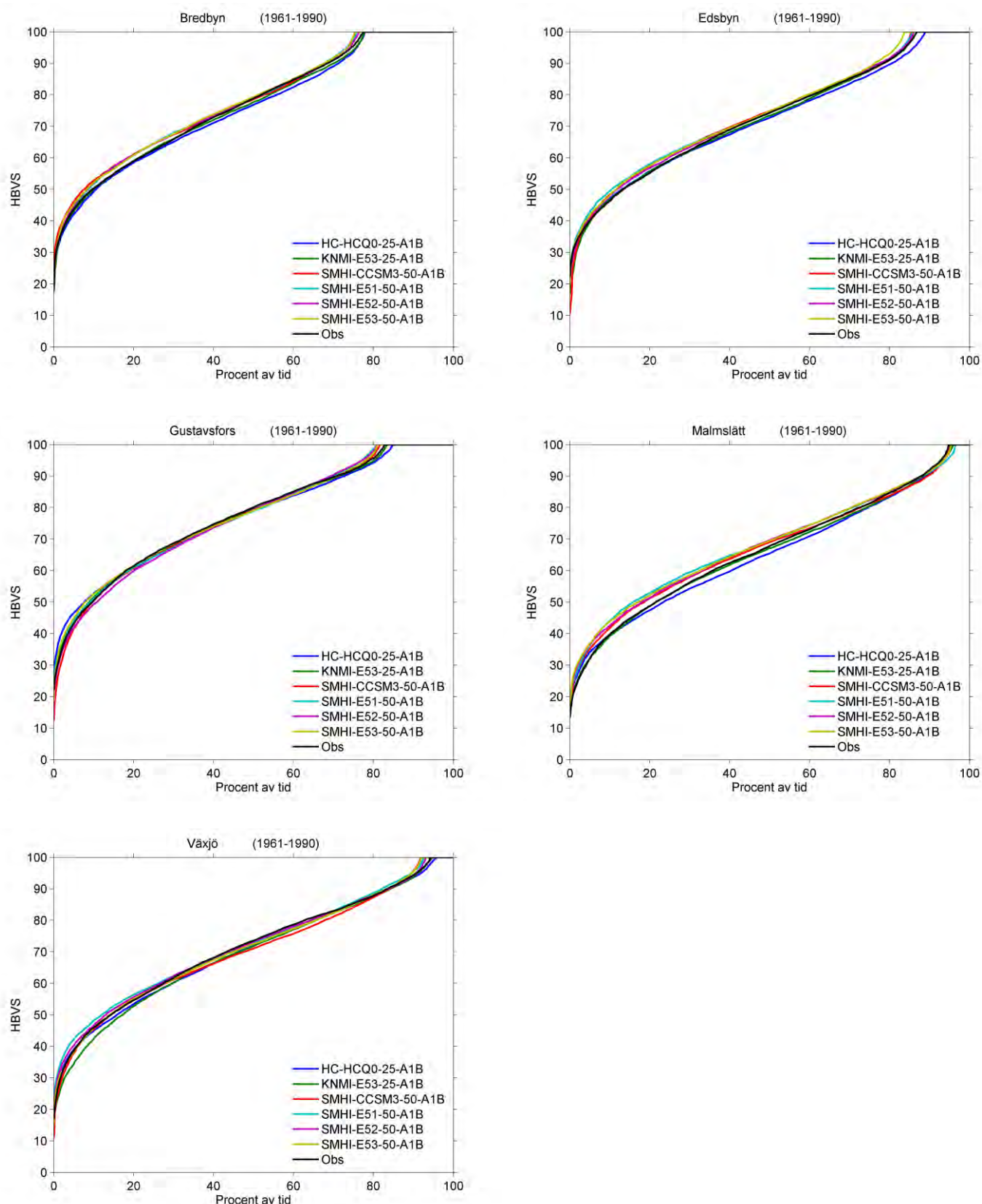
Figur 5.2 ger en bild av osäkerheterna i metoderna för anpassning av klimatmodelldata och visar att anpassningen av klimatmodelldata har fått olika effekt på HBVS-värdet beroende på vilken klimatmodell som använts. Skillnaden mellan HBVS-värden som baserats på olika klimatmodeller och även avvikelserna mot de värden som baserats på observationer, är något större vid de södra testpunkterna Växjö och Malmslätt än vid de nordligare testpunkterna. Den maximala avvikelserna mot observationsdata motsvarar en varaktighet av storleksordningen en vecka.

För att illustrera storleksordningen på osäkerheterna i metoderna gjordes i etapp 1 av projektet (Gardelin m.fl., 2010a) även en beräkning av varaktighetsfördelningen av HBVS som baserades på tre olika tidsperioder (1961-1975, 1976-1990 respektive 1991-2005). Resultaten visade att varaktighetsfördelningen varierar under olika observationsperioder och att skillnaderna var av samma storleksordning som skillnaderna mellan värden som baserats på observationer och klimatmodelldata för perioden 1961-1990. Osäkerheterna i anpassningen av klimatdata kan därmed sägas vara inom ramen för den naturliga variabiliteten. På grund av klimatmodellernas olika beskrivning av historiskt klimat, kan de inte förväntas ligga närmare observationerna 1961-1990 än den observerade variationen mellan olika tidsperioder. Variationen mellan olika tidsperioder i dagens klimat kan även sättas i relation till förändringarna av varaktighetsfördelningen när framtida klimat studeras (avsnitt 5.3.1).

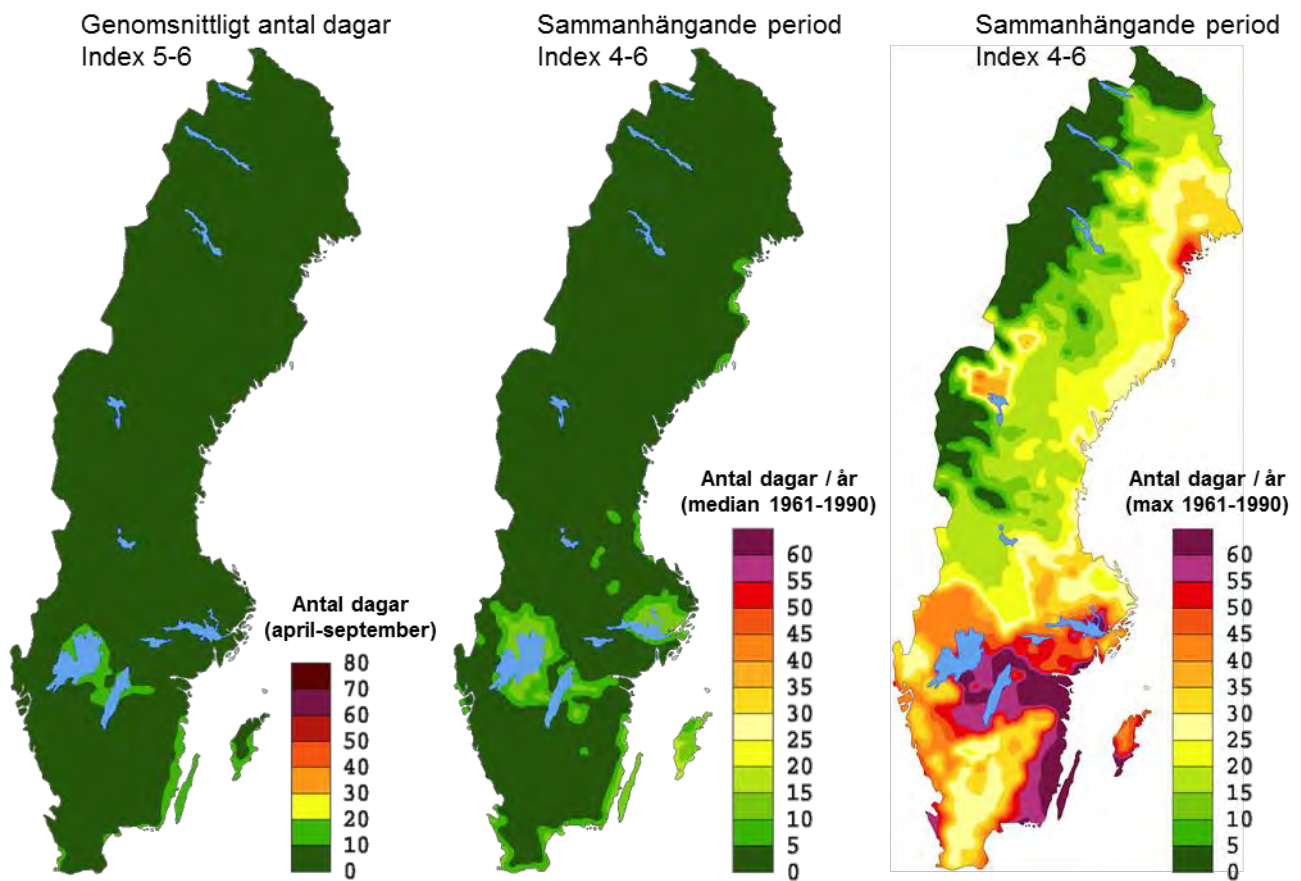
Förändringar av brandrisken i framtida klimat redovisas i avsnitt 5.3 bl.a. som genomsnittligt antal dagar med höga index och som längden av sammanhängande torrperioder med höga index. Kartorna i Figur 5.3 visar hur dessa storheter varierar över landet när brandriskberäkningarna baserats på analyserade observationsdata under perioden 1961-1990. För att utvärdera hur väl skaleringsmetoden lyckas anpassa utdata från klimatmodellerna till observationer, kan dessa kartor jämföras med motsvarande kartor där beräkningarna baserats på klimatmodelldata.

Den vänstra kartan i Figur 5.3 visar genomsnittligt antal dagar med index 5-6 under månaderna april-september baserat på observationer under perioden 1961-1990. Motsvarande kartor från beräkningar som baserats på klimatmodelldata visas i Figur 5.7. Dessa kartor överensstämmer till stor del med kartan i Figur 5.3. Både i beräkningarna som baserats på observationer och i motsvarande beräkningar baserade på klimatmodelldata, så uppnås de högsta indexnivåerna i genomsnitt under färre än 10 dagar per säsong i större delen av landet. I några områden, vilka varierar i de olika beräkningarna, är antalet dagar fler än 10, men i ingen del av landet är antalet dagar fler än 20 i någon av beräkningarna.

Kartan i mitten av Figur 5.3 visar årets längsta sammanhängande period med index 4, 5 eller 6 som medianvärde för de 30 åren i perioden 1961-1990. Motsvarande kartor från beräkningar som baserats på klimatmodelldata visas i Figur 5.10. I större delen av landet är årets längsta högriskperiod kortare än 5 dagar, både i beräkningar som baseras på observationer och på klimatmodelldata. Baserat på observationsdata (Figur 5.3) är högriskperiodernas längd upp till 15 dagar främst i delar av Götaland och som längst upp till 20 dagar på södra Gotland. I motsvarande kartor baserade på klimatmodelldata är högriskperiodernas längd upp till 15-20 dagar i olika delar av södra Sverige beroende på scenario.



Figur 5.2. Varaktighetsfördelning av HBVS för 5 beräkningspunkter i landet motsvarande de meteorologiska stationerna Bredbyn, Edsbyn, Gustavsfors, Malmslätt och Växjö (se Figur 4.2) under referensperioden 1961-1990. Diagrammen visar hur stor andel av tiden under månaderna april-september som olika HBVS-värden underskrids. Värdena avser HBVS som beräknats med hjälp av observerade data (svart linje) respektive utdata från 6 regionala klimatmodeller.



Figur 5.3. Genomsnittligt antal dagar med HBVS-index 5-6 (till vänster) samt längsta sammanhängande högriskperioder med HBVS-index 4-6 (i mitten medianvärde för de 30 åren i perioden samt till höger periodens maximala värde). Beräknade värden baserat på observationer under referensperioden 1961-1990. (Motsvarande kartor baserat på utdata från 6 klimatmodeller visas i avsnitt 5.3.2 och 5.3.3.)

Den högra kartan i Figur 5.3 visar antalet dagar i den längsta högriskperiod med index 4, 5 eller 6 som förekommit under något av de 30 åren i perioden 1961-1990. De längsta högriskperioderna varar upp till mellan 60 och 65 dagar och förekommer i östra Götaland. Motsvarande kartor där beräkningarna baserats på klimatmodelldata (Figur 5.14) visar också att de längsta torrperioderna är 60-65 dagar, men de förekommer i olika delar av landet beroende på scenario. Vid tolkning av de här kartorna är det viktigt att komma ihåg att de visar den allra mest extrema längden av högriskperioder som förekommit under hela 30-årsperioden i varje beräkningspunkt. Kartorna säger däremot inget om hur ofta dessa perioder förekommer. Det kan därför till viss del vara en slump exakt hur den geografiska utbredningen av olika högriskperioder fördelar sig i landet och man kan därmed förvänta sig att kartorna har olika utseende för observationerna och de olika scenarierna. Storleksordningen på längden av de förekommande högriskperioderna överensstämmer dock mellan observationer och klimatmodelldata, vilket tyder på att skaleringsmetoderna fungerar stabilt även vid denna typ av extremvärdesanalyser.

Förutom analysen av högriskperioder med index 4, 5 eller 6 som beskrivs ovan, har även sammanhängande perioder med enbart index 6 studerats. För denna typ av riskperioder redovisas dock inga kartor gällande referensperioden 1961-1990. Medianvärdet för antal dagar i perioder med index 6 är emellertid under 5 i hela landet, både när beräkningarna baseras på observationer och klimatmodelldata.

## 5.3 Förändring av brandriskvärden i framtida klimat

### 5.3.1 Medelförändring

Figur 5.4 visar beräknad förändrad varaktighet av HBVS under månaderna april-september från referensperioden 1961-1990 till scenarioperioden 2021-2050. Värdena avser 6 regionala klimatscenarier för 5 beräkningspunkter som motsvarar teststationerna i Figur 4.2. Figur 5.5 visar motsvarande förändring av varaktighetsfördelningen för scenarioperioden 2068-2097.

I samtliga testpunkter visar varaktighetsdiagrammen en förskjutning mot lägre HBVS-värden under scenarioperioderna jämfört med referensperioden. Förskjutningens storlek varierar mellan de olika scenarierna och framträder också i olika stor utsträckning redan under den första perioden (2021-2050) beroende på scenario.

Figur 5.6 visar stapeldiagram med frekvensen för olika HBVS-index under referensperioden i dagens klimat och under scenarioperioderna 2021-2050 respektive 2068-2097. Indexfrekvensen redovisas för de 4 klimatscenarier som är gemensamma med FWI-delen av studien och för 5 beräkningspunkter, vilka motsvarar läget för teststationerna i FWI-delen (se Figur 4.2).

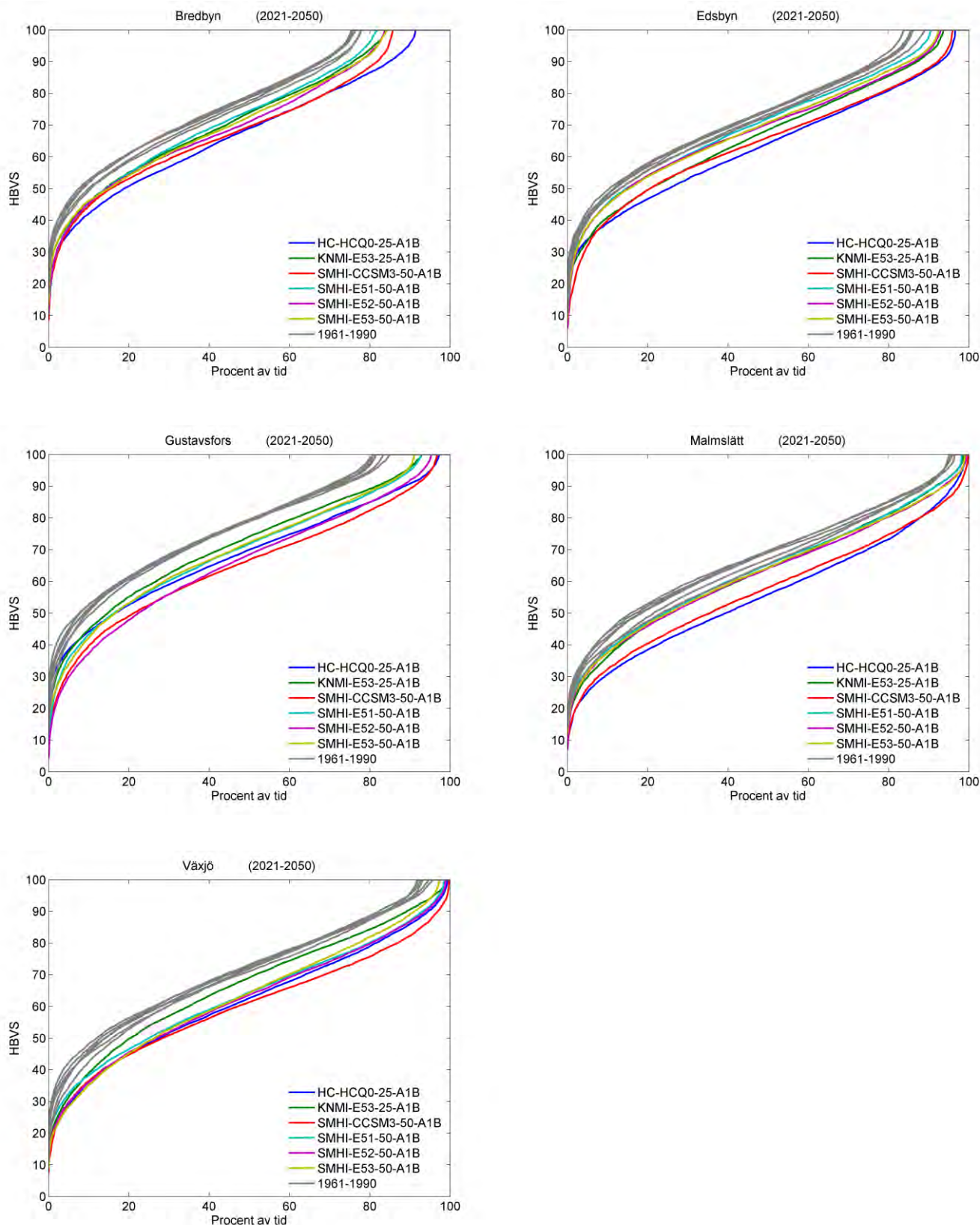
Diagrammen visar vid alla beräkningspunkterna en förskjutning mot fler antal dagar med höga index och färre antal dagar med låga index under scenarioperioderna jämfört med referensperioden. Ökningen av antalet dagar med höga index är större vid beräkningspunkterna i södra Sverige, jämfört med vid de nordligare punkterna. Förändringarna sker succesivt från referensperioden och till scenarioperioderna 2021-2050 och 2068-2097. Scenario SMHI-E51-50-A1B visar den största förändringen.

### 5.3.2 Genomsnittligt antal dagar med höga brandriskvärden

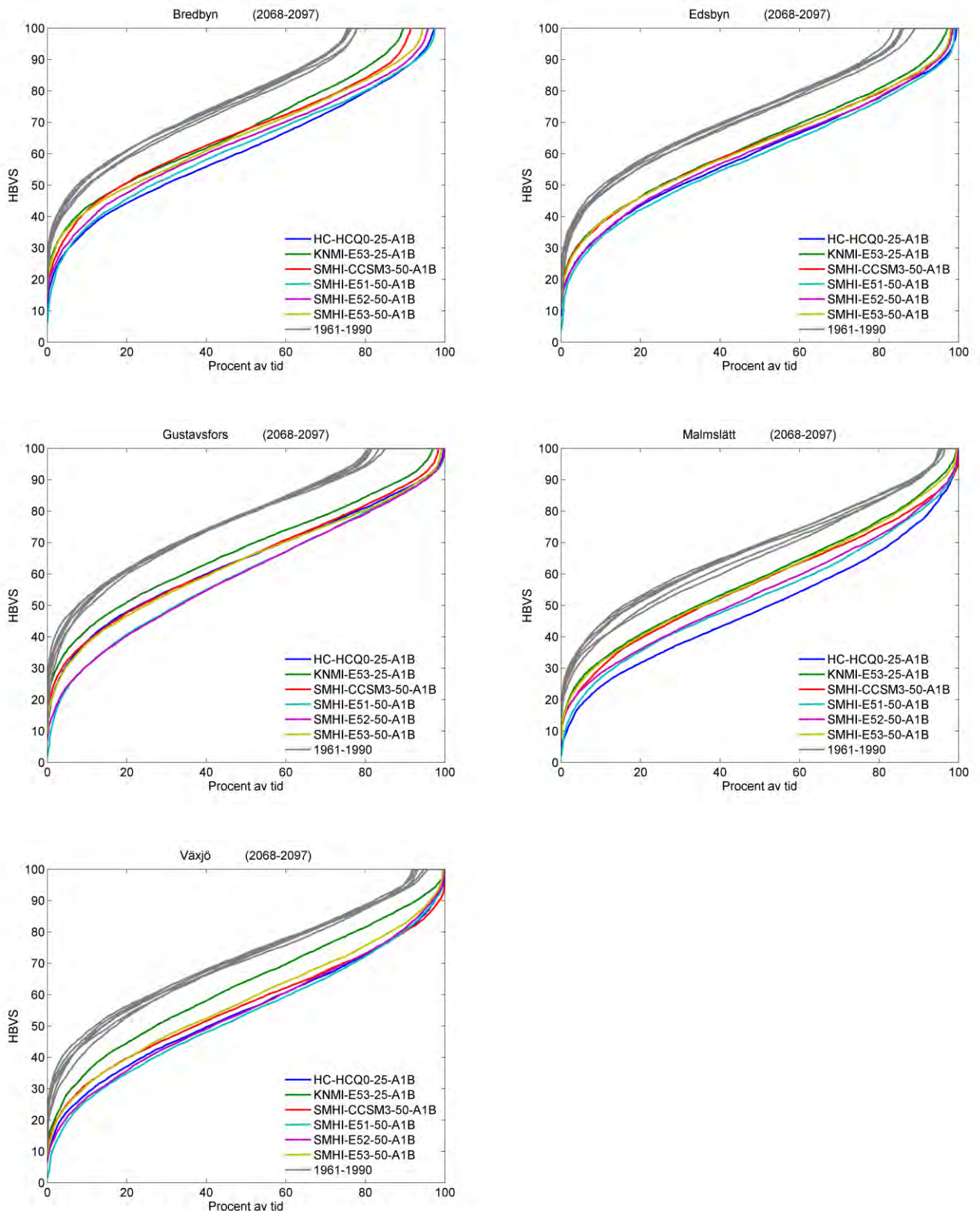
Förändringen av skogsbrandrisken i ett framtida klimat beskrivs här med kartor som visar det genomsnittliga antalet dagar under perioden april-september då det beräknade HBVS-indexet uppnår nivå 5 eller 6. Figur 5.7 - 5.9 visar antalet dagar med HBVS-index 5 eller 6 som baserats på beräkningar med utdata från 6 regionala klimatmodeller gällande tre olika tidsperioder. Figur 5.7 visar att under referensperioden 1961-1990 är antalet dagar per säsong färre än 10 i större delen av landet för samtliga klimatmodeller.

För scenarioperioden 2068-2097 (Figur 5.9) visar alla klimatmodellerna en ökning av antalet dagar med index 5 eller 6 i någon del av landet. Ökningen är mest markant i sydligaste och sydöstra Sverige, samt i några scenarier, även i norra Sveriges kustland. I flera scenarier förekommer områden där de högsta indexen i genomsnitt uppnås fler än 30 dagar per säsong.

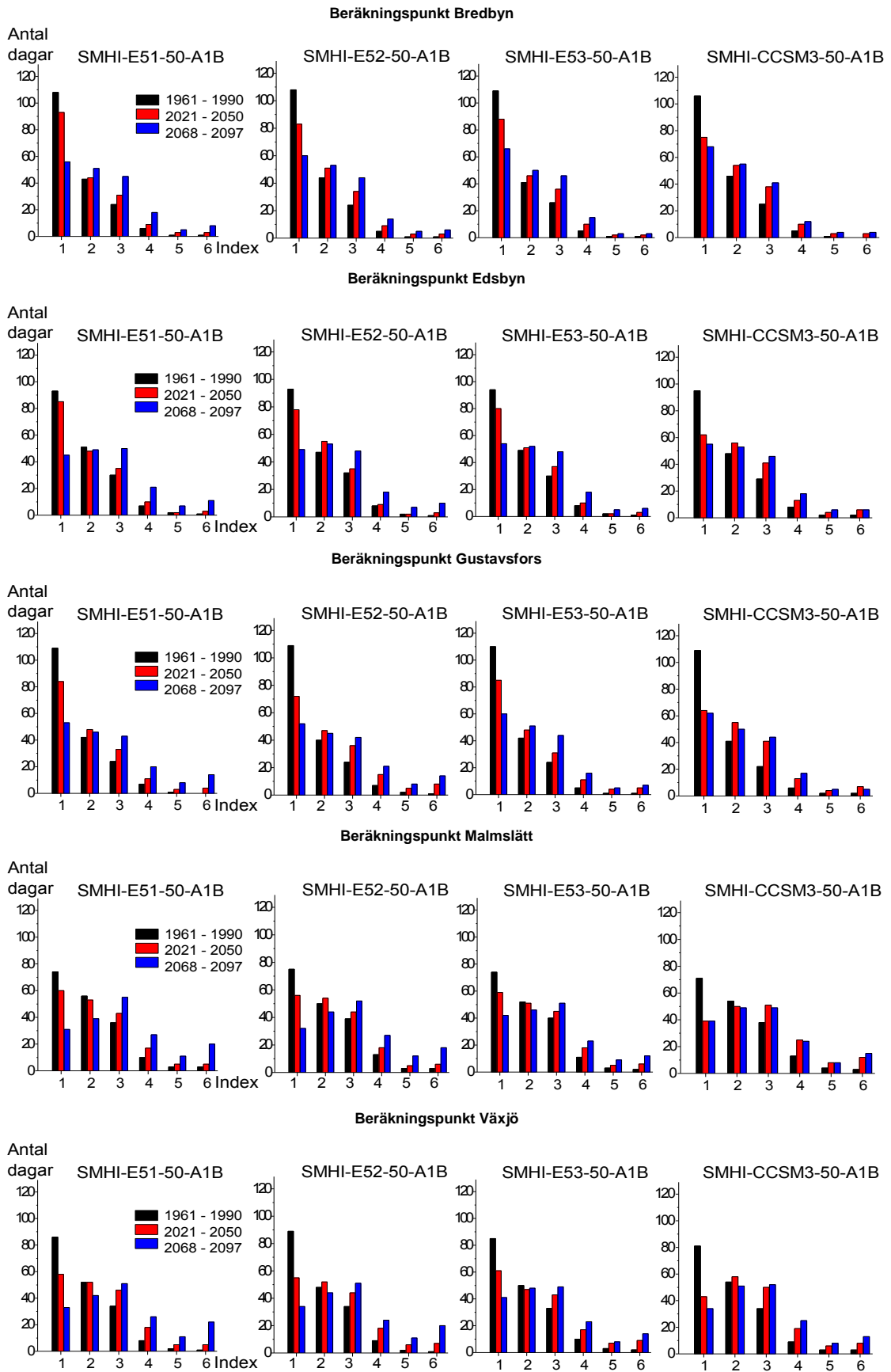




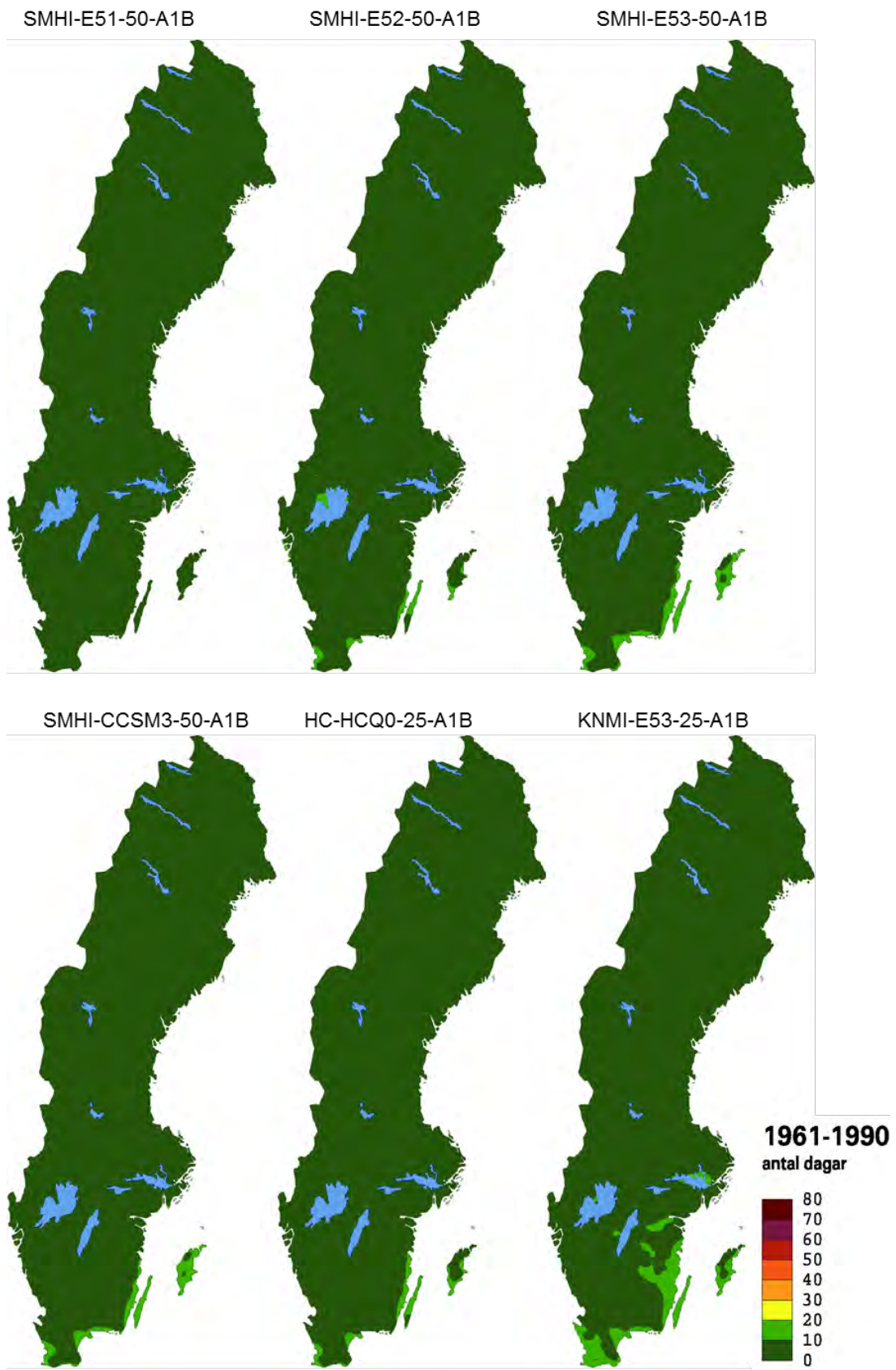
Figur 5.4. Varaktighetsfördelning av HBVS för 5 beräkningspunkter i landet motsvarande de meteorologiska stationerna Bredbyn, Edsbyn, Gustavsfors, Malmslätt och Växjö (se Figur 4.2) under scenarioperioden 2021-2050 jämfört med referensperioden 1961-1990 (grå kurvor). Värdena avser HBVS som beräknats med hjälp av utdata från 6 regionala klimatmodeller. Diagrammen visar hur stor andel av tiden under månaderna april-september som olika HBVS-värden underskrids.



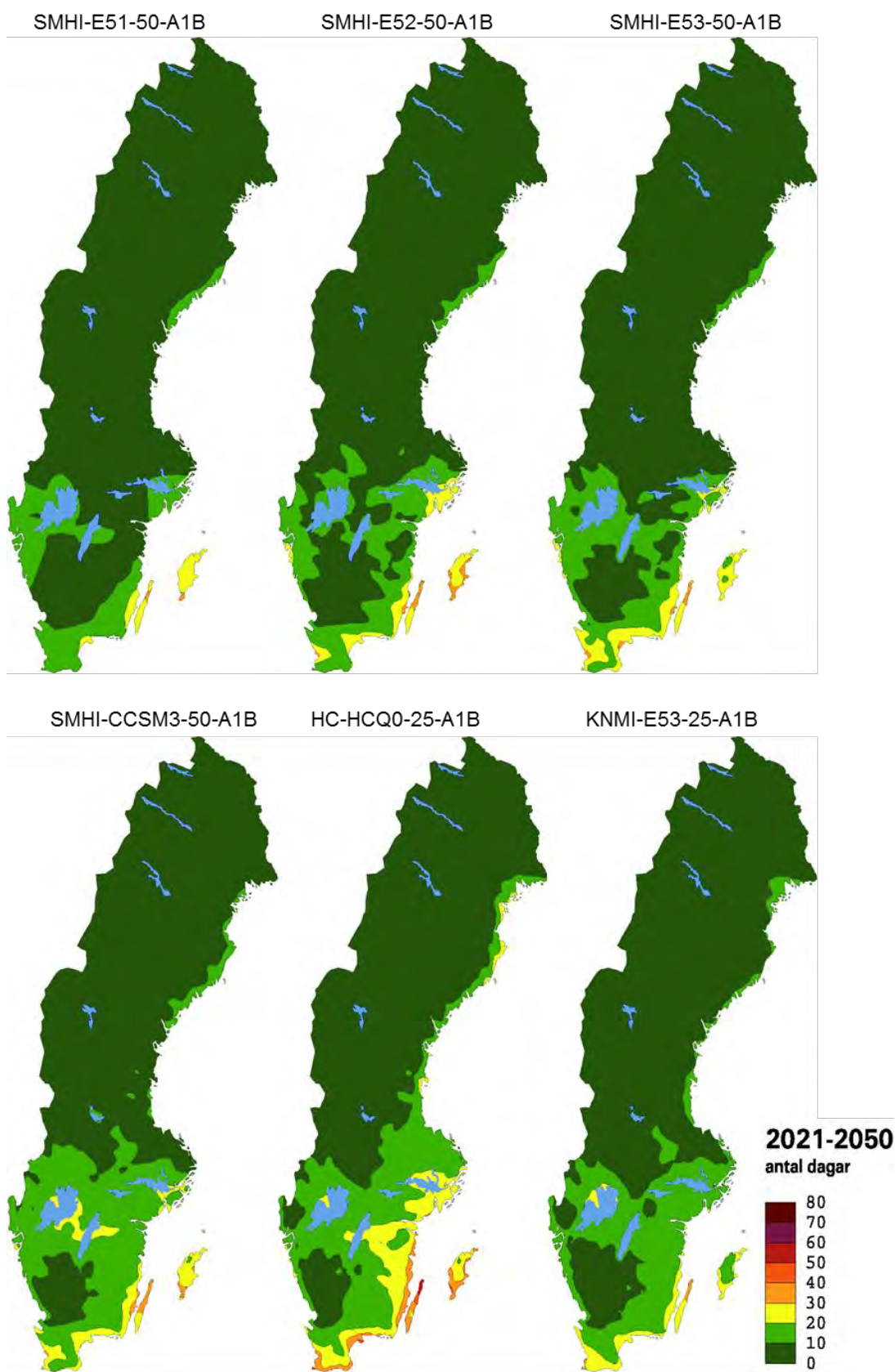
Figur 5.5. Varaktighetsfördelning av HBVS för 5 beräkningspunkter i landet motsvarande de meteorologiska stationerna Bredbyn, Edsbyn, Gustavsfors, Malmslätt och Växjö (se Figur 4.2) under scenarioperioden 2068-2097 jämfört med referensperioden 1961-1990 (grå kurvor). Värdena avser HBVS som beräknats med hjälp av utdata från 6 regionala klimatmodeller. Diagrammen visar hur stor andel av tiden under månaderna april-september som olika HBVS-värden underskrids.



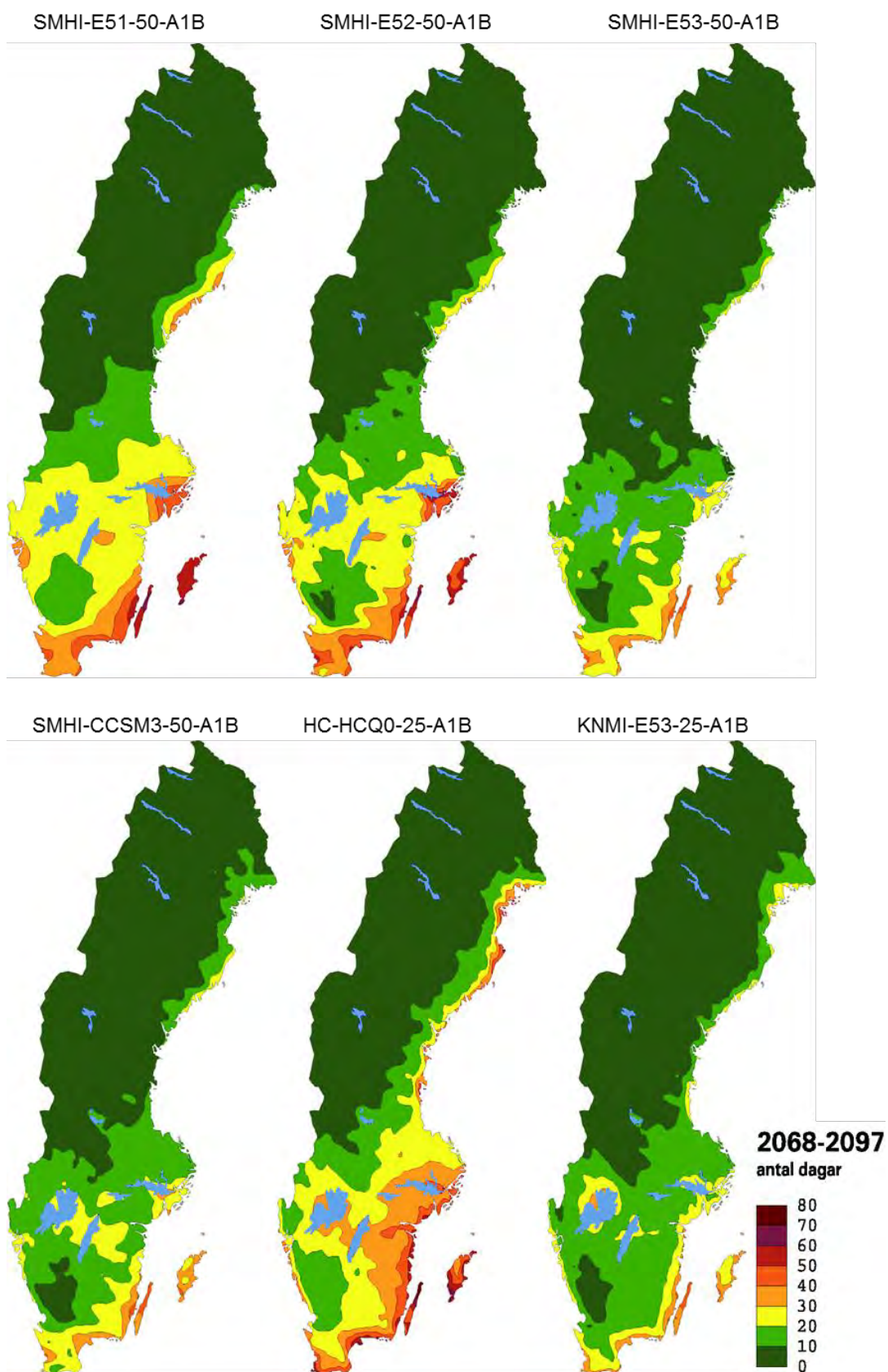
Figur 5.6. HBVS-index för 5 punkter motsvarande teststationerna för FWI-simuleringar (se Figur 4.2) gällande dagens klimat samt scenarioperioderna 2021-2050 och 2068-2097 baserat på 4 klimatscenarioer. Frekvensen för olika index anges som det genomsnittliga antalet dagar under månaderna april-september.



Figur 5.7. Antalet dagar med HBVS-index 5 och 6 under referensperioden 1961-1990 baserat på utdata från 6 klimatmodeller. Antalet dagar avser 30-årsperiodens medelvärde för månaderna april-september.



Figur 5.8. Antalet dagar med HBVS-index 5 och 6 för scenarioperioden 2021-2050 baserat på utdata från 6 klimatmodeller. Antalet dagar avser 30-årsperiodens medelvärde för månaderna april-september.



Figur 5.9. Antalet dagar med HBVS-index 5 och 6 för scenarioperioden 2068-2097 baserat på utdata från 6 klimatmodeller. Antalet dagar avser 30-årsperiodens medelvärde för månaderna april-september.

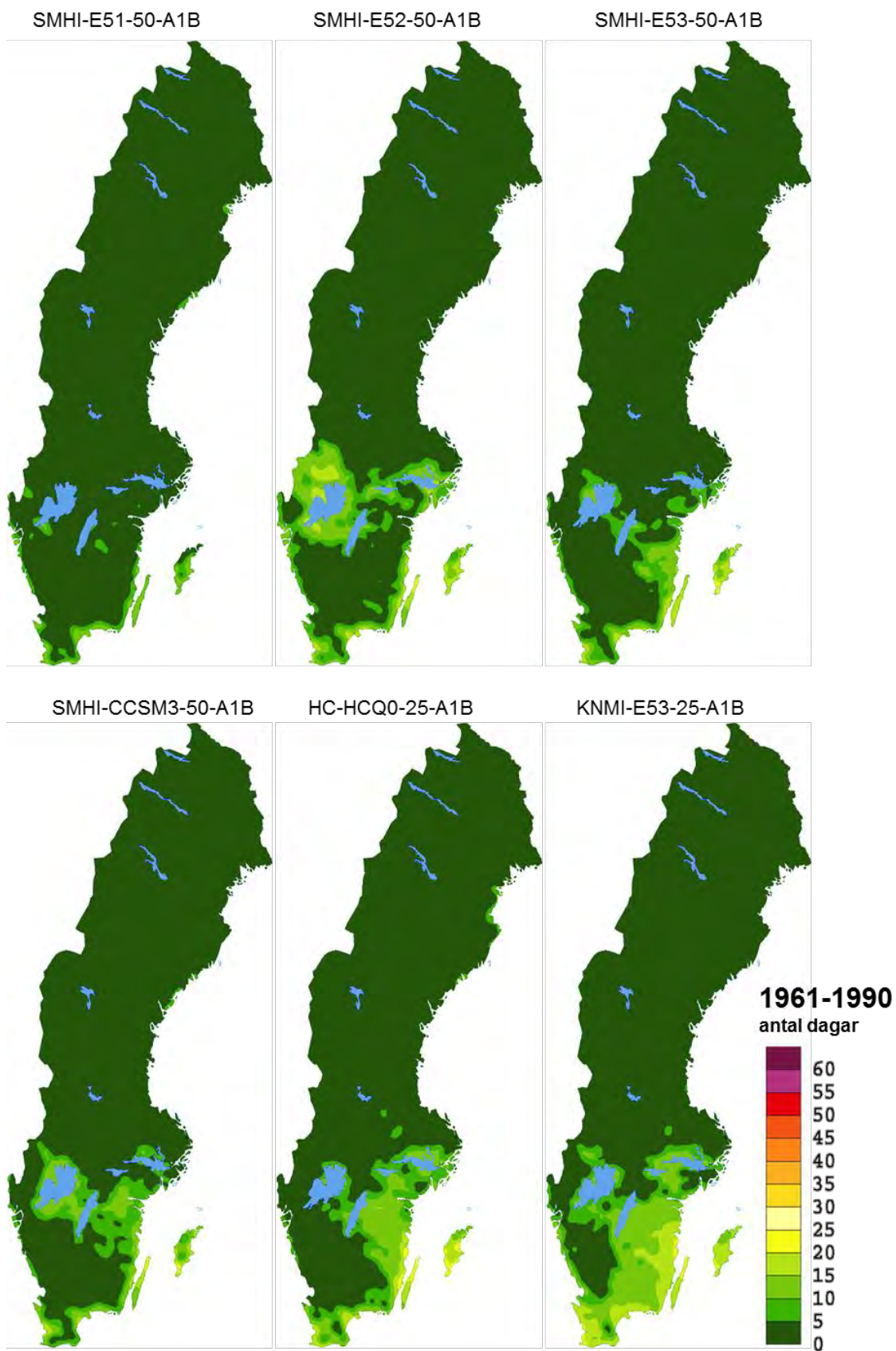
### 5.3.3 Sammanhängande högriskperioder

Figur 5.10 visar antal dagar i årets längsta sammanhängande period med HBVS-index 4, 5 eller 6 som medianvärde för åren i referensperioden 1961-1990. Figur 5.11 och 5.12 visar motsvarande värden för scenarioperioden 2021-2050 respektive 2068-2097. Högriskperioderna har bestämts enligt definitionen i avsnitt 3.4.

Under referensperioden är årets längsta högriskperiod kortare än 5 dagar i större delen av landet och upp till 15-20 dagar i olika delar av södra Sverige beroende på klimatscenario. De allra längsta högriskperioderna är 20-25 dagar och förekommer i mindre områden i sydöstra Sverige i vissa av scenarierna. Under scenarioperioden 2021-2050 (Figur 5.11) ökar högriskperiodernas längd jämfört med referensperioden, framförallt i olika delar av södra Sverige beroende på scenario. Till scenarioperioden 2068-2097 (Figur 5.12) fortsätter ökningen av högriskperiodernas längd och i flera scenarier förekommer högriskperioder som är längre än 20-25 dagar i stora delar av södra Sverige och längs Norrlandskusten. De längsta torrperioderna förekommer i sydöstra Sverige och kan i några scenarier i mindre områden nå upp till cirka 40-55 dagar.

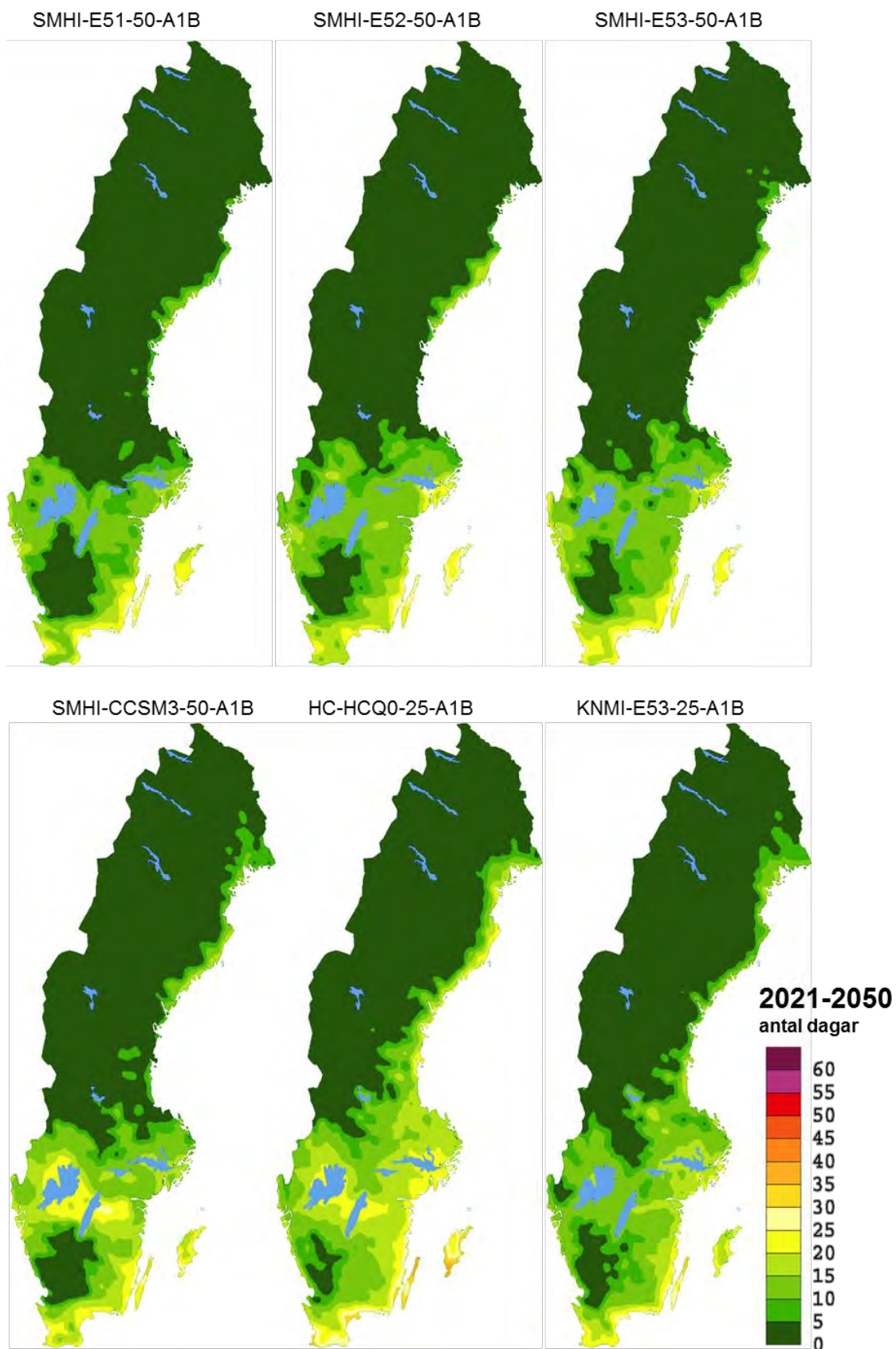
Extrema sammanhängande högriskperioder med enbart index 6 har också analyserats för referensperioden och scenarioperioderna. Under referensperioden är medianvärdet för längden av denna typ av högriskperioder mindre än 5 dagar i hela landet. Figur 5.13 visar längsta perioder med enbart index 6 som medianvärde för scenarioperioden 2068-2097. I de flesta scenarierna syns en ökning jämfört med referensperioden i södra Sverige och längs Norrlandskusten. Perioder som är 5-10 dagar förekommer i större områden och i vissa scenarier finns mindre områden med perioder som är 20-25 dagar långa.

Figur 5.14 och 5.15 visar antalet dagar i den längsta högriskperiod med index 4, 5 eller 6 som förekommit under något av de 30 åren under referensperioden 1961-1990 respektive under scenarioperioden 2068-2097. Kartorna visar alltså den allra mest extrema längden av högriskperioder som förekommit under hela 30-årsperioden i varje beräkningspunkt. Eftersom analysen inte visar hur ofta dessa perioder förekommer, bör inte detaljer i förändringar av den geografiska utbredningen av högriskperioderna uttolkas ur kartorna. Däremot visar kartorna, generellt i de flesta scenarierna, att under scenarioperioden ökar utbredningen av de områden i södra Sverige där de allra mest extrema högriskperioderna kan förekomma.

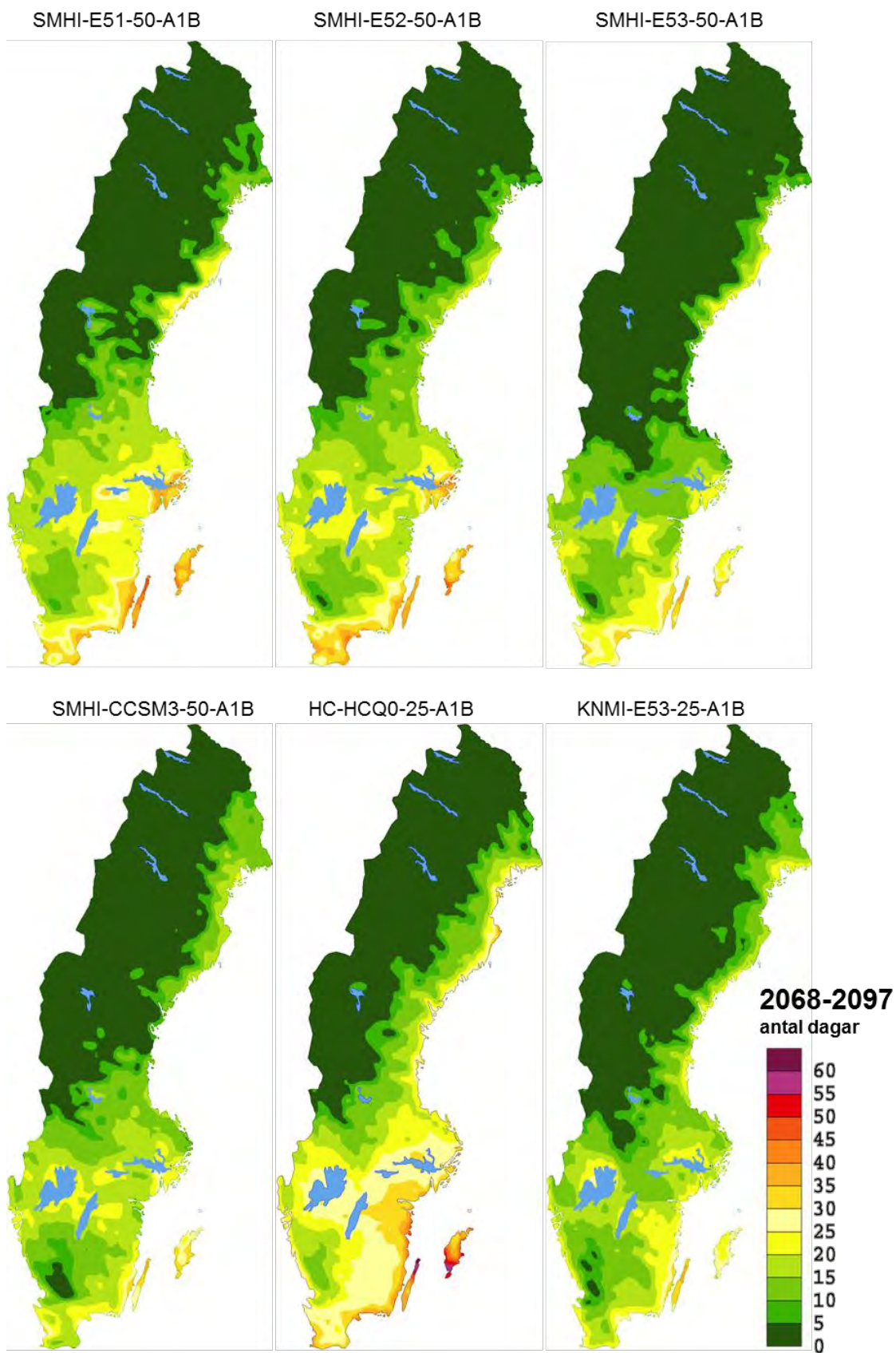


Figur 5.10. Längsta sammanhängande högriskperioder med HBVS-index 4, 5 eller 6 under referensperioden 1961-1990 baserat på utdata från 6 klimatmodeller. Antalet dagar avser medianvärdet av varje års längsta högriskperiod under 30-årsperioden.

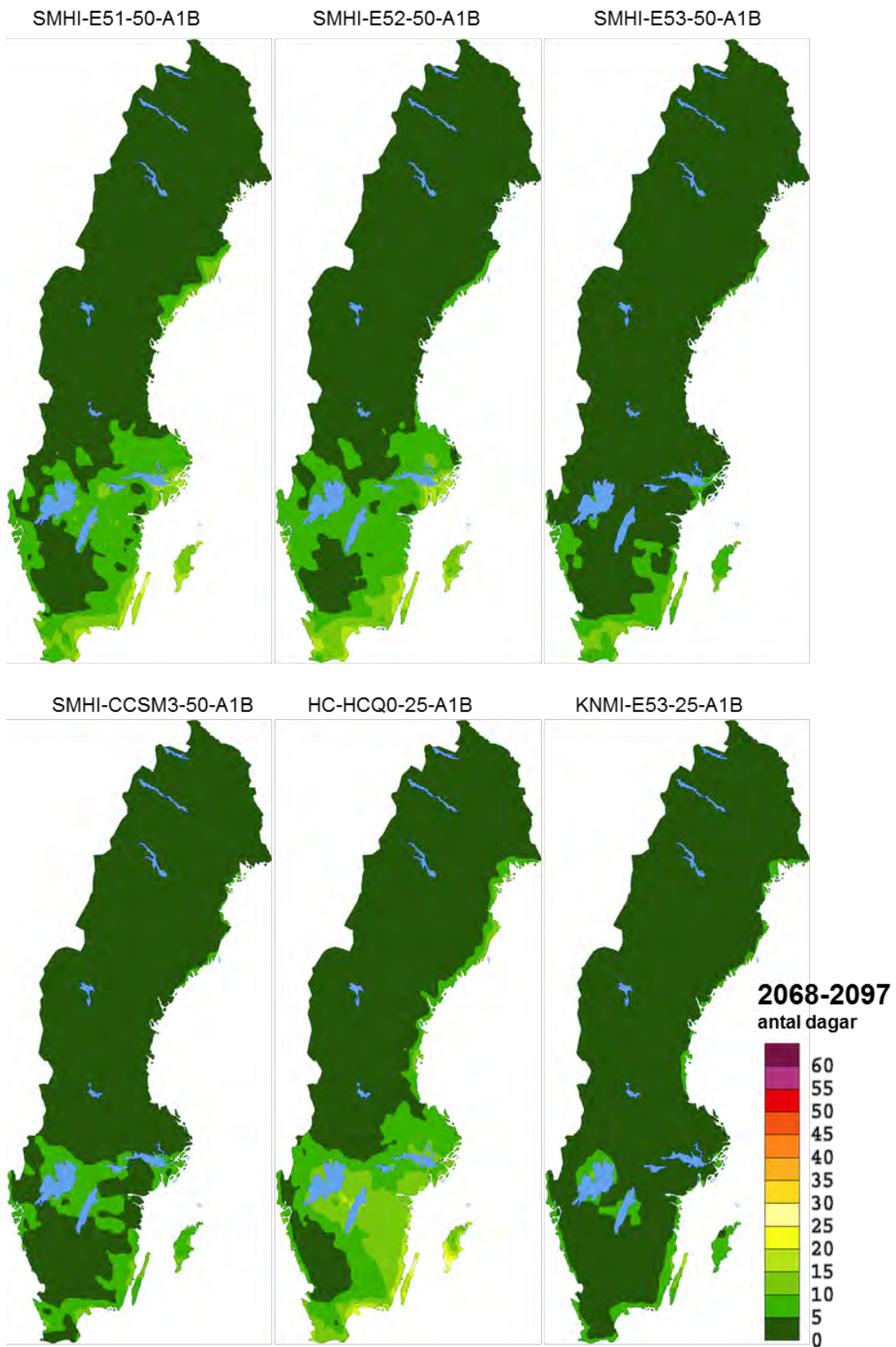




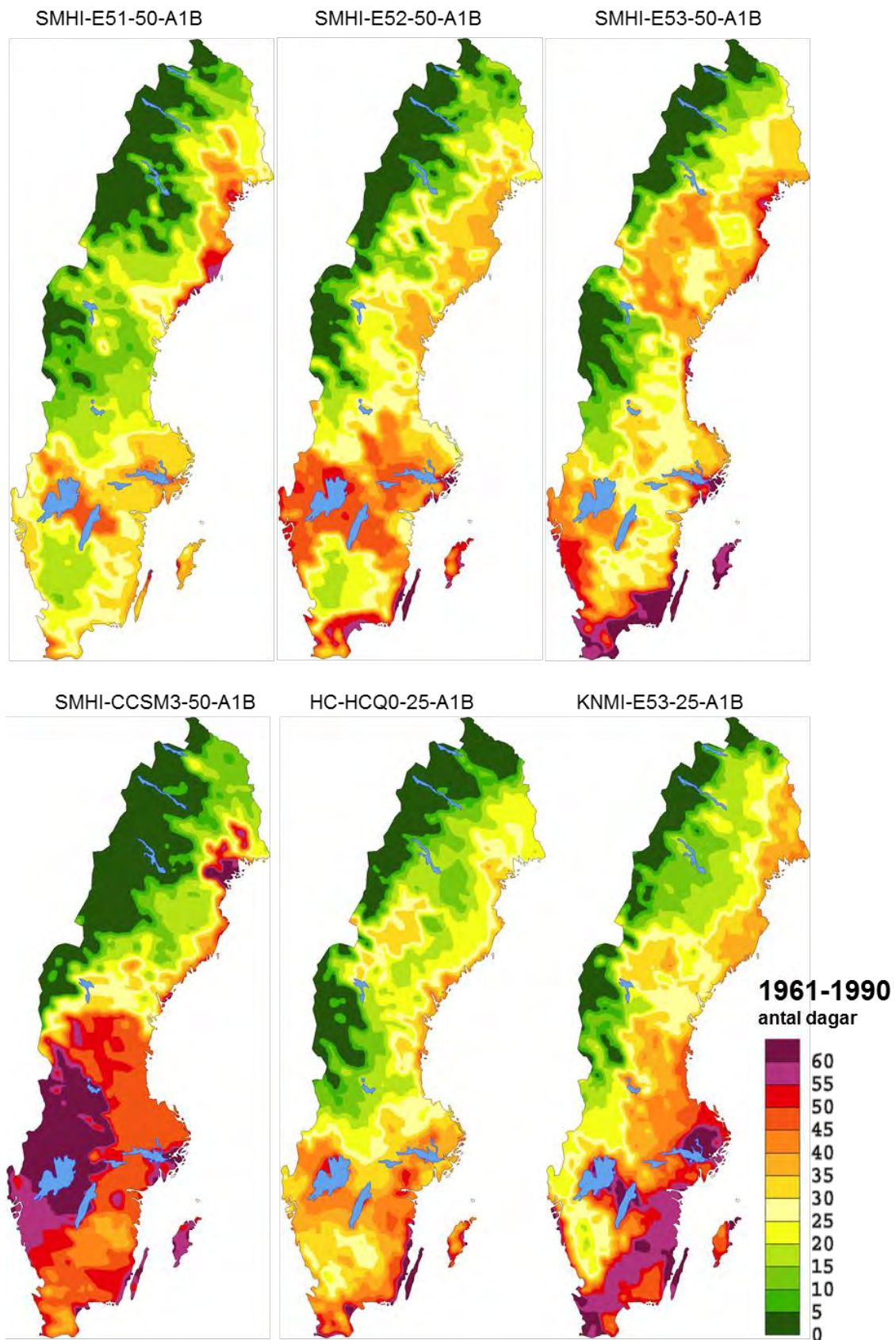
Figur 5.11. Längsta sammanhängande högriskperioder med HBVS-index 4, 5 eller 6 under scenarioperioden 2021-2050 baserat på 6 klimatscenarier. Antalet dagar avser medianvärdet av varje års längsta högriskperiod under 30-årsperioden.



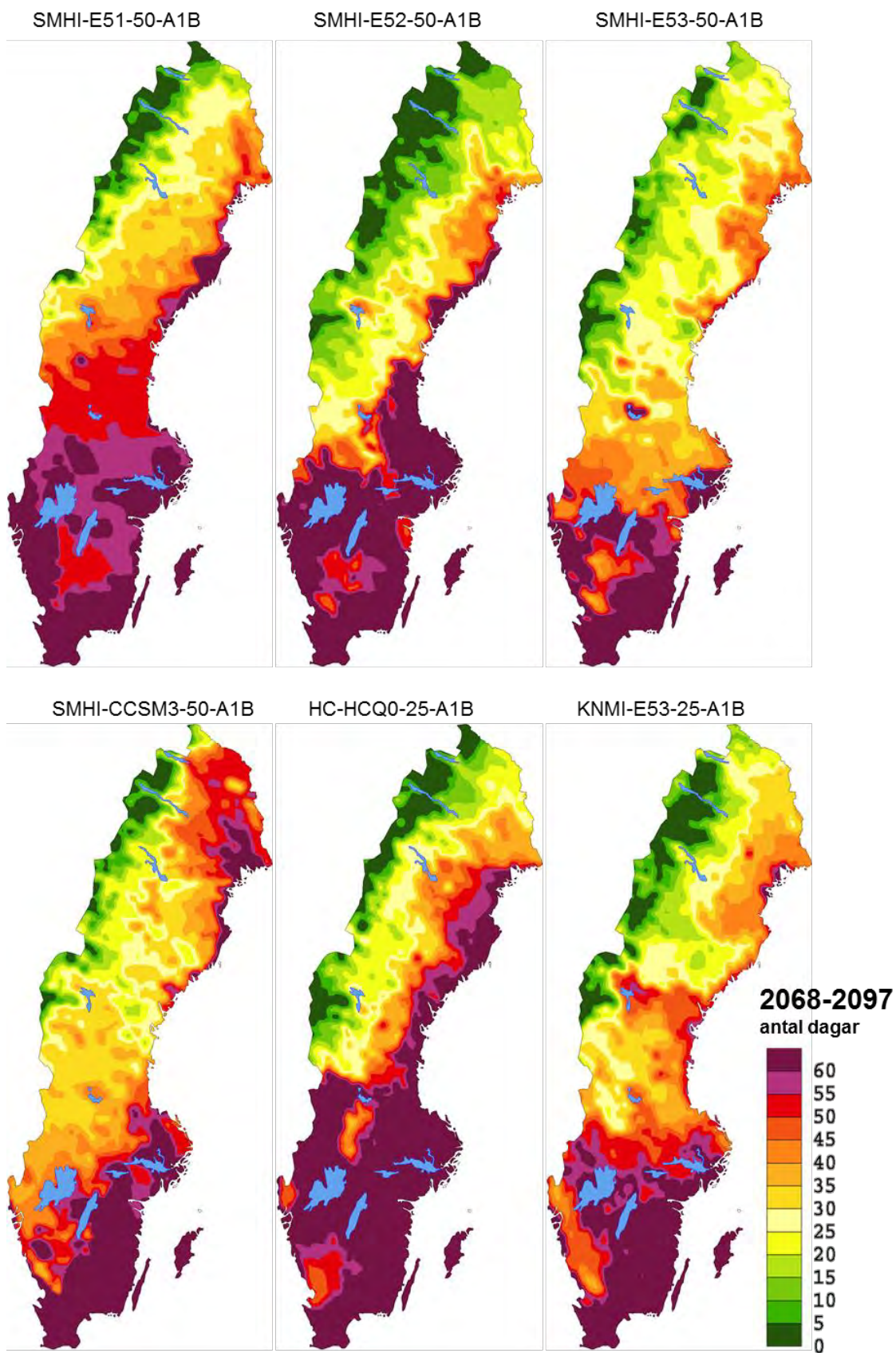
Figur 5.12. Längsta sammanhängande högriskperioder med HBVS-index 4, 5 eller 6 under scenarioperioden 2068-2097 baserat på 6 klimatscenarier. Antalet dagar avser medianvärdet av varje års längsta högriskperiod under 30-årsperioden.



Figur 5.13. Längsta sammanhängande torrperioder med HBVS-index 6 under scenarioperioden 2068-2097 baserat på 6 klimatscenarioer. Antalet dagar avser medianvärdet av varje års längsta högriskperiod under 30-årsperioden.



Figur 5.14. Maximalt antal dagar i sammanhängande högriskperioder med HBVS-index 4, 5 eller 6 under referensperioden 1961-1990 baserat på utdata från 6 klimatmodeller. Antalet dagar avser den längsta högriskperiod som förekommit under något av de 30 åren i perioden.



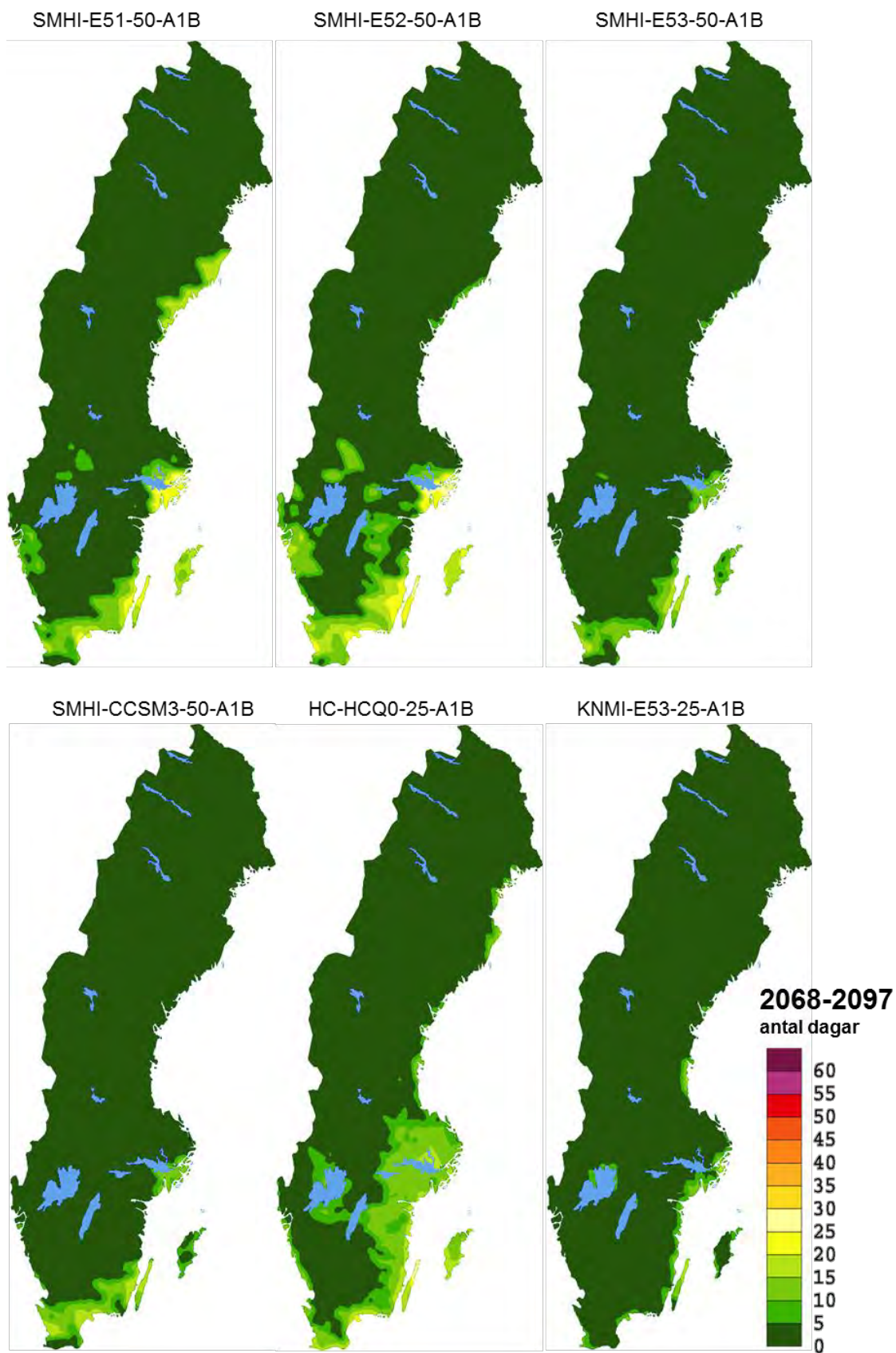
Figur 5.15. Maximalt antal dagar i sammanhängande högriskperioder med HBVS-index 4, 5 eller 6 under scenarioperioden 2068-2097 baserat på 6 klimatscenarier. Antalet dagar avser den längsta högriskperiod som förekommit under något av de 30 åren i perioden.

### 5.3.4 Säsongsförändring

För att analysera förändringar av säsongen för hög brandrisk i framtida klimat har sammanhängande perioder med HBVS-index 4, 5 eller 6 studerats separat för våren (mars-maj), sommaren (juni-augusti) och hösten (september-november). Medianvärdet av varje säongs längsta högriskperiod under de 30 åren i referensperioden har jämförts med motsvarande värden för scenarioperioderna.

Under referensperioden 1961-1990 var medianvärdet av den längsta högriskperioden under både vår och höst kortare än 5 dagar i hela landet. Fram till scenarioperioden 2068-2097 sker ingen förändring av högriskperiodernas längd under hösten. Däremot blir högriskperioderna längre under våren i vissa delar av landet under scenarioperioden 2068-2097. Figur 5.16 visar att antalet dagar i sammanhängande högriskperioder under våren ökar i de flesta scenarierna till 5-20 dagar i delar av södra Sverige. I mindre områden i de sydligaste och sydöstra delarna av landet är högriskperioderna som längst 25 dagar.

När varje säongs absolut längsta högriskperiod under hela 30-årsperioden studeras, märks en ökning av högriskperiodernas längd även under hösten. Längsta förekommande högriskperiod i någon del av landet är under referensperioden cirka 15-25 dagar, medan motsvarande period i de flesta scenarierna är cirka dubbelt så lång.



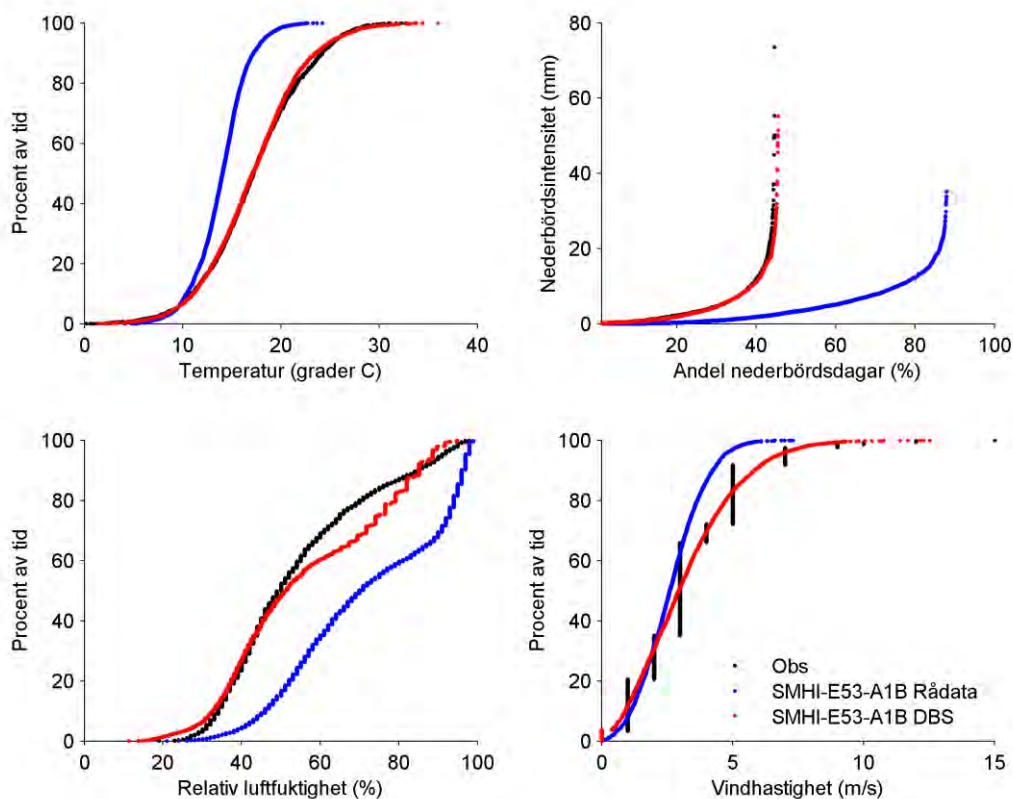
Figur 5.16. Längsta sammanhängande högriskperioder under **våren** med HBVS-index 4, 5, eller 6 gällande scenarioperioden 2068-2097 baserat på 6 klimatscenarier. Antalet dagar avser medianvärdet över 30-årsperioden av varje års längsta högriskperiod under våren (mars-maj).

## 6 Resultat FWI skogsbrandmodell

### 6.1 Skalering av meteorologiska indata

Meteorologiska indata till FWI-modellen har skalerats enligt den vidareutvecklade DBS-metodik som beskrivs i avsnitt 3.3.2. Figur 6.1 visar en jämförelse mellan observationsdata, skalerade data och obearbetade data från en klimatmodell (scenario SMHI-E53-50-A1B). Diagrammen visar fördelningen av de 4 indatavariablernas varaktighet över tiden under referensperioden 1966-1995.

Nederbörd, som är särskilt viktig för att erhålla realistiska brandriskvärden, visar efter skaleringen mycket god överensstämmelse med observationer. Även variablerna temperatur och vindhastighet uppvisar efter skaleringen god överensstämmelse med observationsdata. I figuren syns att observationerna av vindhastighet anges i steg om hela meter per sekund, medan beräknade data anges kontinuerligt. Anpassningen av relativ luftfuktighet har för torra förhållanden god överensstämmelse med observationer. För luftfuktighetsvärden över cirka 50 %, är avvikelserna något större, men skaleringen innebär ändå en stor förbättring jämfört med obearbetade data.



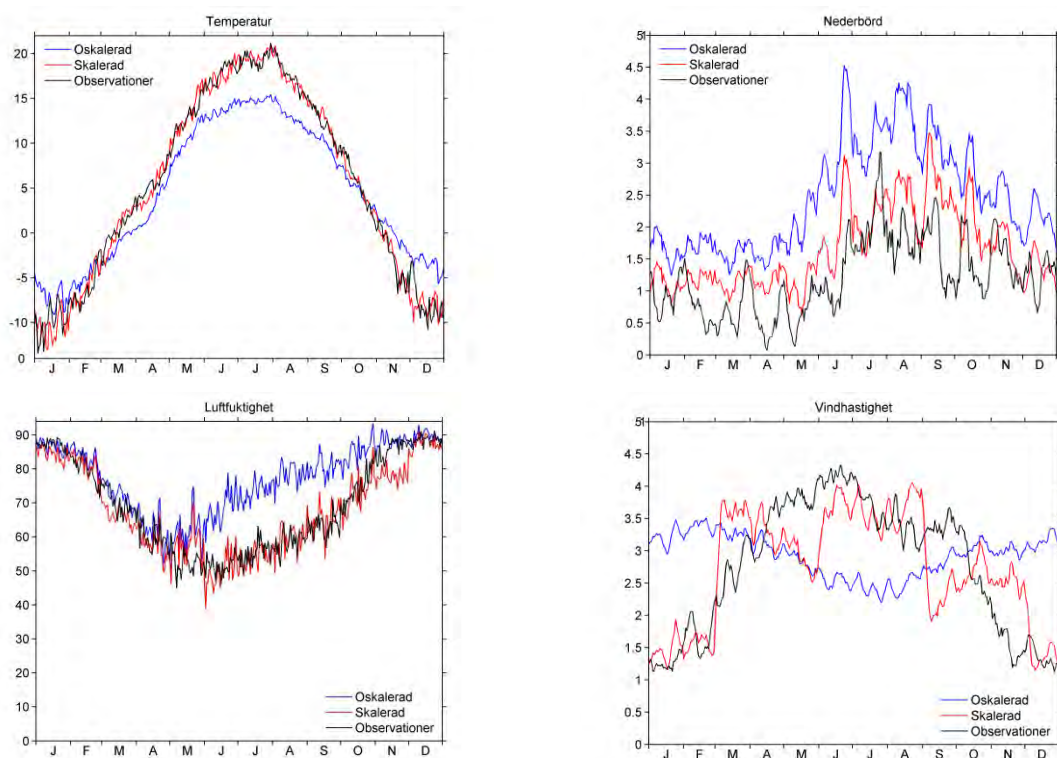
Figur 6.1. Jämförelse mellan observationsdata (svart) och obearbetade utdata från klimatmodell (blå) samt data som anpassats med DBS-metoden (röd). Exempel för teststationen Gustavsfors gällande månaderna maj-augusti under perioden 1966-1995 för klimatscenario SMHI-E53-50-A1B. För temperatur, luftfuktighet och vindhastighet anges varaktigheten som procent av tiden som visst värde underskrids, medan nederbörd anges som andel dagar med viss nederbördsintensitet (mm).



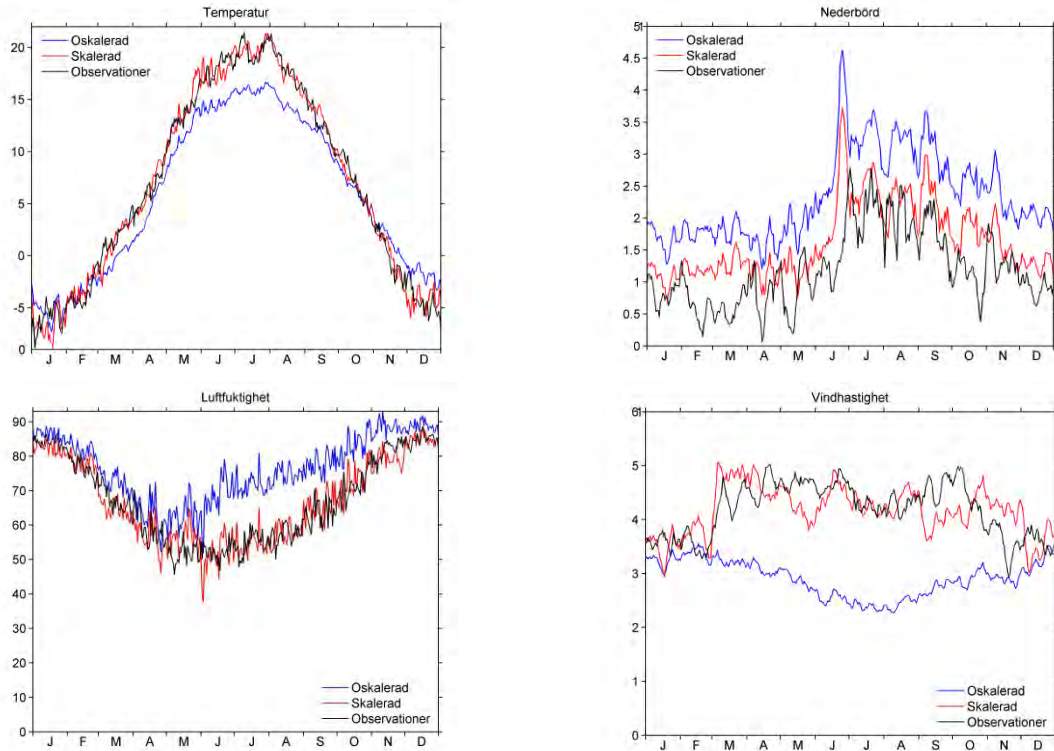
Figur 6.2 - 6.6 visar hur den genomsnittliga säsongsvariationen av FWI-modellens indatavariabler påverkas av anpassningen med DBS-metoden. Observera att i dessa figurer redovisas säsongsvariationen av nederbörd och vindhastighet på ett något annorlunda sätt än temperatur och luftfuktighet. Varje kalenderdags medelvärde (1966-1995) av nederbörd och vindhastighet redovisas som medelvärdet av de 7 närmaste dagarnas medelvärden. Denna utjämning har införts för att figurerna så tydligt som möjligt ska illustrera skillnaderna mellan skalerade och oskalerade data. Under utvecklingen och utvärderingen av den nya skaleringsrutinen har dock tidsserier av dygnsvärden använts.

Graferna visar att skaleringsmetoden generellt för temperatur och luftfuktighet lyckas återskapa en säsongsvariation som stämmer väsentligt bättre överens med observationerna. När det gäller luftfuktighet, finns dock en generell tendens till att denna variabel även efter skaleringen överskattas något under våren, framförallt under maj månad.

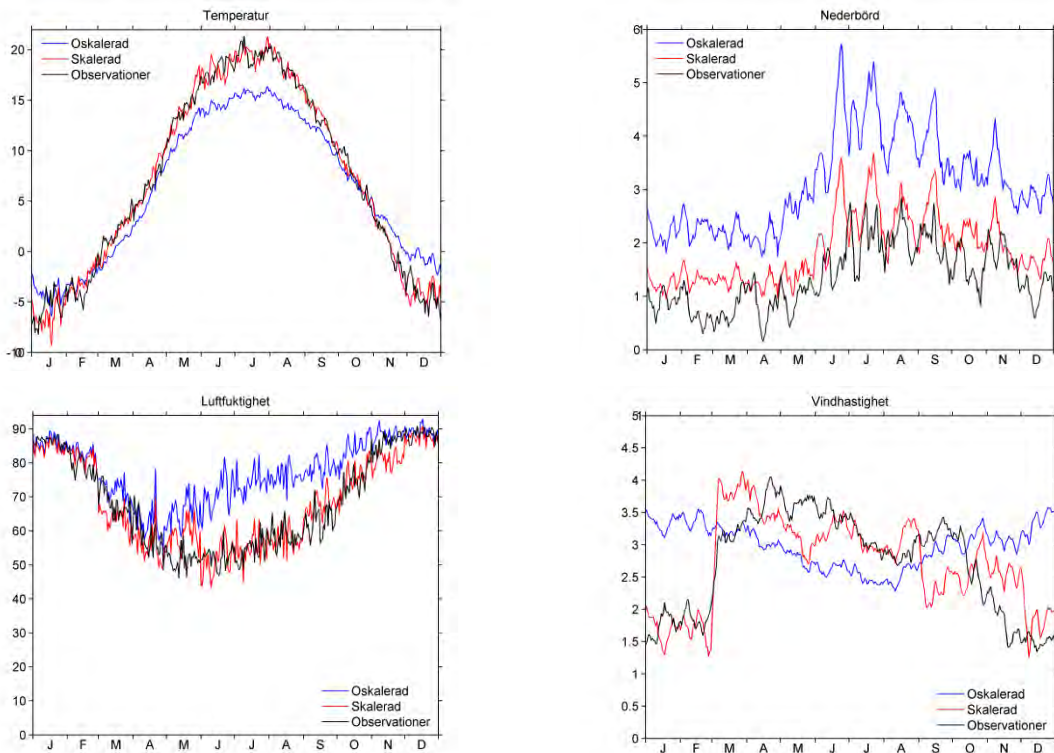
I klimatmodellernas utdata överskattas generellt nederbörden jämfört med observationsdata. Efter skaleringen minskar den avvikelserna, men en viss generell överskattning av nederbörden finns dock kvar. När det gäller vindhastigheten, så finns stora skillnader mellan säsongsdynamiken i obearbetade utdata från klimatmodellerna och i observationsdata vid flera av teststationerna. Detta visar att vindhastighet är särskilt svår att modellberäkna, vilket också gör skaleringen mer komplicerad för denna variabel. Efter skaleringen förbättras dock både säsongsvariationen och vindhastighetens nivå betydligt vid alla teststationerna.



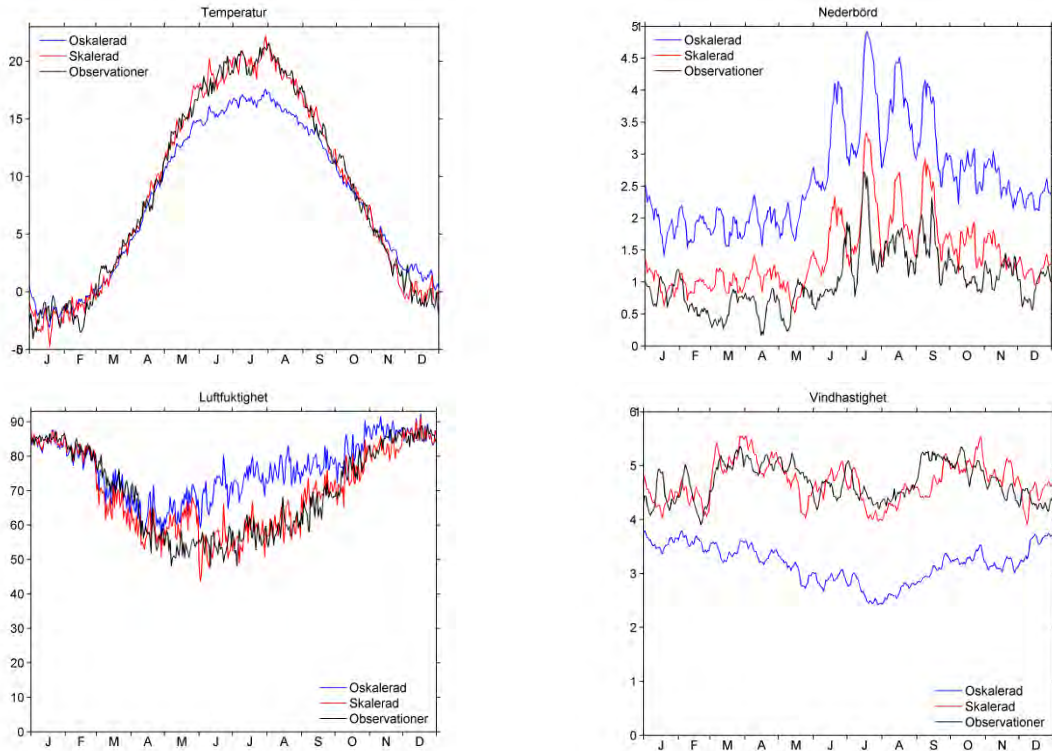
Figur 6.2. Säsongsvariation (medelvärde 1966-95) för FWI-modellens indata (Nederbörd, Temperatur, Luftfuktighet och Vindhastighet) gällande station Bredbyn. Jämförelse mellan observationsdata, obearbetat utdata från klimatmodell och skalerat utdata för scenario SMHI-E53-50-A1B. (Nederbörd och vindhastighet redovisas som medelvärde över 7 dagar.)



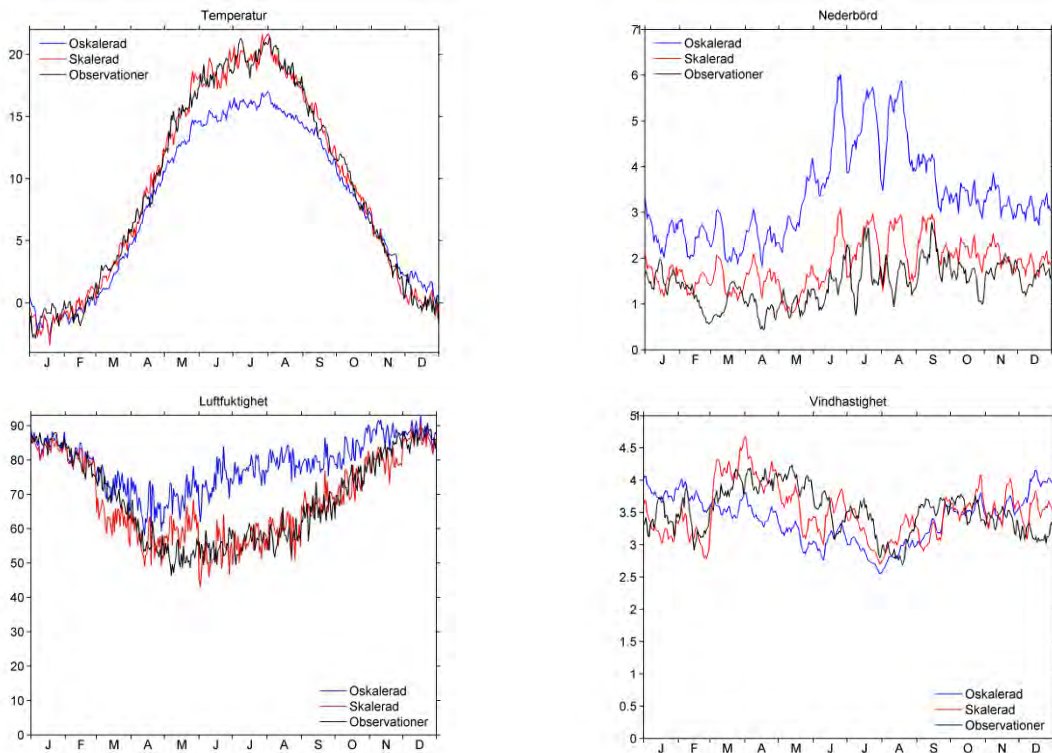
Figur 6.3. Säsongsvariation (medelvärde 1966-95) för FWI-modellens indata (Nederbörd, Temperatur, Luftfuktighet och Vindhastighet) gällande station Edsbyn. Jämförelse mellan observationsdata, obearbetat utdata från klimatmodell och skalerat utdata för scenario SMHI-E53-50-A1B. (Nederbörd och vindhastighet redovisas som medelvärde över 7 dagar.)



Figur 6.4. Säsongsvariation (medelvärde 1966-95) för FWI-modellens indata (Nederbörd, Temperatur, Luftfuktighet och Vindhastighet) gällande station Gustavsfors. Jämförelse mellan observationsdata, obearbetat utdata från klimatmodell och skalerat utdata för scenario SMHI-E53-50-A1B. (Nederbörd och vindhastighet redovisas som medelvärde över 7 dagar.)



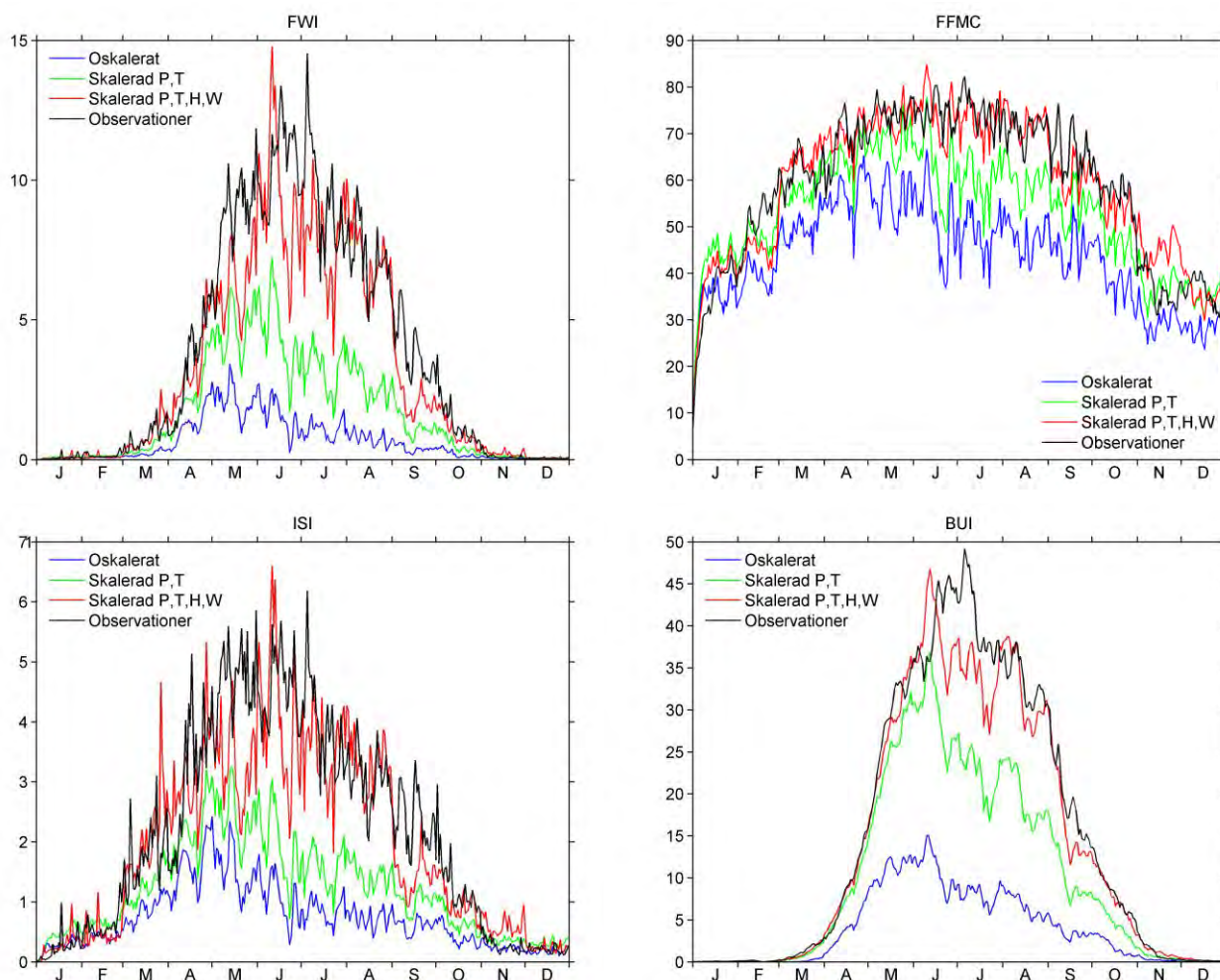
Figur 6.5. Säsongsvariation (medelvärde 1966-95) för FWI-modellens indata (Nederbörd, Temperatur, Luftfuktighet och Vindhastighet) gällande station Malmslätt. Jämförelse mellan observationsdata, obearbetat utdata från klimatmodell och skalerat utdata för scenario SMHI-E53-50-A1B. (Nederbörd och vindhastighet redovisas som medelvärde över 7 dagar.)



Figur 6.6. Säsongsvariation (medelvärde 1966-95) för FWI-modellens indata (Nederbörd, Temperatur, Luftfuktighet och Vindhastighet) gällande station Växjö. Jämförelse mellan observationsdata, obearbetat utdata från klimatmodell och skalerat utdata för scenario SMHI-E53-50-A1B. (Nederbörd och vindhastighet redovisas som medelvärde över 7 dagar.)

## 6.2 Skaleringens effekt på beräknade brandriskvärden

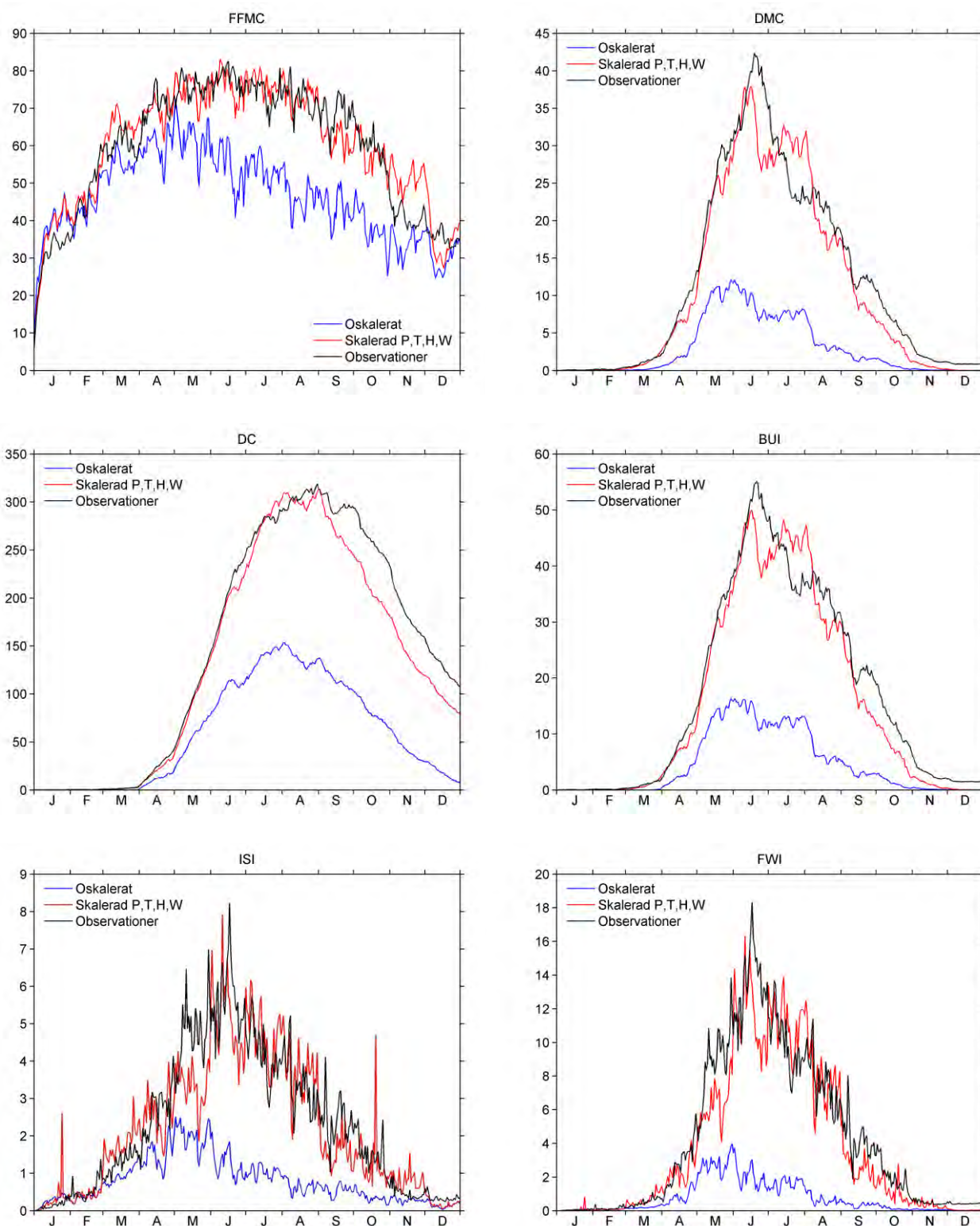
I det här avsnittet redovisas hur skaleringen av de meteorologiska indatavariablerna påverkar FWI-modellens beräkningsresultat. Figur 6.7 visar exempel för en teststation på hur säsongsvariationen av FWI-värdet, FFMC, ISI och BUI påverkas när endast nederbörd (P) och temperatur (T) skaleras, jämfört med när även relativ luftfuktighet (RH) och vindhastighet (W) skaleras. Som väntat, har justeringen av vindhastighet och relativ fuktighet till mer realistiska nivåer stor betydelse för FWI, FFMC och ISI. Figuren visar att även BUI påverkas av att alla indatavariabler justeras samtidigt.



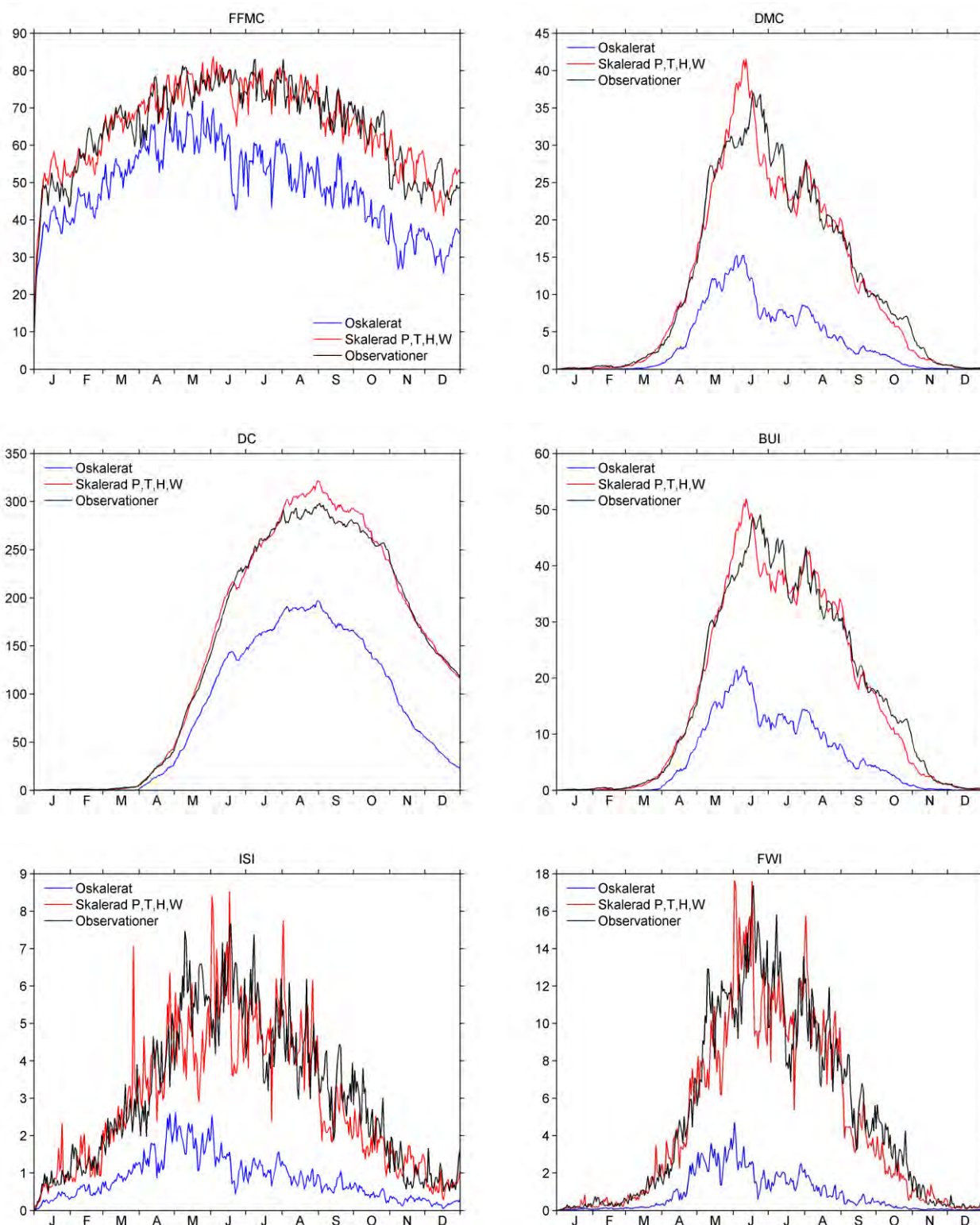
Figur 6.7. Säsongsvariation (medelvärde 1966-95) för FWI-värde, FFMC, ISI och BUI gällande station Gustavsfors. Jämförelse mellan värden baserade på observationer (svart linje), obearbetade utdata från klimatmodell (blå linje), skalerad nederbörd och temperatur (P och T, grön linje) resp. skalerad nederbörd, temperatur, relativ luftfuktighet och vindhastighet (P, T, RH och W, röd linje). Klimatmodelldata avser scenario SMHI-E53-50-A1B.

Figur 6.8 - 6.12 visar säsongsvariationen av samtliga utdatavariabler (FFMC, DMC, DC, BUI, ISI och FWI) för de 5 teststationerna under referensperioden 1966-1995. Graferna visar en jämförelse mellan brandriskvariabler som baserats på observationer, obearbetade utdata från klimatmodeller samt data som anpassats med DBS-metoden. Sammanställningen visar att skaleringen har stor betydelse för beräkningsresultaten vid alla teststationer. Med hjälp av skaleringen erhålls värden som stämmer bättre överens med resultaten som baseras på observationer. Förbättringen är av samma storleksordning vid alla stationerna.

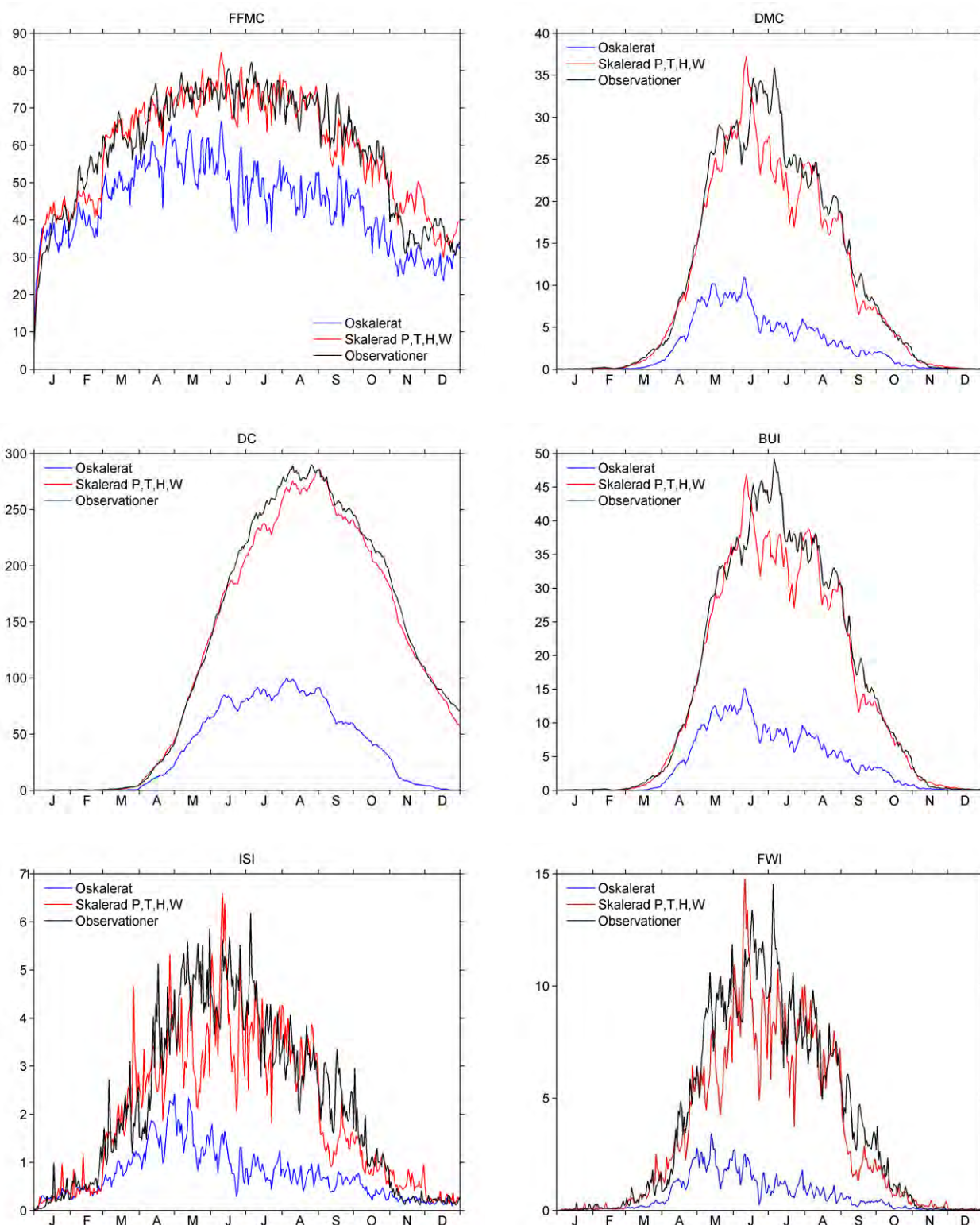
Figur 6.13 visar motsvarande säsongsvariation av FWI-värdet för en av stationerna baserat på utdata från 6 olika klimatmodeller. Graferna visar att skaleringen har likvärdig effekt på FWI-värdet i alla 6 scenarier.



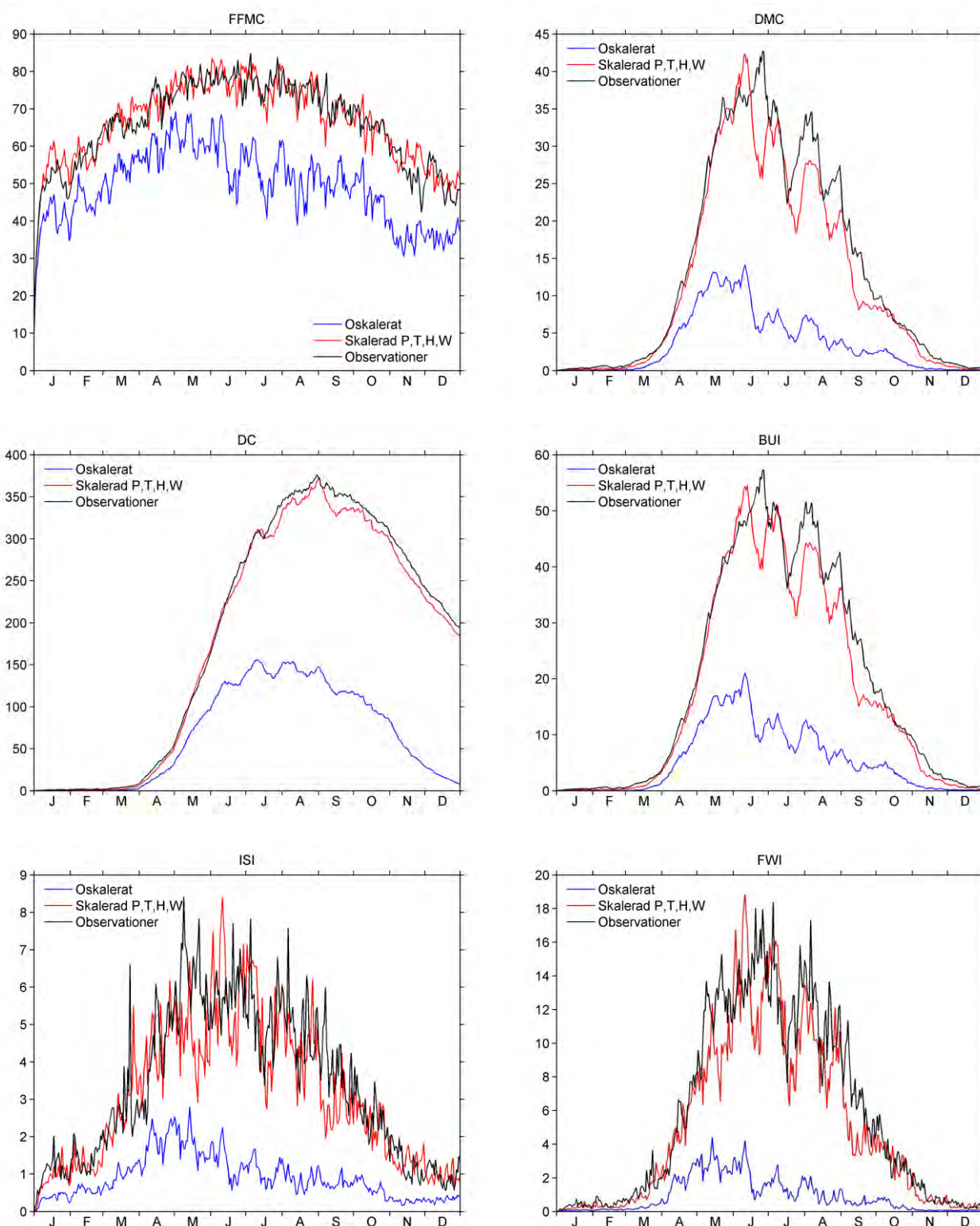
Figur 6.8. Säsongsvariation (medelvärde 1966-95) för FFMC, DMC, DC, BUI, ISI och FWI-värde gällande station Bredbyn. Jämförelse mellan värden baserade på observationer (svart linje), obearbetade utdata från klimatmodell (blå linje) samt skalerad nederbörd, temperatur, relativ luftfuktighet och vindhastighet (röd linje). Klimatmodelldata avser scenario SMHI-E53-50-A1B.



Figur 6.9. Säsongsvariation (medelvärde 1966-95) för FFMC, DMC, DC, BUI, ISI och FWI-värde gällande station Edsbyn. Jämförelse mellan värden baserade på observationer (svart linje), obearbetade utdata från klimatmodell (blå linje) samt skalerad nederbörd, temperatur, relativ luftfuktighet och vindhastighet (röd linje). Klimatmodelldata avser scenario SMHI-E53-50-A1B.

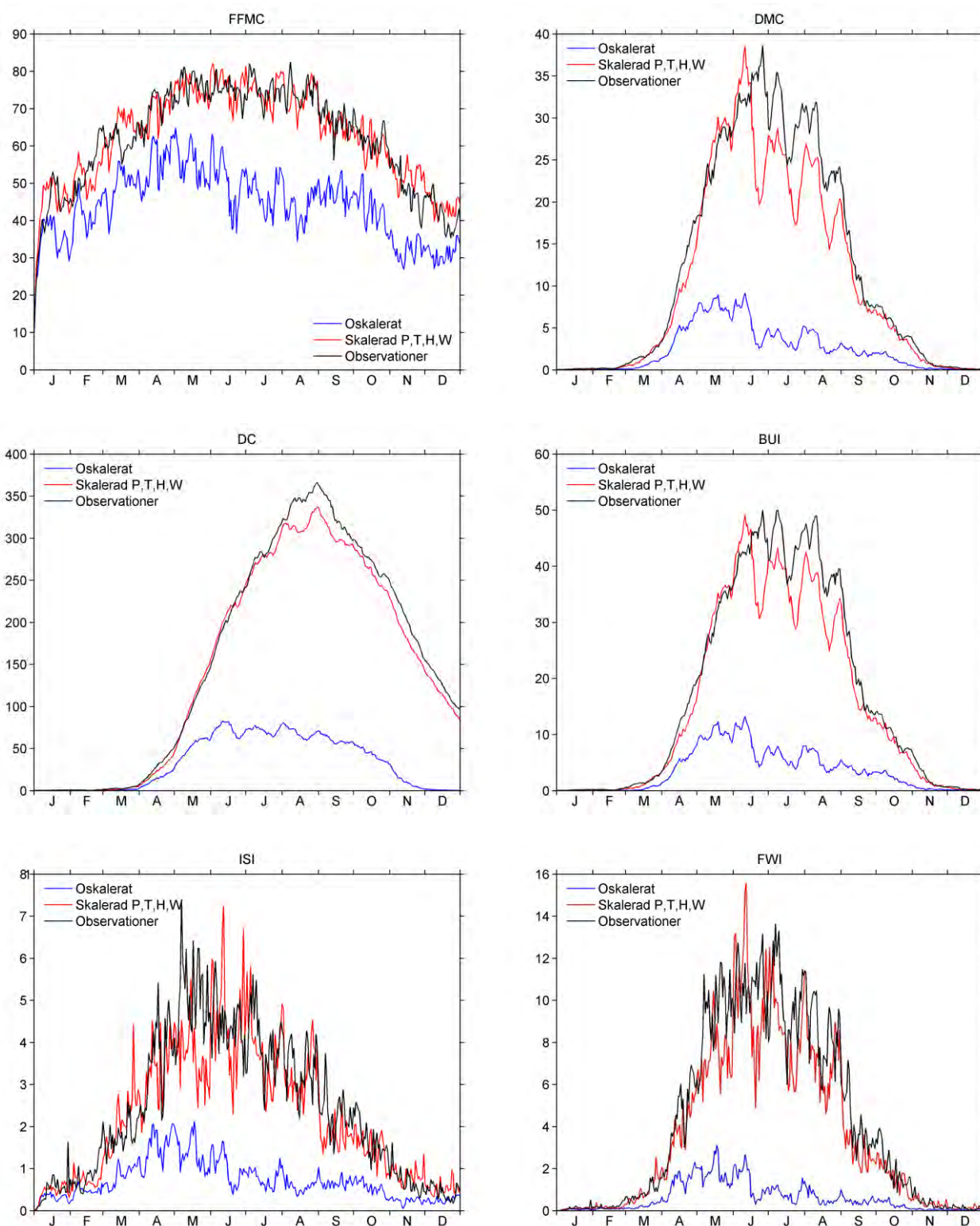


Figur 6.10. Säsongsvariation (medelvärde 1966-95) för FFMC, DMC, DC, BUI, ISI och FWI-värde gällande station Gustavsfors. Jämförelse mellan värden baserade på observationer (svart linje), obearbetade utdata från klimatmodell (blå linje) samt skalerad nederbörd, temperatur, relativ luftfuktighet och vindhastighet (röd linje). Klimatmodelldata avser scenario SMHI-E53-50-A1B.



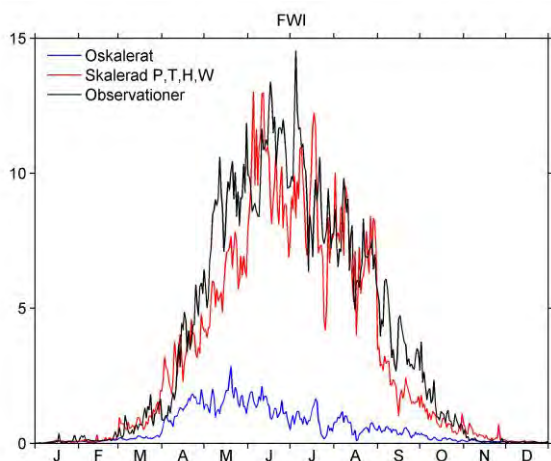
Figur 6.11. Säsongsvariation (medelvärde 1966-95) för FFMC, DMC, DC, BUI, ISI och FWI-värde gällande station Malmslätt. Jämförelse mellan värden baserade på observationer (svart linje), obearbetade utdata från klimatmodell (blå linje) samt skalerad nederbörd, temperatur, relativ luftfuktighet och vindhastighet (röd linje). Klimatmodelldata avser scenario SMHI-E53-50-A1B.



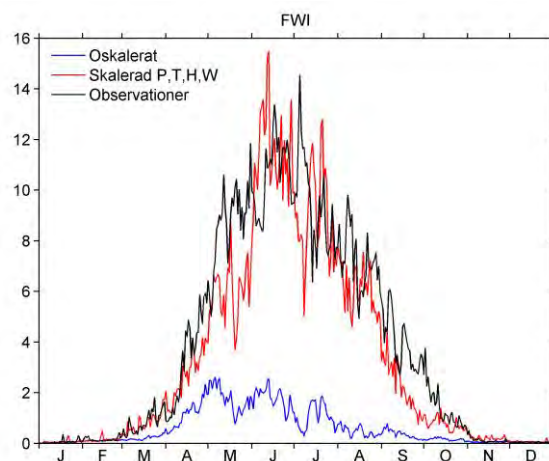


Figur 6.12. Säsongsvariation (medelvärde 1966-95) för FFMC, DMC, DC, BUI, ISI och FWI-värde gällande station Växjö. Jämförelse mellan värden baserade på observationer (svart linje), obearbetade utdata från klimatmodell (blå linje) samt skalerad nederbörd, temperatur, relativ luftfuktighet och vindhastighet (röd linje). Klimatmodelldata avser scenario SMHI-E53-50-A1B.

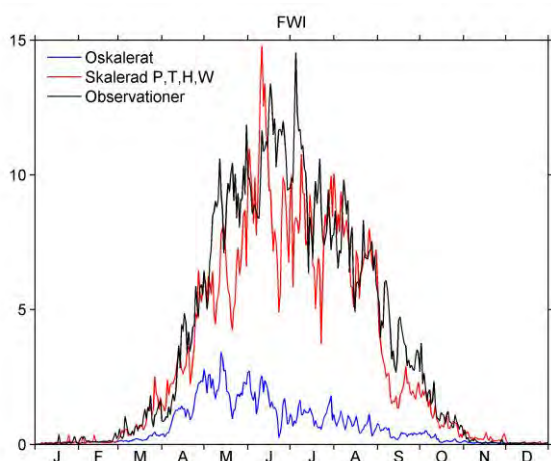
SMHI-E51-50-A1B



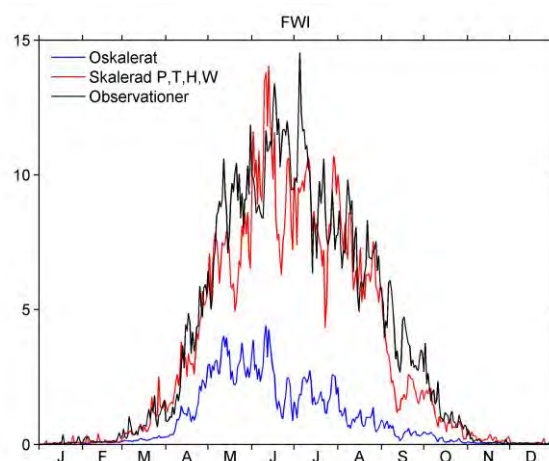
SMHI-E52-50-A1B



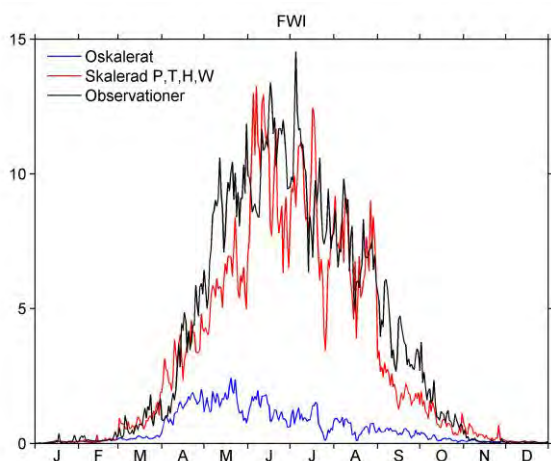
SMHI-E53-50-A1B



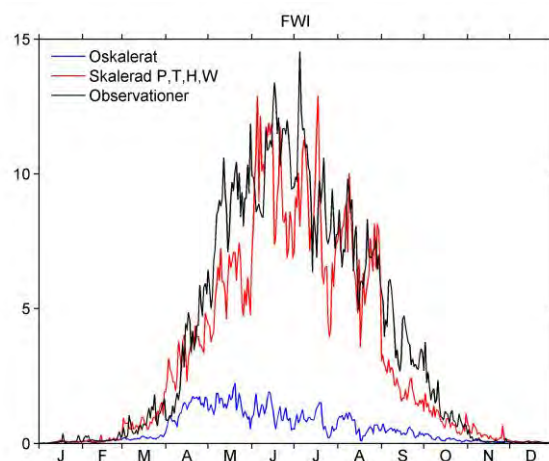
SMHI-E53-25-A1B



SMHI-E51-50-B1



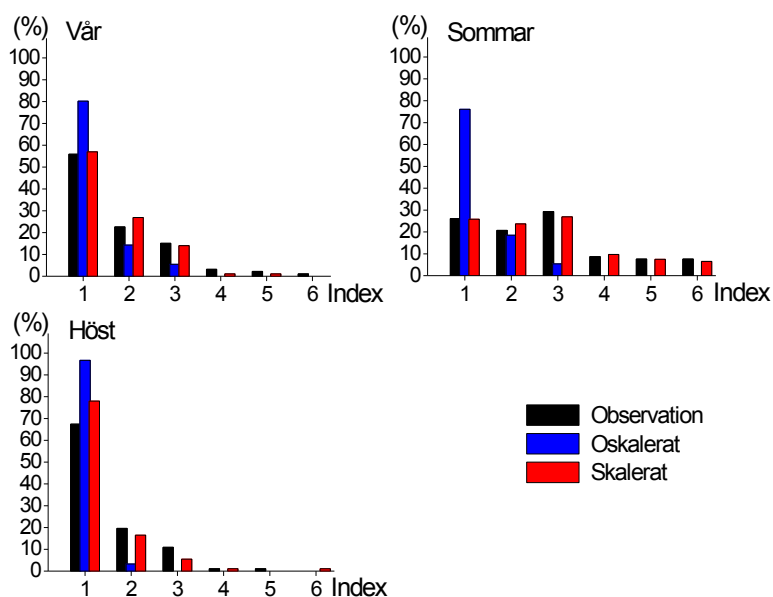
SMHI-E51-50-A2



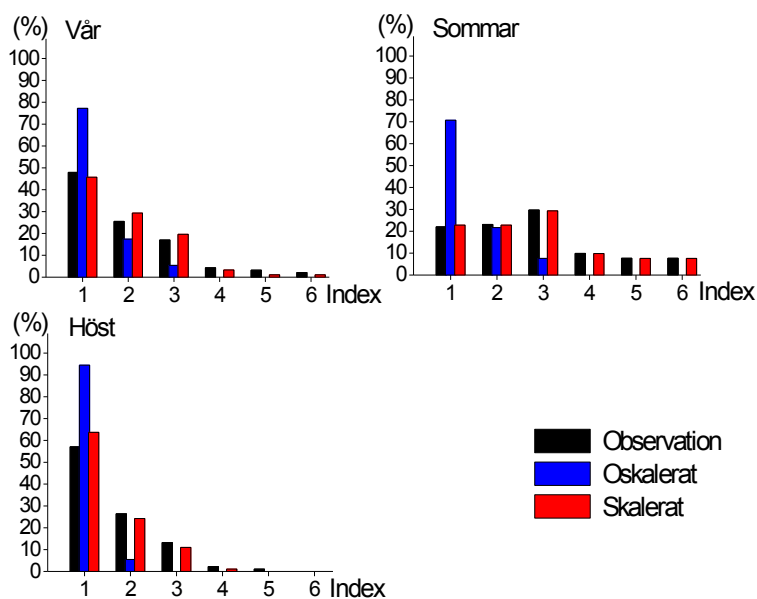
Figur 6.13. Säsongsvariation av FWI-värdet (medelvärde 1966-95) för station Gustavsfors. Jämförelse mellan värden baserade på observationer (svart linje), obearbetade utdata från klimatmodell (blå linje) samt skalerad nederbörd, temperatur, relativ luftfuktighet och vindhastighet (röd linje). Klimatmodelldata avser 6 olika scenarier enligt Tabell 3.3.

Figur 6.14 - 6.18 visar frekvensen för olika FWI-index under referensperioden 1966-1995 för de 5 teststationerna. Analysen bygger på beräkningar som baserats på observationer, obearbetade utdata från klimatmodell respektive data som bearbetats med DBS-metoden. Beräkningarna har utnyttjat scenario SMHI-E53-50-A1B och analysen har utförts separat för olika årstider. Resultaten visar att när oskalerade data används, så är de låga indexen kraftigt överrepresenterade och de höga indexen saknas nästan helt. Skaleringen medför en betydande förbättring av indexnivåerna vid alla stationerna. På de allra högsta indexnivåerna kvarstår dock en viss underrepresentation jämfört med när observationsdata används. Avvikelsen är något större vid de tre sydligaste stationerna och är inom indexklassen som störst ca 5 % av tiden, vilket motsvarar storleksordningen 5 dagar per säsong. Resultaten är likvärdiga för de tre studerade årstiderna.

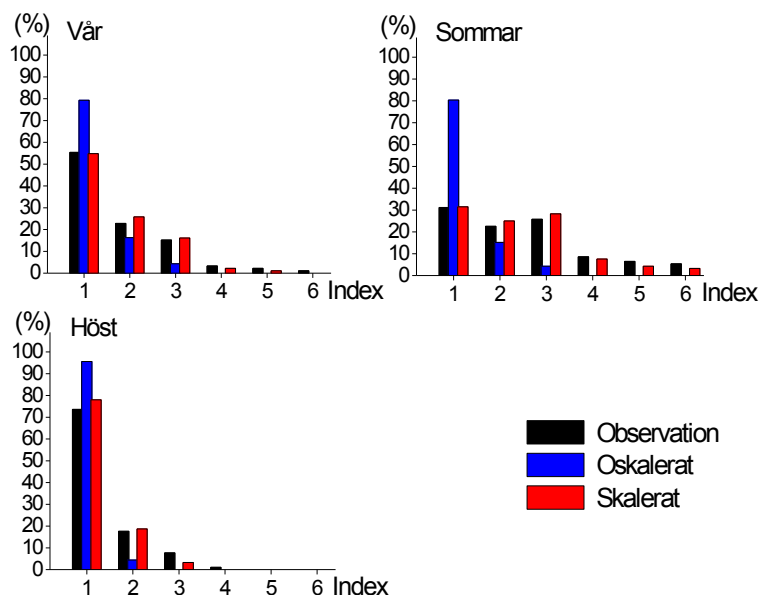
Figur 6.19 visar varaktigheten av FWI-värdet vid de 5 teststationerna under månaderna april-september för referensperioden 1966-1995. Figuren beskriver avvikelsen mellan FWI-värden som baserats på observationer och skalerade utdata från 9 olika klimatmodeller. Graferna indikerar en viss systematisk underskattning av FWI-värdena när beräkningarna baserats på klimatmodelldata. Avvikelsen är något större vid de tre sydligaste stationerna än vid de nordligare stationerna. Den största avvikelsen mellan observationer och klimatmodelldata motsvarar en varaktighet av storleksordningen drygt 10 dagar.



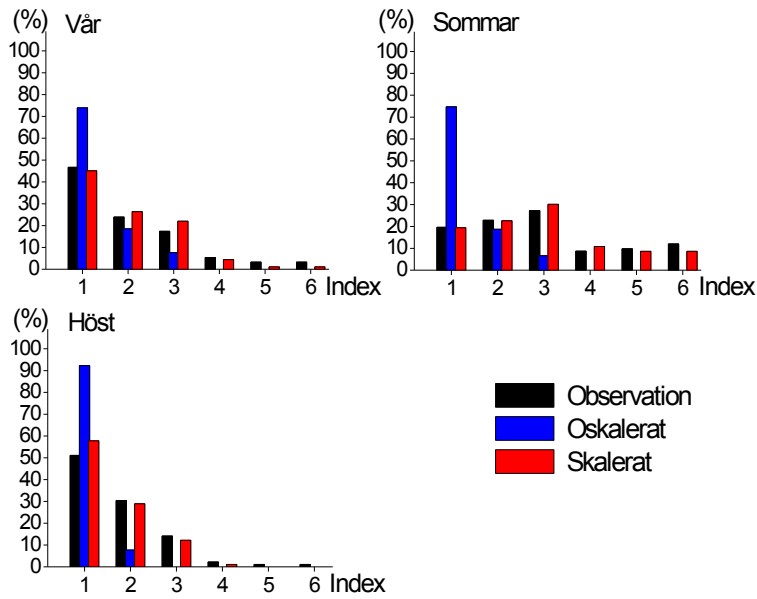
Figur 6.14. FWI-index 1966-1995 för station Bredbyn. Frekvens (procent av tiden) för olika index gällande vår (mars-maj), sommar (juni-augusti) resp. höst (september-november). Jämförelse mellan värden baserade på observationer (svart), obearbetade utdata från klimatmodell (blå) samt skalerad nederbörd, temperatur, relativ luftfuktighet och vindhastighet (röd). Klimatmodelldata avser scenario SMHI-E53-50-A1B.



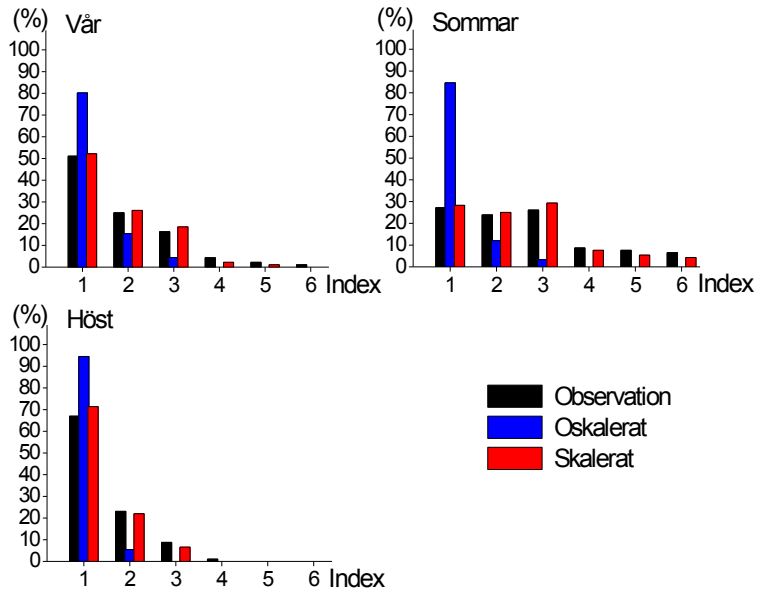
Figur 6.15. FWI-index 1966-1995 för station Edsbyn. Frekvens (procent av tiden) för olika index gällande vår (mars-maj), sommar (juni-augusti) resp. höst (september-november). Jämförelse mellan värden baserade på observationer (svart), obearbetade utdata från klimatmodell (blå) samt skalerad nederbörd, temperatur, relativ luftfuktighet och vindhastighet (röd). Klimatmodelldata avser scenario SMHI-E53-50-A1B.



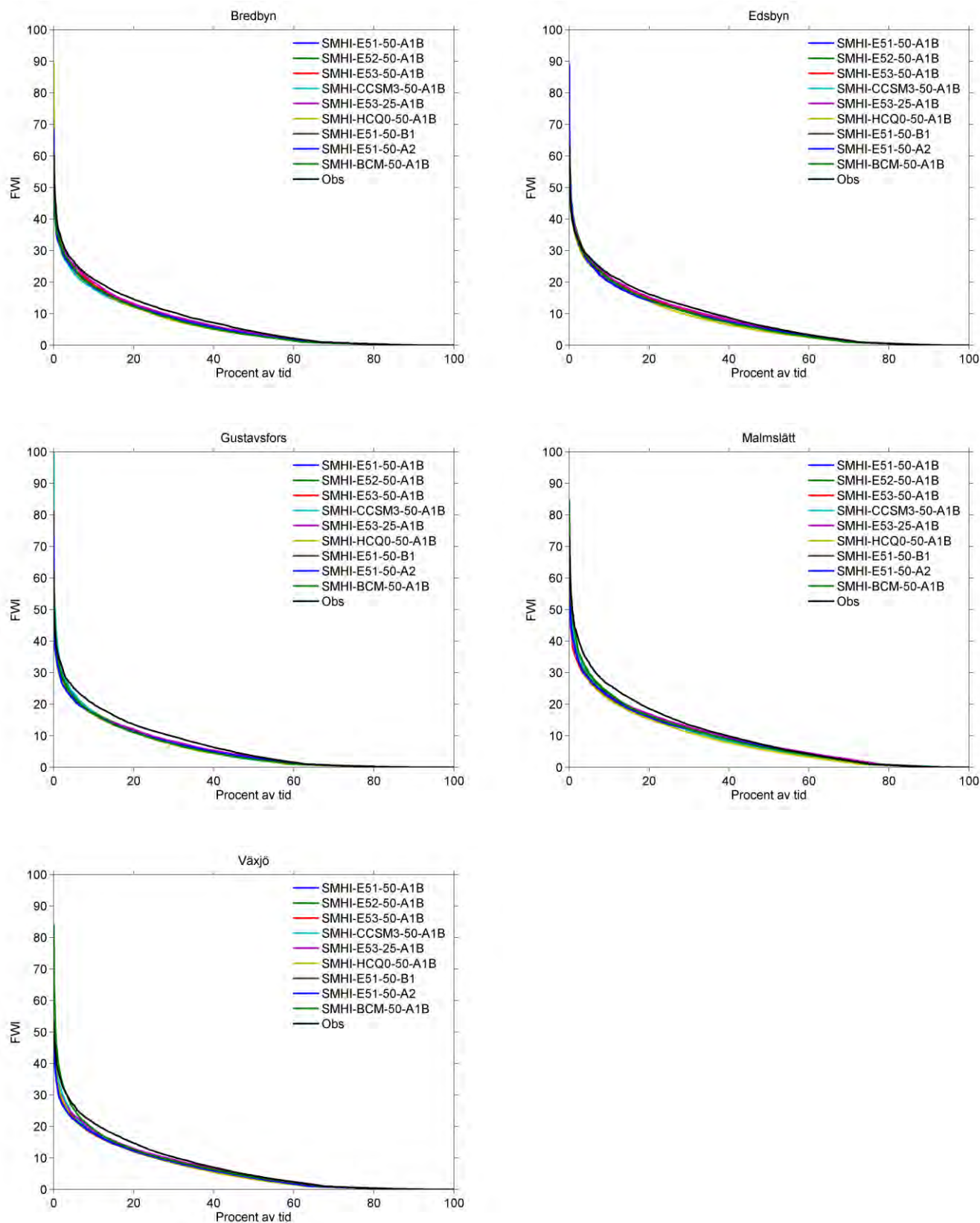
Figur 6.16. FWI-index 1966-1995 för station Gustavsfors. Frekvens (procent av tiden) för olika index gällande vår (mars-maj), sommar (juni-augusti) resp. höst (september-november). Jämförelse mellan värden baserade på observationer (svart), obearbetade utdata från klimatmodell (blå) samt skalerad nederbörd, temperatur, relativ luftfuktighet och vindhastighet (röd). Klimatmodelldata avser scenario SMHI-E53-50-A1B.



Figur 6.17. FWI-index 1966-1995 för station Malmslätt. Frekvens (procent av tiden) för olika index gällande vår (mars-maj), sommar (juni-augusti) resp. höst (september-november). Jämförelse mellan värden baserade på observationer (svart), obearbetade utdata från klimatmodell (blå) samt skalerad nederbörd, temperatur, relativ luftfuktighet och vindhastighet (röd). Klimatmodelldata avser scenario SMHI-E53-50-A1B.



Figur 6.18. FWI-index 1966-1995 för station Växjö. Frekvens (procent av tiden) för olika index gällande vår (mars-maj), sommar (juni-augusti) resp. höst (september-november). Jämförelse mellan värden baserade på observationer (svart), obearbetade utdata från klimatmodell (blå) samt skalerad nederbörd, temperatur, relativ luftfuktighet och vindhastighet (röd). Klimatmodelldata avser scenario SMHI-E53-50-A1B.

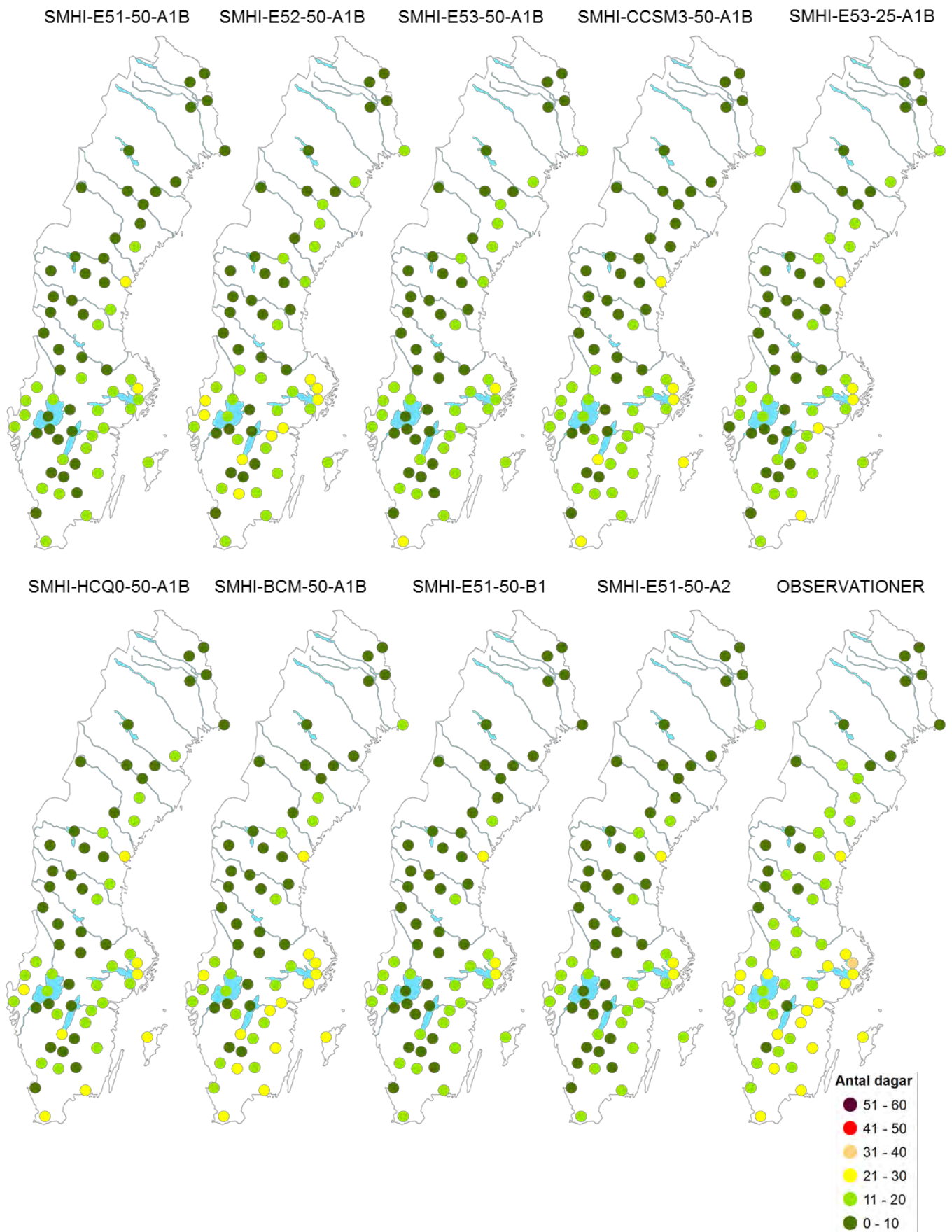


Figur 6.19. Varaktighetsfördelning av FWI-värdet för de 5 teststationerna Bredbyn, Edsbyn, Gustavsfors, Malmslätt och Växjö under referensperioden 1966-1995. Diagrammen visar hur stor andel av tiden under månaderna april-september som olika FWI-värden överskrids. Värdena avser FWI som beräknats med hjälp av observerade data (svart linje) respektive utdata från 9 regionala klimatmodeller.

Kartorna i Figur 6.20 visar en sammanställning av hur ofta de högsta FWI-indexen i genomsnitt uppnås vid de 64 stationerna som ingår i databasen. Färgmarkeringarna indikerar det genomsnittliga antalet dagar per säsong (månaderna april-september) som index 5 eller 6 uppnås under referensperioden. Kartan längst ner till höger visar antalet dagar när beräkningarna baserats på observationer och övriga kartor visar motsvarande värde baserat på skalerade utdata från 9 olika klimatmodeller. Beräkningarna med klimatmodelldata har baserats på referensperioden 1966-1995, medan medelvärdet för observationsdata bygger på olika referensperioder för olika stationer (se Figur 4.2). För 35 av stationerna utnyttjas hela referensperioden 1966-1995 på samma sätt som för klimatmodelldata.

I beräkningarna som baseras på observationer uppnås de högsta indexen vid de flesta stationerna i Götaland och Svealand under 11-30 dagar. Vid cirka hälften av stationerna i Götaland och Svealand uppnås höga index under 21-30 dagar och endast vid några få stationer är antalet dagar färre än 10. Vid de flesta stationerna i sydöstra Norrland är antalet dagar med höga index 11-20 medan antalet dagar är färre än 10 vid de flesta stationerna i övriga Norrland.

I motsvarande beräkningar av antalet dagar med höga index som baserats på klimatmodelldata (9 kartor i Figur 6.20) syns i de flesta scenarier en viss underskattning av brandriskvärdena framförallt i Götaland och Svealand. I alla beräkningar som baseras på klimatmodelldata finns fler än 10 stationer i Götaland och Svealand där de högsta indexen uppnås under färre än 10 dagar. I flera scenarier är det endast vid några få stationer i Götaland och Svealand som höga index förekommer under fler än 21 dagar. I Norrland är underskattningen av brandriskvärdena inte lika tydlig som i de södra delarna av landet.



Figur 6.20. Genomsnittligt antal dagar med FWI-index 5-6 för dagens klimat baserat på observationer (längst ner till höger) och på utdata från 9 klimatmodeller. Antalet dagar avser periodens medelvärde för månaderna april-september.



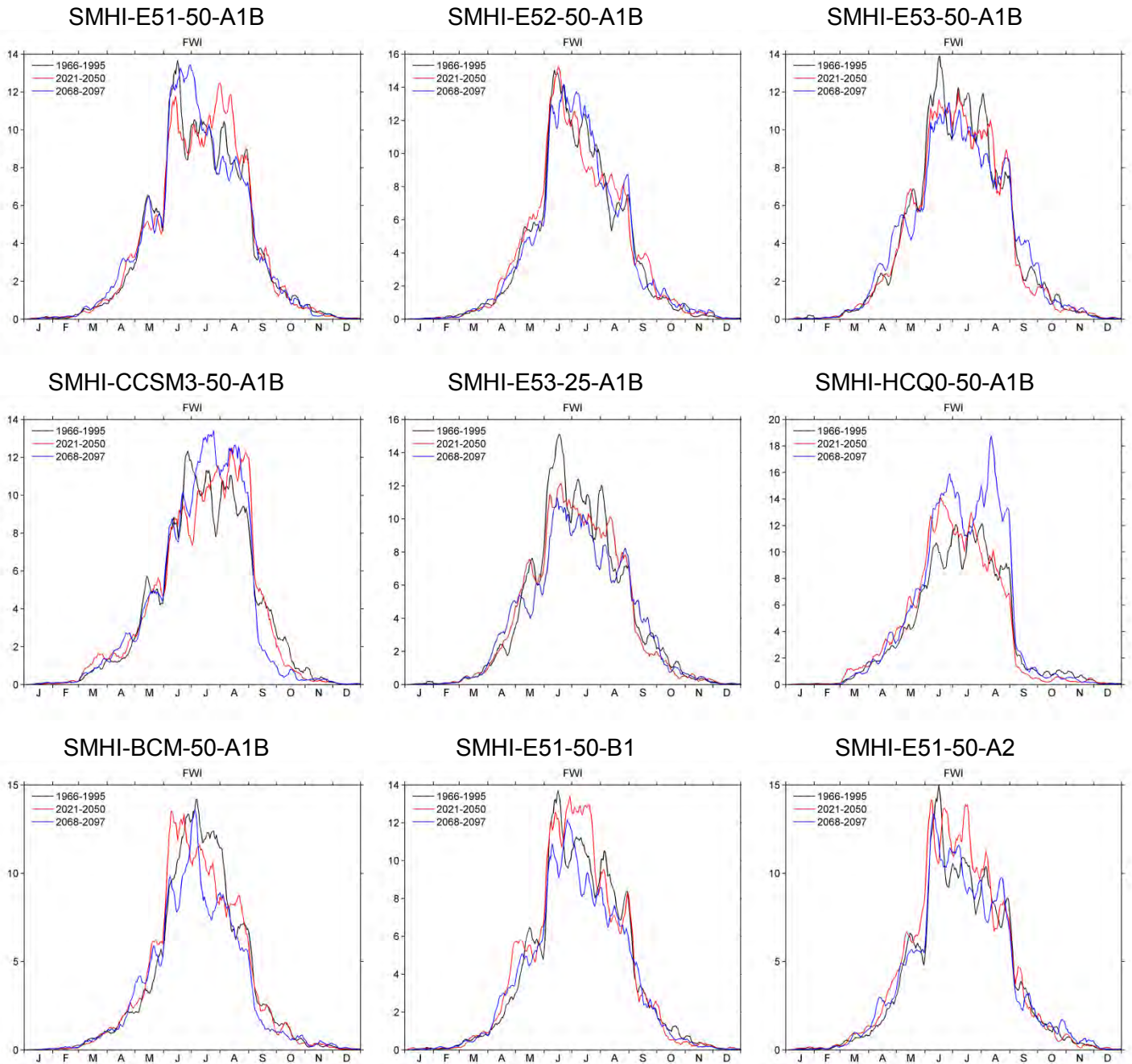
## 6.3 Förändring av brandriskvärden i framtida klimat

### 6.3.1 Medelförändring

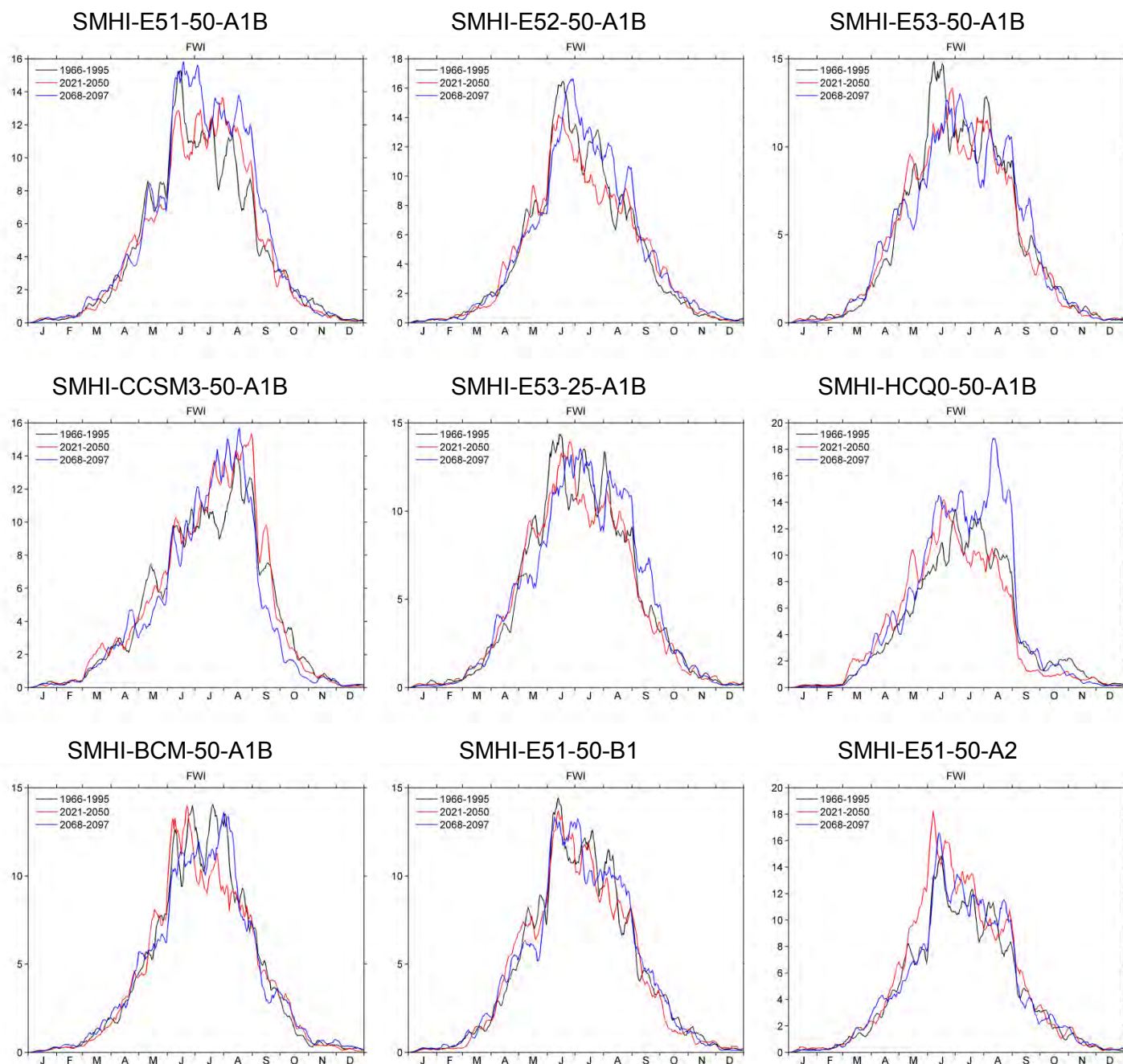
Figur 6.21 - 6.25 visar den genomsnittliga säsongsvariationen av FWI-värdet vid de 5 teststationerna gällande referensperioden 1966-1995 och de två scenarioperioderna 2021-2050 och 2068-2097. I graferna visas varje kalenderdags medelvärde för tidsperioden som medelvärdet över de 7 närmaste dagarnas medelvärden. FWI-värdenas nivåer kan därför inte jämföras med dagliga FWI-värden, vilka kan växla kraftigt från dag till dag. Utjämnningen har gjorts för att underlätta tolkningen av förändringar i säsongsvariationen mellan de olika tidsperioderna.

Vid den sydligaste teststationen Växjö visar alla de 9 scenarierna en ökning av FWI-nivåerna under sommarmånaderna gällande båda scenarioperioderna jämfört med referensperioden. I flera scenarier syns även en ökning av FWI-nivåerna under hösten. Även vid stationerna Gustavsfors och Malmslätt syns en ökning av FWI-nivåerna sommartid, men ökningen är inte lika tydlig i alla scenarier. Vid de nordligare stationerna, Bredbyn och Edsbyn, syns inte en generell ökning av FWI-värdena under scenarioperioderna. Vid Edsbyn visar några av scenarierna en ökning under hösten, medan några scenarier vid Bredbyn istället visar en minskning av FWI-värdena under sommar eller höst.

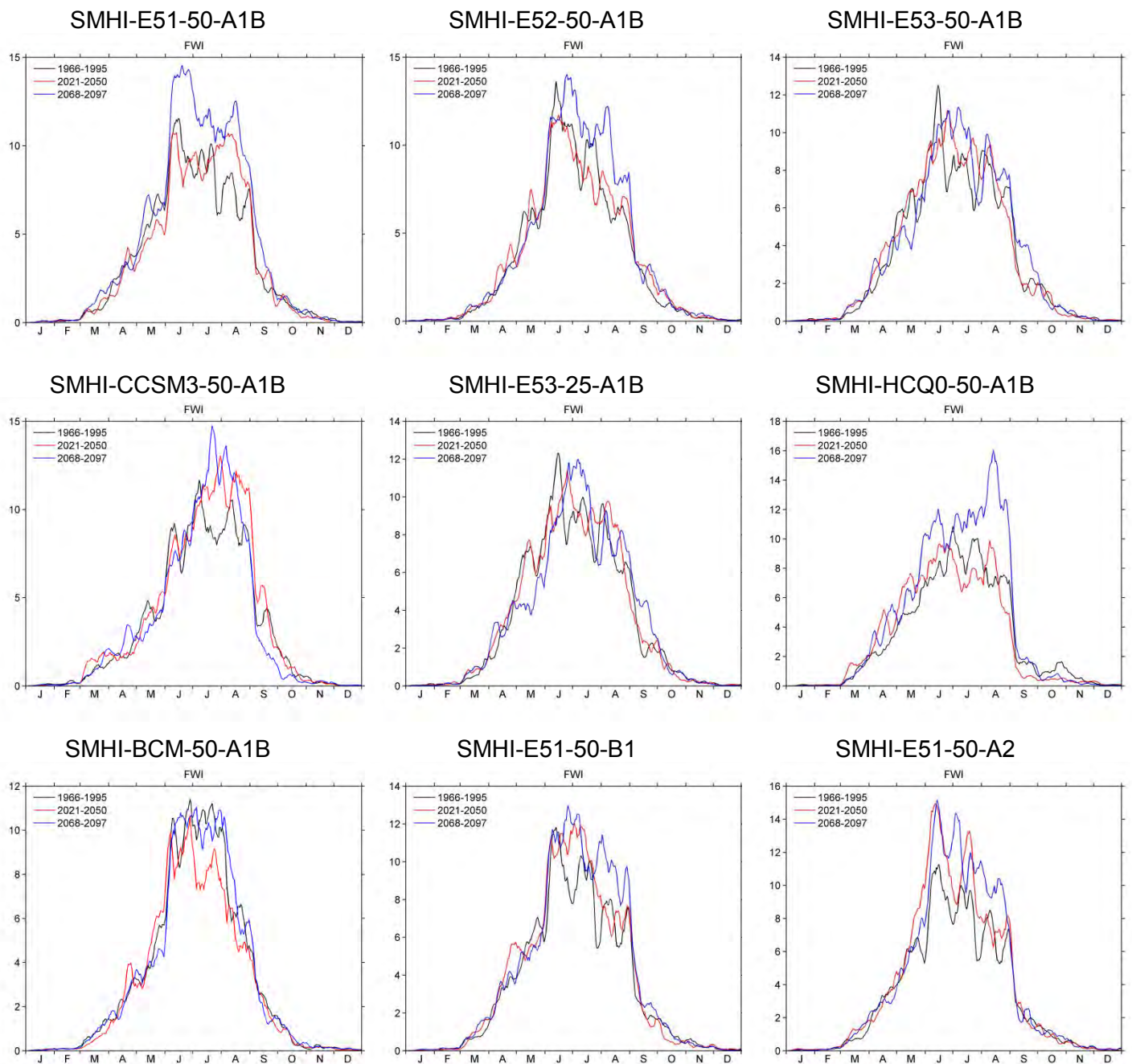
Figur 6.26 - 6.30 visar stapeldiagram med frekvensen för olika FWI-index vid de 5 teststationerna under referensperioden i dagens klimat och under scenarioperioderna 2021-2050 respektive 2068-2097. Vid den sydligaste teststationen, Växjö, visar alla scenarier en förskjutning mot fler dagar med höga index och färre dagar med låga index under scenarioperioderna. Vid Malmslätt och Gustavsfors syns en liknande förskjutning, men den är inte lika tydlig i alla scenarier. Vid de två nordligaste stationerna syns ingen tydlig tendens som är gemensam i alla scenarier. Några scenarier visar istället en omvänd förskjutning mot färre dagar med höga index och fler dagar med låga index.



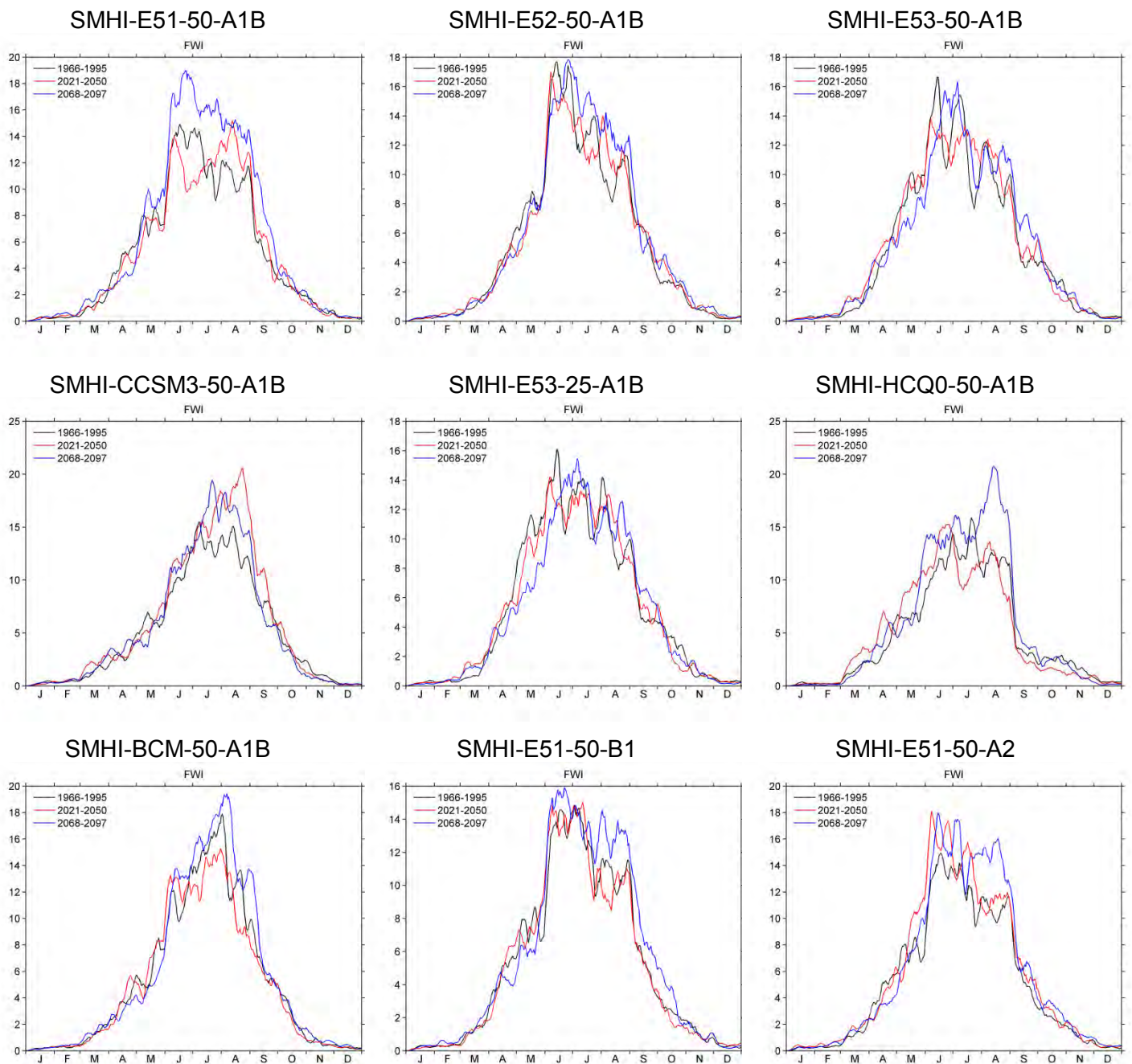
Figur 6.21. Säsongsvariation av FWI för station Bredbyn gällande dagens klimat (svart linje), 2021-2050 (röd linje) samt 2068-2097 (blå linje) baserat på utdata från 9 klimatmodeller. Periodens medelvärde gällande varje kalenderdag redovisas här som medelvärdet över de 7 närmaste dagarna. Observera att skalan på FWI-axeln är olika för de olika scenarierna.



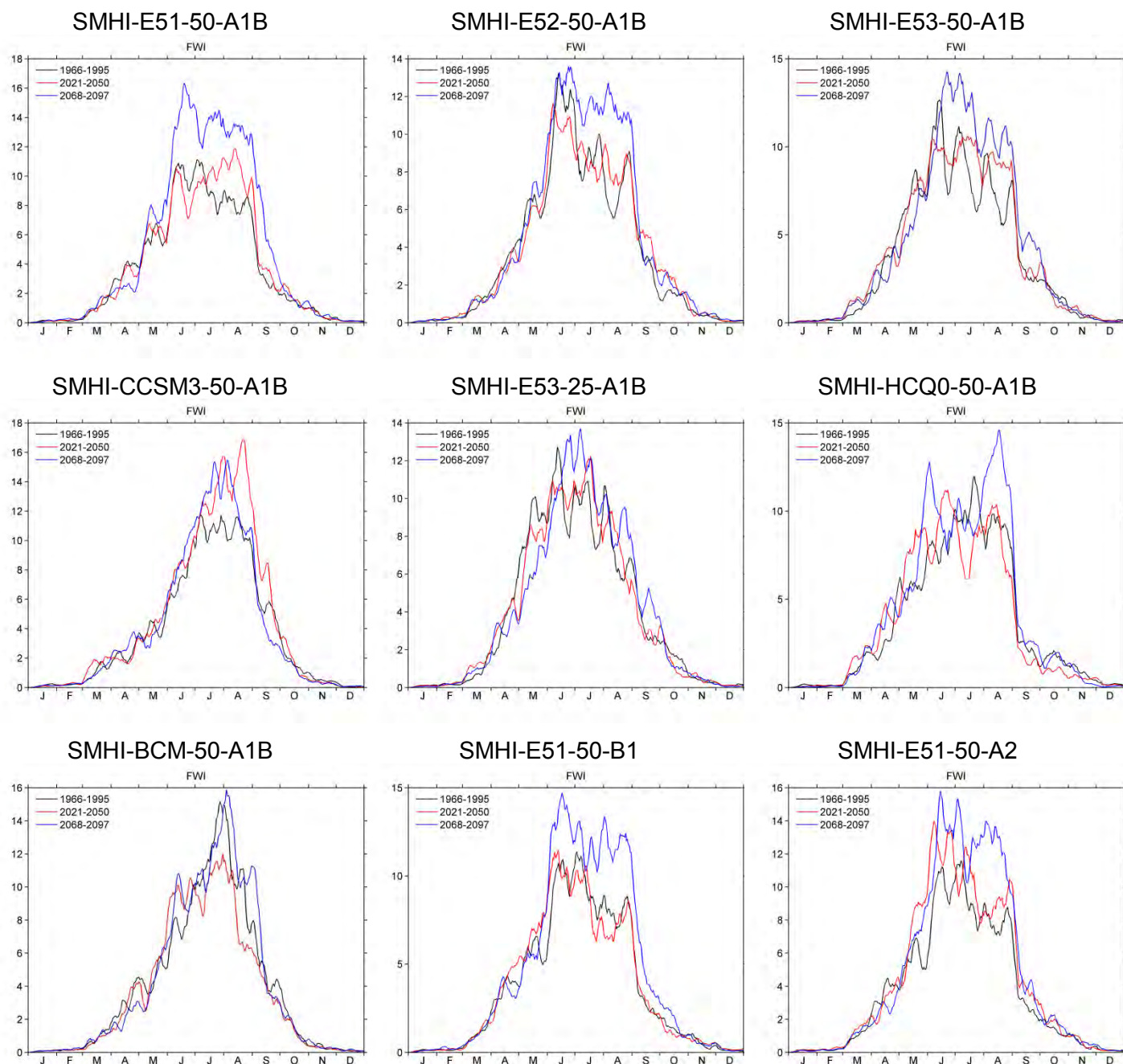
Figur 6.22. Säsongsvariation av FWI för station Edsbyn gällande dagens klimat (svart linje), 2021-2050 (röd linje) samt 2068-2097 (blå linje) baserat på utdata från 9 klimatmodeller. Periodens medelvärde gällande varje kalenderdag redovisas här som medvärdet över de 7 närmaste dagarna. Observera att skalan på FWI-axeln är olika för de olika scenarierna.



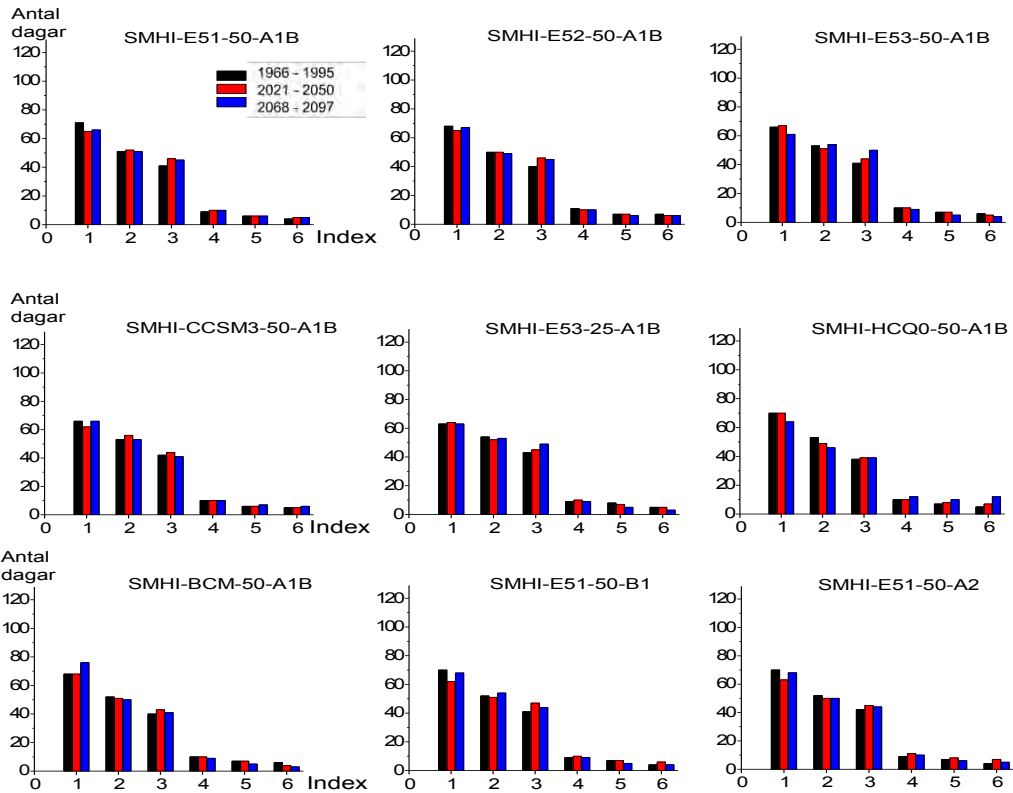
Figur 6.23. Säsongsvariation av FWI för station Gustavsfors gällande dagens klimat (svart linje), 2021-2050 (röd linje) samt 2068-2097 (blå linje) baserat på utdata från 9 klimatmodeller. Periodens medelvärde gällande varje kalenderdag redovisas här som medvärdet över de 7 närmaste dagarna. Observera att skalan på FWI-axeln är olika för de olika scenarierna.



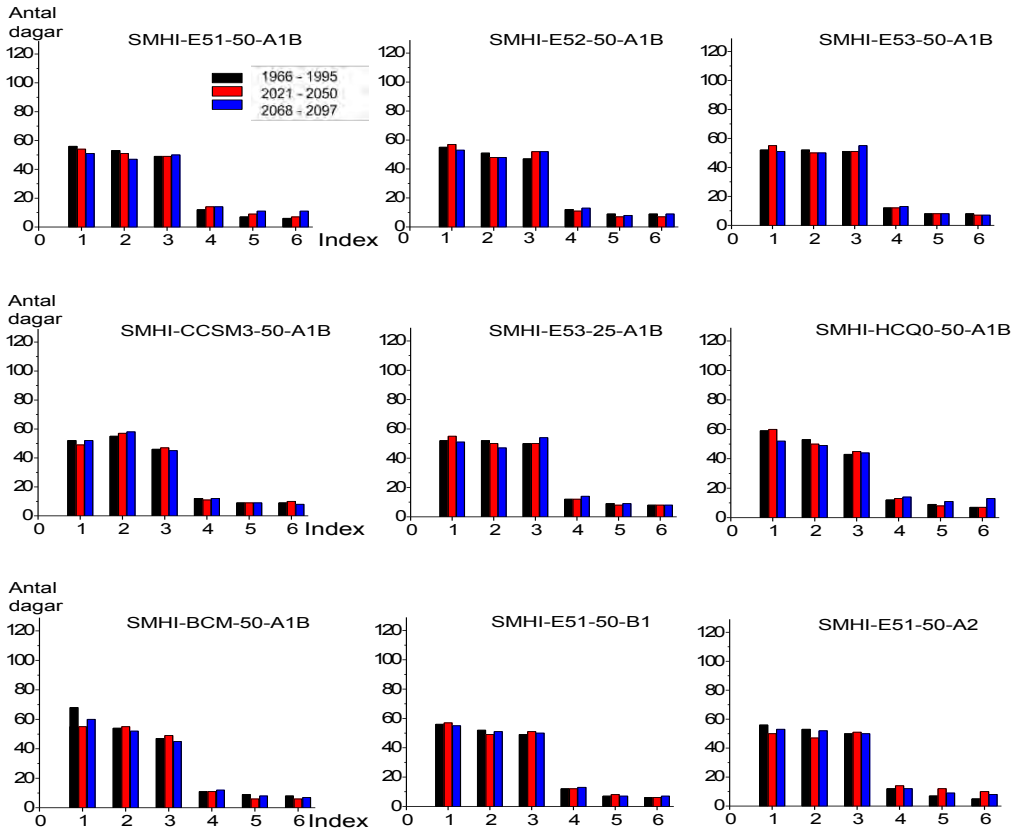
Figur 6.24. Säsongsvariation av FWI för station Malmslätt gällande dagens klimat (svart linje), 2021-2050 (röd linje) samt 2068-2097 (blå linje) baserat på utdata från 9 klimatmodeller. Periodens medelvärde gällande varje kalenderdag redovisas här som medvärdet över de 7 närmaste dagarna. Observera att skalan på FWI-axeln är olika för de olika scenarierna.



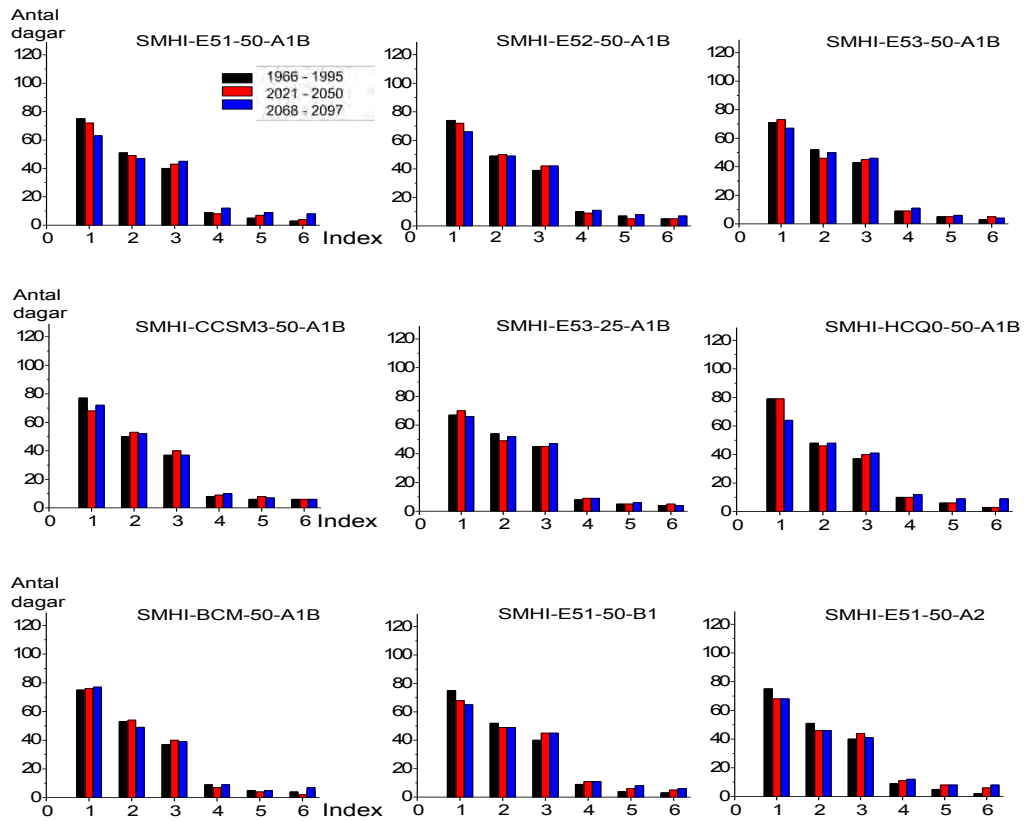
Figur 6.25. Säsongsvariation av FWI för station Växjö gällande dagens klimat (svart linje), 2021-2050 (röd linje) samt 2068-2097 (blå linje) baserat på utdata från 9 klimatmodeller. Periodens medelvärde gällande varje kalenderdag redovisas här som medvärdet över de 7 närmaste dagarna. Observera att skalan på FWI-axeln är olika för de olika scenarierna.



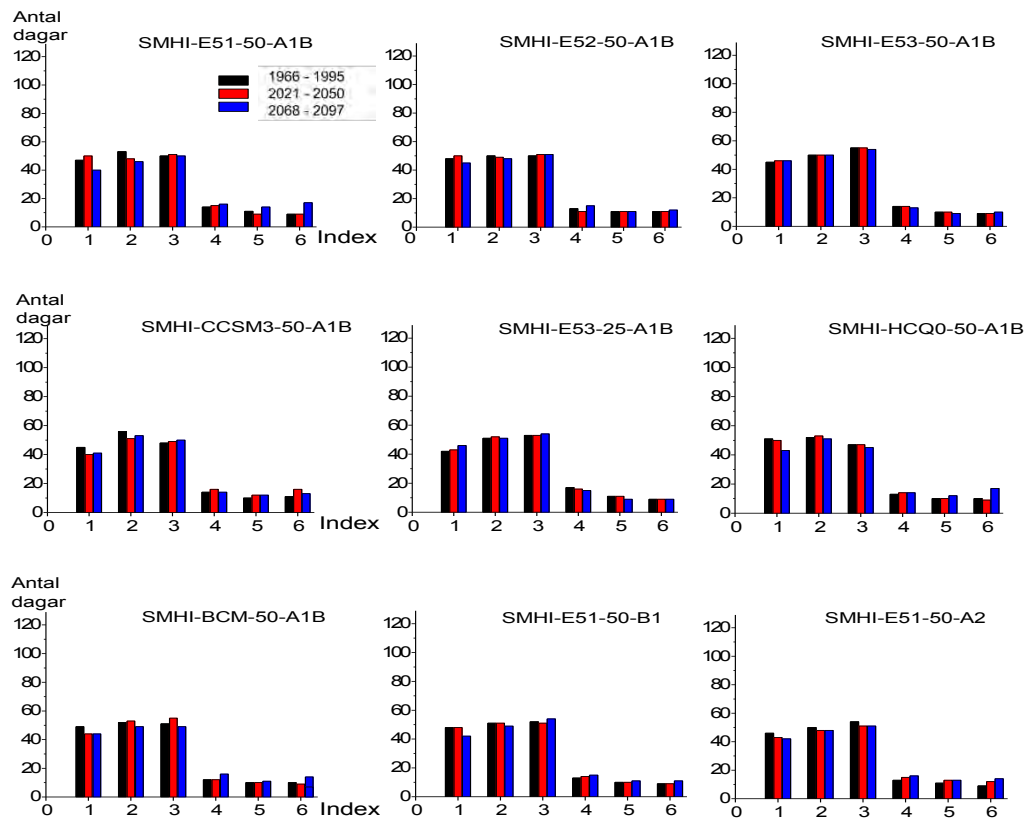
Figur 6.26. FWI-index för station Bredbyn gällande dagens klimat (svart stapel), 2021-2050 (röd stapel) samt 2068-2097 (blå stapel) baserat på 9 klimatscenarioer. Indexfrekvensen anges som det genomsnittliga antalet dagar under månaderna april-september.



Figur 6.27. FWI-index för station Edsbyn gällande dagens klimat (svart stapel), 2021-2050 (röd stapel) samt 2068-2097 (blå stapel) baserat på 9 klimatscenarioer. Indexfrekvensen anges som det genomsnittliga antalet dagar under månaderna april-september.

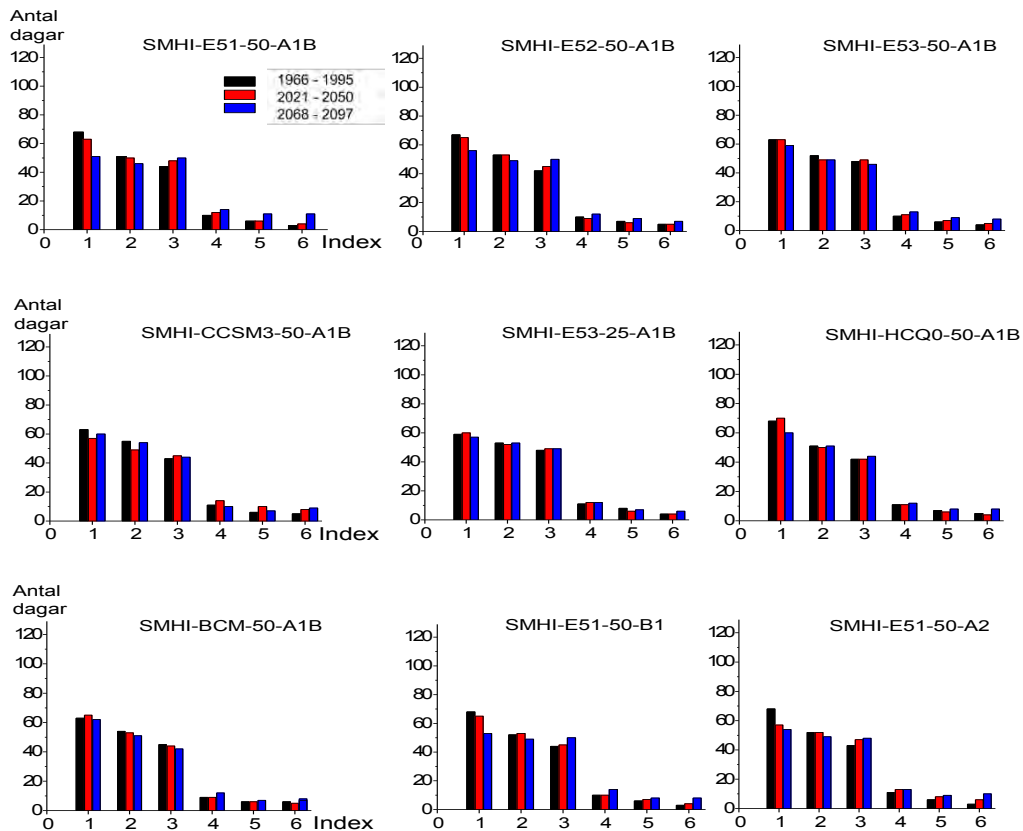


Figur 6.28. FWI-index för station Gustavsfors gällande dagens klimat (svart stapel), 2021-2050 (röd stapel) samt 2068-2097 (blå stapel) baserat på 9 klimatscenarier. Indexfrekvensen anges som det genomsnittliga antalet dagar under månaderna april-september.



Figur 6.29. FWI-index för station Malmslätt gällande dagens klimat (svart stapel), 2021-2050 (röd stapel) samt 2068-2097 (blå stapel) baserat på 9 klimatscenarier. Indexfrekvensen anges som det genomsnittliga antalet dagar under månaderna april-september.





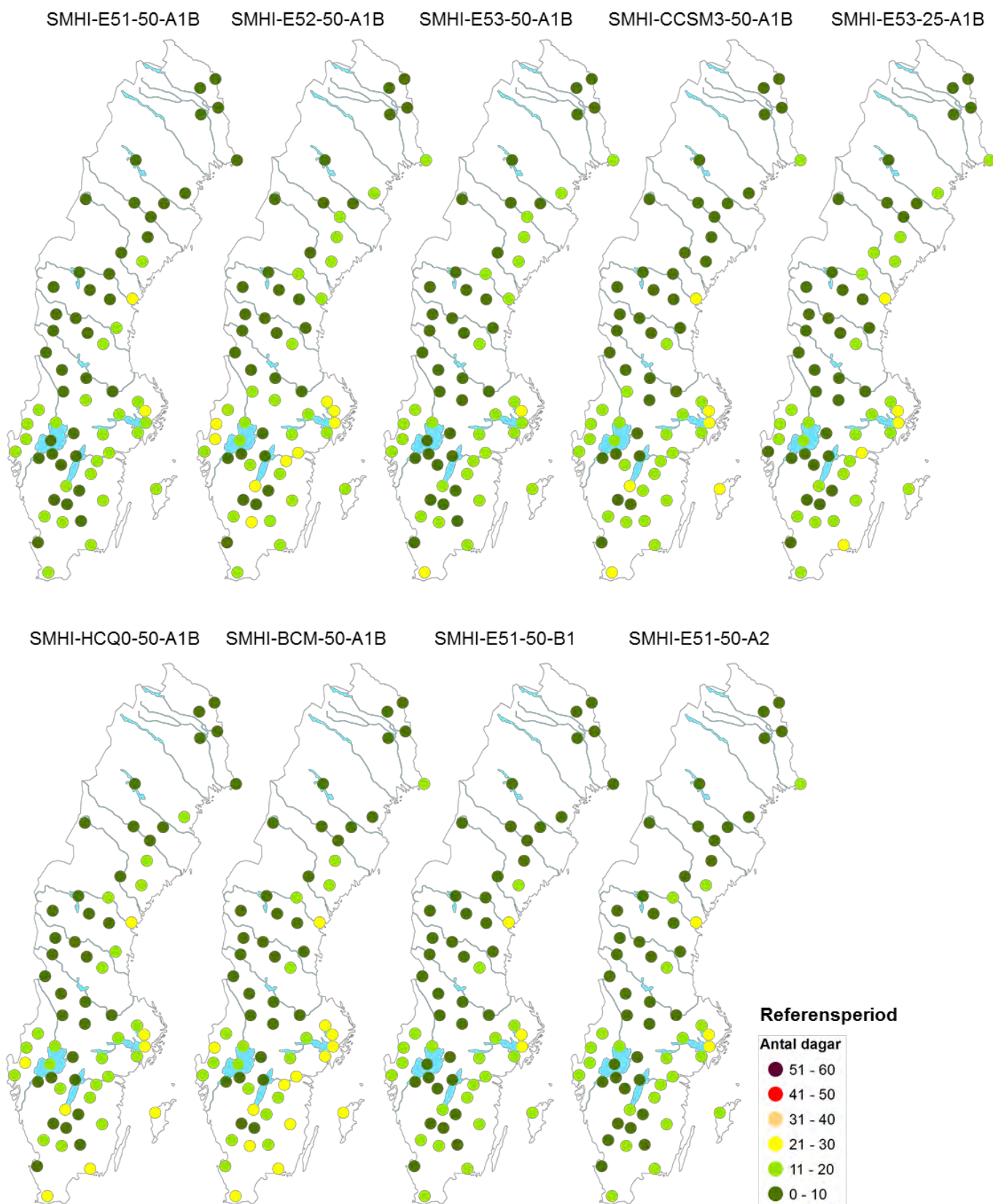
Figur 6.30. FWI-index för station Växjö gällande dagens klimat (svart stapel), 2021-2050 (röd stapel) samt 2068-2097 (blå stapel) baserat på 9 klimatscenarier. Indexfrekvensen anges som det genomsnittliga antalet dagar under månaderna april-september.

### 6.3.2 Genomsnittligt antal dagar med höga brandriskvärden

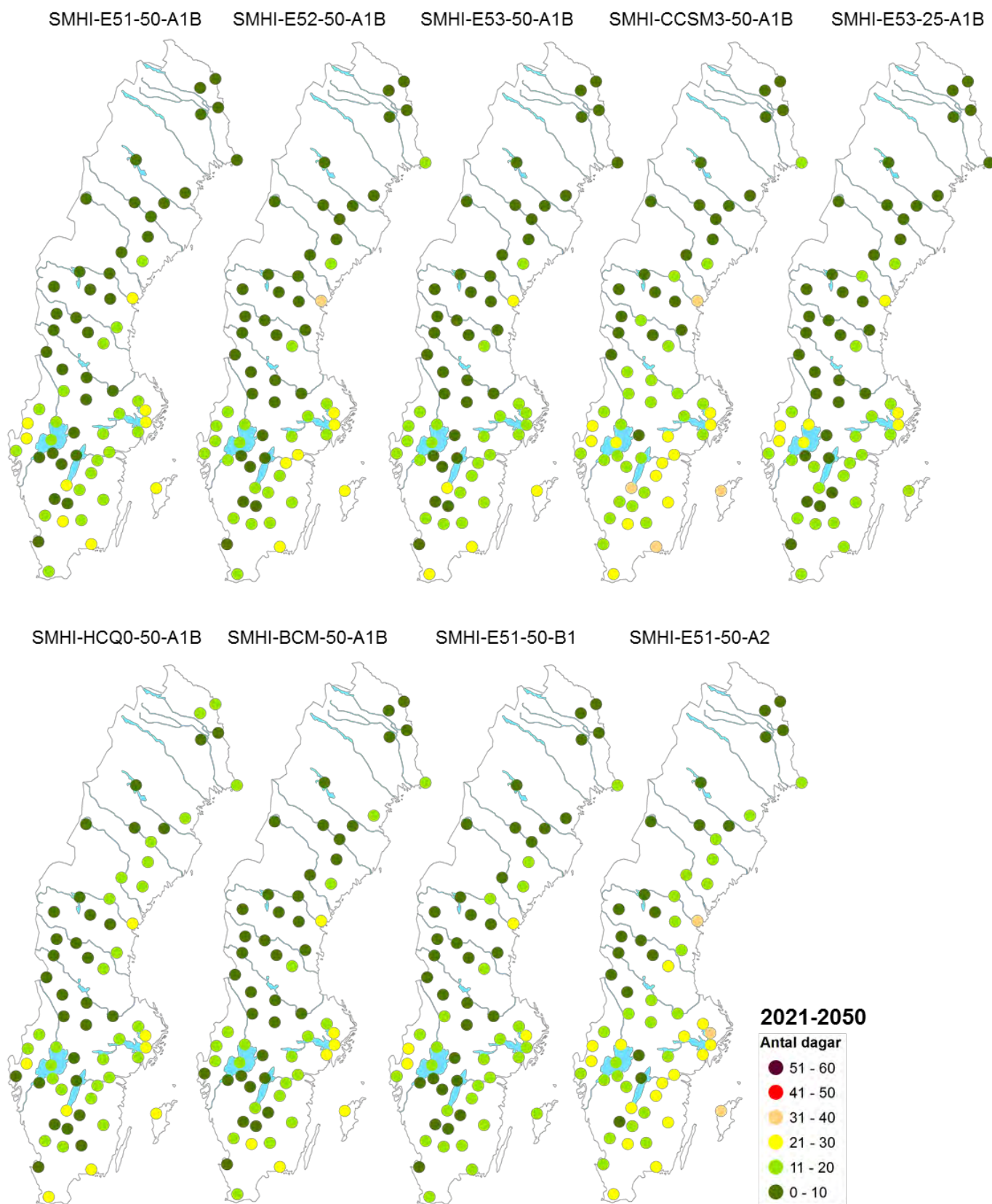
Förändringen av skogsbrandrisken i ett framtida klimat beskrivs här med kartor där färgmarkeringar vid de meteorologiska stationerna indikerar det genomsnittliga antalet dagar under perioden april-september då det beräknade FWI-indexet uppnår nivå 5 eller 6. Figur 6.31 - 6.33 visar antalet dagar som baserats på beräkningar med utdata från 9 regionala klimatmodeller gällande tre olika tidsperioder.

Figur 6.31 visar att under referensperioden 1966-1995 är antalet dagar med index 5 eller 6 i de flesta scenarierna färre än 20 vid de flesta stationerna. I Götaland och Svealand uppnås höga index under 21-30 dagar vid några få stationer eller som mest drygt 10 stationer beroende på scenario. I Norrland utmärker sig Sundsvall som den enda station där antalet dagar kan överskrida 21.

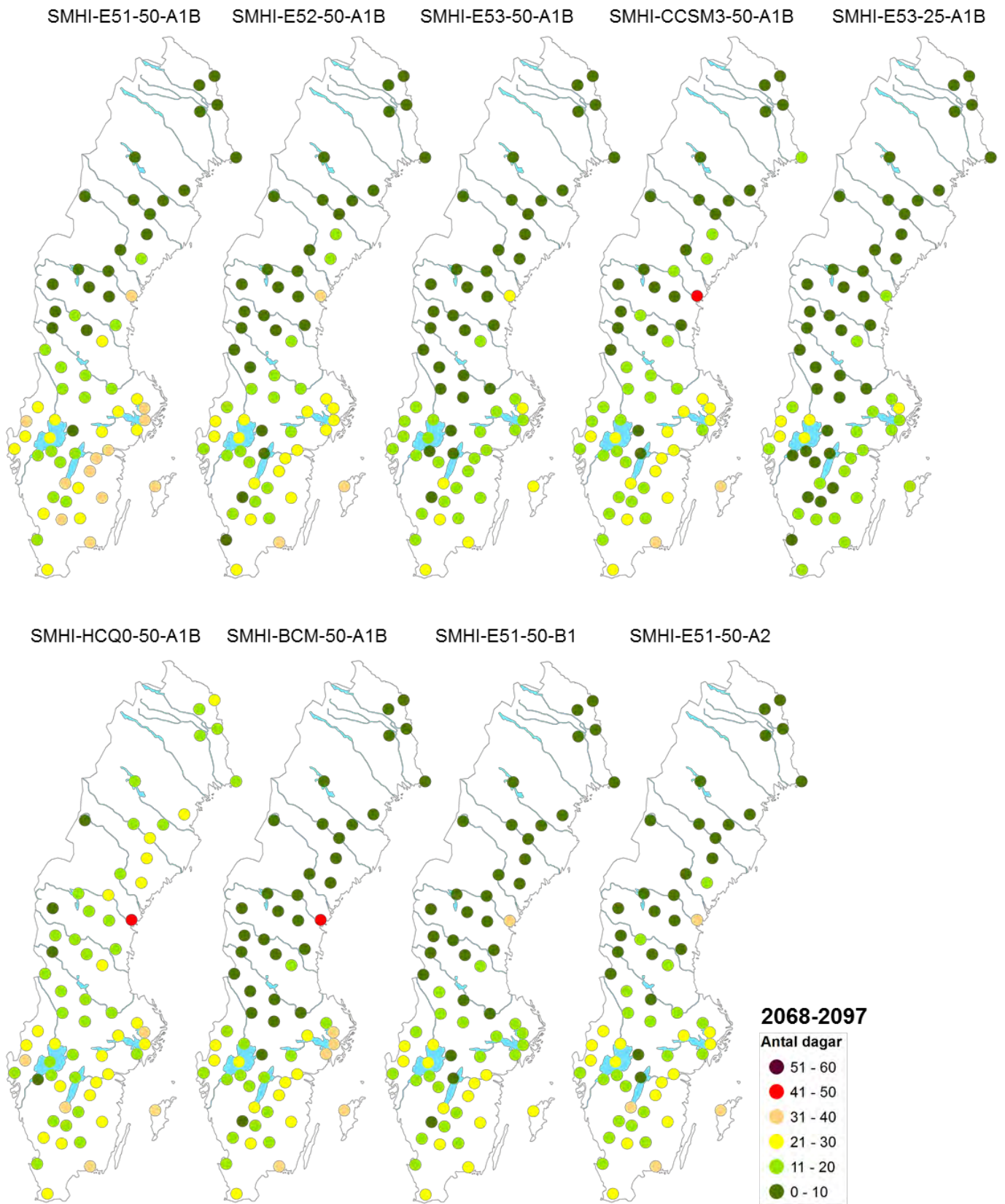
Figur 6.32 och 6.33 visar genomsnittligt antal dagar med index 5 eller 6 under scenarioperioderna 2021-2050 respektive 2068-2097. För scenarioperioden 2068-2097 syns en generell förskjutning mot fler antal dagar med höga index i Götaland och södra Svealand. I de flesta scenarier finns där flera stationer med höga index under 31-40 dagar och endast några få stationer med höga index under färre än 10 dagar. Många scenarier indikerar 21-30 dagar med höga index vid cirka 10-15 stationer i Götaland och Svealand. För den första scenarioperioden 2021-2050 visar de olika scenarierna skiftande resultat. Flera scenarier visar i Götaland och Svealand en ökning av antalet dagar med höga index jämfört med referensperioden, medan några scenarier istället indikerar färre antal dagar.



Figur 6.31. Genomsnittligt antal dagar med FWI-index 5-6 för referensperioden 1966-1995 baserat på utdata från 9 olika klimatmodeller. Antalet dagar avser periodens medelvärde för månaderna april-september.



Figur 6.32. Genomsnittligt antal dagar med FWI-index 5-6 för scenarioperioden 2021-2050 baserat på 9 olika klimatscenarier. Antalet dagar avser periodens medelvärde för månaderna april-september.



Figur 6.33. Genomsnittligt antal dagar med FWI-index 5-6 för scenarioperioden 2068-2097 baserat på 9 olika klimatscenarier. Antalet dagar avser periodens medelvärde för månaderna april-september.

### 6.3.3 Sammanhängande högriskperioder

Figur 6.34 visar antal dagar i årets längsta sammanhängande period med FWI-index 4, 5 eller 6 som medianvärde för åren i referensperioden 1966-1995. Figur 6.35 och 6.36 visar motsvarande värden för scenarioperioden 2021-2050 respektive 2068-2097. Högriskperioderna har bestämts enligt definitionen i avsnitt 3.4.

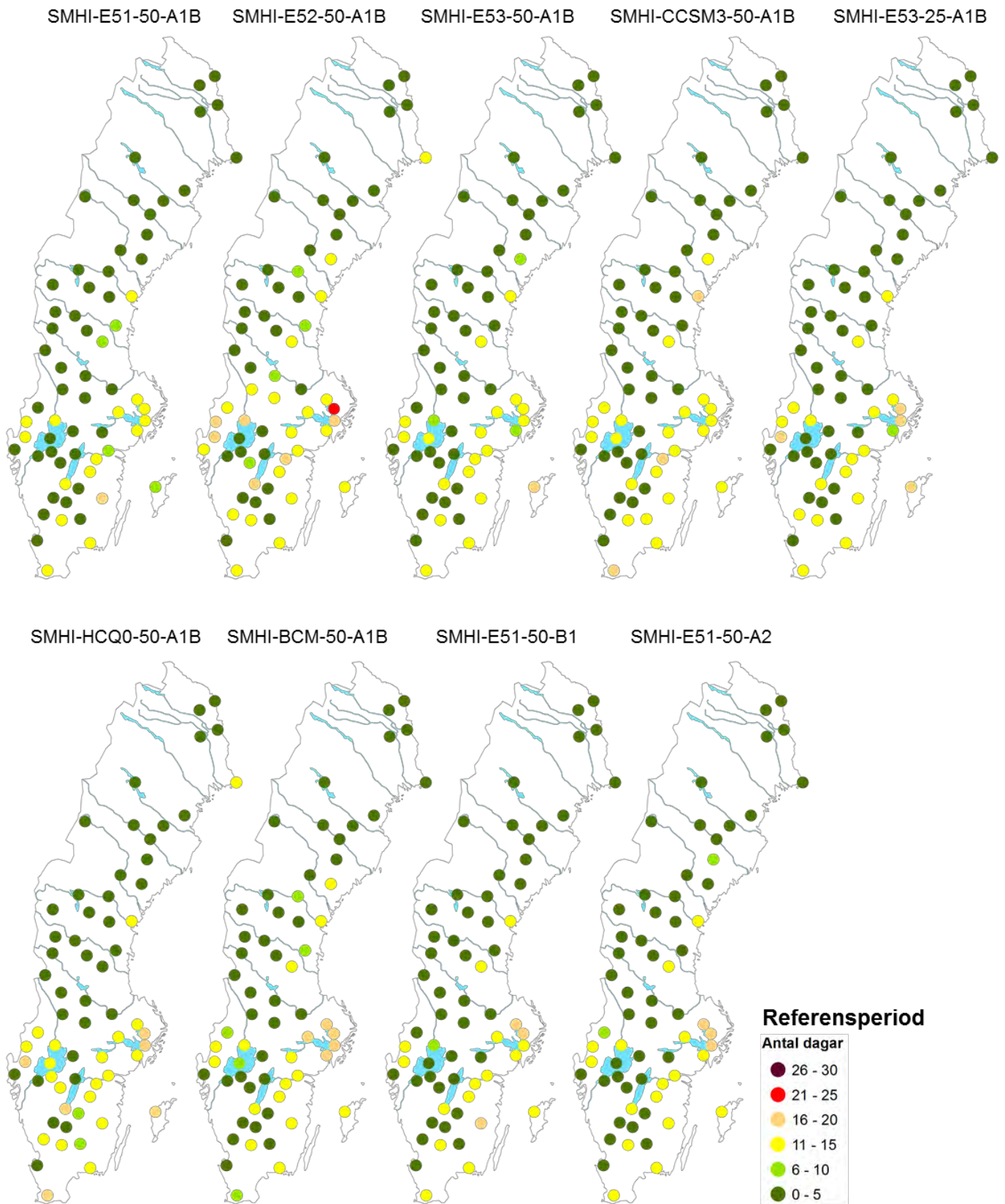
Under referensperioden är, generellt i alla scenarier, årets längsta sammanhängande högriskperiod kortare än 5 dagar vid de flesta av landets stationer. Vid cirka hälften av stationerna i Götaland och södra Svealand är den längsta högriskperioden 11-15 dagar och vid några få stationer 16-20 dagar. Under den första scenarioperioden 2021-2050 (Figur 6.35) är de längsta högriskperioderna fortfarande 11-15 dagar vid cirka hälften av stationerna i Götaland och södra Svealand, men i många scenarier ökar antalet stationer med längsta högriskperioden 16-20 dagar. Vid några få stationer är högriskperioden 21-25 dagar. Under den andra scenarioperioden 2068-2097 (Figur 6.36) är längsta högriskperioden i många scenarier 16-20 dagar vid cirka 10-15 stationer i Götaland och Svealand. I de flesta scenarier finns några stationer där högriskperioden är 21-25 dagar och i ett scenario finns två stationer där högriskperioden är 26-30 dagar.

Extrema sammanhängande högriskperioder med enbart index 6 har också analyserats för referensperioden och scenarioperioderna. Under referensperioden är medianvärdet för längden av denna typ av högriskperioder mindre än 5 dagar vid alla analyserade stationer. Figur 6.37 visar motsvarande värden för scenarioperioden 2068-2097. I många av scenarierna ökar längden av denna typ av högriskperioder till 6-10 dagar vid många stationer i Götaland och södra Svealand. Vid några stationer är maximala längden 11-15 dagar under scenarioperioden 2068-2097.

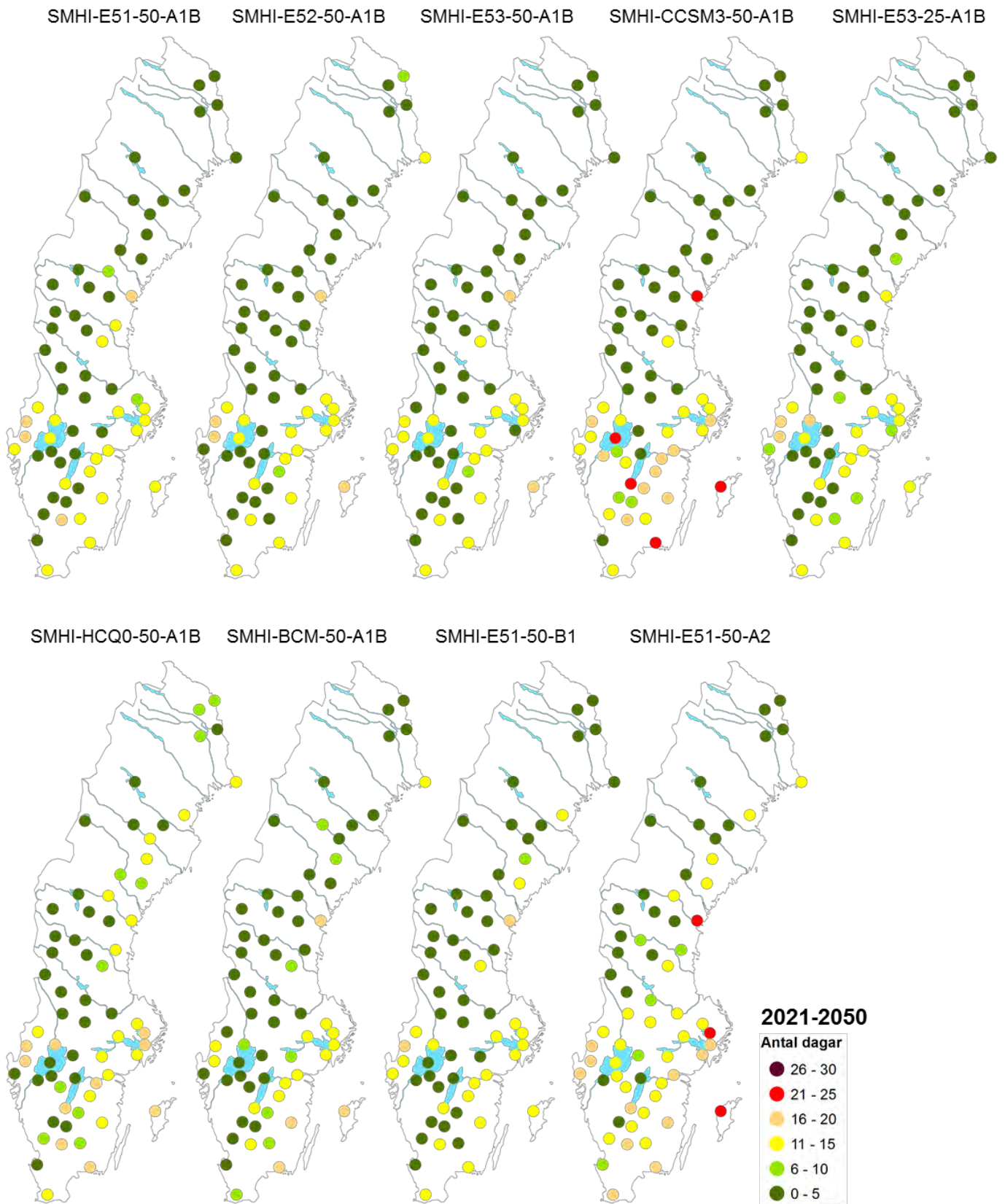
Figur 6.38 och 6.39 visar antalet dagar i den längsta högriskperiod med index 4, 5 eller 6 som förekommit under något av de 30 åren under referensperioden 1966-1995 respektive under scenarioperioden 2068-2097. Kartorna visar alltså den allra mest extrema längden av högriskperioder som förekommit under hela 30-årsperioden vid varje station. Eftersom analysen inte visar hur ofta dessa perioder förekommer, bör inte detaljer i förändringar för enskilda stationer uttolkas ur kartorna. De olika scenarierna ger som förväntat skiftande resultat både för referensperioden och för scenarioperioden. Till scenarioperioden 2068-2097 ökar den maximala högriskperiodens längd i några scenarier, framförallt i Götaland och Svealand, medan högriskperiodens längd i andra scenarier minskar i vissa områden, exempelvis i norra Sverige.

### 6.3.4 Säsongsförändring

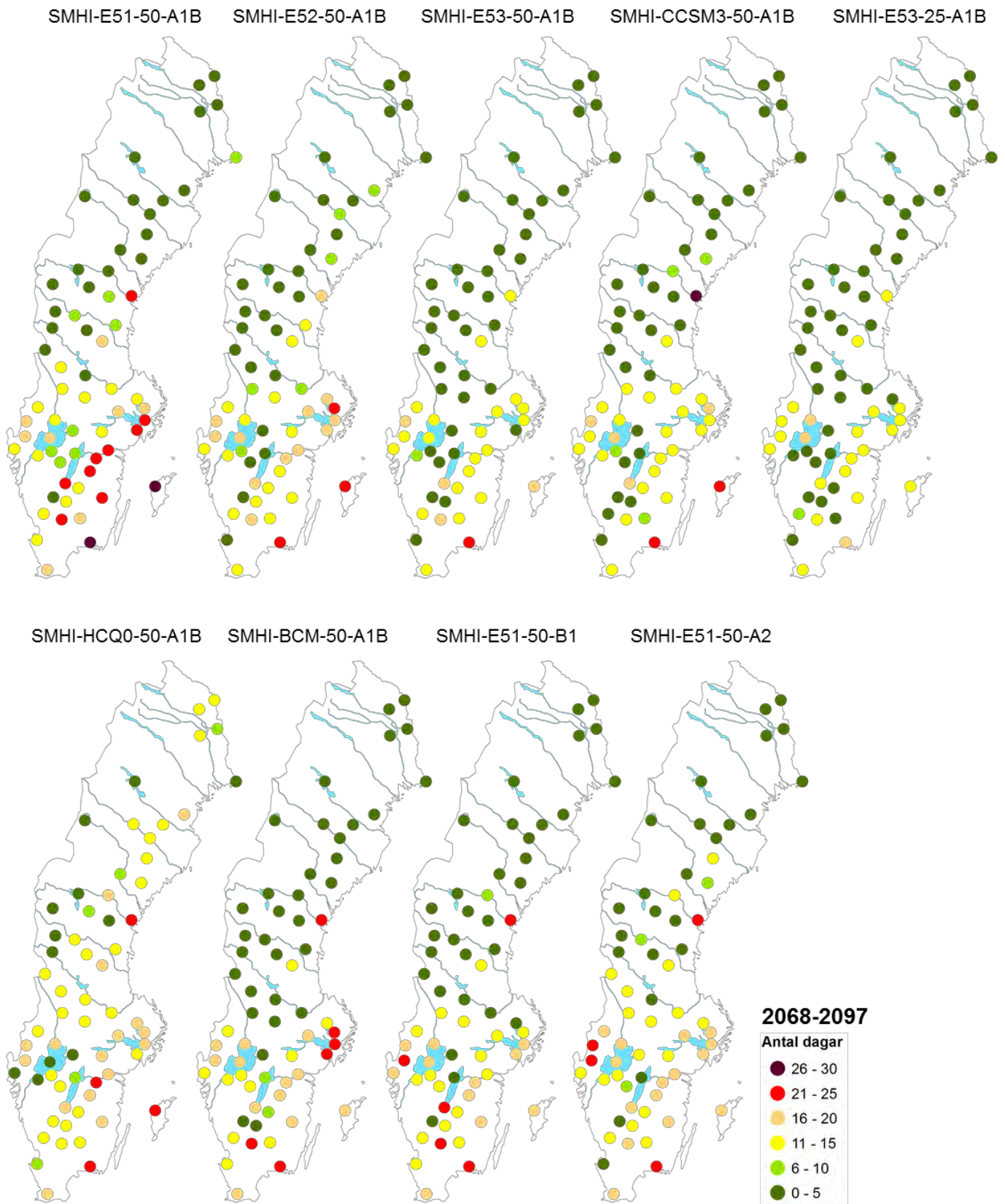
Analysen av förändringar av säsongen för brandrisk i framtida klimat har för FWI-index baserats på det genomsnittliga antalet dagar med index 4, 5 eller 6. Värden för samtliga stationer gällande våren (mars-maj), sommaren (juni-augusti) och hösten (september-november) har jämförts för referensperioden och scenarioperioden 2068-2097. Resultaten visade ingen tydlig förändring av antalet dagar med höga index vare sig under våren eller under hösten.



Figur 6.34. Längsta sammanhängande högriskperioder med FWI-index 4, 5 eller 6 under referensperioden 1966-1995 baserat på utdata från 9 klimatmodeller. Antalet dagar avser medianvärdet av varje års längsta högriskperiod under 30-årsperioden.

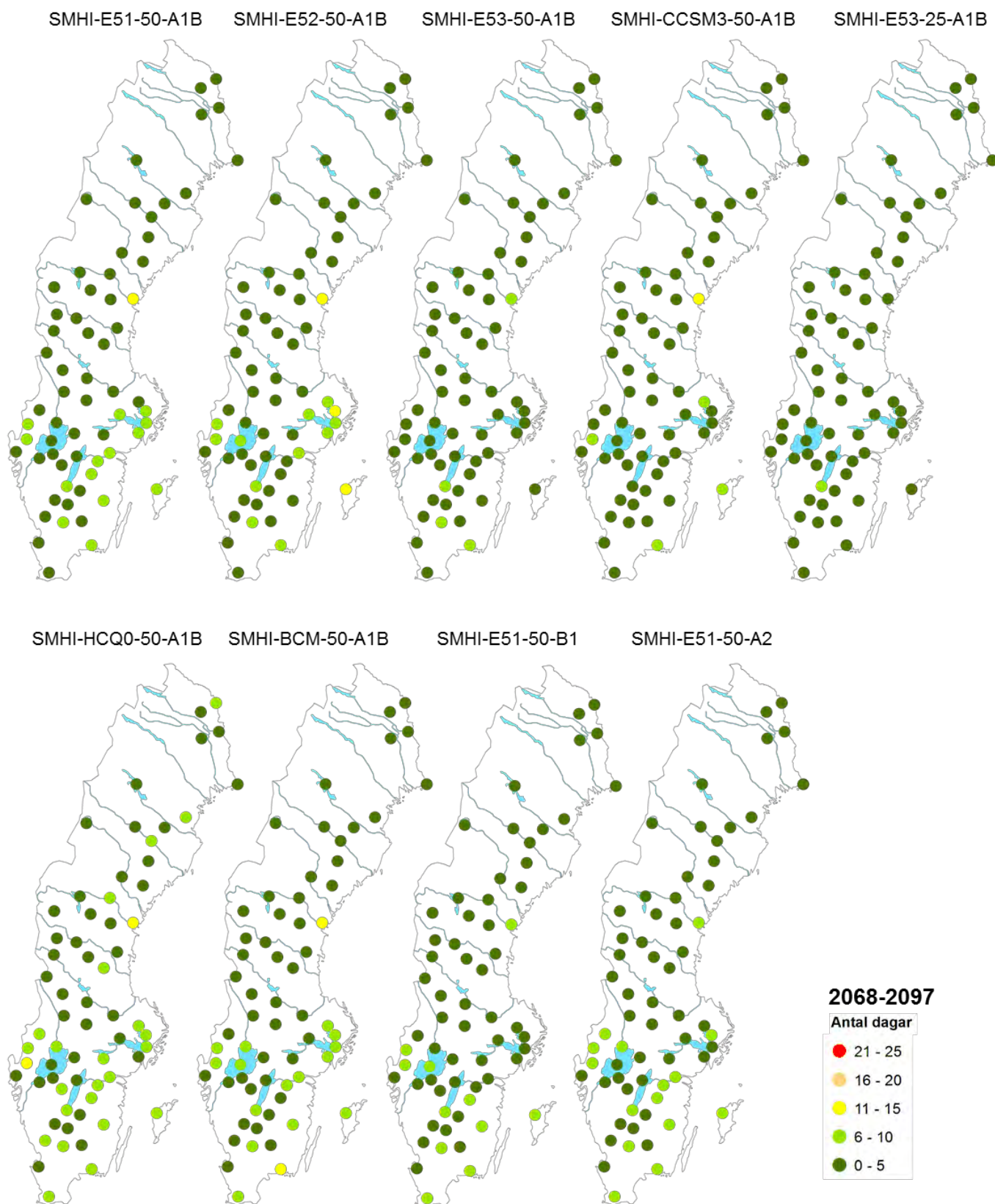


Figur 6.35. Längsta sammanhängande högriskperioder med FWI-index 4, 5 eller 6 under scenarioperioden 2021-2050 baserat på 9 klimatscenarier. Antalet dagar avser medianvärdet av varje års längsta högriskperiod under 30-årsperioden.

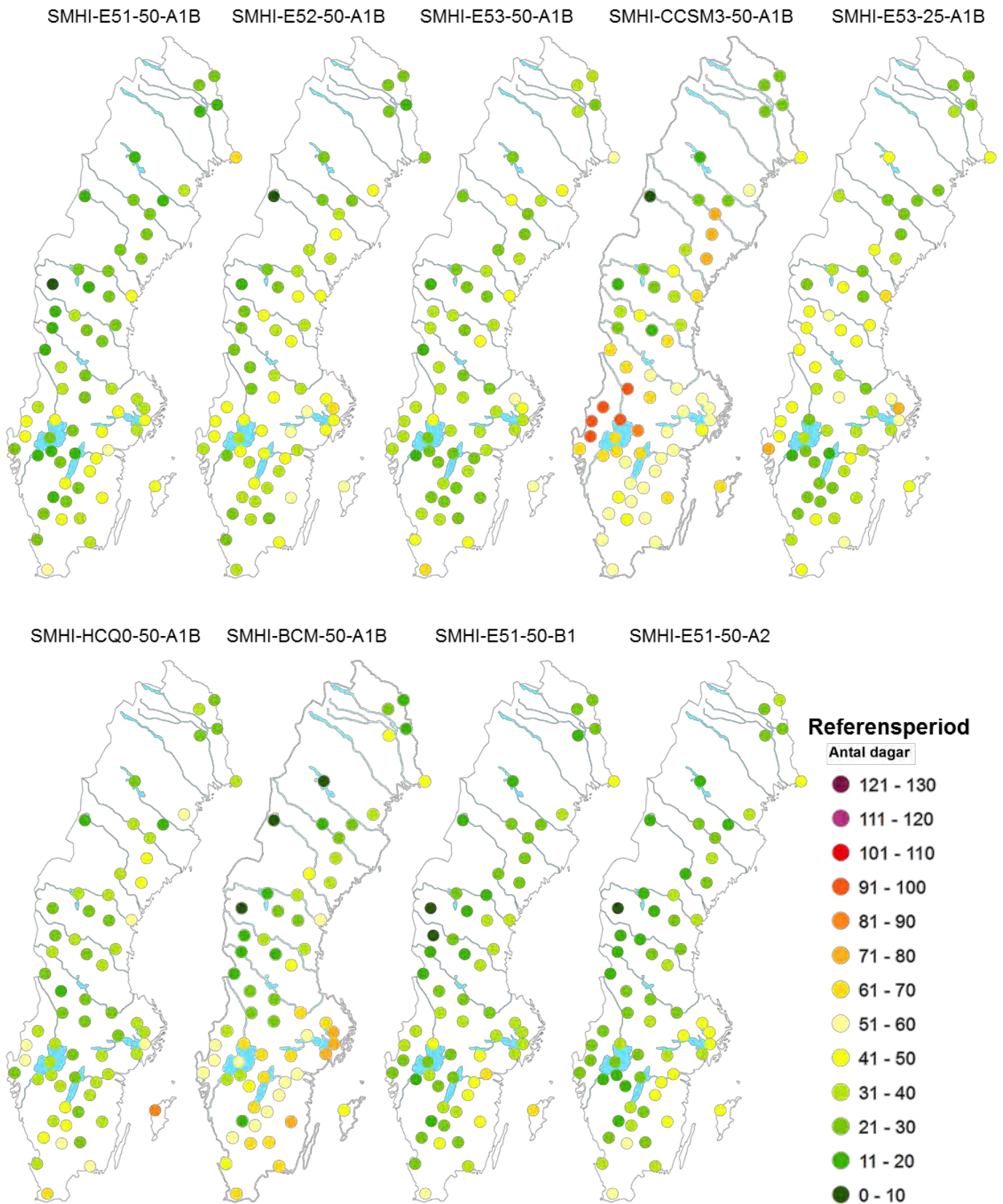


Figur 6.36. Längsta sammanhängande högriskperioder med FWI-index 4, 5 eller 6 under scenarioperioden 2068-2097 baserat på 9 klimatscenarier. Antalet dagar avser medianvärdet av varje års längsta högriskperiod under 30-årsperioden.

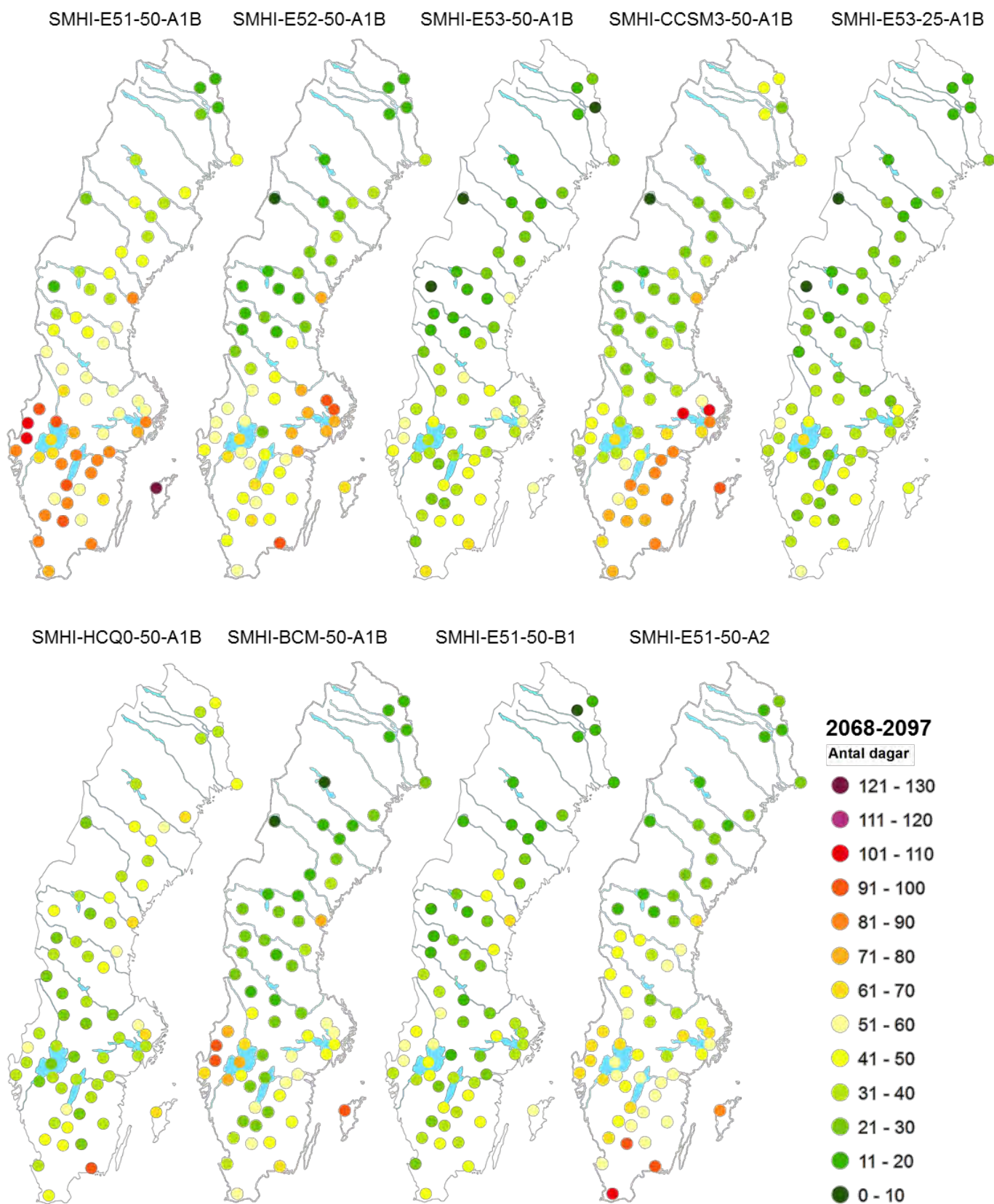




Figur 6.37. Längsta sammanhängande högriskperioder med FWI-index 6 under scenarioperioden 2068-2097 baserat på 9 klimatscenarier. Antalet dagar avser medianvärdet av varje års längsta högriskperiod under 30-årsperioden.



Figur 6.38. Maximalt antal dagar i sammanhängande högriskperioder med FWI-index 4, 5 eller 6 under referensperioden 1966-1995 baserat på utdata från 9 klimatmodeller. Antalet dagar avser den längsta högriskperiod som förekommit under något av de 30 åren i perioden.



Figur 6.39. Maximalt antal dagar i sammanhängande högriskperioder med FWI-index 4, 5 eller 6 under scenarioperioden 2068-2097 baserat på 9 klimatscenarier. Antalet dagar avser den längsta högriskperiod som förekommit under något av de 30 åren i perioden.

## 7 Jämförelse mellan resultaten för HBV- och FWI-modellen

Bearbetningen av resultaten från brandriskberäkningarna har inte utförts på exakt samma sätt för de två brandriskmodellerna. Dels beror skillnaderna på att arbetet bedrivits inom två separata projekt under studiens första etapper och dels har de två modellerna olika egenskaper och utnyttjar olika datakällor.

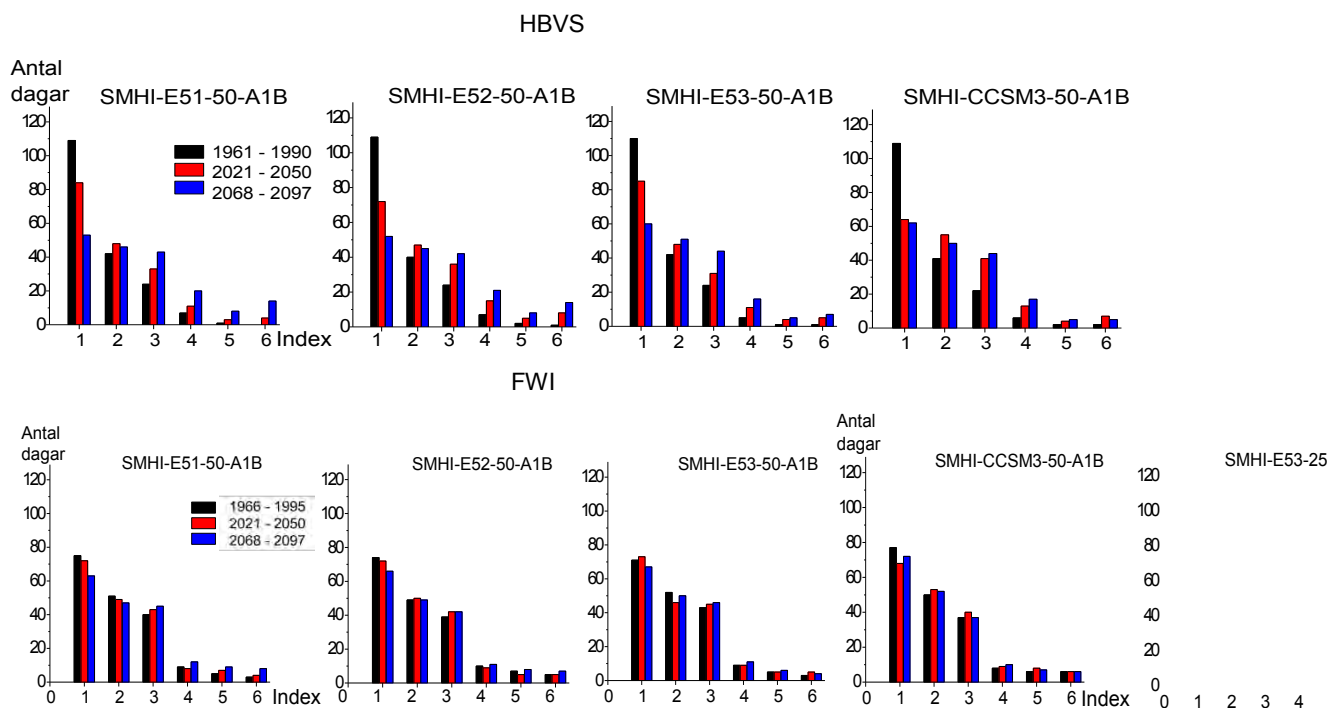
Beräkningarna med HBV-modellen har baserats på rikstäckande data i rutnät och har kunnat utnyttja den meteorologiska standardperioden 1961-1990 som referens i dagens klimat. Beräkningarna med FWI-modellen har istället baserats på stationsdata och har använt 1966-1995 som referensperiod. Vid alla stationer har dock inte data för hela 30-årsperioden funnits tillgängliga. Därför har grupper av stationer istället utnyttjat 20-årsperioderna 1965-1984, 1969-1989 eller 1974-1994. Därmed kan skaleringsberäkningarna vid olika stationer i samma region baseras på något olika dataunderlag, vilket försvårar tolkningen av beräkningsresultaten. Detaljer i kartredovisningarna för FWI-modellen kan därför inte uttydas för enskilda stationer utan resultaten ska tolkas översiktligt för att ge en allmän bild av nivåer och geografiska skillnader.

Modellerna skiljer sig också åt när det gäller indatakrav. Båda modellerna utnyttjar nederbörd och temperatur, men FWI-modellen kräver dessutom luftfuktighet och vindhastighet som indata. Dessutom kräver FWI-modellen data gällande mitt på dagen. Dessa olika indatakrav har medfört att alla scenarier inte kan utnyttjas för beräkningar med båda modellerna. Endast 4 klimatscenarier är gemensamma för beräkningarna med HBV- och FWI-modellen.

På grund av att det har varit nödvändigt att utveckla nya metoder för anpassning av luftfuktighet och vindhastighet i klimatmodelldata, har fler analyser av skaleringsmetoderna utförts i FWI-delen av projektet än i HBV-delen. Därför redovisas för FWI-delen fler bearbetningar där skaleringsmetoden utvärderas genom att klimatmodelldata på olika sätt jämförs med observationer.

Resultaten av utvärderingen av skaleringsmetoderna visar att nivåer och variationsmönster i klimatmodelldata överensstämmer betydligt bättre med observationer efter skaleringen. Förbättringen av beräknade brandriskvärden är stor både för HBV- och FWI-modellen, men för FWI-modellen kvarstår, även efter skaleringen, en viss generell underskattning av brandriskvärdena när beräkningarna baseras på klimatmodelldata. Resultaten gör tydligt att skalering av FWI-modellens fyra variabler och sambanden dem emellan, är betydligt mer komplicerad än hanteringen av de två variabler som HBV-modellen använder. Eftersom skillnaden mellan brandriskvärden som baserats på observationer och klimatmodelldata gällande dagens klimat är större för FWI-modellen än för HBV-modellen, kan beräkningarna även gällande scenarioperioderna anses vara mer osäkra för FWI-modellen än för HBV-modellen.

Figur 7.1 visar beräknad förändring av HBVS- och FWI-index från referensperioden i dagens klimat till de två scenarioperioderna 2021-2050 och 2068-2097. Beräkningarna är baserade på de 4 klimatscenarier som är gemensamma för de två brandriskmodellerna och avser teststationen Gustavsfors eller närmaste beräkningspunkt. Graferna visar en tydligare förskjutning mot högre index under scenarioperioderna för HBV jämfört med FWI. HBVS-index visar också en mer stabil och kontinuerlig förändring från referensperioden mot den första och andra scenarioperioden. Också för övriga testpunkter visar HBVS-index en förskjutning mot högre index, medan motsvarande förändring av FWI-index endast syns vid den sydligaste teststationen. Vid de nordligare teststationerna syns för FWI-index ingen tydlig trend som är gemensam i scenarierna. Några scenarier visar där istället en förskjutning mot lägre index.

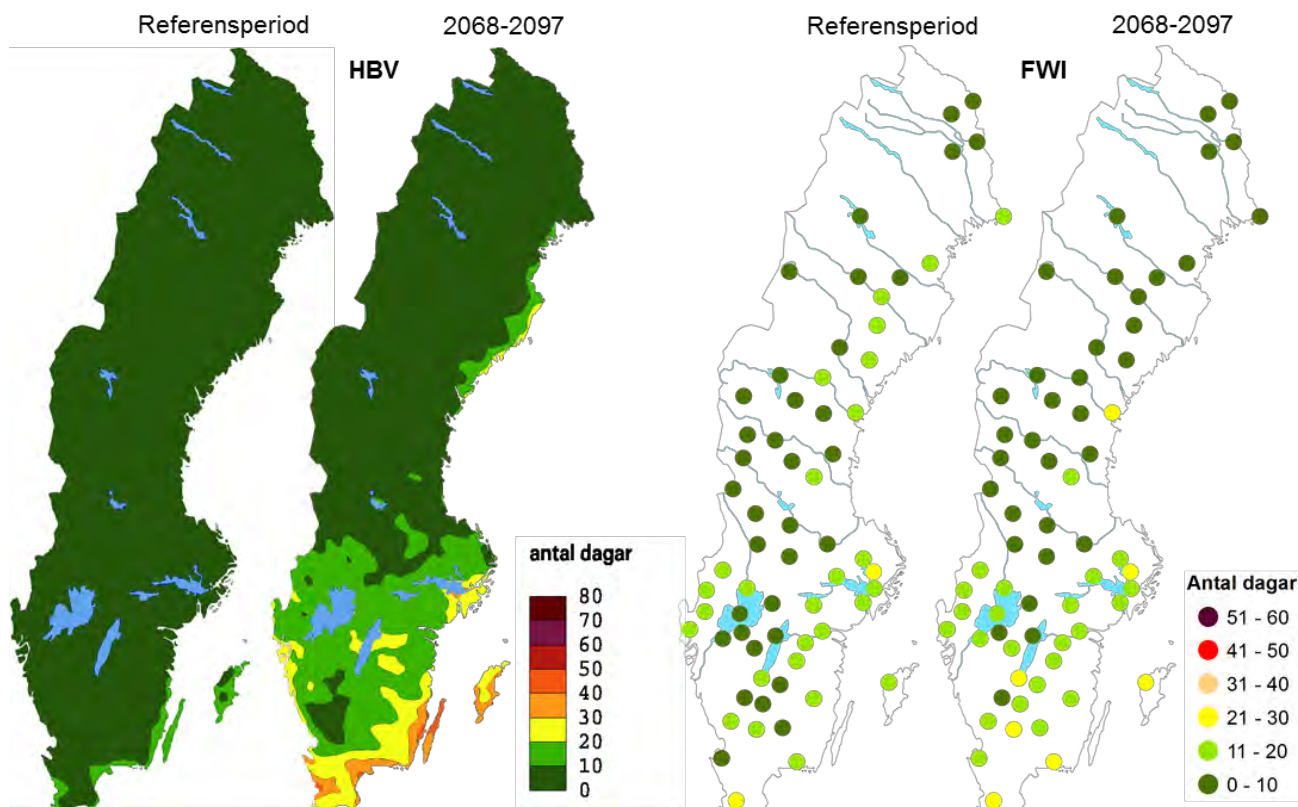


Figur 7.1. HBVS-index (överst) och FWI-index (underst) för teststation Gustavsfors gällande dagens klimat (svart stapel), 2021-2050 (röd stapel) och 2068-2097 (blå stapel) baserat på 4 klimatscenarier. Indexfrekvensen anges som det genomsnittliga antalet dagar under månaderna april-september.

Figur 7.2 visar en jämförelse mellan resultaten för de två brandriskmodellerna när det gäller förändringen av det genomsnittliga antalet dagar med index 5 eller 6. I figuren visas resultat för scenarioperioden 2068-2097 för ett av klimatscenerierna (SMHI-E53-50-A1B). Kartorna visar att under referensperioden inträffar höga FWI-index något oftare än HBVS-index i stora delar av landet, vilket även överensstämmer med motsvarande index baserat på övriga klimatmodeller och observationsdata. Förändringen från referensperiod till scenarioperiod är större för HBVS-index i framför allt södra Götaland. En liknande ökning av HBVS-index finns även i övriga scenarier. I de tre övriga scenarier som är gemensamma för modellerna, visar även FWI-index en ökning i södra Sverige. För norra Sverige visar några scenarier en tendens till minskande antal dagar med höga FWI-index.

I avsnitt 5.3.3. och 6.3.3 redovisas analyser av sammanhängande högriskperioder för båda brandriskmodellerna. För HBV-modellen visar förändringen till scenarioperioden i stort sett samma mönster som det genomsnittliga antalet dagar med höga index. När det gäller FWI-modellen, så är resultaten mer svårtolkade eftersom resultaten varierar mycket mellan stationer i samma region och mellan scenarioperioderna. Till scenarioperioden 2068-2097 syns dock även för FWI-index en generell ökning av högriskperiodernas längd i södra Sverige.

Jämförelser mellan de två modellerna när det gäller längden på sammanhängande högriskperioder är särskilt svår eftersom resultaten är svårtolkade och eventuellt missvisande för FWI-index. Detta beror på att bestämningen av sammanhängande högriskperioder först definierades för HBV-modellens torrperioder. Därefter beslutades, som en första ansats, att samma definition även skulle tillämpas för FWI-modellen. De två modellerna har emellertid mycket olika variationsmönster över tiden. FWI-modellen kan variera mycket snabbare från låga till höga brandrisknivåer än HBV-modellen. I definitionen av sammanhängande högriskperiod anges exempelvis att index tillfälligt under två dagar får gå ner till 1-3 utan att högriskperioden avbryts. Tillämpningen av samma definition på båda modellernas index behöver därmed inte betyda att resultaten är helt jämförbara och effekten på FWI-beräkningarna skulle behöva studeras mer detaljerat.



Figur 7.2. Genomsnittligt antal dagar med HBVS-index (till vänster) och FWI-index (till höger) under referensperioden i dagens klimat respektive under scenarioperioden 2068-2097. Antalet dagar avser periodens medelvärde för månaderna april-september baserat på klimatscenario SMHI-E53-50-A1B

## 8 Diskussion och slutsatser

En stor del av arbetet inom denna studie har ägnats åt att utveckla och verifiera metoder som gör det möjligt att utnyttja utdata från klimatmodeller för att driva beräkningar med brandriskmodeller. I de första två avsnitten i redovisningen av beräkningsresultaten för respektive brandriskmodell beskrivs genom olika typer av bearbetningar hur väl skaleringsmetoderna lyckas anpassa klimatmodelldata till nivåer och variabilitet i meteorologiska observationer under en referensperiod i dagens klimat. Anpassningen av klimatmodelldata är en av de grundläggande förutsättningarna för att kunna genomföra den här typen av scenarioräkningarna för framtida klimat.

Resultaten av utvärderingen av skaleringsmetoderna visar att den använda DBS-metoden avsevärt förbättrar överensstämmelsen mellan observationer och klimatmodelldata för alla de meteorologiska variabler som brandriskmodellerna utnyttjar. Resultaten visar också att nivåer och variationsmönster i beräknade brandriskvärden förbättras betydligt när skalerade data utnyttjas. För FWI-modellen kvarstår dock, även efter skaleringen, en viss generell underskattning av brandriskvärdena när beräkningarna baseras på klimatmodelldata. Detta indikerar att skaleringsmetoderna inte fullt ut förmår hantera samverkan mellan FWI-modellens fyra indatavariabler i modellberäkningarna. Resultaten när det gäller förändringar under framtida scenarioperioder kan i det hänseendet därmed betraktas som mer osäkra för FWI-modellen än för HBV-modellen.

Allmänt gäller att när effekten av en framtida förändring av klimatet studeras, finns stora osäkerheter. Resultaten bygger på en kedja av beräkningssteg som vart och ett innebär olika antaganden och förenklingar av komplicerade processer. Osäkerhetsfaktorer införs redan vid

antagandena om utsläppsscenarier och i beräkningarna med de globala och regionala klimatmodellerna. Osäkerheterna i klimatscenierna har i den här studien belysts genom att flera olika scenarier utnyttjats som bygger på både olika utsläppsscenarier och olika globala och regionala klimatmodeller.

Genom att två olika brandriskmodeller har utnyttjats i studien, har spridningen i resultaten till viss del speglat osäkerheter som beror av begränsningar i brandriskmodellernas struktur och uppbyggnad. Gemensamt för beräkningarna med båda brandriskmodellerna i den här studien är dock att brandriskvärdena avser generell brandrisk i skogsmark och inte tar hänsyn till skogsmarkens verkliga utbredning, varken i dagens förhållanden eller i framtida klimat. I studien har heller ingen hänsyn tagits till eventuella framtida förändringar av skog och vegetation som exempelvis påverkar avdunstningsprocesserna. På grund av de många osäkerhetsfaktorerna i beräkningarna, är det viktigt att inte uttolka detaljer exempelvis i den geografiska utbredningen eller i detaljresultat för enskilda stationer. Resultaten bör användas för att beskriva övergripande förväntade förändringar av brandrisken i framtida klimat.

Den mest tydliga gemensamma signal som kan uttydas av resultaten när det gäller förändringar från referensperioden till scenarioperioderna är en ökning av brandrisknivåerna i framförallt de östra delarna av Götaland och södra Svealand. Tendensen till höjda brandrisknivåer i dessa områden finns i resultaten från både HBV- och FWI-modellen och i flera av de olika klimatscenierna. I resultaten för HBV-modellen syns även en viss ökning av brandrisknivåerna längs Norrlandskusten, medan resultaten för FWI-modellen är mer svårtolkade för Norrland. Vissa analyser och scenarier visar för FWI-modellen istället en minskning av brandrisknivåerna i norra Sverige. Liknande förändringar av brandriskvärdena kan iakttas både när genomsnittligt antal dagar med höga index studeras, liksom när sammanhängande högriskperioder studeras.

För HBV-modellen syns en kontinuerlig ökning av brandrisken från referensperioden mot scenarioperioderna 2021-2050 och 2068-2097, medan trenden inte är lika tydlig under den första scenarioperioden i resultaten för FWI-modellen.

Analysen av förändringar av säsongen för hög brandrisk har i den här studien inte varit tillräckligt detaljerad för att kunna dra generella slutsatser om förväntade förändringar i framtida klimat. Säsongsförändringen har i första hand studerats årtidsvis och som median- eller medelvärde för perioden. Resultaten för HBV-modellen antyder en förlängning av säsongen snarare under våren än under hösten, medan resultaten för FWI-modellen i vissa analyser visar en förlängning av säsongen under hösten eller ingen säsongsförändring alls.

Sammanfattningsvis visar resultaten på ett fortsatt behov av mer detaljerade bearbetningar och analyser av de beräknade dagliga brandriskvärdena som nu finns tillgängliga i databasen. Fortsatt bearbetning kan exempelvis närmare belysa förekomsten av extrema högriskperioder eller förändringar av brandrisksäsongen i framtida klimat.

## 9 Slutord

Denna studie har utförts av SMHI på uppdrag av MSB. Förutom författarna har även Jörgen Rosberg, Elin Sjökvist och Kristoffer Hallberg på SMHI deltagit i arbetet.

## 10 Referenser

- Andréasson, J., Bergström, S., Gardelin, M., German, J., Gustavsson, H., Hallberg, K. och Rosberg, J. (2011) *Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring – metodutveckling och scenarier*. Elforsk rapport 11:25
- Bergeron, Y. och Flannigan, M.D. (1995) *Predicting the effect of climate change on fire frequency in the southeastern Canadian boreal forest*. Water, Air and Soil Pollution 82, 437-444
- Bergström, S. (1995) *The HBV Model*. In: Singh, V.P. (ed.). Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources publications, Highlands Ranch, Colorado, pp. 443-476.
- Carvalho, A., Flannigan, M.D., Logan, K.A., Gowman, L.M., Miranda, A.I. och C. Borrego. (2009) *The impact of spatial resolution on area burned and fire occurrence projections in Portugal under climate change*. Climatic Change. 98:177-197.
- Flannigan, M.D. och Van Wagner, C.E. (1991) *Climate change and wildfire in Canada*. Canadian Journal of Forest Research, 21, 66-72
- Flannigan, M.D., Logan, K.A., Amiro, B.D., Skinner, W.R. och Stocks, B.J. (2005.) *Future area burned in Canada*. Climatic Change. 72:1-16.
- Gardelin, M. (2001) *Brandriskprognoser med hjälp av en skiktad markfuktighetsmodell - vidareutveckling av HBV-modellen*. FoU-rapport P21-389/01, Räddningsverket, Karlstad.
- Gardelin, M., Andréasson, J., Sahlberg, J. och Stensen, B. (2010a) *Klimatscenerier Brandrisk HBV - Delrapport Etapp 1*. Uppdragsrapport Miljö&Säkerhet 33-2010, SMHI, Maj 2010
- Gardelin, M., Andréasson, J., Olsson, J., Sahlberg, J., Stensen, B. och Yang, W. (2010b) *Klimatscenerier Brandrisk FWI - Delrapport Etapp 1*. Uppdragsrapport Miljö&Säkerhet 91-2010, SMHI, December 2010
- Johansson, B. (2000) *Areal Precipitation and Temperature in the Swedish Mountains. An evaluation from a hydrological perspective*. Nordic Hydrology, 31, 207-228.
- Johansson, B. och 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. och Chen, D. (2005) *Estimation of areal precipitation for runoff modelling using wind data: a case study in Sweden*. Climate Research 29, 53-61.
- Le Goff, H., Flannigan, M.D. och Bergeron, Y. (2009) *Potential changes in monthly fire risk in the eastern Canadian boreal forest under future climate change*. Canadian Journal of Forest Research. 39, 2369-2380
- Lindström, G., Johansson, B., Persson, M., Gardelin, M. and Bergström, S., 1997. *Development and test of the distributed HBV-96 model*. Journal of Hydrology 201, 272-288.
- Logan, K.A., Flannigan, M.D., Wotton, B.M. och Stocks, B.J. (2004) *Development of daily weather and fire danger scenarios using two General Circulation Models. I: Proceedings of the 22<sup>nd</sup> tall timber fire ecology conference: fire in temperate, boreal and montane ecosystems*. Eds. R.T. Engström W.J. de Groot, Tall Timbers Research Station, Tallahassee, USA. s.185-190
- Moriondo, M., Good, P., Durao, R., Bindi, M., Giannakopoulos, C. och Corte-Real, J. (2006) *Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area*. Climate Research Vol 31, 85-95
- SOU (2007). *Sverige inför klimatförändringarna - hot och möjligheter*. Slutbetänkande av Klimat- och sårbarhetsutredningen. SOU 2007:60, Stockholm.



- Spracklen, D.V., Micklet, L.J., Logan, J.A., Hudman, R.C., Yevich, R., Flannigan, M.D. och Westerling, A.L. (2009) *Impacts of climate change from 2000 to 2050 on wildfire activity and carbonaceous aerosol concentrations in western United States*. Journal of Geophysical Research, 114.
- Stocks, B.J., Lawson, B.D., Alexander, M.E., Van Wagner, C.E., McAlpine, R.S, Lynham, T.J. och Dubé, D.E. (1989) *The Canadian Forest Fire Danger Rating System: An Overview*. Forestry Chronicle 65:450-457
- van Wagner, C.E. (1987) *Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index system*. Forestry Technical Report 35, Canadian Forest Service, Ottawa, Canada
- Wotton, B.M., Nock, C.A. och Flannigan, M.D. (2010) *Forest fire occurrence and climate change in Canada*. International Journal of Wildland Fire, 19, 253-271
- Wotton, B.M., Martell, D.M. och Logan, K.A. (2003) *Climate change and people-caused forest fire occurrence in Ontario*. Climatic change 60, pp275-295.
- Yang, W., Andréasson, J., Graham, L.P., Olsson, J., Rosberg, J och 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.
- Yang, W., Gardelin, M., Olsson, J., Andréasson, J. and Stensen, B. (2012) *Adjustment of climate models outputs for impact study on wildfire risk in Sweden (under utarbetande för publicering i Nonlinear Processes in Geophysic)*

