Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

FORSKNING/STUDIE

Framtida brandrisk – förändringar i perioder av hög brandrisk enligt FWI-modellen

Framtida brandrisk – förändringar i perioder av hög brandrisk enligt FWI-modellen

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)
Enhet: Enheten för arbete med naturolyckor och klimatanpassning

Produktion: Advant
Text: Peter Berg, Denica Bozhinova, Johan Böhlin, David Gustafsson, Anna Jansson, Sara Schützer, Katharina Klehmet, Tomas Landelius, Semjon Schimanke, Wei Yang

Publikationsnummer: MSB2301 – mars 2024
ISBN: 978-91-7927-469-6

Förord

SMHI har på uppdrag av MSB utfört en studie av framtida förändringar i brandrisk i skog och mark enligt FWI modellen, med fokus på högriskperioder. Studien bygger på de senaste metoduppdateringarna och dataunderlag som tagits fram i samband med arbete med SMHIs klimatscenariotjänst och följer därmed state-of-the-art inom klimatanalyser.

Norrköping, 2023-12-14

Peter Berg

Chef för SMHIs hydrologiska forskningsenhet

Innehåll

1. Sammanfattning **5**
1.1 Summary in English 6

2. Bakgrund **7**

3. Syfte **8**

4. Metodik **9**
4.1 FWI skogsbrandriskmodell 9
4.2 Referensdata 11
4.3 Klimatscenarier 12
4.4 Biasjustering 14
4.5 Statistiska mått 15
4.5.1 Högriskperioder 15
4.5.2 Robusthet 15
4.6 Analysmetod 16

5. Resultat **17**
5.1 Säsongsförskjutning av högriskperioder 17
5.2 Högrisksäsongens längd 19
5.3 Förekomst av högriskperioder 20
5.4 Längsta period med högrisk 22
5.5 Maximala toppar i FWI-värden 24

6. Slutsatser **25**

7. Referenser **26**

Appendix **27**
Appendix1: Anpassning av FWI-indexvärden 27
Appendix2: Känslighetsstudie av övervintring 28
Appendix3: Snöinformation 30
Appendix4: Fördjupad kartinformation 32

1. Sammanfattning

Det sker en robust ökning av högriskperioder för skogsbränder i södra Sverige och Norrlands kustland från mitten av århundradet. Det visar nya resultat från en klimatstudie med FWI-modellen för brandrisk i skog och mark.

Förändringar i skogsbrandrisk under framtida klimatscenarier har studerats med hjälp av FWI-modellen (Fire Weather Index), med fokus på högriskperioder. Modellen används operationellt för prognoser av uttorkning av brännbart material och spridningsrisk, och används här för projektioner av framtida klimat. Vissa anpassningar är nödvändiga, till exempel att risknivåerna har anpassats för att vara statistiskt kompatibla med de som används i prognosverksamheten, det vill säga att till exempel nivån för ”hög” brandrisk är lika vanlig i den historiska perioden för klimatscenarierna som i den operationella prognosmodellen. Känslighetsstudier har utförts för att studera hur olika modelluppsättningar påverkar resultaten, till exempel vilket datum som sätts för modellens vintervila och hur information om snötäcke kan påverka resultaten.

Beräkningarna för framtida klimat presenteras för tre olika utsläppsscenarier för låga utsläpp (RCP2,6), medelhöga utsläpp (RCP4,5) och höga utsläpp (RCP8,5). Flertalet klimatmodeller har använts för att ta fram robusta beskrivningar av klimatförändringar och sätta dem i ett sammanhang av de osäkerheter som påverkar resultaten. Det utgör det hittills största underlaget för projektioner av framtida brandrisk för Sverige.

Perioder med hög brandrisk studeras genom olika klimatindikatorer som beskriver till exempel antalet högriskperioder och förändringar i extremt stor brandrisk, samt längd, start och slut av högrisksäsongen. För att påvisa hur säkra resultaten är används ett mått på hur väl de olika klimatmodellerna överensstämmer i huruvida det sker en ökning eller minskning. De presenterade resultaten visar på en tydlig ökning av högriskperioder framförallt i södra Sverige och längs Norrlandskusten, medan det är otydliga signaler för Norrlands inland även under höga utsläppsscenarier. Högriskperioder förekommer mer frekvent, under en längre säsong och är både längre och på en allmänt högre brandrisknivå. Samstämmigheten mellan klimatmodellerna blir tydlig först mot mitten av århundradet, framförallt i södra Sverige, för de flesta av klimatindikatorerna. De nya resultaten stämmer överlag väl med tidigare publikationer om klimatförändringar i Sveriges brandrisk.

1.1 Summary in English

Changes in forest fire danger under future climate scenarios have been studied using the Fire Weather Index (FWI) model, focusing on high-risk periods. The model is used operationally to forecast the drying of combustible materials and the risk for spreading of fires, and is employed here for projections of future climate. In this process, some necessary adjustments have been made to ensure that the fire danger levels are compatible with the operational forecast model. Further, sensitivity studies have been conducted to examine how different model configurations affect the results, such as setting the date for the model's winter rest and how information about snow cover can influence the results.

Calculations for future climate are presented for three different emission scenarios: low (RCP2.6), medium (RCP4.5), and high emissions (RCP8.5). Multiple climate models have been used to generate robust descriptions of climate change and contextualize them within the uncertainties affecting the results. It constitutes the largest dataset to date for projections of future fire danger in Sweden.

Periods of high fire danger are studied through various climate indicators, describing, e.g., the number of high-risk periods and changes in extremely high fire danger, as well as the length, start, and end of the high-risk season. To demonstrate the reliability of the results, a measure is used to assess how well the different climate models agree on whether there is an increase or decrease. The presented results indicate a clear increase in high-risk periods, especially in southern Sweden and along the Norrland coast, while there are non-robust changes for inland Norrland, even under high emission scenarios. High-risk periods occur more frequently, during a longer season, and are both longer and at a generally higher level of fire danger. Consistency between climate models becomes evident towards the middle of the century, especially in southern Sweden, for most of the climate indicators. The new results generally align well with previous publications on climate change in Sweden's fire risk.

2. Bakgrund

Ett varmare klimat leder till en snabbare uttorkning av marker under torra perioder, vilket väntas öka brandrisken i skog och mark. Samtidigt sker en generell ökning av nederbörd över hela året, vilket ger en motverkande effekt och balansen mellan de två processerna kan ge skilda resultat i olika delar av Sverige. Dessutom finns det tecken på att torra perioder kan öka i längd och frekvens, trots ökningen i medelnederbörd.

SMHI har i flera uppdrag (se Sjökvist m.fl., 2016 och referenser däri) från MSB utvecklat metodik för att beräkna framtida brandrisk med hjälp av FWI-modellen och kan med stöd av parallell utveckling av metoder och dataset genom SMHIs Klimatscenariotjänst nu presentera nya scenarier för utvecklingen av brandrisken fram till år 2100.

3. Syfte

Syftet med uppdraget var att ta fram en uppdaterad metodik som tar hänsyn till de huvudsakliga processerna som påverkar den framtida brandrisken, samt att rapportera om klimatpåverkan på högriskperioder fram till år 2100. Den här rapporten presenterar det uppdaterade beslutsunderlaget för framtida förändringar i brandrisk under de så kallade RCP-scenarierna (Representative Concentration Pathways) av utsläpp av växthusgaser. Metodiken dokumenteras och förbereds även för att senare kunna uppdatera informationen med de nya utsläppsscenarierna (SSP – Shared Socioeconomic Pathways) som används i IPCCs senaste rapportserie (IPCC, 2021) när tillräckligt stort dataunderlag med regionala klimatprojektioner finns för de scenarierna.

4. Metodik

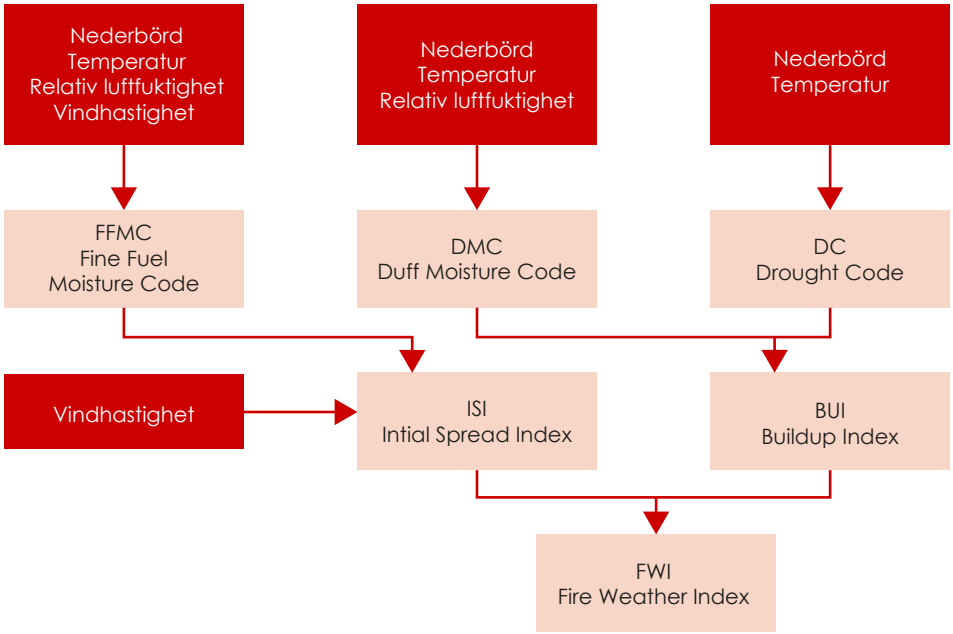
4.1 FWI skogsbrandriskmodell

Brandriskmodellen Fire Weather Index (FWI, van Wagner, 1987) används för operationella prognoser för att hjälpa samhällets olika aktörer (kommunala räddningstjänster, statliga myndigheter, skogsnäringen m.fl.) att förebygga och hantera skogsbränder. Modellen är ursprungligen en del av det kanadensiska systemet The Canadian Forest Fire Danger Rating System (Stocks m.fl., 1989). FWI-modellen utvecklades ursprungligen för en standardiserad skogstyp i Kanada, men används nu i flera länder i Nord- och Sydamerika, Europa och exempelvis i Nya Zeeland och Indonesien.

Brandriskbedömningen i FWI-modellen bygger på beräkning av fukthalter i olika skikt i skogsmarken (se Figur 1). FFMC (Fine Fuel Moisture Code) är det ytligaste skiktet och representerar fuktigheten i övre delen av förna eller mossa, i ett cirka 1 cm tjockt skikt vid mark/ytan. Den maximala vattenmagasineringen i detta skikt är mindre än 1 mm och fukthalten i skiktet kan variera snabbt beroende på luftfuktigheten. DMC (Duff Moisture Code) representerar fuktigheten i en något djupare del av det ytliga markskiktet, bestående av mossa, förna eller övre delen av humuslagret. 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 organiska markskikt såsom torv- och 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 1. Schema över FWI-modellens beräkningsrutiner och ingående parametrar.



Brandriskvärdet (FWI) beräknas med utgångspunkt i två mellanindex som beskriver uttorkningen av bränsle tillgängligt vid en skogsbrand (BUI – Build-up Index) och spridningsrisken (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 1 visar de gränsvärden för FWI-index som tillämpas operationellt i Sverige och i de modifierade värden som används i den här presenterade klimatstudien. Appendix1 beskriver metodik och resultat för hur värdena anpassats.

Tabell 1. FWI-värden för de olika brandriskindexen i den operationella modellen (till vänster) och de värden som används i klimatstudien (mitten).

FWI-värden (operationellt)	FWI-värden (klimatstudie)	Brandriskindex
28 ≤ FWI	26,5 ≤ FWI	6 (5E) – Extremt stor brandrisk
22 ≤ FWI < 28	19,5 ≤ FWI < 26,5	5 – Mycket stor brandrisk
17 ≤ FWI < 22	14,5 ≤ FWI < 19,5	4 – Stor brandrisk
11 ≤ FWI < 17	9 ≤ FWI < 14,5	3 – Måttlig brandrisk
5 ≤ FWI < 11	3,8 ≤ FWI < 9	2 – Liten brandrisk
FWI < 5	FWI < 3,8	1 – Mycket liten brandrisk

FWI-modellen drivs med meteorologiska data för dygnsnederbörd, samt temperatur, luftfuktighet och vindhastighet mitt på dagen (klockan 12 UTC). Den operationella modellen startas upp på våren, tidigast den 1:a februari eller att det varit snöfritt med temperatur över 8°C under tre dagar i rad. Modellen stängs ner den 1:a november. Startvärden för de olika markskikten sätts med utgångspunkt från värdena vid höstens nedstängning, samt den nederbörd som fallit under vinterperioden enligt Lawson and Armitage (2008). Med ökande temperaturer i Sverige finns det risk att de datumen är för snävt satta och kan komma att påverka resultaten för högrisksäsongens start, slut och längd. En känslighetsstudie (se Appendix2: Känslighetsstudie av övervintring) utfördes med fokus på högriskperioder och visar på låg känslighet för hur datum för uppstart och nedstängning av säsongen sätts. En kontinuerlig simulering utan nedstängning av modellen under vintern visade på liknande beteende, men på grund av den korta perioden som studierna utförts på kunde inte eventuell drift i resultaten avfärdas. En modell för beräkning av snötäcke togs fram (se Appendix3: Snöinformation), men känslighetsstudier visar på en mycket ringa påverkan av snötäcke för högriskperioderna (Appendix2: Känslighetsstudie av övervintring). Därför beslutades att tidigaste uppstartsdatum sätts till den 10:e januari och senaste nedstängningsdatum till den 26:e december, samt att ingen snöinformation används i klimatscenarierna.

4.2 Referensdata

Klimatuppsättningen av FWI-modellen har gjorts med en regional produkt som sätter samman observationer och modelldata till en bästa uppskattning av historiskt väder och klimat, en så kallad återanalys. Datasettet benämns CERRA (Copernicus regional reanalysis for Europe; Schimanke m.fl., 2021) och är en liknande, men klimatsäkrad, produkt som den operationella MESAN-analysen som används för den operationella FWI-modellen på SMHI. CERRA ger input för alla variabler som FWI behöver och för en tillräckligt lång period för att användas som referensdata för biasjustering av klimatmodellerna.

Utvärderingen av CERRA-data som referens har utförts genom att jämföra med en tidigare framtagen återanalys av brandrisk med MESAN-data för perioden 1985–2018. I stora drag är resultaten kompatibla mellan datasetten, men större avvikelser syns för de högre brandriskindexen. Eftersom brandriskindexen sätts med tröskelvärden har de omvärderats för att ge samma frekvens inom vart och ett av brandriskindex större än 3 – Måttlig brandrisk, se även Appendix1: Anpassning av FWI-indexvärden.

4.3 Klimatscenarier

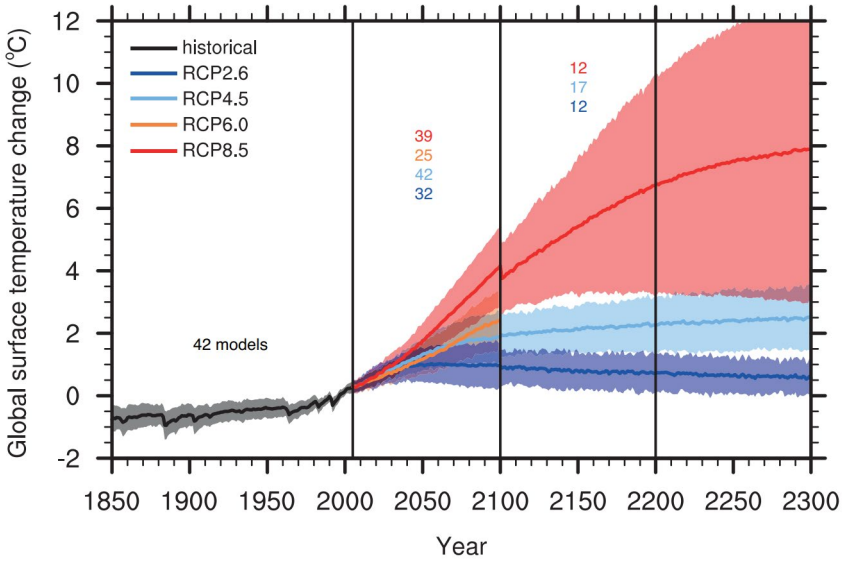
Utsläpp av växthusgaser har stor påverkan på klimatets framtida utveckling. Scenarier för olika utsläppsbanor har därför ställts upp i samband med arbetet med IPCCs rapportserier om klimatet. Här använder vi RCPer för att beskriva framtida utsläpp, där utsläppsscenarierna bygger på antaganden om den framtida utvecklingen av världens ekonomi, befolkningstillväxt, globalisering, omställning till miljövänlig teknik med mera. I samband med arbetet med IPCCs femte rapportserie om klimatet (Collins m.fl., 2013) utvecklades de så kallade RCP-scenarierna (Representative Concentration Pathways; van Vuuren et al., 2011) och här används RCP2,6, RCP4,5 och RCP8,5, vilka beskrivs i Tabell 2. Växthusgaserna förhindrar långvågig strålning att lämna jorden, vilket kan omskrivas som en strålningsdrivning, vilket är vad siffrorna i RCP-namnen anger. Det är värt att nämna att den senaste IPCC-rapporten (AR6; IPCC, 2021) använder nyare klimatmodeller med en något annan definition av utsläppsscenarierna, vilka visar på stor överensstämmelse med tidigare klimatmodeller. Det finns ännu inte så stort underlag i form av regionala högupplösta klimatmodellresultat, vilket föranleder att vi här använder RCP-scenarierna.

För att omsätta utsläppsbanorna i en respons av klimatet används olika globala klimatmodeller som beskriver hur atmosfären, oceanerna, kryosfären (snö och glaciärer samt havs- och landis) med mera svarar på växthusgasutsläppen. Figur 2 (från IPCC) visar hur den globala medeltemperaturen utvecklas under olika utsläppsscenarier under flera århundraden. Här ligger vårt fokus på det 21:a århundradet och vi noterar att de tre RCPerna skiljer sig markant vid år 2100, där RCP2,6 slutar strax under två graders ökning jämfört med förindustriell tid, medan RCP4,5 och RCP8,5 landar på respektive strax under tre graders och över fyra graders ökning. Notera att i början av århundradet ligger temperaturresponsen på utsläppsbanorna ganska nära varandra, men börjar avvika kraftigt mot mitten av århundradet. Osäkerhetsintervallen i figuren baseras på hur olika enskilda klimatmodeller (i det här fallet mellan 25 och 42 modeller beroende på utsläppsscenario) svarar på utsläppen av växthusgaser samt hur den naturliga variabiliteten ger en spridning av resultaten. Med en mindre modellensemble baserad på fem olika klimatmodeller, se Tabell 3, blir osäkerheterna större för den naturliga variabiliteten och skillnader mellan olika utsläppsscenarier och tidsperioder blir mindre tydlig. Till exempel ska man inte förvänta sig att kunna skilja på resultaten för olika utsläppsscenarier för den nära förestående perioden 2011–2041. Dessutom är det möjligt att ett högre utsläppsscenario kan ge en starkare klimatförändringssignal jämfört med ett lägre utsläppsscenario under mitten av århundradet som konsekvens av den naturliga variabiliteten.

Tabell 2. Kortfattad beskrivning av de olika utsläppsscenarierna som används för de framtida klimatprojektionerna.

Utsläppsscenario	Beskrivning
RCP2,6	Kraftfull klimatpolitik gör att växthusgasutsläppen kulminerar år 2020, strålningsdrivningen når 2,6 W/m² år 2100 (används i IPCC, AR5). Detta scenario är det som ligger närmast ambitionerna i Klimatavtalet från Paris.
RCP4,5	Strategier för reducerade växthusgasutsläpp medför att strålningsdrivningen stabiliseras vid 4,5 W/m² före år 2100 (används i IPCC, AR5).
RCP8,5	Ökande växthusgasutsläpp medför att strålningsdrivningen når 8,5 W/m² år 2100 (används i IPCC, AR5).

Figur 2. Tidsutvecklingen av den globala medeltemperaturen under olika utsläppsscenarier med modellensemblens medel och spridning (5 till 95 %) markerade. Diskontinuiteter vid år 2100 förklaras av att det är olika antal modeller för perioden före och efter det året.



Källa: Figur 12.5 från IPCC-AR5 WG1 (Collins m.fl., 2013).

De globala klimatmodellerna har en relativt grov rumslig upplösning på flera hundra kilometer. Därför används regionala klimatmodeller för att nedskalera klimatprojektionerna till en högre lokal upplösning, här på ca 12,5 km, och beskriver därmed lokala processer och påverkan av bergskedjor och hav-land-kontraster bättre.

Eftersom FWI-modellen kräver flera meteorologiska parametrar som inte är standardutdata från modellerna är vi begränsade till att använda de regionala klimatmodeller som uppfyller kraven. En största ensemble om 11 modeller med olika globala och regionala modeller har identifierats för att inkluderas i studien. Modellerna i ensemblen listas i Tabell 3.

Tabell 3. Klimatmodeller som använts i studien. Experimentkoden, så kallad RIP (Realization, Initialisation, Physics), är tillsammans med versionskoden en unik kombination för att identifiera en specifik produktionskörning av klimatmodellen.

Global klimatmodell	Regional klimatmodell	Experimentkod
CNRM-CM5	ALADIN63	r1i1p1 v2
CNRM-CM5	RACMO22E	r1i1p1 v2
HadGEM2-ES	HIRHAM5	r1i1p1 v2
HadGEM2-ES	RACMO22E	r1i1p1 v2
HadGEM2-ES	RCA4	r1i1p1 v1
NorESM1-M	REMO2015	r1i1p1 v1
NorESM1-M	RCA4	r1i1p1 v1
MPI-ESM-LR	RCA4	r1i1p1 v1a
EC-EARTH	HIRHAM5	r3i1p1 v2
EC-EARTH	RACMO22E	r12i1p1 v1
EC-EARTH	RCA4	r12i1p1 v1

4.4 Biasjustering

Jordens klimat är komplext, med många processer med inbördes beroenden som ibland endast är delvis kända. Den inneboende osäkerheten gör att en klimatmodell oundvikligen ger mer eller mindre stora systematiska avvikelser från det observerade klimatet. Avvikelserna kan skilja mellan olika regioner och säsonger. Ofta utgör avvikelserna, eller bias, inget problem för att studera klimatförändringar, men vid effektmodellering med en modell, som till exempel FWI, påverkas modellen negativt av bias eftersom modellen är kalibrerad för ett visst klimat. Därför används biasjustering, en statistisk metod för att bearbeta och minimera bias, innan effektmodelleringen.

Här används metoden MIdAS (Berg m.fl., 2022), som utvecklats i samband med SMHI klimatscenariotjänst och som presterar väl i jämförelse med andra state-of-the-art biasjusteringsmetoder, med vissa fördelar och anpassningar till just det svenska klimatet och parametrar av intresse här. MIdAS-algoritmen kalibreras för varje enskild klimatmodell för den historiska perioden (1985–2014) och mappar alla modellens värden så att de statistiskt överensstämmer med referensdatat (observationerna). Biasjusteringarna anpassar allt från låga värden, medelvärden och höga värden. Den kalibrerade algoritmen appliceras sedan för att omsätta historiska och framtida scenarier som sedan är väl lämpade för effektmodellering.

4.5 Statistiska mått

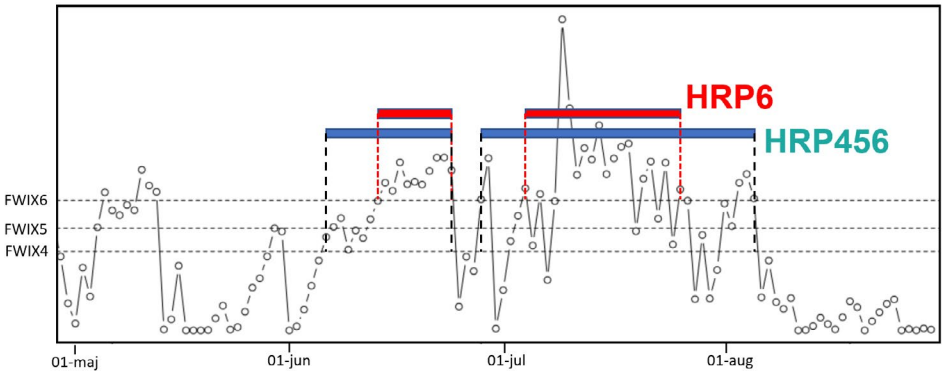
4.5.1 Högriskperioder

Definitionen av högriskperioder följer den definition som getts i Sjökvist m.fl. (2016). Två olika grader av högriskperiod (HRP) har använts:

- **HRP456** – en period med FWI-värden över FWIX4 under minst 10 dagar, eller FWIX5 under minst 5 dagar, eller FWIX6 under minst 4 dagar. Om det är överlapp mellan högriskperioder enligt de olika brandrisknivåerna används endast den längsta av perioderna. Tillfälliga perioder om max två dagar med lägre FWI-värden tillåts utan att brandriskperioden avbryts. Det finns ingen begränsning på hur många sådana perioder som kan inkluderas.
- **HRP6** – en period med FWI-värden FWIX6 under minst 4 dagar. Om det är överlapp mellan högriskperioder enligt de olika brandrisknivåerna används endast den längsta av perioderna. Tillfälliga perioder om max två dagar med lägre FWI-värden tillåts utan att brandriskperioden avbryts. Det finns ingen begränsning på hur många sådana perioder som kan inkluderas.

Figur 3 visar exempel på hur vardera högriskperioden definieras för en enskild sommar med exempel på flera HRP av både typ HRP456 och HRP6, inklusive accepterade avbrott under perioderna.

Figur 3. Diagram för hur högriskperioder (HRP) definieras enligt de två kriterierna från en modellsimulering av FWI-värden för en sommar med två HRP från vardera definitionen. Högriskperioderna markeras med tjocka färgade horisontella linjer.



4.5.2 Robusthet

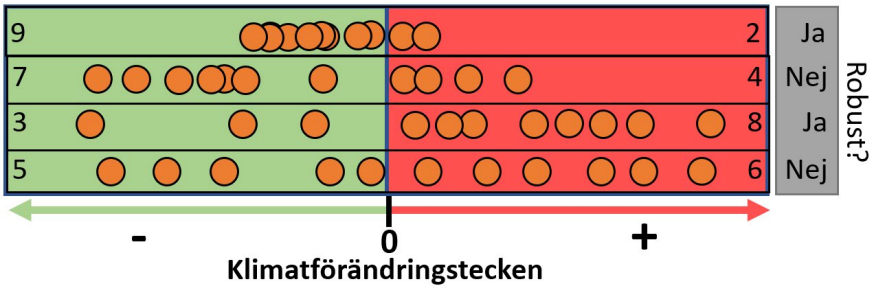
Robusthet betyder här hur säker eller osäker klimatförändringssignalen är. Eftersom resultaten baseras på flera olika simuleringar med klimatmodeller går det att göra statistiska analyser av hur robusta (det vill säga tillförlitliga) resultaten är.

Andelen modeller som ger ökning är ett mått på hur stor del av ensemblen som är överens om en förändring visar ökning eller minskning. Ju större andel av modellerna i ensemblen som pekar åt samma håll, desto mer robust resultat.

Om exempelvis samtliga modeller visar att temperaturen ökar är det ett robust resultat. Det är också ett robust resultat om inga modeller visar en ökning, det vill säga att de visar på en minskning. Om modellerna däremot fördelar sig förhållandevis jämnt mellan ökning och minskning är resultatet inte robust.

I rapporten används kriteriet att samstämmighet för minst 75 % av modellerna i tecknet på en förändring för att förändringen ska anses som robust. Ett par exempel ges i Figur 4. Om en förändring inte uppfyller det här villkoret kommer resultatet lokalt att gråmarkeras i kartorna i själva rapporten. Kartor utan markeringar visas i Appendix4: Fördjupad kartinformation.

Figur 4. Exempel på hur robustheten i klimatförändringens signal, det vill säga ökning eller minskning i den aktuella indikatorn, beräknas. De enskilda modellerna anges som elva punkter för deras tecken och storlek på den framtida förändringen och fyra exempel ges. Det dominerande tecknet behöver uppträda hos minst åtta av de elva modellerna för att resultatet ska anses robust.



4.6 Analysmetod

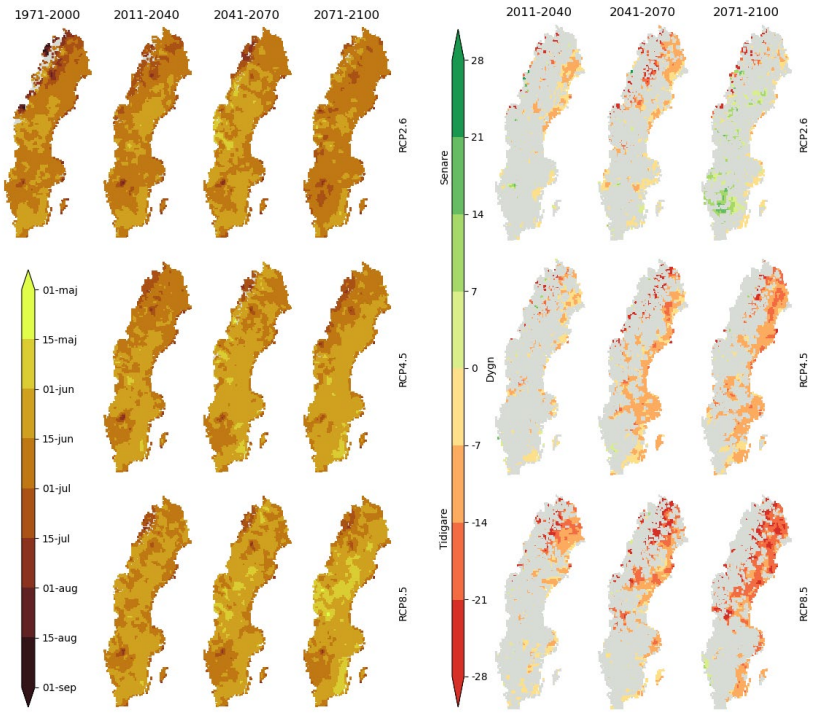
För att analysera förändringar jämförs två perioder, där den ena är det framtida klimatet under olika utsläppsscenarier och en av perioderna 2011–2040, 2041–2070, 2071–2100 mot den historiska perioden 1971–2000. Huvudresultaten presenterar medianvärdet av resultaten från alla klimatmodeller, vilket ger den mest robusta framtida utvecklingen.

5. Resultat

5.1 Säsongsförskjutning av högriskperioder

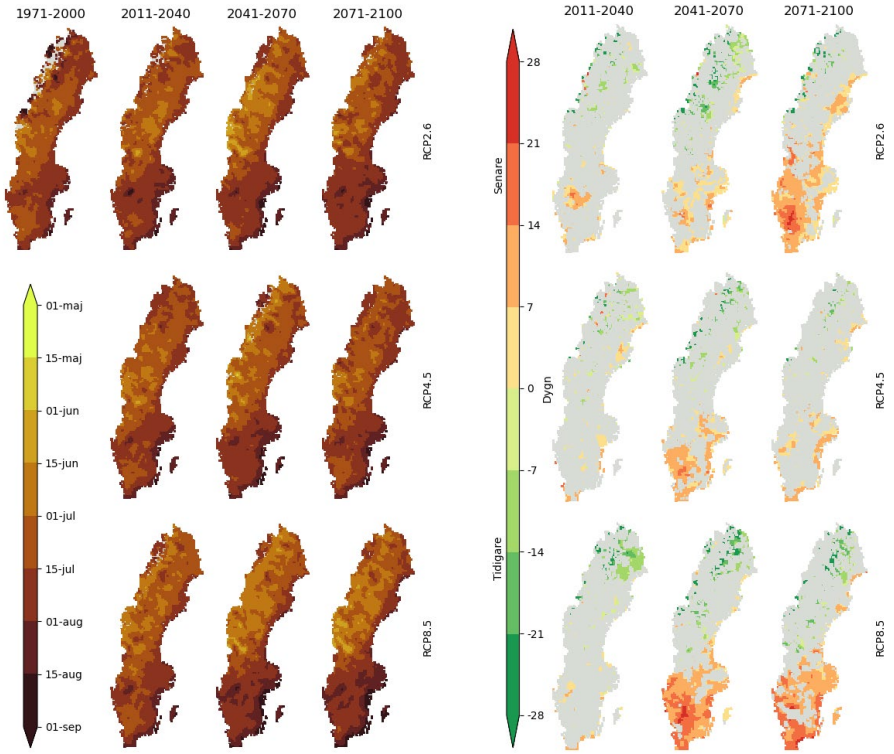
Högrisksäsongens start definieras som första dagen i den första högriskperioden varje år och slutet definieras som den sista dagen i den sista högriskperioden varje år. Kartorna i Figur 5 visar medelvärdet för alla trettio åren. Högrisksäsongen startar under referensperioden (1971–2000) vanligen i slutet av maj eller början av juni i söder och flera veckor senare i norra Sverige. Framtida projektioner visar endast svaga tecken på en generellt tidigare start av högrisksäsongen, men den är robust endast längs östkusten och mest i Norrland under höga utsläpp. Avsaknaden av en mer tydlig signal av tidigare start på högrisksäsongen, som en konsekvens av högre temperaturer, är sannolikt relaterat till en ökning mot generellt blötare förhållanden under hela året i norr. Detta är i stark kontrast till den tydliga förskjutningen av högrisksäsongen mot tidigare start i HBV-Skogsbrandanalyser (Sjökvist, m.fl., 2016), , vilket kan förklaras genom de stora skillnaderna i hur de två modellerna simulerar brandrisk, varav FWI är den mer beprövade modellen.

Figur 5. Medeltidpunkten för starten av högrisksäsongen enligt HRP456 (vänster) och framtida förändringen i antal dagar från det historiska värdet (höger). Varje panel visar medianvärdet för hela klimatmodellensemblen. Icke-robusta förändringar är maskerade med grå färg.



Högrisksäsongens slut sker i referensperioden vanligtvis under juli till augusti i söder och under juli i norr (Figur 6). I de södra delarna syns ett tydligt skifte mot senare avslut, speciellt mot slutet av århundradet och för det kraftigare utsläppsscenariot RCP8.5 med ett skifte på ett par veckor. Även det lägre utsläppsscenariet RCP2.6 visar på markant senare datum i södra Sverige, och det kan sannolikt förklaras genom hur den naturliga variabiliteten ger utslag i modellensemblen. I det här fallet stämmer FWI och HBV-skogsbrandscenarierna (Sjökvist m.fl., 2016) väl överens.

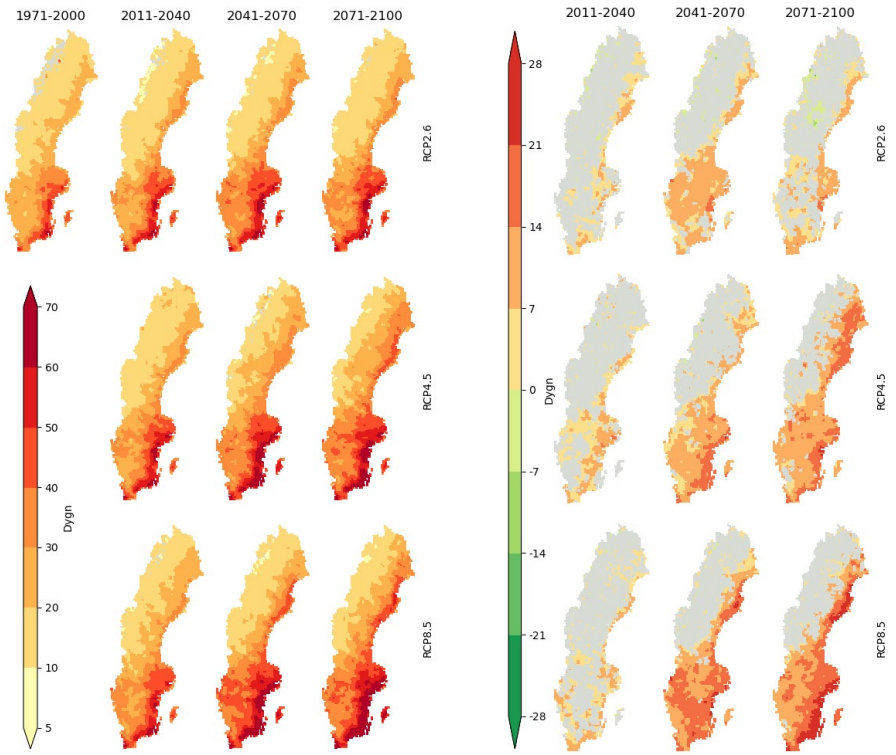
Figur 6. Medeltidpunkten för slutet av högrisksäsongen enligt HRP456 (vänster) och framtida förändringen i antal dagar från det historiska värdet (höger). Varje panel visar medianvärdet för hela klimatmodellensemblen. Icke-robusta förändringar är maskerade med grå färg.



5.2 Högrisksäsongens längd

Högrisksäsongen för referensperioden sträcker sig i medeltal från ungefär två veckor i nordost till närmare två månader i sydöst (Figur 7). Tillsammans ger förskjutningarna av högrisksäsongens start och slut en tydlig signal om en längre total högrisksäsong. Längden ökar med cirka en vecka redan för den första perioden 2011–2040 i kustlandskapen, för att mot mitten av århundradet öka med en till två veckor även längre in i landet, inklusive hela Götaland. En särskilt tydlig förlängning av säsongen syns längs östra kustlandet, med störst förändring i sydöst med närmare en månad längre säsong. Det finns tecken på en kortare säsong i Norrlands inland (Figur 16), men klimatförändrings-signalerna är inte robusta och syns därför knappt i Figur 7. Även de här resultaten stämmer väl med tidigare studier av Sjökvist m.fl. (2016), förutom att de här presenterade resultaten visar på svagare och icke-robusta förändringar i Norrlands inland.

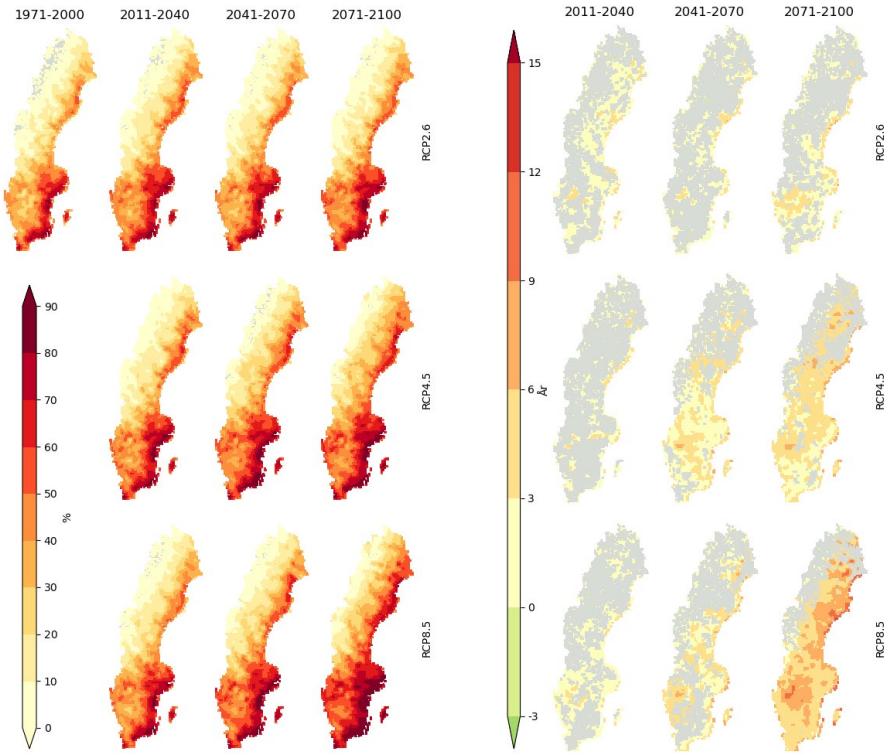
Figur 7. Medellängden av högrisksäsongen enligt HRP456 (vänster) och framtida förändringen i antal dagar från det historiska värdet (höger). Varje panel visar medianvärdet för hela klimatmodellensemblen. Icke-robusta förändringar är maskerade med grå färg.



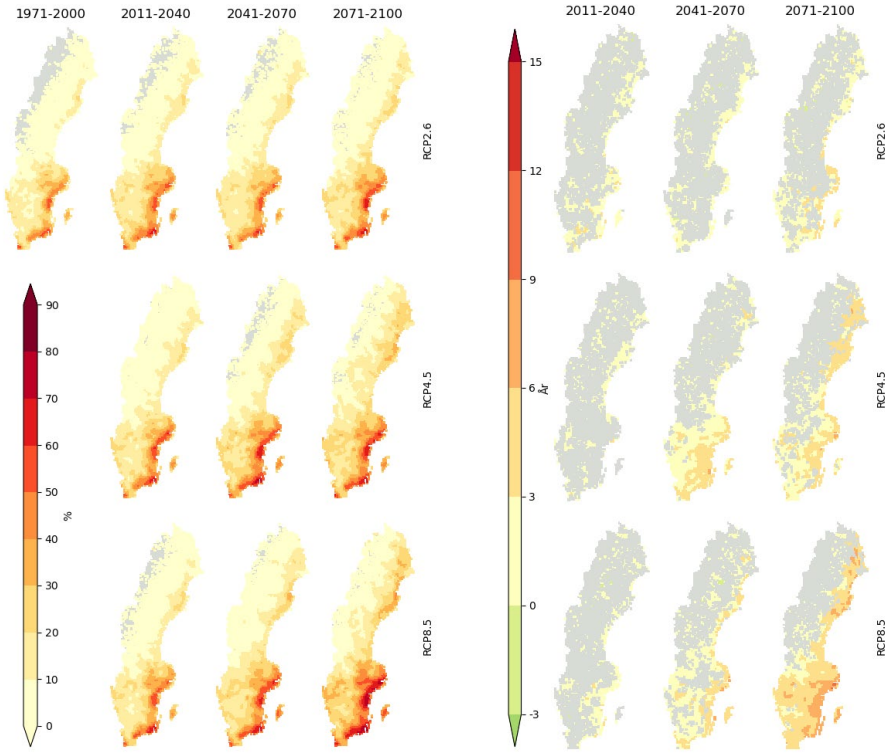
5.3 Förekomst av högriskperioder

Högriskperioder av HRP456 inträffar under referensperioden i minst vartannat år i de sydöstra landskapen, omkring vart tredje år i Götaland, Svealand och Norrlands kustlandskap, men mer sällan i Norrlands inland (Figur 8). HRP6 är mer ovanlig, och inträffar som mest vart annat år i den sydöstra kustremsan, men i övriga Sverige vart tredje år eller mer sällan (Figur 9). Förändringarna visar på liknande signaler för både HRP456 och HRP6, med en ökning på ungefär ett till ca sex år och starkast signal i kustlandskapen, Götaland och till viss del Svealand. Resultaten i Sjökvist m.fl. (2016) visar på större förändringar i Norrlands inland, men i övriga landet i stort samstämmiga med vad som presenteras här.

Figur 8. Frekvens av år då det förekommer minst en högriskperiod av HRP456 under de olika tidsperioderna (vänster) och framtida förändringen i antal år från det historiska värdet (höger). Varje panel visar medianvärdet för hela klimatmodellensemblen. Icke-robusta förändringar är maskerade med grå färg.



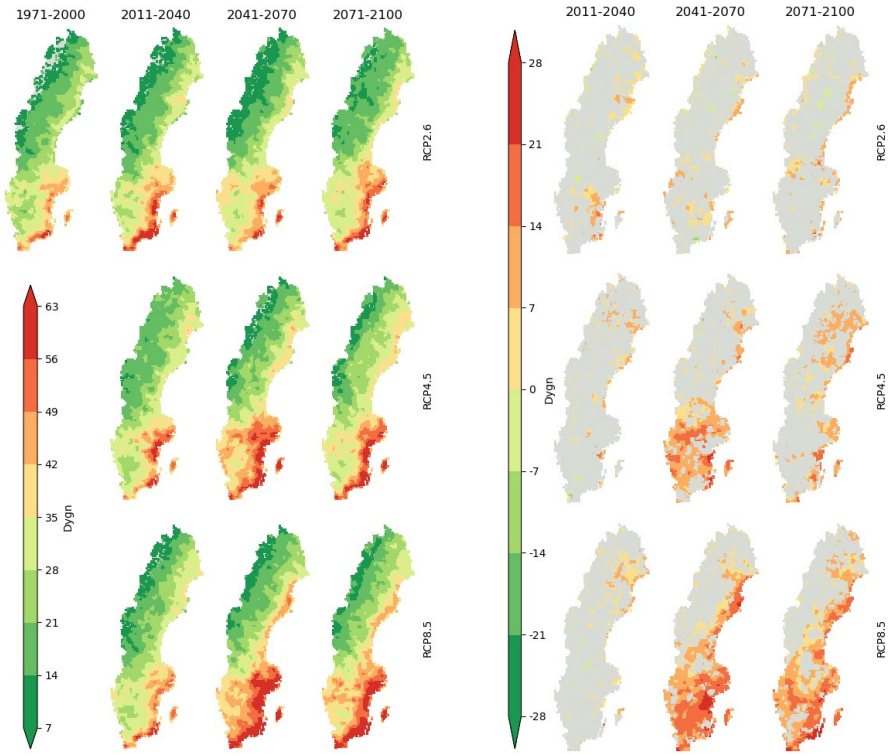
Figur 9. Frekvens av år då det förekommer minst en högriskperiod av HRP6 under de olika tidsperioderna (vänster) och framtida förändringen i antal år från det historiska värdet (höger). Varje panel visar medianvärdet för hela klimatmodellensemblen. Icke-robusta förändringar är maskerade med grå färg.



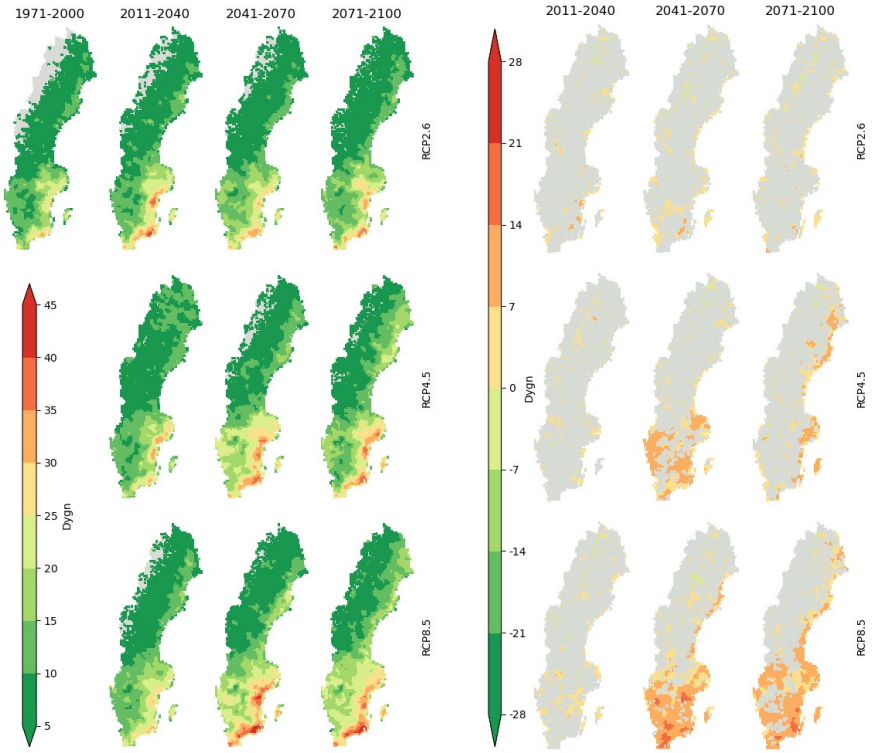
5.4 Längsta period med högrisk

Definitionen av längsta period med högrisk är maximalt antal sammanhängande dagar med högrisk för varje år. I referensperioden är HRP456 (Figur 10) som längst ungefär två månader i sydöst och endast någon vecka längst upp i nordväst, medan HRP6 (Figur 11) är någon månad i sydöst och en vecka i Norrlands inland. Klimatförändringen är liknande för båda typerna av högriskperioden, med endast ökningar i längden som uppvisar robusta signaler. HRP456-perioden ökar något i kustlandskapen, Götaland och södra Svealand från mitten av århundradet, förutom i det lägsta utsläppsscenariet, med ett par veckor upp till en månad. HRP6-perioden ökar med cirka en till två veckor enligt samma rumsliga mönster. Förändringarna i de här indexen är markant större än i den tidigare studien med HBV-Brandrisk (Sjökvist m.fl., 2016). Det är oklart varför studierna skiljer sig åt, men det är ett statistiskt mått med relativt stora osäkerheter i och med att det fokuserar på en enskild längsta högriskperiod för varje tidsperiod. Exakta definitionen av brandrisknivå och hur man avgränsar en enskild period kan ha stor påverkan.

Figur 10. Den längsta HRP456-perioden under de olika tidsperioderna (vänster) och framtida förändringen i antal dagar från det historiska värdet (höger). Varje panel visar medianvärdet för hela klimatmodellensemblen. Icke-robusta förändringar är maskerade med grå färg.



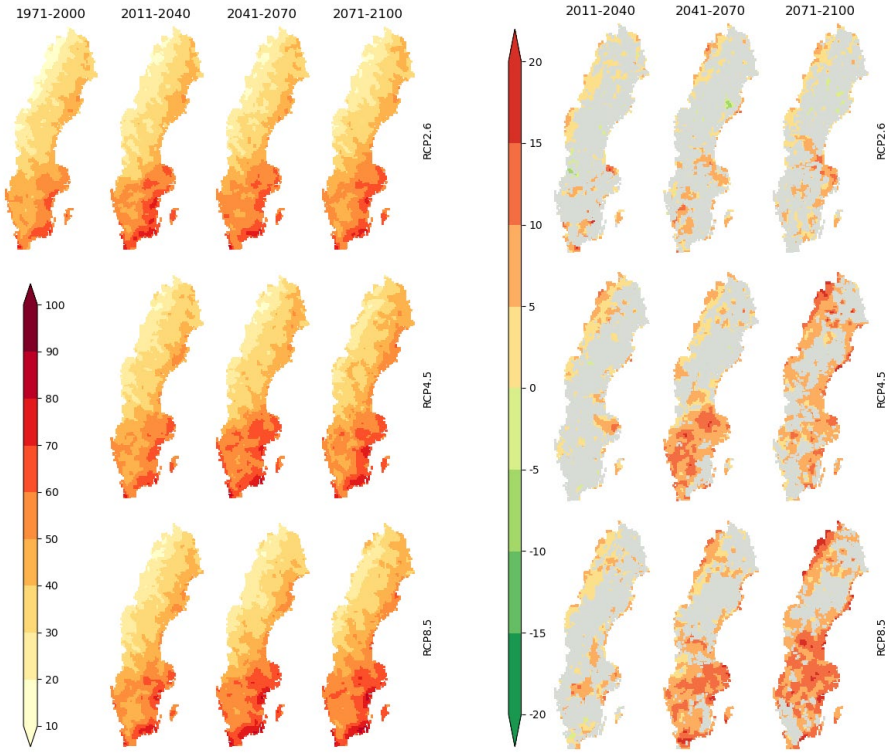
Figur 11. Den längsta HRP6-perioden under de olika tidsperioderna (vänster) och framtida förändringen i antal dagar från det historiska värdet (höger). Varje panel visar medianvärdet för hela klimatmodellensemblen. Icke-robusta förändringar är maskerade med grå färg.



5.5 Maximala toppar i FWI-värden

Brandrisken kan bli mycket hög under enskilda dagar då spridningsrisken ökar som konsekvens av kraftiga vindar tillsammans med hög temperatur, låg luftfuktighet och torra markskikt. Detta kan ske utanför högriskperioderna och därför studerar vi även förändringen i de absolut högsta simulerade FWI-värdena (maximala FWI-värdet under en 30-årsperiod). Figur 12 visar att referensperiodens maximala FWI-värden ligger kring 40 – 70 i Götaland och Norrlands kustremsa i median över modellensemblen. Norrlands inland har betydligt lägre värden. Klimatförändringssignalerna pekar mot en ökning av de högsta FWI-värdena främst från mitten av århundradet och i de två högre utsläppsscenarierna. Ökningen i FWI-värdet ligger på mellan 5 och 20, men eftersom det är ett extremvärde med ganska osäker statistik är det svårt att få fram mer rumsliga detaljer kring det, vilket syns i det skiftande resultatet mellan olika tidsperioder och utsläppsscenarier.

Figur 12. Det högsta FWI-värdet under de olika tidsperioderna (vänster) och framtida förändringen av det högsta FWI-värdet från det historiska värdet (höger). Varje panel visar medianvärdet för hela klimatmodellensemblen. Icke-robusta förändringar är maskerade med grå färg.



6. Slutsatser

I den här studien har den framtida utvecklingen av perioder med hög brandrisk studerats för olika utsläppsscenarier fram till år 2100. Den operationella brandriskmodellen FWI har anpassats till klimatmodellernas rumsliga upplösning och ligger till grund för att studera olika statistik för perioder med förhöjd brandrisk, så kallade högriskperioder. Studien behandlar antalet högriskperioder och förändringar i extremt stor brandrisk, samt längd, start och slut av högrisksäsongen

Studien visar följande huvudslutsatser:

- All studerade mått på brandrisk visar på tydliga tendenser till att högriskperioder förekommer mer frekvent, under en längre säsong och är både längre och på en allmänt högre nivå under de framtida klimatscenarierna. De fall som visar på minskad brandrisk i vissa områden visar sig inte vara robusta, det vill säga att osäkerheten i tecknet på klimatförändringen skiljer sig mellan de olika klimatmodellerna.
- Förändringarna i brandrisken skiljer sig mellan landsändarna, men är mer eller mindre konsistenta för de olika statistiska måtten som undersökts. De sydöstra landskapen visar på störst förändringar, men även Götaland, delar av Svealand och Norrlands kustland visar generellt på högre brandrisk i framtiden. Norrlands inland visar inte på några robusta förändringar.
- Förändringarna är generellt inom den naturliga variabiliteten, det vill säga inte tydligt urskiljbara från det historiska klimatet, under den första halvan av århundradet. Från mitten av århundradet blir förändringarna generellt mer robusta, med tydligast signaler för de högre utsläppsscenarierna och de södra landskapen. I slutet av århundradet uppvisar de olika utsläppsscenarierna stora skillnader i och med att brandrisken stabiliserar sig för scenarier med minskade utsläpp, medan det höga utsläppsscenariet (RCP8.5) fortsätter att ge ökande brandriskförhållanden.
- De högsta värdena av FWI uppstår vid höga temperaturer, låg relativ luftfuktighet och starka vindar, vilket kan ske även utanför de definierade högriskperioderna. Förändringar i de högsta FWI-värden följer samma rumsliga fördelning som beskrivits i punkten ovan, och ökar med upp till ca 20 punkter på FWI-skalan i median över modellensemblen i södra Sverige.

7. Referenser

Berg, P., Bosshard, T., Yang, W., & Zimmermann, K. 2022: MIdASv0. 2.1–MultI-scale bias AdjuStment. Geoscientific Model Development, 15(15), 6165-6180, doi: 10.5194/gmd-15-6165-2022

Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster, J.-L. Dufresne, T. Fichefet, P. Friedlingstein, X. Gao, W.J. Gutowski, T. Johns, G. Krinner, M. Shongwe, C. Tebaldi, A.J. Weaver and M. Wehner, 2013: Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896.

Lawson, B.D., and Armitage, O.B. (2008) Weather guide for the Canadian forest fire danger rating system, Natural Resources Canada, Canadian Forest Service: Edmonton, AB.

Lindström, G., Pers, C.P., Rosberg, R., Strömqvist, J., and Arheimer, B. (2010): Development and test of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) model – A water quality model for different spatial scales. Hydrology Research 41.3-4:295-319.

Schimanke S., Ridal M., Le Moigne P., Berggren L., Undén P., Randriamampianina R., Andrea U., Bazile E., Bertelsen A., Brousseau P., Dahlgren P., Edvinsson L., El Said A., Glinton M., Hopsch S., Isaksson L., Mladek R., Olsson E., Verrelle A., Wang Z.Q., (2021): CERRA sub-daily regional reanalysis data for Europe on single levels from 1984 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), DOI: 10.24381/cds.622a565a (Accessed on DD-MMM-YYYY)

Sjökvist E., Björck, E., Tengdelius-Brunell, J., Johnell, A., och Sahlberg, J. (2016) Framtida perioder med hög risk för skogsbrand enligt HBV-modellen och RCP-scenarier, SMHI-Rapport 2016-6.

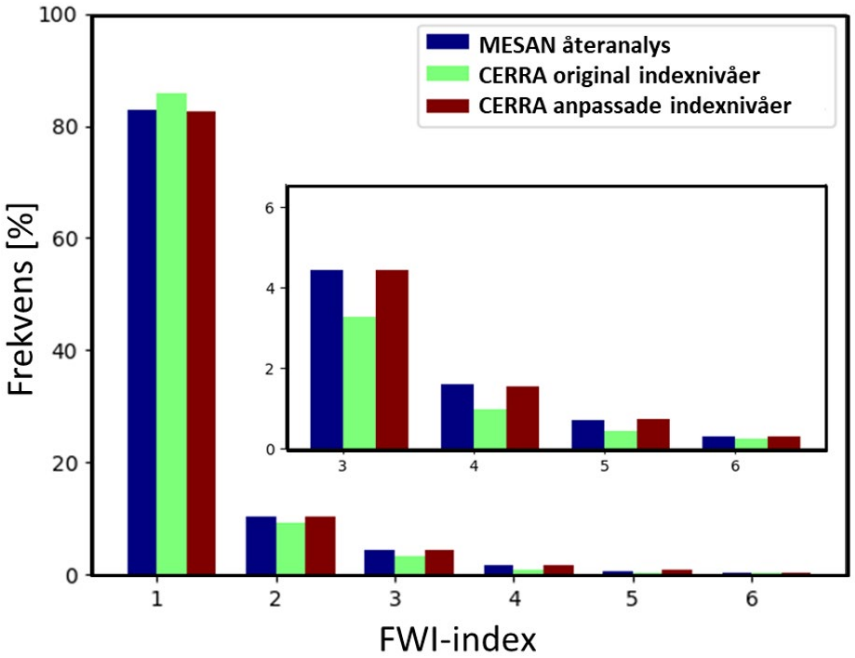
Van Vuuren, D. P., Stehfest, E., den Elzen, M. G., Kram, T., van Vliet, J., Deetman, S., ... & van Ruijven, B. (2011). RCP2. 6: exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2 C. Climatic change, 109, 95-116.

Appendix

Appendix1: Anpassning av FWI-indexvärden

Uppsättningen av FWI-modellen på klimatmodellernas 12,5x12,5 km^2 horisontella upplösning, samt bytet av observationsbaserade meteorologiska drivdata ger en avvikelse i FWI-värden. Avvikelserna är generellt sådana att de högre FWI-värdena är något underskattade jämfört med den operationella modellen. Det är inga stora avvikelser, men det ger ändå ett utslag i resultaten för de tröskelbaserade FWI-indexen, vilket visas i Figur 13. Frekvensen av de högre FWI-indexen i klimatuppsättningen (grön) ligger konsistent högre än den operationella modellen (blå) för FWI-index under 3 och konsistent lägre för FWI-index över 3. Tröskelvärdena justeras därför för att efterlikna frekvensfördelningen med fokus på FWI-index 4 och uppåt som klimatanalysen kommer studera. De nya nivåerna bestämdes med en noggrannhet på halva steg av FWI, vilket ger den anpassade fördelningen i Tabell 1, med bättre överensstämmelse i frekvensfördelningen.

Figur 13. Normaliserade histogram av fördelningen av FWI-värden i de olika kategorierna för MESAN återanalys (den operationella modellen) och simuleringar med det klimatologiska datasettet CERRA som används i klimatanalyserna. De anpassade data i rött har justerade tröskelvärden för att åstadkomma liknande frekvens av FWI-index 4, 5 och 6 i MESAN återanalysen.



Appendix2: Känslighetsstudie av övervintring

En känslighetsstudie har genomförts för att finna den svenska uppsättningen av FWI-modellens känslighet för inställningar för modellens nedstängning inför vintern och uppstart till våren. Den operationella modellen startas upp på våren, tidigast den 1:a februari eller det varit snöfritt med temperatur över 8°C under tre dagar i rad. Modellen stängs ner den 1:a november. Startvärden för de olika markskikten sätts med utgångspunkt från värdena vid höstens nedstängning, samt den nederbörd som fallit under vinterperioden enligt Lawson och Armitage (2008).

När temperaturen ökar och den meteorologiska vintern blir allt kortare kan de skarpa datumgränserna komma att påverka resultaten och leda till en systematisk påverkan på klimatanalysen. Målet med känslighetsstudien är därför att sätta datumgränserna så nära nyåret som möjligt, samt att undersöka hur snöinformation påverkar resultaten. Snöinformationen tas från modellen som presenteras i Appendix3 och vi analyserar tre olika snöinformationer: öppen mark, glest skogslandskap och alla marktyper tillsammans.

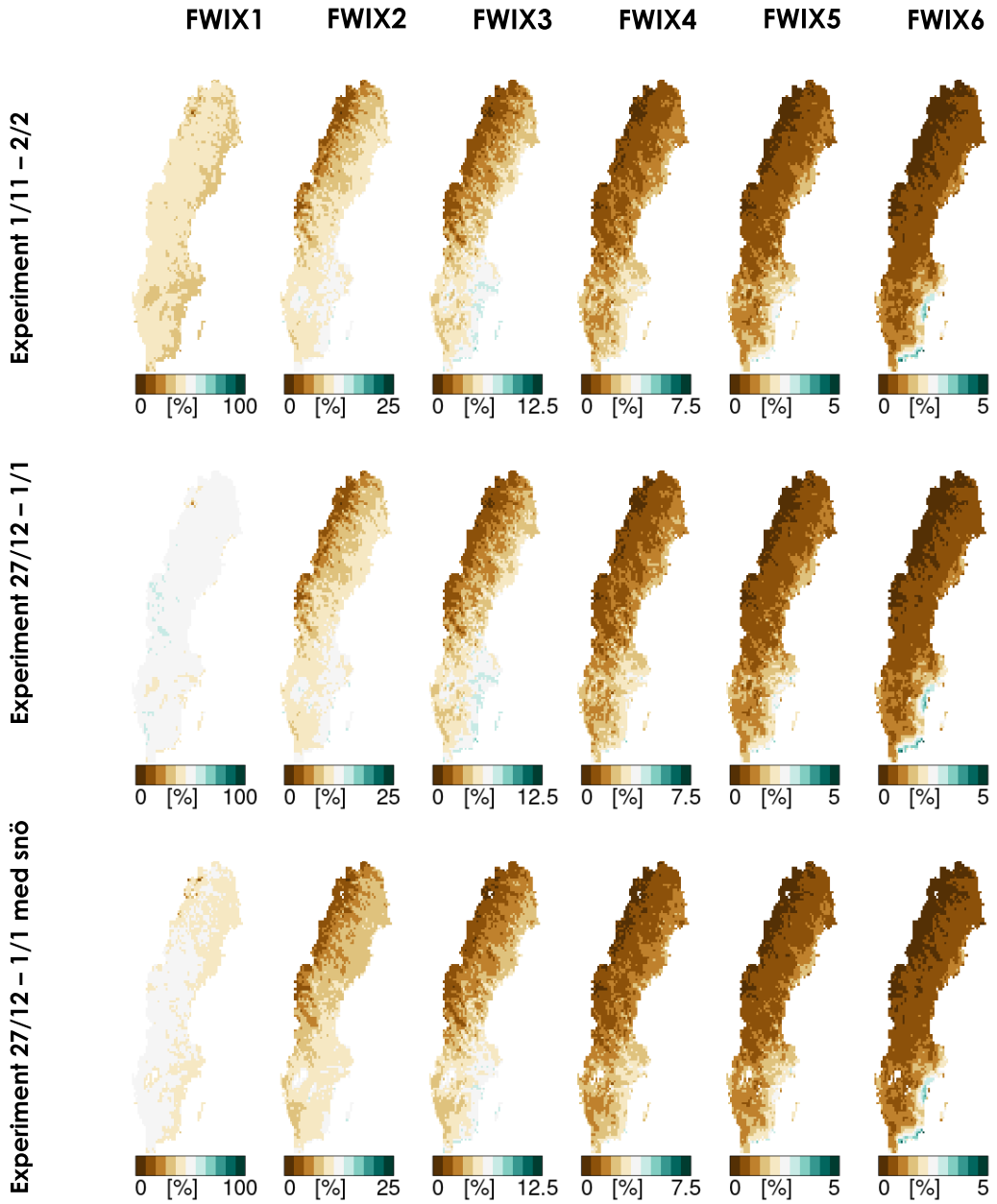
Datumgränserna undersöks i en serie simuleringar med CERRA-data för perioden 1985–2007 där datumgränserna justeras i steg om ca en vecka och med alla datumkombinationer. Experimenten körs både med och utan snöinformation av varje typ. Analysen sker genom frekvensanalys av FWI-index i kartform och som histogram.

Ett urval av datumexperiment med störst skillnader visas i de två översta raderna i Figur 14. Den översta panelen visar standarduppsättningen av datumintervallet från den operationella prognosmodellen som är vår huvudreferens. Skillnaderna är markanta för FWI-index 1, vilket inte är förvånande eftersom det är instegsnivån när temperaturvillkoret är uppfyllt för att gå ur vintervilan. För de högre brandriskindexen (FWIX 4 och högre) är skillnaderna mindre, men ändå tydliga i södra Sverige och längs Norrlandskusten. Det är sannolikt på grund av att de nivåerna uppstår först en bit in på året när temperaturen är betydligt högre än de låga värden som startar upp modellen.

Vår slutsats är att datumgränserna inte märkbart påverkar de indikatorer som beräknas i den här studien, eftersom de bygger på FWI-index 4 och högre. Tidigare studier har identifierat en drift av modellvärdena vid kontinuerliga simuleringar. Vi ser inga tecken på det här, men det kan bero på den korta perioden som används. Det motiverar fortsatta studier, men för det här arbetet tar vi en säker väg och använder FWI-modellens standarduppsättning.

Den sista raden i Figur 14 visar resultat för ett av experimenten där snöinformation för alla markklasser tagits med i beräkningarna för övervintringsdatum satta till 27 december och 1:a januari. Skillnaden mellan FWI-indexnivåerna är mycket små och kan i stort sett endast urskiljas för de lägsta brandrisknivåerna. Detta visar tydligt att snöinformationen inte signifikant påverkar resultaten. Eftersom snötäcket snabbt retirerar med det allt varmare klimatet väntas även påverkan på högrisksäsongen att minska och vi drar slutsatsen att det inte är värt mödan att inkludera snöinformation i klimatsimuleringarna med FWI-modellen.

Figur 14. Experiment för hur datum för start och avslut av brandriskberäkningarna påverkar olika brandriskindexkategorier. Varje panel visar den procentuella andelen av alla dagar under perioden som representeras i varje klass. Observera att färgskalan har olika högsta värde för de olika kategorierna.



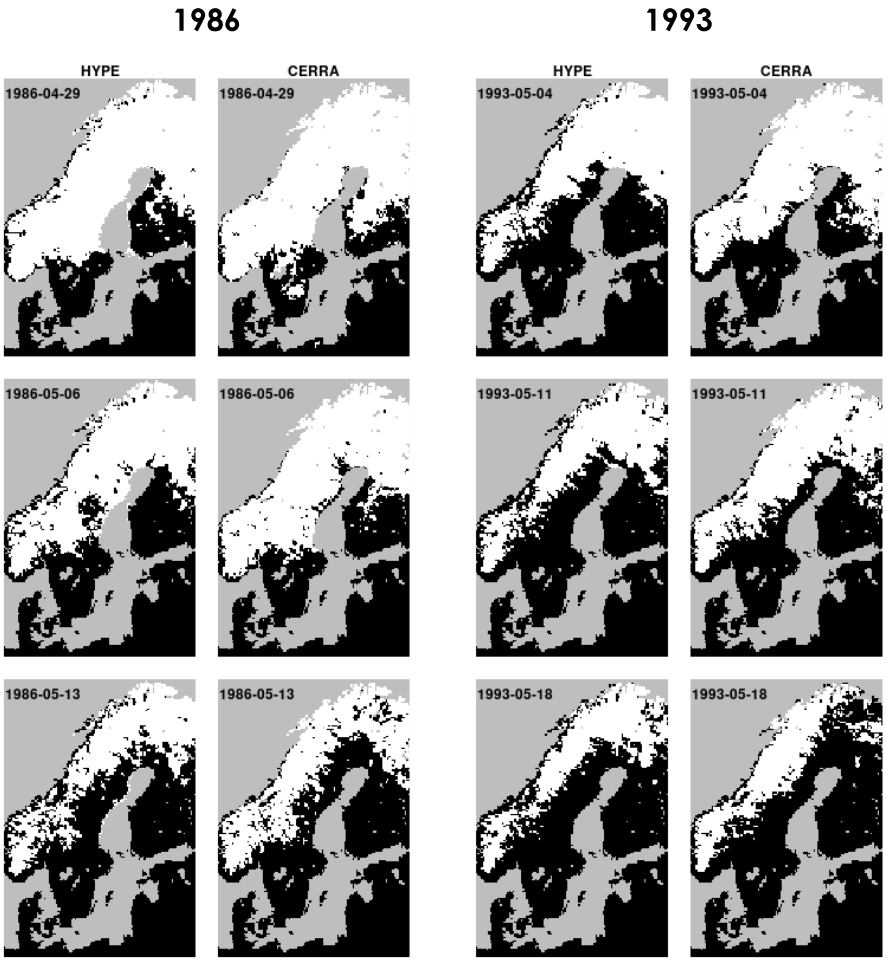
Appendix3: Snöinformation

Klimatmodellernas systematiska avvikelser (bias) i temperatur och nederbörd har stor påverkan på snötillgången i modellerna och efter biasjustering av de två variablerna behöver informationen om snötäcket och dess förändring med klimatet beräknas om. Här har snömodellen som är inbyggd i den hydrologiska modellen HYPE (Lindström m.fl., 2010) anpassats till en modelluppsättning med samma horisontella beräkningsgrid som klimatmodellerna. Snötäcket har sedan beräknats för vardera klimatmodellen, scenario, och med referensdatasettet för att kunna användas till simuleringar med FWI-modellen. Fokus med uppsättningen är att väl beskriva snötäcket vid starten av året då det påverkar uppstarten av brandriskberäkningarna.

Snömodellen ger utdata för antingen medel över alla markklasser i beräkningspunkten, eller för öppet landskap eller skogslandskap. Det är oklart vilken marktyp som är mest relevant för brandriskberäkningarna och alla tre varianter utvärderas därför i känslighetsberäkningar av hur snöinformationen påverkar uppstart av modellen på våren.

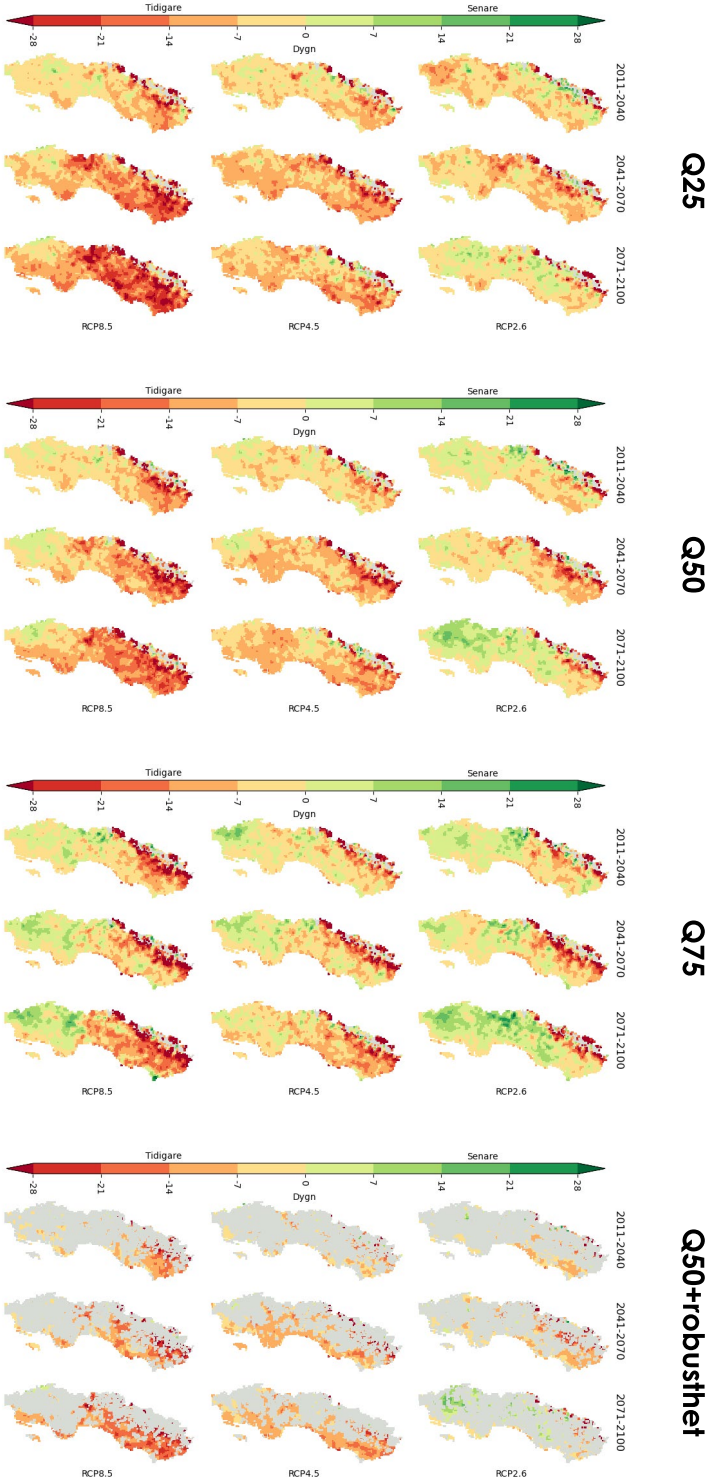
Figur 15 visar två exempel på snötäckets utbredning under våren för snömodellen jämfört med beräkningar i den modell som används i den meteorologiska analysen (CERRA) som används som referensdata. Överensstämmelsen är till hög grad samstämmig mellan de två modellerna, vilket ger trygghet i att den fristående modellen gör ett tillräckligt bra jobb för syftet den ska fylla för brandriskberäkningarna.

Figur 15. Två exempel av hur snötäcket drar sig tillbaka enligt snömodellen som satts upp med HYPE och snömodelleringen som utförs inom återanalysmodellen CERRA.

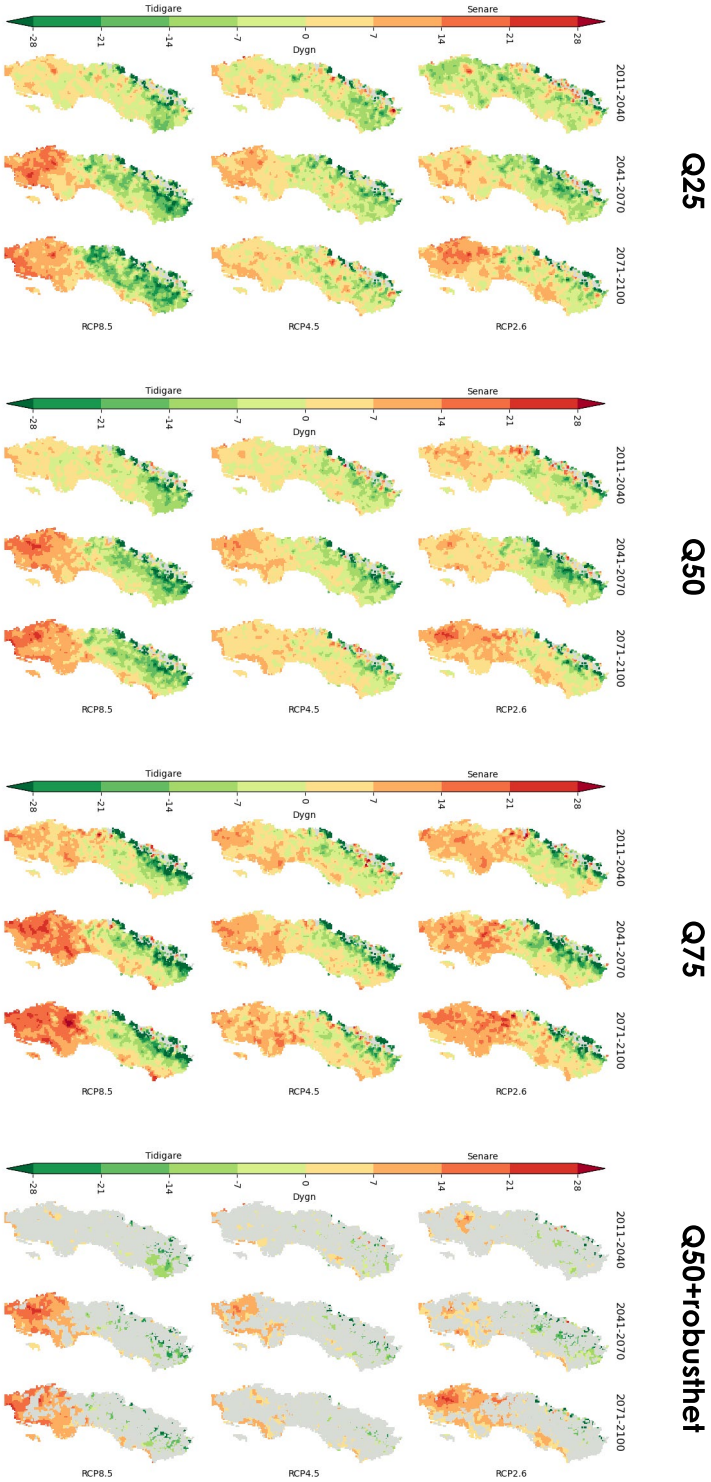


Appendix4: Fördjupad kartinformation

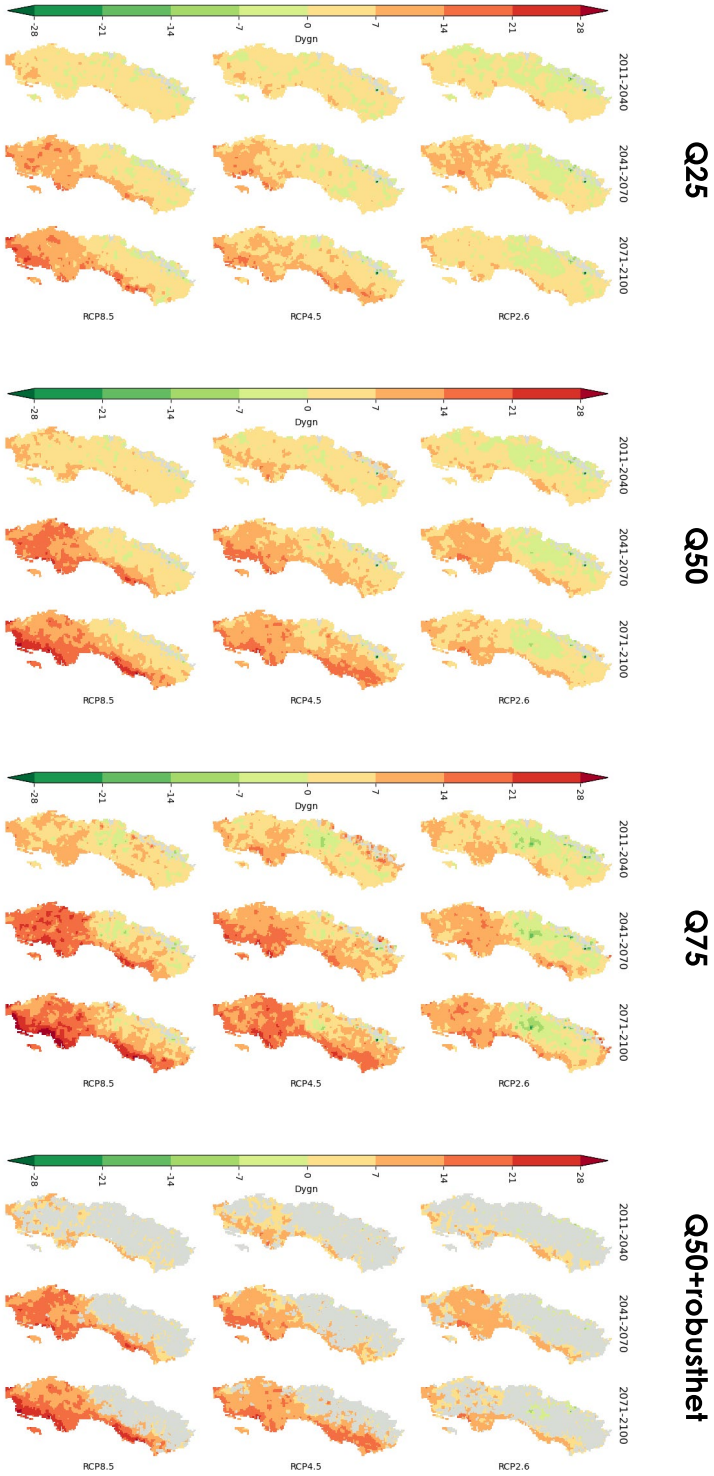
Figur 16. Framtida förändring i tidpunkten för starten av högrisksäsongen enligt HRP456 i antal dagar från det historiska värdet. Statistik över spridningen av förändringssignaler över ensemblen av klimatmodeller med figurer för de 25 % lägsta (Q25), medianen (Q50) och 75 % högsta (Q75), samt medianen med robusthetmasken som den också presenterats i huvudtexten.



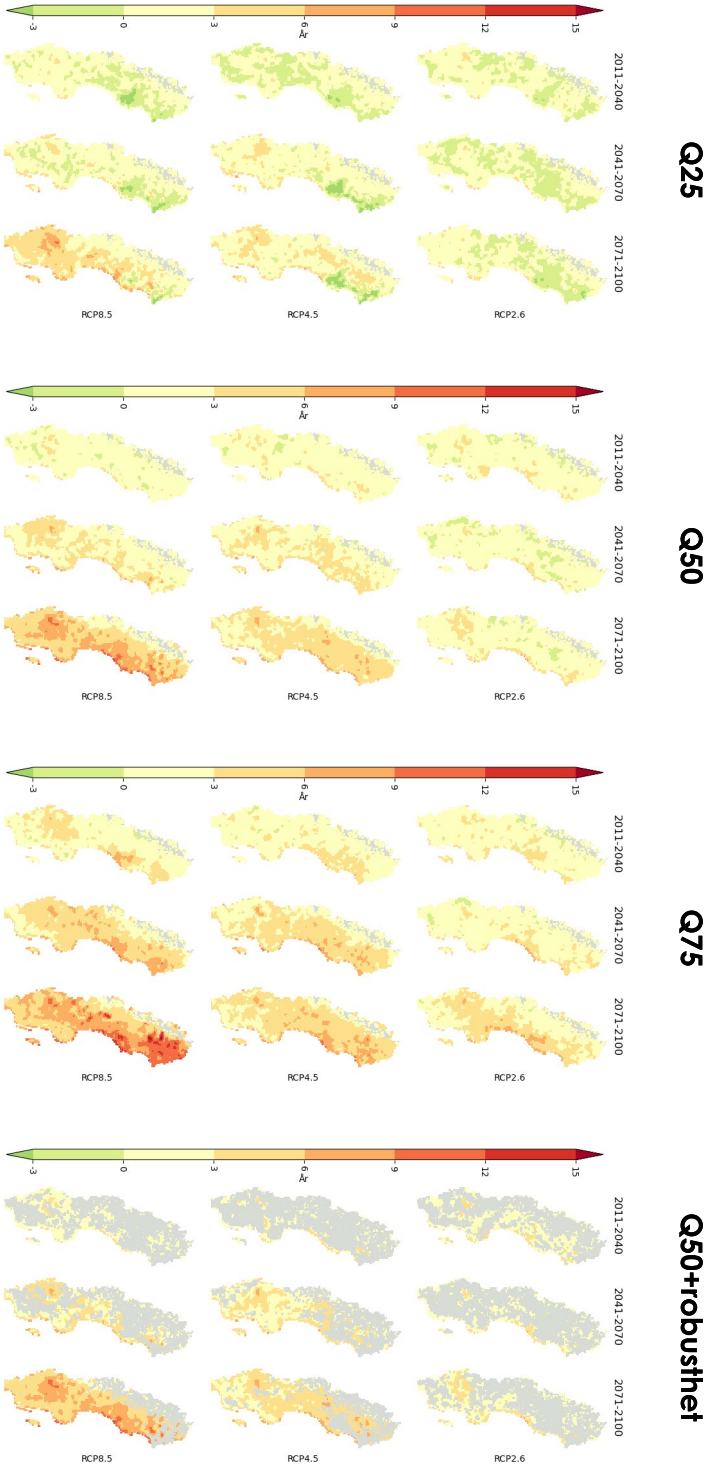
Figur 17. Framtida förändring i tidpunkten för slutet av högrisksäsongen enligt HRP456 i antal dagar från det historiska värdet. Statistik över spridningen av förändringssignaler över ensemblen av klimatmodeller med figurer för de 25 % lägsta (Q25), medianen (Q50) och 75 % högsta (Q75), samt medianen med robusthetmasken som den också presenterats i huvudtexten.



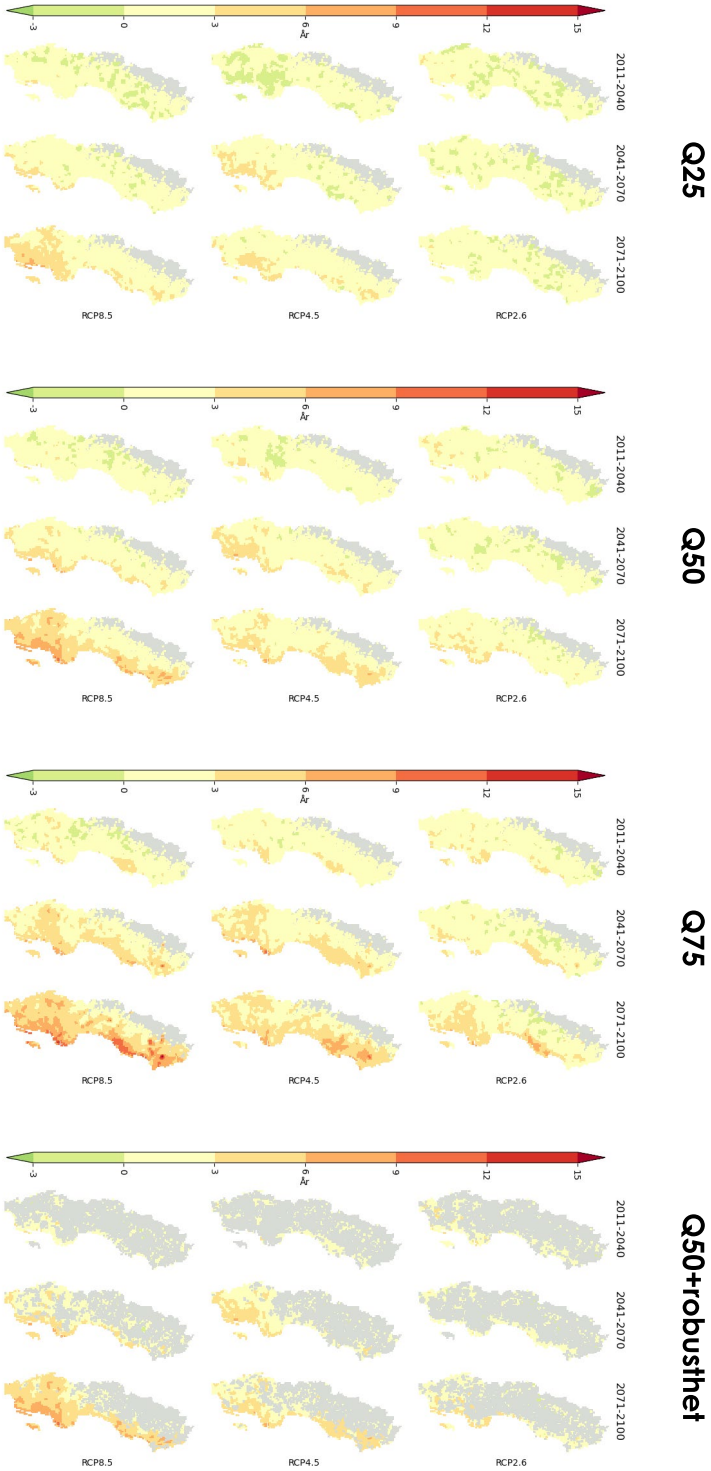
Figur 18. Framtida förändring i medellängden av högrisksäsongen enligt HRP456 i antal dagar från det historiska värdet. Statistik över spridningen av förändringssignaler över ensemblen av klimatmodeller med figurer för de 25 % lägsta (Q25), medianen (Q50) och 75 % högsta (Q75), samt medianen med robusthetmasken som den också presenterats i huvudtexten.



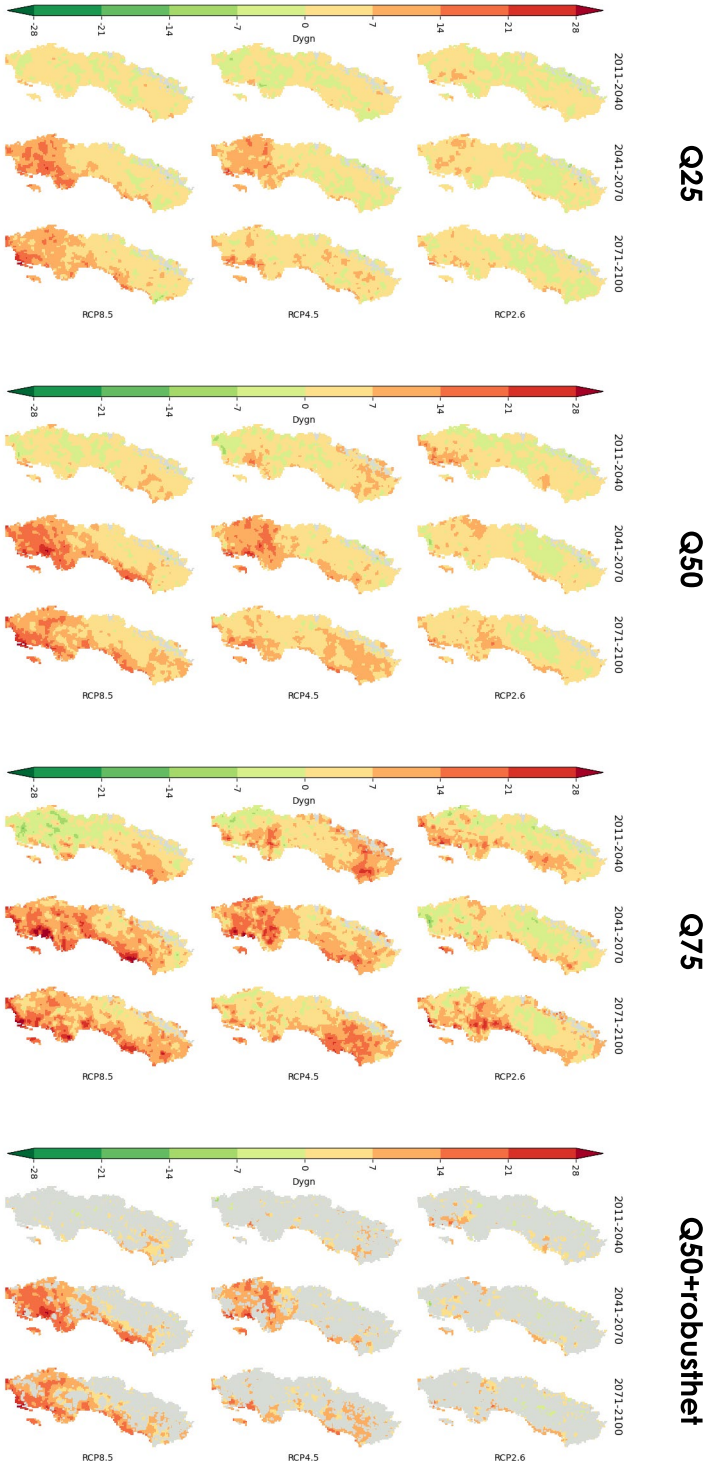
Figur 19. Framtida förändring i frekvens av år då det förekommer minst en högriskperiod av HRP456, mätt i förändring i antal år. Statistik över spridningen av förändringssignaler över ensemblen av klimatmodeller med figurer för de 25 % lägsta (Q25), medianen (Q50) och 75 % högsta (Q75), samt medianen med robusthetmasken som den också presenterats i huvudtexten.



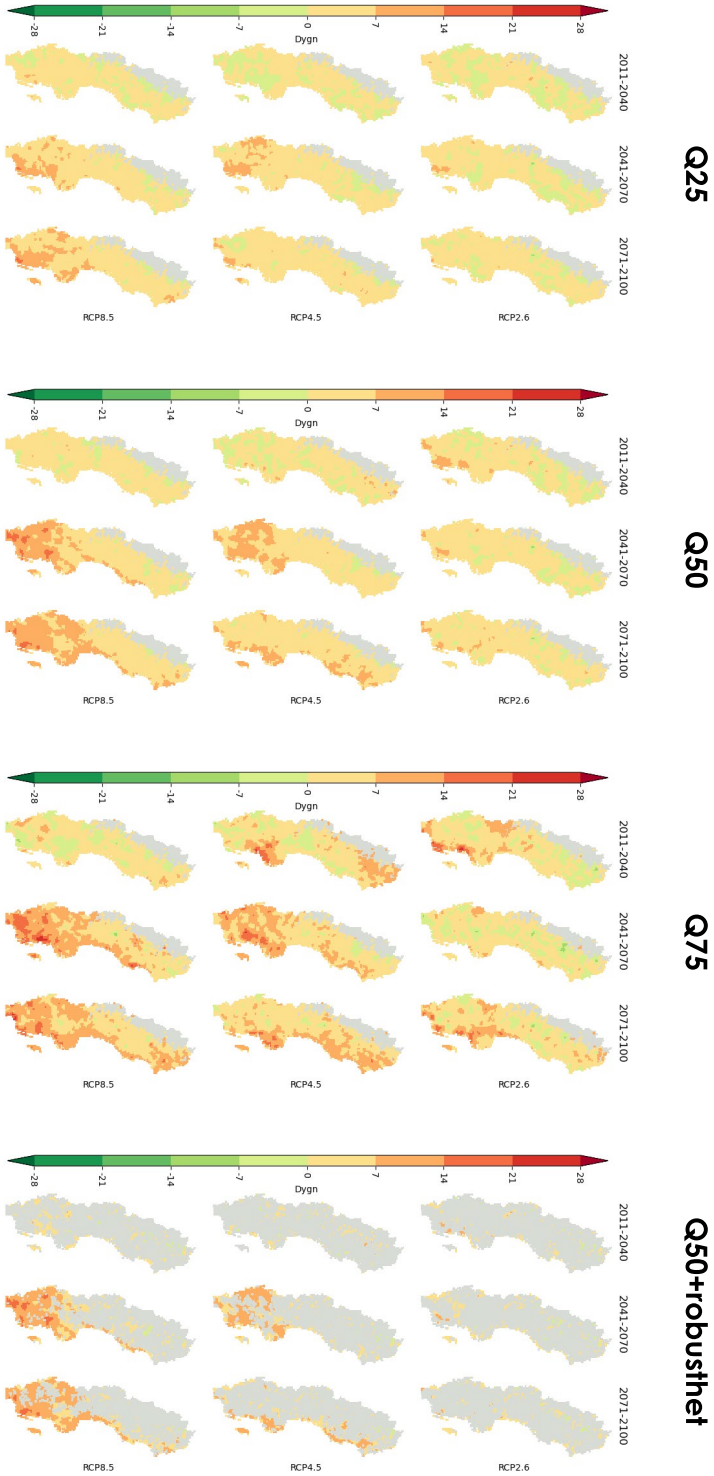
Figur 20. Framtida förändring i frekvens av år då det förekommer minst en högriskperiod av HRP6, mätt i förändring i antal år. Statistik över spridningen av förändringssignaler över ensemblen av klimatmodeller med figurer för de 25 % lägsta (Q25), medianen (Q50) och 75 % högsta (Q75), samt medianen med robusthetmasken som den också presenterats i huvudtexten.



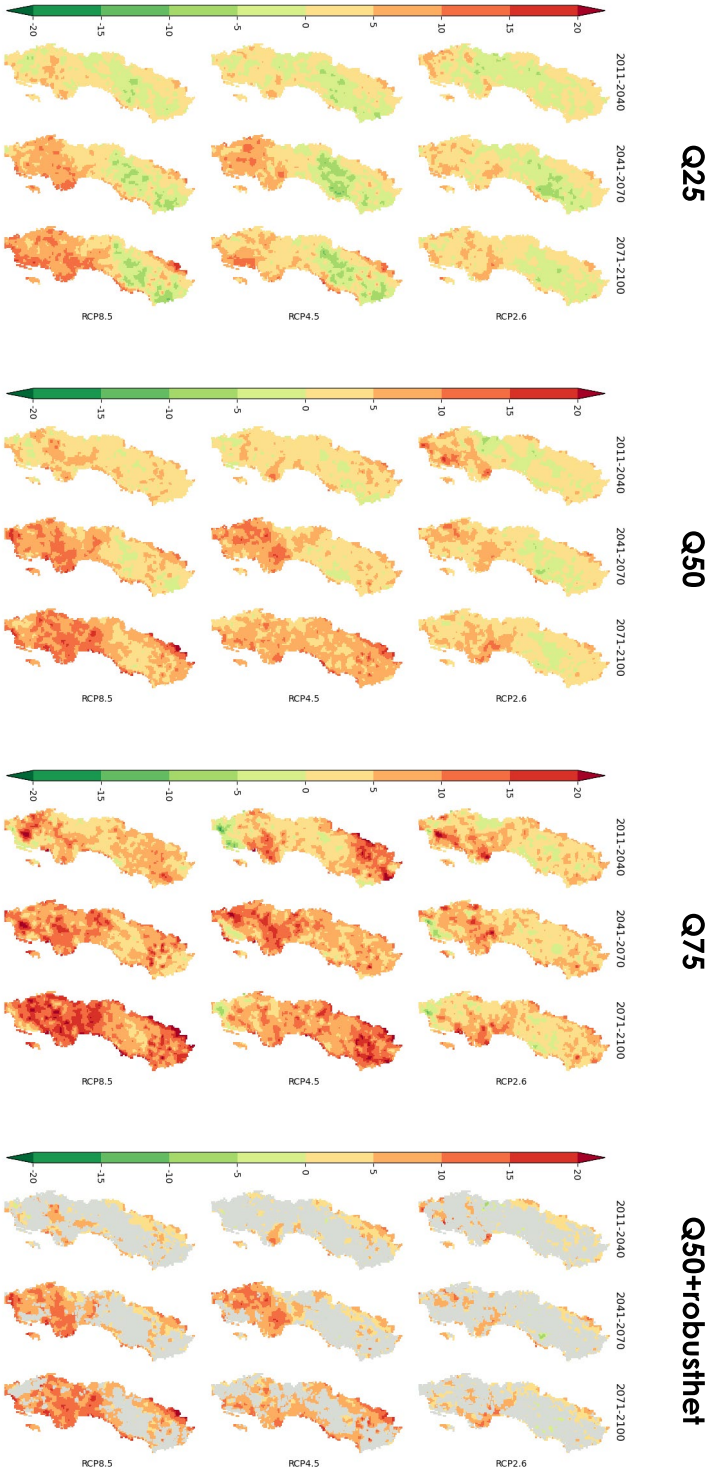
Figur 21. Förändring i den längsta HRP456-perioden i antal dagar från det historiska värdet. Framtida förändring i medellängden av högrisksäsongen enligt HRP456 i antal dagar från det historiska värdet. Statistik över spridningen av förändringssignaler över ensemblen av klimatmodeller med figurer för de 25 % lägsta (Q25), medianen (Q50) och 75 % högsta (Q75), samt medianen med robusthetmasken som den också presenterats i huvudtexten.



Figur 22. Förändring i den längsta HRP6-perioden i antal dagar från det historiska värdet. Statistik över spridningen av förändringssignaler över ensemblen av klimatmodeller med figurer för de 25 % lägsta (Q25), medianen (Q50) och 75 % högsta (Q75), samt medianen med robusthetmasken som den också presenterats i huvudtexten.



Figur 23. Förändring i det högsta FWI-värdet under de olika tidsperioderna. Statistik över spridningen av förändringssignaler över ensemblen av klimatmodeller med figurer för de 25 % lägsta (Q25), medianen (Q50) och 75 % högsta (Q75), samt medianen med robusthetmasken som den också presenterats i huvudtexten.



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)
651 81 Karlstad Tel 0771-240 240 **www.msb.se**
Publ.nr MSB2301 – mars 2024 ISBN 978-91-7927-469-6