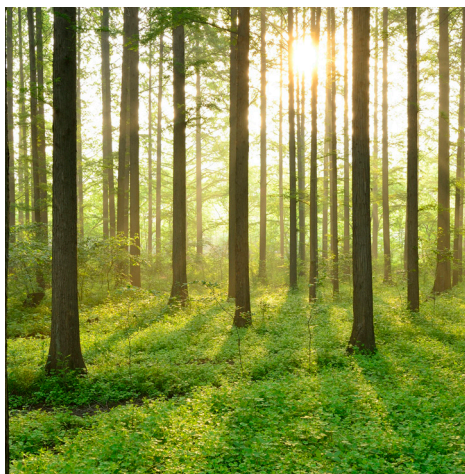


FÖRÄNDRINGAR I KLIMATET SOM PÅVERKAR ENERGISEKTORN I SVERIGE

RAPPORT 2021:745



KLIMATFÖRÄNDRINGARNAS
KONSEKVENSER



--	--	--

Förändringar i klimatet som påverkar energisektorn i Sverige

ERIK KJELLSTRÖM
GUSTAV STRANDBERG
CHANGGUI LIN

ISBN 978-91-7673-745-3 | © Energiforsk mars 2021

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

År 2020 var det varmaste året i Europa och jordens medeltemperatur låg på samma höga rekordnivå som 2016. De globala utsläppen av växthusgaser fortsätter att öka och vi rör oss mot en global temperaturhöjning på över tre grader mot slutet av seklet. Effekterna blir oåterkalleliga om vi inte lyckas bryta utvecklingen.

I den arktiska regionen, som norra Sverige tillhör, går uppvärmningen betydligt snabbare och vi ser redan effekter av detta. Den ökade temperaturen påverkar både naturmiljön och samhället och därigenom det svenska energisystemet med allt större inslag av förnyelsebar energi. Det leder bland annat till förändrade produktionsförutsättningarna för olika energislag och att energisystemet blir mer sårbart.

I projektet *Klimatförändringars konsekvenser för energisystemet* har Energiforsk samlat ett 15-tal forskare och analytiker från Chalmers Tekniska Högskola, IVL Svenska Miljöinstitutet, Profu och SMHI för att fördjupa kunskapen om klimatförändringarnas påverkan på det svenska energisystemet och vilka åtgärder som krävs för att minska de negativa effekterna. Projektet har genomförts av Erik Kjellström, Gustav Strandberg och Changgui Lin på SMHI, i nära samverkan med representanter från berörda delar av energisektorn, forskningsorganisationer, myndigheter, försäkringsbolag med flera.

Energiforsk vill rikta ett stort tack dels till medverkande forskare, dels till alla medverkande i projektets styrgrupp och i olika arbetsgrupper. Sammantaget har över hundra personer från ett 50-tal organisationer bidragit till projektets genomförande. Energiforsk vill också rikta ett särskilt tack till projektets finansörer vilka är C4 Energi, Energimyndigheten, E.ON Sverige, Fortum Sverige, Göteborg Energi, If, Jämtkraft, Karlstads Energi, Skellefteå Kraft, Stiftelsen IVL, Svenska kraftnät, Söderenergi, Tekniska verken i Linköping, TVO, Uniper, Vattenfall, ÅForsk.

Energiforsk

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Sökord: klimatförändringar, energisystem, konsekvenser, risk, sårbarhet, klimatscenarier, klimatindex, klimatmodeller

Sammanfattning

Klimatförändringen är redan märkbar. Hur vårt klimat kommer att ändras i framtiden styrs i huvudsak av den globala uppvärmningen. Internationellt samarbetas för att klara Parisavtalets mål om att hålla den globala uppvärmningen under 2 eller helst 1,5 grader över förindustriella nivåer. Här beskrivs hur klimatet kan komma att ändras i Sverige med fokus på energisektorn både vid dessa och vid ännu högre uppvärmningsnivåer. Förändringarna är stora och förväntas ge gradvis ökande konsekvenser för energisektorn.

Ökad kunskap om hur klimatförändringarna kan påverka den svenska energisektorn behövs. Här beskrivs hur ett nytt underlag baserat på regionala klimatmodeller tagits fram. Modellresultaten har analyserats för dryga 60-talet klimatindex som valts ut i samverkan med projektets arbetsgrupper för olika energisektorer. Jämfört med tidigare arbeten bygger resultaten på klimatmodeller med mycket högre rumslig upplösning vilket förbättrar möjligheten att beskriva regional och lokal klimatförändring. Dessutom är underlaget väsentligt utökat jämfört med tidigare studier vilket betyder att vi på ett bättre sätt kan beskriva vad som är robusta resultat och vad som är mer osäkert.

Sveriges klimat är präglad av hög variabilitet på tidsskalor från enstaka dagar, via månader och år, till flera decennier. Enligt alla klimatscenarier kommer vi ha den typen av variabilitet även i framtiden. Det betyder att det även fortsättningsvis kommer att finnas perioder då det är varmare eller kallare, eller blötare eller torrare, än vad den mer långsiktiga utvecklingen pekar på. Den här typen av naturlig variabilitet är en stor källa till osäkerhet när det gäller mer precisa förutsägelser om framtida klimatutveckling vid olika tidpunkter, särskilt i ett litet regionalt perspektiv som här för Sverige och Nordeuropa.

Utöver variabiliteten visar scenarierna på fortsatt gradvis ändring i klimatet. För Sveriges del handlar detta särskilt om fortsatt förskjutning av säsongerna, gradvis allt högre temperaturer och generellt mer nederbörd, som i allt mindre utsträckning faller som snö. Det handlar också om ändringar i extremer, med mer intensiva värmeböljor och mindre frekventa köldknäppar som inte blir lika kalla som tidigare. Scenarierna pekar också på mer intensiv nederbörd men också viss ökad risk för torka under nederbördsfattiga år. För vindklimatet är förändringarna relativt små och här är resultaten mer osäkra.

Projektet pekar också på en rad kunskapsluckor och brister i tillgänglig information. Här finns t ex ett fortsatt utvecklingsbehov för klimatmodeller för att bättre representera markförhållanden av relevans för tjäle och marktorka. Vidare behöver säkerställas att information från klimatsimuleringar av relevans för olika frågeställningar som t ex vindinformation på navhöjd sparas i beräkningarna. Det finns också ett stort behov av att göra mer ingående analyser av olika vädersituationer och extremhändelser.

Summary

Climate change is ongoing. The extent of future climate change is mainly governed by global warming. International co-operation to meet the Paris Agreement's goal of keeping global warming below 2 or preferably 1.5 degrees above pre-industrial levels is ongoing. Here it is described how climate may change in Sweden with a focus on the energy sector both at these, and at even higher, warming levels. The changes are large and expected to have gradually increasing consequences for the energy sector.

Increased knowledge of how climate change can affect the Swedish energy sector is needed. Here a new set of climate information based on regional climate models has been produced. The model results have been analysed for more than 60 climate indices selected in collaboration with the project's working groups for the energy sectors. Compared with previous work, the results are based on climate models with much higher spatial resolution, which improves the possibility of describing regional and local climate change. In addition, the data set is significantly expanded compared to previous studies, implying that we can better describe what are robust results and what is more uncertain.

Sweden's climate is characterized by high variability on time scales from single days, via months and years, to several decades. According to all climate scenarios, that type of variability will be there also in the future. This means that there will be periods when it is warmer or colder, or wetter or drier, than the more long-term development indicates. This type of natural variability is a major source of uncertainty when it comes to more precise predictions about future climate development at certain points in time, especially in a small regional perspective such as here for Sweden and Northern Europe.

In addition to the variability, the scenarios show continued gradual climate change. For Sweden, this especially concerns the continued shift of the seasons, gradually higher temperatures and generally more precipitation, which to a lesser extent falls as snow. It is also about changes in extremes, with more intense heat waves and less frequent cold snaps that do not get as cold as before. The scenarios also point to more intense precipitation but also some increased risk of drought during low-precipitation years. For the wind climate, the changes are relatively small and here the results are more uncertain.

The project also points to a number of knowledge gaps and shortcomings in available information. For example, there is a continuing need for development for climate models to better represent soil conditions of relevance for ground frost and soil moisture. Furthermore, it needs to be ensured that relevant information from climate simulations, such as wind information at hub height, is saved in the simulations. There is also a great need to make more in-depth analyses of various weather situations and extreme events.

Innehåll

1.	Inledning	10
1.1.	Bakgrund	10
1.2.	Metod för projektet som helhet	11
2.	Klimatmodeller, variabler, index och analyser	13
2.1.	Klimatmodeller och klimatsimuleringar	13
2.2.	Scenarier och uppvärmningsnivåer	14
2.3.	Klimatmodellernas kvalitet	16
2.4.	Variabler och index	17
2.5.	Geografiska områden, kartor och diagram	21
2.6.	Sammanställning och användning av resultaten	24
3.	Resultat	25
3.1.	Index relaterat till temperaturklimatet	26
3.1.1.	Medeltemperatur (TAS, (°C))	26
3.1.2.	Dygnsmaxtemperatur (TX, (°C))	27
3.1.3.	Dygnsminimitemperatur (TN, (°C))	27
3.1.4.	Kalla nätter, varma dagar (DTR, (°C))	28
3.1.5.	Varma dagar/högsomardagar (Maxtemperatur >20°C) (WarmDays, (dagar))	28
3.1.6.	Värmebölja (dagar i följd med maxtemperatur > 20°C) (ConWarmDays, (dagar))	29
3.1.7.	Tropiska nätter (dagar med minimitemperatur >17°C) (TropicNights, (dagar))	29
3.1.8.	Kylgraddagar (maxtemperatur > 20°C) (CoolingDegDay, (graddagar))	30
3.1.9.	Kylgraddagar (medeltemperatur > 20°C) (DegDay20, (graddagar))	31
3.1.10.	Graddagar för uppvärmning (med medeltemp < 17°C) (DegDay17, (graddagar))	31
3.1.11.	Nollgenomgångar (Antal dagar med högsta temp > 0°C och lägsta temp < 0°C) (ZeroCrossingDays, (dagar))	32
3.1.12.	Vegetationsperiodens slut (sista dag i sammanhängande 4-dags period med medeltemp > 5°C) (VegSeasonDayEnd-5, (dagnummer))	33
3.1.13.	Vegetationsperiodens start (första dag i sammanhängande 4-dags period med medeltemp > 5°C) (VegSeasonDayStart-5, (dagnummer))	33
3.1.14.	Vegetationsperiodens längd (medeltemp > 5°C) (VegSeasonLength-5, (dagar))	33
3.1.15.	Vegetationsperiodens längd (medeltemp > 2°C) (VegSeasonLength-2, (dagar))	34
3.1.16.	Frostdagar (minimitemperatur < 0°C) (FrostDays, (dagar))	34
3.1.17.	Sista vårfrost (minimitemperatur < 0°C) (SpringFrostDayEnd, (dagnummer))	35

3.1.18.	Första dagen utan frost (minimitemperatur < 0°C) (FirstDayWithoutFrost, (dagnummer))	35
3.1.19.	Kalla dagar (maxtemperatur < -7°C) (ColdDays, dagar)	36
3.2.	Index relaterat till nederbörds klimatet	37
3.2.1.	Nederbörd (PR, (mm/dag))	37
3.2.2.	Summa regn (PRRN, (mm/dag))	37
3.2.3.	Summa snö (PRSN, (mm/dag))	37
3.2.4.	Antal dagar med underkyllt regn (SuperCooledPR, (dagar))	38
3.2.5.	Högsta nederbörd under 7 dagar (PR7Dmax, (mm))	39
3.2.6.	Extrem nederbördsintensitet (PRmax, (mm/timme))	39
3.2.7.	Maximal snöfallsintensitet (PRSNmax, (mm/h))	40
3.2.8.	Antal dagar med kraftig nederbörd (>10 mm/dag) (PRgt10Days, (dagar))	40
3.2.9.	Antal dagar med extrem nederbörd (>25 mm/dag) (PRgt25Days, (dagar))	41
3.2.10.	Antal torra dagar (DryDays, nederbörd < 1mm, (dagar/månad))	41
3.2.11.	Längsta torrperioden (LnstDryDays, (dagar))	42
3.3.	Index relaterat till markförhållande	42
3.3.1.	Evapotranspiration (ET, (mm/dag))	42
3.3.2.	Effektiv nederbörd (EffPR, (mm/dag))	42
3.3.3.	Nettoavrinning (NetRO, (mm/dag))	43
3.4.	Index relaterat till snö klimatet	44
3.4.1.	Antal dagar med snötäcke (SncDays, (dagar))	44
3.5.	Index relaterat till vind klimatet	44
3.5.1.	Medelvindhastighet (SfcWind, (m/s))	44
3.5.2.	Maximal byvind (WindGustMax, (m/s))	45
3.5.3.	Antal dagar med byvind > 21 m/s (WindyDays, (dagar))	45
3.5.4.	Antal dagar med vind < 2 m/s (CalmDays, (dagar))	46
3.5.5.	Antal dagar i följd med vind < 2 m/s (ConCalmDays, (dagar))	47
3.5.6.	Medelvindhastighet på tryckytan 975 hPa (Wind975, (m/s))	47
3.5.7.	Förhållandet mellan medelvind på tryckytan 975 hPa och 10m- nivån (Wind975toSfc, (-))	47
3.5.8.	Medelvindhastighet på tryckytan 925 hPa (Wind925, (m/s))	47
3.5.9.	Förhållandet mellan medelvind på tryckytan 925 hPa och 10m- nivån (Wind925toSfc, (-))	48
3.5.10.	Antal dagar med vind < 2 m/s (på tryckytan 975 hPa) (CalmDays975, (dagar))	48
3.5.11.	Antal dagar i följd med vind < 2 m/s (på tryckytan 975 hPa) (ConCalmDays975, (dagar))	49
3.5.12.	Antal dagar med vind < 2 m/s (på tryckytan 925 hPa) (CalmDays925, (dagar))	49
3.5.13.	Antal dagar i följd med vind < 2 m/s (på tryckytan 925 hPa) (ConCalmDays925, (dagar))	49
3.5.14.	Luftdensitet (RhoS, (kg/m ³))	49

3.5.15. Luftdensitet på 925 hPa-nivån (Rho925, (kg/m ³))	50
3.6. Index relaterat till strålningsklimatet	50
3.6.1. Soltimmar (SD, (timmar))	50
3.6.2. Kortvågig strålning (RSDS, (W/m ²))	50
3.6.3. Långvågig strålning (RLDS, (W/m ²))	51
3.7. Index som kombinerar olika variabler	51
3.7.1. Antal dagar med hög fuktighet och hög värme (Relativ fuktighet > 90 % och medeltemperatur >10°C, (HumiWarmDays, dagar))	51
3.7.2. Antal dagar med regn då temperaturen ligger nära noll grader (nederbörd då T>0,58 och T<2°C) (ColdRainDays, (dagar))	52
3.7.3. Antal dagar med kraftigt regn då temperaturen ligger nära noll grader (nederbörd > 10 mm då T>0,58 och T<2°C) (ColdRainGT10Days, (dagar))	52
3.7.4. Antal dagar med intensivt regn då temperaturen ligger nära noll grader (nederbörd > 20 mm då T>0,58 och T<2°C) (ColdRainGT20Days, (dagar))	53
3.7.5. Antal dagar med snöfall då temperaturen ligger nära noll grader (nederbörd då T<0,58 och T>-2°C) (WarmSnowDays, (dagar))	53
3.7.6. Antal dagar med kraftigt snöfall då temperaturen ligger nära noll grader (nederbörd > 10 mm då T<0,58 och T>-2°C) (WarmSnowGT10Days, (dagar))	54
3.7.7. Antal dagar med intensivt snöfall då temperaturen ligger nära noll grader (nederbörd > 20 mm då T<0,58 och T>-2°C) (WarmSnowGT20Days, (dagar))	54
3.7.8. Antal dagar med regn då temperaturen ligger nära noll grader (regn T<2°C) (ColdPRRNDays, (dagar))	54
3.7.9. Antal dagar med kraftigt regn då temperaturen ligger nära noll grader (regn > 10 mm T<2°C) (ColdPRRNgt10Days, (dagar))	55
3.7.10. Antal dagar med intensivt regn då temperaturen ligger nära noll grader (regn > 20 mm T<2°C) (ColdPRRNgt20Days, (dagar))	55
3.7.11. Antal dagar med snöfall då temperaturen ligger nära noll grader (snöfall då T>-2°C) (WarmPRSNDays, (dagar))	55
3.7.12. Antal dagar med kraftigt snöfall då temperaturen ligger nära noll grader (snöfall (> 10 mm vatten) då T>-2°C) (WarmPRSNGt10Days, (dagar))	56
3.7.13. Antal dagar med intensivt snöfall då temperaturen ligger nära noll grader (snöfall (> 20 mm vatten) då T>-2°C) (WarmPRSNGt10Days, (dagar))	56
3.8. Index relaterat till havsklimatet	56
3.8.1. Medeltemperatur i havet (SST, (K))	56
3.8.2. Isutbredning till havs (SIC, (%))	56
3.8.3. Maximal temperatur i havet	57
3.8.4. Havsnivå i medeltal	57
3.9. Index relaterat till sjöar	58
3.9.1. Sjönivå jämfört med normalt	58
3.9.2. Temperatur i sjöar	58

3.9.3.	Islossning i sjöar	58
3.9.4.	Istjocklek > 15 cm i sjöar	58
3.10.	Andra index	59
3.10.1.	Åska	59
3.10.2.	Hagel	59
3.10.3.	Marknära ozon	59
4.	Sammanfattning och slutsatser	60
5.	Referenser	62

1. Inledning

Den globala uppvärmningen går fort och för med sig en rad konsekvenser i hela världen. För Sverige och Nordeuropa är uppvärmningen kraftig och väsentligt större än det globala medelvärdet. Vi ser redan idag ändringar i vårt klimat som t ex kortare vintrar och längre somrar och ändringar i vårt nederbördsklimat. Hur stora fortsatta förändringar kan komma att bli beror på framtida klimatpåverkan. Här beskriver vi hur arbetet med att ta fram klimatinformation för en rad olika globala uppvärmningsnivåer har gått till i projektet.

1.1. BAKGRUND

I Parisavtalet fastslås att den globala temperaturökningen ska begränsas till under 2°C över förindustriell nivå, med strävan efter max 1,5°C. Samtidigt har temperaturen redan stigit med över en grad. På våra nordliga breddgrader går klimatförändringarna snabbare och temperaturökningen är kraftigare. Ökad temperatur driver andra klimatförändringar såsom förändrad nederbörd, vind och molnighet. Klimatförändringarna kommer att påverka energisektorn på olika sätt. Energisystemets sårbarhet ökar samtidigt som produktionsförutsättningarna för olika energislag förändras. Elnätet påverkas och användningen av el, värme och kyla förändras.

I Energiforsksprojektet "*Klimatförändringarnas konsekvenser för energisystemet*" har Profu, SMHI, IVL Svenska Miljöinstitutet och Chalmers Tekniska Högskola tillsammans analyserat hur ett förändrat klimat kan påverka energisektorn. Projektet har omfattat påverkan på vattenkraft, vindkraft, kärnkraft, bioenergi, elnät samt energianvändning, fjärrvärme och fjärrkyla. Arbetet bygger vidare på en tidigare studie från 2007 kring hur energisystemet kan påverkas av klimatförändringar (Gode et al., 2007).

Denna rapport är en delrapport från projektet och redovisar SMHI:s resultat kring förändringar i klimatet som kan påverka den svenska energisektorn. Övriga delrapporter från projektet finns att ladda ner från Energiforsks hemsida.

Utvecklingen inom klimatforskningen sedan den tidigare rapporten om klimatförändringarnas konsekvenser för energisektorn från 2007 (Gode et al., 2007) har lett till att vi idag har bättre förståelse för hur klimatsystemet fungerar och att de numeriska klimatmodellerna bättre beskriver dess variabilitet och förändringar (IPCC, 2018). Dessutom har modellerna använts i väsentligt större omfattning och det finns ytterligare 15 år med observationsdata från ett klimat i snabb förändring vilket gör att vi idag har ett bättre underlag för att bedöma hur den fortsatta klimatförändringen kan komma att se ut.

I rapporten från 2007 låg fokus på klimatet för perioden 2011 - 2040 där man använde 1961 - 1990 som referensperiod. I det här projektet har vi valt att utgå från olika temperaturnivåer som referens istället för att titta på fasta tidsperioder.

Därför undersöker vi nu hur klimatet förändras till dess den globala uppvärmningen når 1,5°C, 2°C, 2,5°C och 3°C över förindustriell tid. Med nuvarande ökningstakt om cirka 0,2°C per decennium kan vi räkna med att 1,5°C nås om ungefär 15–20 år och 2°C ytterligare ett par decennier senare. Andra, högre uppvärmningsnivåer kan användas för att spegla utvecklingen under kommande decennier fram till slutet av seklet beroende på hur stor framtida klimatpåverkan blir. Om arbetet med att kraftfullt begränsa framtida utsläpp av växthusgaser lyckas kan temperaturökningen komma att stanna vid 1,5–2°C (IPCC, 2018). I annat fall kan den bli väsentligt högre.

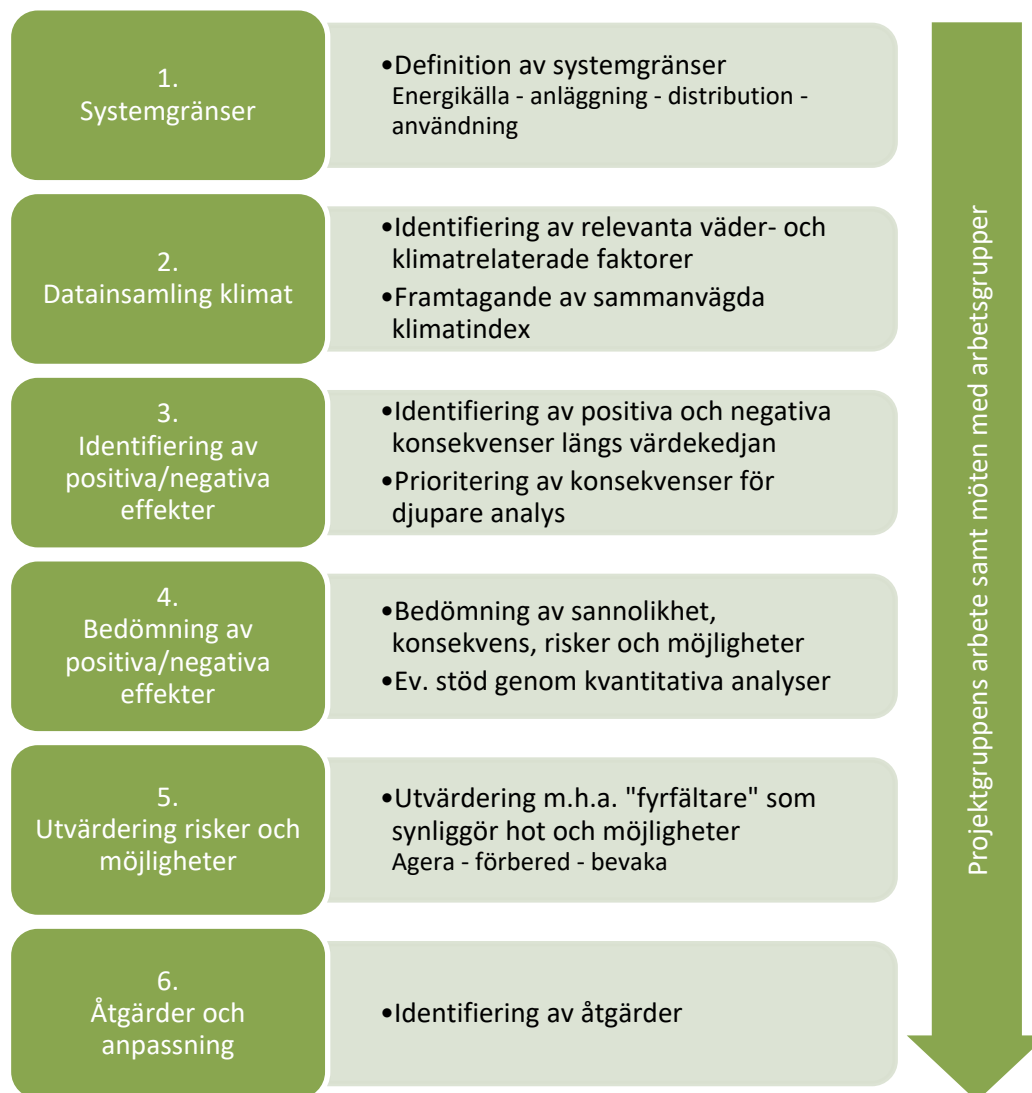
Materialet vi använt för analyserna kommer från högupplösta regionala klimatmodeller som använts för att skala ner grövre upplösta globala klimatmodeller över Europa. Liknande regional nedskalning ligger till grund för de klimattjänster som utvecklats och tillhandahålls av SMHI¹ (Kjellström et al., 2016; Sjökvist et al., 2015). Skillnaden här, och gentemot andra tidigare klimatscenarier (som t ex de som används i Gode et al., 2007) är att dels att upplösningen är väsentligt mycket högre (12,5 km istället för 50 km), dels att många fler simuleringar ingår i studien, och dels att simuleringarna är gjorda med många olika regionala klimatmodeller. Den högre upplösningen betyder att simuleringarna är mer realistiska och på ett bättre sätt beskriver regionala och lokala detaljer i klimatet. Den större ensemblen innebär att vi har bättre möjlighet att beskriva vad som är robust information om framtida klimatförändring och vad som är mer osäkert.

1.2. METOD FÖR PROJEKTET SOM HELHET

Figuren nedan sammanfattar på övergripande nivå den metodik som använts i projektet. Metodiken har inspirerats av en risk- och sårbarhetsmetodik som VTT i Finland utvecklade 2008 inom ramen för ett nordiskt forskningsprojekt kring konsekvenser för energisystemet av klimatförändringar.² Denna metodik har sedan vidareutvecklats under projektets gång och ett flertal verktyg och mallar har tagits fram och anpassats till projektets olika delstudier.

¹ <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/klimatscenarier/>
<https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/lansanalyser/>

² Molarius R, Wessberg N, Keränen J and Schabel J. Creating a climate change risk assessment procedure – Hydropower plant case, Finland. XXV Nordic Hydrological Conference – Northern Hydrology and its Global Role (NHC-2008) Reykjavík, Iceland. 11-13 August 2008.



Figur. Övergripande metodik för projektet som använts för de flesta energislag. Viss iteration har skett mellan de olika delmomenten under projektets gång. Metodiken är en vidareutvecklad version av en risk- och sårbarhetsanalys som VTT i Finland tagit fram (Molarius m.fl., 2008).³ Molarius m.fl. inkluderade även som ytterligare steg i sin metodik genomförande av anpassningsplan, vilket inte har ingått i vårt projekt.

Analyserna av konsekvenser, risk, sårbarhet och åtgärder har genomförts av projektgruppen i nära samarbete med sex arbetsgrupper (vattenkraft, vindkraft, kärnkraft, bioenergi, elnät samt energianvändning, fjärrvärme och fjärrkyla). Dessa grupper har träffats tre gånger. I slutet av projektet etablerades även en arbetsgrupp kring dammsäkerhet som träffades en gång. I varje arbetsgrupp deltog ca 10–15 personer från energiföretag, myndigheter, branschorganisationer, forskare med mera. Diskussionerna med arbetsgrupperna har varit mycket värdefulla för projektet. Den här rapporten fokuserar på att beskriva steg 2 i figuren.

³ Molarius R, Wessberg N, Keränen J and Schabel J. Creating a climate change risk assessment procedure – Hydropower plant case, Finland. XXV Nordic Hydrological Conference – Northern Hydrology and its Global Role (NHC-2008) Reykjavík, Iceland. 11-13 August 2008.

2. Klimatmodeller, variabler, index och analyser

I projektet har ett mycket stort antal regionala klimatmodeller använts för att ge en detaljerad bild av klimatförändringen vid olika grad av global uppvärmning. För att möta behovet av information för de olika energislagen har ett resultat från modellerna använts för att beräkna en rad klimatindex. Här beskrivs klimatmodeller, vilka scenarier som använts och vilka index som tagits fram för olika geografiska områden.

2.1. KLIMATMODELLER OCH KLIMATSIMULERINGAR

Här baseras klimatinformationen på resultat från simuleringar med ett stort antal regionala klimatmodeller från EURO-CORDEX (Jacob et al., 2014) där beräkningarna har gjorts på ett horisontellt beräkningsgrid om 12,5x12,5 km upplösning för hela Europa. Nedskalningen innebär att man, baserat på data från globala klimatmodeller, gör beräkningar vid högre upplösning för att bättre representera viktiga processer (t.ex. lågtryckssystem) och geografiska förhållanden (land-/havsfördelning, höjd på terrängen mm). Den högre upplösningen ger en mer realistisk beskrivning av klimatet på den lokala och regionala skalan (exv. Prein et al., 2016). Syftet med att inkludera många modeller och simuleringar är att på ett systematiskt sätt kunna beskriva i vilken grad framtida klimatförändringar kan anses säkert eller ej. Stor samstämmighet mellan många olika klimatsimuleringar pekar på en mer robust förändring och en större spridning på större osäkerhet.

De regionala modellerna har först använts för att för att skala ner s.k. återanalysdata där resultat från en meteorologisk väderprognosmodell kombineras med väderobservationer. Detta kan anses vara den främsta typen av data för att på ett sammantaget sätt beskriva atmosfärens variationer under de senaste decennierna. Här har återanalysen ERA-Interim (Dee et al., 2011) använts. Huvudsyftet med nedskalning av återanalysdata är att de regionala modellerna på så sätt kan utvärderas direkt mot observationer.

I ett nästa steg har de regionala klimatmodellerna använts för att skala ner projektioner från ett antal globala klimatmodeller från CMIP5 (femte fasen av "the Coupled Model Intercomparison Project", Taylor et al., 2012). Tabell 1 visar vilka globala och regionala klimatmodeller som använts och vilka alltså utgör grunden för analyserna av framtida klimatförändringar här. Totalt är materialet baserat på 66 olika regionala klimatmodellsimuleringar. Det fulla materialet har inte kunnat användas för analys av alla variabler då specifika data för någon modell och variabel i vissa fall saknats.

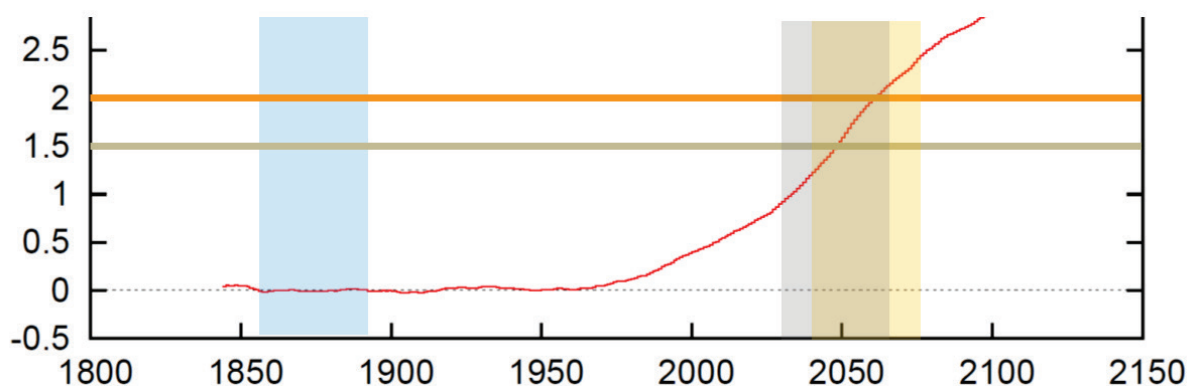
Tabell 1. Regionala klimatsimuleringar som analyserats. För detaljerade beskrivningar av respektive modeller hänvisas till Taylor et al. (2012) för de globala modellerna till Vautard et al. (2020) för de regionala modellerna.

Global klimatmodell	Simulering	Regional klimatmodell
<i>RCP4,5</i>		
ICHEC-EC-EARTH	r12i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17, KNMI-RACMO22E, SMHI-RCA4
	r3i1p1	DMI-HIRHAM5
	r1i1p1	KNMI-RACMO22E
IPSL-IPSL-CM5A-MR	r1i1p1	IPSL-INERIS-WRF331F, SMHI-RCA4
MOHC-HadGEM2-ES	r1i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17, KNMI-RACMO22E, SMHI-RCA4
MPI-M-MPI-ESM-LR	r1i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17, MPI-CSC-REMO2009, SMHI-RCA4
MPI-M-MPI-ESM-LR	r2i1p1	MPI-CSC-REMO2009
NCC-NorESM1-M	r1i1p1	DMI-HIRHAM5, SMHI-RCA4
<i>RCP8,5</i>		
CCCma-CanESM2	r1i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17, GERICS-REMO2015
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	r1i1p1	CNRM-ALADIN63, DMI-HIRHAM5, IPSL-WRF381P, KNMI-RACMO22E
ICHEC-EC-EARTH	r12i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17, CLMcom-ETH-COSMO-crCLIM-v1-1, DMI-HIRHAM5, GERICS-REMO2015, KNMI-RACMO22E, SMHI-RCA4
	r1i1p1	DMI-HIRHAM5, KNMI-RACMO22E, SMHI-RCA4
	r3i1p1	DMI-HIRHAM5, KNMI-RACMO22E, SMHI-RCA4
IPSL-IPSL-CM5A-MR	r1i1p1	IPSL-INERIS-WRF331F, IPSL-WRF381P, KNMI-RACMO22E, SMHI-RCA4
MIROC-MIROC5	r1i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17, GERICS-REMO2015
MOHC-HadGEM2-ES	r1i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17, CNRM-ALADIN63, DMI-HIRHAM5, GERICS-REMO2015, IPSL-WRF381P, KNMI-RACMO22E, SMHI-RCA4, UHOH-WRF361H
MPI-M-MPI-ESM-LR	r1i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17, CLMcom-ETH-COSMO-crCLIM-v1-1, KNMI-RACMO22E, MPI-CSC-REMO2009, SMHI-RCA4, UHOH-WRF361H
MPI-M-MPI-ESM-LR	r2i1p1	CLMcom-ETH-COSMO-crCLIM-v1-1, MPI-CSC-REMO2009, SMHI-RCA4
MPI-M-MPI-ESM-LR	r3i1p1	CLMcom-ETH-COSMO-crCLIM-v1-1, GERICS-REMO2015, SMHI-RCA4
NCC-NorESM1-M	r1i1p1	CLMcom-ETH-COSMO-crCLIM-v1-1, DMI-HIRHAM5, GERICS-REMO2015, IPSL-WRF381P, KNMI-RACMO22E, SMHI-RCA4

2.2. SCENARIER OCH UPPVÄRMNINGSNIVÅER

Vi har använt resultat från två olika klimatscenarier: RCP4,5 och RCP8,5 (Moss et al. 2010) där RCP (Representative Concentration Pathway) betecknar olika utvecklingsvägar för framtida utsläpp av klimatpåverkande ämnen och därmed olika grad av klimatpåverkan. I modellkörningarna som vi använder är perioden fram till 2005 driven av historiska data. Från 2006 används de olika RCP-scenarierna där siffrorna 4,5 respektive 8,5 talar om hur stor den s.k. strålningsdrivningen (i Wm^{-2}) är vid år 2100 jämfört med förindustriella förhållanden. För att identifiera vid vilken tidpunkt de olika uppvärmningsnivåerna nås har vi använt den globala medeltemperaturen i de globala klimatmodellerna. Där beräknar vi först löpande 30-årsmedelvärden och

identifierar sen den första 30-årsperiod varvid temperaturökningen når upp till de olika uppvärmningsnivåerna i förhållande till 1861–1890 (Figur 1). På så sätt kan vi jämföra delvis olika tidsperioder från olika klimatmodeller eftersom den globala uppvärmningen är samma i båda. Figur 1 visar att perioderna i det här exemplet för +1,5°C respektive +2°C delvis överlappar varandra. Vi noterar också att den globala medeltemperaturen är olika i början respektive slutet av 30-årsperioderna för respektive +1,5°C och +2°C vilket betyder att de analyserade perioderna som regel inte är beskrivningar av ett stationärt klimat. Detta kan ha en påverkan på tolkningen, särskilt när det gäller extremhändelser som kan vara mer vanligt förekommande i slutet på en 30-årsperiod till följd av kraftigare klimatpåverkan (Bärring och Strandberg, 2018).



Figur 1. Illustration av metodik för att identifiera när en viss uppvärmningsnivå nås. Kurvan visar ett löpande 30-årsmedelvärde av den globala medeltemperaturen i en global klimatmodell. Den blåa rektangeln motsvarar vår 30-åriga "förindustriella" period som är referensnivån vilken får medelvärdet 0°C. Den gråa rektangeln motsvarar den 30-årsperiod för vilken den globala medeltemperaturen först når 1,5°C över den förindustriella nivån (i exemplet 2033–2062). Den gula rektangeln på motsvarande sätt fast för 2°C över förindustriella förhållanden (här 2046–2075).

Enligt observationer av global medeltemperatur är vi idag ca 1.2 grader över medelvärdet för 1861–1890 vilket, med nuvarande uppvärmningstakt om ca 0,2 grader per decennium (IPCC, 2018), innebär att vi når +1,5°C om ca 20 år. I projektet har vi använt resultat från klimatmodeller för vilka detta sker vid olika tidpunkter beroende på antaganden om framtida växthusgasutsläpp, modellernas olika klimatkänslighet och naturlig intern variabilitet i klimatsystemet så som det simuleras av modellerna. Uppvärmningsnivåerna är därför ett sätt att förenkla jämförelse av olika klimatmodeller med varandra. Vidare har vi jämfört klimatet vid de olika uppvärmningsnivåerna mot ett referensklimat som vi har satt till 1971–2000. Valet av referensperiod har styrts dels av tillgänglighet till resultat från de regionala klimatmodellerna, där vissa startar först 1971, och dels av att vi vill använda de historiska delarna av simuleringarna som alltså sträcker sig fram till 2005.

För tolkningen av materialet som presenteras här är det av intresse att förstå hur detta förhåller sig till dagens klimat, dvs. omkring 2020. Vi kan inte ge ett exakt svar på det eftersom modellerna skiljer sig åt i hög grad och eftersom den regionala variabiliteten i klimatet är så stor. Istället kan vi använda observationerna för att få en grov uppskattning. Vi noterar att som ett globalt medelvärde är 1971–2000 drygt 0,4 grader varmare än 1861–1890 enligt

observationerna. Jämfört med 1971–2000 ser vi att av resterande 1,1 grader som då var kvar till 1,5-gradersnivån har vi idag sett ungefär 0,8 grader vilket motsvarar drygt 70%. På samma sätt har vi redan sett ungefär 50% av uppvärmningen som då var kvar till 2-gradersnivån. Dessa mått kan användas för att ge en grov uppskattning av hur stor del av den förväntade klimatförändringssignalen som vi redan har upplevt.

2.3. KLIMATMODELLERNAS KVALITET

Klimatmodellerna beskriver och fångar upp storskaliga regionala mönster i klimatet inklusive dess variabilitet. Resultaten visar att de också kan reproducera mycket av den observerade långsiktiga klimatförändringen givet att klimatpåverkande faktorer, såsom ökade halter av växthusgaser och ändrade aerosolpartiklar i atmosfären beskrivs på ett bra sätt. Eftersom modellerna bygger på förenklade beskrivningar av klimatsystemet så är dock alla klimatsimuleringar förknippade med svagheter som kan härledas både till de globala och de regionala klimatmodellerna. Givet att den storskaliga atmosfärs-cirkulationen inte alltid är riktigt representerad i de globala modellerna så kommer också de regionala modellerna uppvisa felaktigheter. Ibland kan de regionala modellerna minska systematiska fel och ibland förstärka dem. I en utvärdering av 55 av de 66 regionala klimatsimuleringar som används här visar Vautard et al. (2020) att de regionala modellerna generellt stämmer bra överens med observationer och återanalyser. Men, de pekar också på en rad systematiska avvikelser: de regionala modellerna är som regel något för kalla; för nederbördsrika; och för blåsiga. Ett annat viktigt resultat är att det inte går att identifiera någon modell som alltid är "bäst" eller "sämst" i alla kriterier vilket betyder att det är svårt att utesluta enstaka klimatprojektioner. Det är också ett av motiven till att vi använder en så stor ensemble av klimatprojektioner som möjligt.

I projektet har vi valt att inte göra någon biasjustering av data från klimatmodellerna. Ibland kan detta vara av intresse då modellerna inte alltid representerar alla klimatvariabler på ett bra sätt jämfört med vad observationerna visar. Vid biasjustering modifieras resultaten från en klimatsimulering med hjälp av observationer både för det historiska klimatet och för framtida förhållande, då under antagande att justeringsfaktorerna är desamma. Anledningen att vi har valt bort detta är främst att biasjustering kräver god tillgång till tillräckligt bra klimatobservationer över stora områden vilket inte finns för alla variabler som är intressanta i projektet (särskilt relaterat till vindhastighet, men även t.ex. avdunstning eller strålningsförhållanden).

I de fall då vi har tillgång till bra heltäckande griddade observationsdata har vi gjort en grov koll över hur väl modellernas klimat stämmer överens med det observerade klimatet. I övrigt förlitar vi oss på tidigare studier där de regionala modellerna utvärderats (t ex Vautard et al., 2020). I projektet har vi analyserat ett mycket omfattande antal variabler och index (se kap 2.4 nedan), vilket betyder en del index som analyseras inte har kunnat utvärderats i full detalj. Information kring modellernas kvalitet tar vi med i bedömningarna kring hur pass säkra vi är på resultaten och kring vad vi kan säga om framtida klimatförändringar. Stora osäkerheter och fel i modellernas representation av en viss variabel i det historiska

klimatet minskar tilltron till dem när det gäller framtida klimatförändring. Att data kommer direkt från klimatmodellerna, och inte är biasjusterade, betyder också att de är internt konsistenta, dvs. att data för en viss variabel vid en viss tidpunkt hänger samman med andra variabler. Detta är inte nödvändigtvis fallet med biasjusterade data som korrigerats en variabel i taget.

2.4. VARIABLER OCH INDEX

Variabler som undersökts i projektet är dels direkt utdata från klimatmodellerna såsom temperatur, nederbörd, vind, moln- och strålningsförhållanden och dels vidare beräkningar av t.ex. avrinning eller olika klimatindex såsom vegetationsperiodens längd eller antalet graddagar för uppvärmningsbehov. I vissa fall har vi också tagit fram kombinationsindex som kombinerar flera variabler och tröskelvärden på samma gång. Osäkerheten i de bedömningarna blir naturligtvis större då det är fler faktorer som modellerna måste representera. Vilka klimatvariabler och index vi har valt att studera har vi kommit fram till inom projektet i dialog med företrädare för de olika energislagen.

Variabler och index som analyserats visas i Tabell 2. I vissa fall har önskade data från modellsimuleringarna inte funnits tillgängliga för att bäst möta upp behovet av klimatinformation. I sådana fall har använts alternativa variabler.

- Ett exempel handlar om data för vindhastighet i höjdnivåer som representerar vindkraftverkens navhöjd (100–200 m över marken). I det fallet har vindhastigheter på två högre liggande trycknivåer i atmosfären använts (index 5.6-5.13). Höjden till en sådan tryckyta varierar beroende på lufttryck vid marknivån och på temperaturens variation i atmosfären. För den s.k. standardatmosfären är höjden till de två tryckytorna, 925 och 975 hPa, som använts här ca 720 och ca 300 meter vid noll grader och ett lufttryck på 1013 hPa vid marknivån.
- Ett annat exempel handlar om separata data för snöfall eller regn som inte alltid sparas i modellerna. I indexen 7.2–7.7 har istället samlad nederbörd använts tillsammans med ett temperaturkriterium för att avgöra om det är frågan om snö eller regn. Indexen 7.8-7.13 visar motsvarande värde från den enda av de regionala klimatmodellerna (RCA4) där informationen har sparats separat.
- För indexen i kategori 8–10 saknas information från de regionala klimatmodellerna. För havsytans temperatur (8.1) och havsis (8.2) har information tagits direkt ur de underliggande drivande globala klimatmodellerna. För övriga index i kategori 8–10 har information tagits från diverse litteraturstudier och rapporter.

Tabell 2. Index som analyserats eller diskuteras i rapporten. Resultaten finns beskrivna i kap 3 där underkapitlet motsvarar huvudindelningen i den här tabellen (t ex 3.1 för temperaturrelaterade index, 3.2 för nederbördsrelaterade index). Sista kolumnen (N) anger hur många klimatprojektioner som använts för respektive index. Ett (-) i sista kolumnen visar att informationen om detta index inte direkt baseras på några klimatprojektioner utan istället är baserade på uppskattningar från litteraturen.

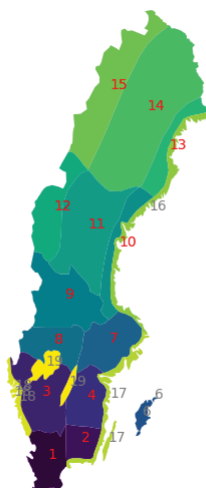
Nr	Förkortning	Klimatindex	Enhet	Tidsperiod (Mån/S/År)	N
1.1	TAS	Dygnsmedeltemperatur	°C	S/År	66
1.2	TX	Dygnsmaxtemperatur	°C	Mån/S/År	66
1.3	TN	Dygnsminimitemperatur	°C	Mån/S/År	66
1.4	DTR	Dygnsamplitud (varmast minus kallast)	°C	Mån	66
1.5	WarmDays	Varma dagar/högsomardagar (Maxtemperatur >20 °C) *	antal dagar	S/År	66
1.6	ConWarmDays	Värmebölja (dagar i följd med maxtemperatur > 20°C)	antal dagar	År	66
1.7	TropicNights	Tropiska nätter (minimitemperatur >17°C)*	antal dagar	År	66
1.8	CoolingDegDay	Kylgraddagar(maxtemperatur > 20°C)	graddagar	Mån/År	66
1.9	DegDay20	Graddagar med medeltemp >20 °C	graddagar	År	66
1.10	DegDay17	Graddagar för uppvärmning (med medeltemp < 17°C)	graddagar	Mån/År	66
1.11	ZeroCrossingDays	Nollgenomgångar (Antal dagar med högsta temp > 0°C och lägsta temp < 0°C)	antal dagar	S	66
1.12	VegSeasonDayEnd-5	Vegetationsperiodens slut (sista dag i sammanhängande 4-dags period med medeltemp > 5°C)	dag-nr	År	66
1.13	VegSeasonDayStart-5	Vegetationsperiodens början (sista dag i sammanhängande 4-dags period med medeltemp > 5 °C)	dag-nr	År	66
1.14	VegSeasonLentgh-5	Vegetationsperiodens längd (medeltemp > 5°C)	antal dagar	År	66
1.15	VegSeasonLentgh-2	Vegetationsperiodens längd (medeltemp > 2°C)	antal dagar	År	66
1.16	FrostDays	Frostdagar (minimitemperatur < 0°C)	antal dagar	S	66
1.17	SpringFrostDayEnd	Sista vårfrost (minimitemperatur < 0°C)	dag-nr	År	66
1.18	FirstDayWithoutFrost	Första dag utan frost	dag-nr	År	66
1.19	ColdDays	Kalla dagar (maxtemperatur < -7°C)	antal dagar	År	66
2.1	PR	Nederbörd	mm/dag	Mån/S/År	66
2.2	PRRN	Regn	mm/dag	S/År	14
2.3	PRSN	Snöfall	mm/dag	S/År	14

2.4	SuperCooledPR	Underkyllt regn (Kämäräinen et al., 2018)	antal dagar	År	13
2.5	PR7Dmax	Högsta nederbörd under 7 dagar	mm	År	66
2.6	Prmax	Maximal nederbördsintensitet	mm/h	År	66
2.7	PRSNmax	Maximal snöfallsintensitet	mm/h	År	14
2.8	PRgt10Days	Kraftig nederbörd > 10 mm/dygn	antal dagar	S/År	66
2.9	PRgt25Days	Extrem nederbörd > 25 mm/dygn	antal dagar	S/År	66
2.10	DryDays	Torra dagar (med nederbörd < 1 mm)	antal dagar	Mån	66
2.11	LnstDryDays	Längsta torrperiod (med <1 mm/dag)	antal dagar	S	66
3.1	ET	Evapotranspiration	mm/dag	Mån/S/År	31
3.2	EffPR	Effektiv nederbörd = nederbörd-evapotranspiration	mm/dag	S/År	31
3.3	NetRO	Nettoavrinning	mm/dag	Mån(april-september)	24
4.1	SncDays	Snötäcke	antal dagar	År	42
5.1	SfcWind	Medelvindhastighet i 10m-nivå	m/s	S/År	66
5.2	WindGustMax	Maximal byvind (10m-nivå)	m/s	År	41
5.3	WindyDays	Antal dagar med byvind >21 m/s (10m-nivå)	antal dagar	År	41
5.4	CalmDays	Antal dagar med vind < 2 m/s (10m-nivå)	antal dagar	År	63
5.5	ConCalmDays	Antal dagar i följd med vind < 2 m/s (10m-nivå)	antal dagar	År	63
5.6	Wind975	Medelvindhastighet på tryckytan 975 hPa	m/s	S/År	14
5.7	Wind975toSfc	Förhållandet mellan medelvind på tryckytan 975 hPa och 10m-nivån	-	S/År	13
5.8	Wind925	Medelvindhastighet på tryckytan 925 hPa	m/s	S/År	14
5.9	Wind925toSfc	Förhållandet mellan medelvind på tryckytan 925 hPa och 10m-nivån	-	S/År	14
5.10	CalmDays975	Antal dagar med vind < 2 m/s (på tryckytan 975 hPa)	antal dagar	År	10
5.11	ConCalmDays975	Antal dagar i följd med vind < 2 m/s (på tryckytan 975 hPa)	antal dagar	År	10
5.12	CalmDays925	Antal dagar med vind < 2 m/s (på tryckytan 925 hPa)	antal dagar	År	11
5.13	ConCalmDays925	Antal dagar i följd med vind < 2 m/s (på tryckytan 925 hPa)	antal dagar	År	11
5.14	RhoS	Luftdensitet (2m)	kg/m3	Mån	20
5.15	Rho925	Luftdensitet (925 hPa)	kg/m3	Mån	14

6.1	SD	Soltimmar	antal timmar	År	14
6.2	RSDS	Kortvågig inkommande strålning	W/m2	S	48
6.3	RLDS	Långvågig inkommande strålning	W/m2	S	14
7.1	HumiWarmDays	Relativ fuktighet > 90 % och medeltemp. >10C	antal dagar	S	24
7.2	ColdRainDays	Nederbörd när temperaturen ligger mellan 0.58 och 2 grader	antal dagar	År	66
7.3	ColdRainGT10Days	Nederbörd (> 10 mm/dygn) när temperaturen ligger mellan 0.58 och 2 °C	antal dagar	År	66
7.4	ColdRainGT20Days	Nederbörd (> 20 mm/dygn) när temperaturen ligger mellan 0.58 och 2 °C	antal dagar	År	66
7.5	WarmSnowDays	Nederbörd när temperaturen ligger mellan -2 och 0.58 grader	antal dagar	År	66
7.6	WarmSnowGT10Days	Nederbörd (> 10 mm/dygn) när temperaturen ligger mellan -2 och 0.58 °C	antal dagar	År	66
7.7	WarmSnowGT20Days	Nederbörd (> 20 mm/dygn) när temperaturen ligger mellan -2 och 0.58 °C	antal dagar	År	66
7.8	ColdPRRNdays	Regn när temperaturen är under 2 grader	antal dagar	År	14
7.9	ColdPRRNgt10Days	Regn (> 10 mm/dygn) när temperaturen är under 2 grader	antal dagar	År	14
7.10	ColdPRRNgt20Days	Regn (> 20 mm/dygn) när temperaturen är under 2 grader	antal dagar	År	14
7.11	WarmPRSNdays	Snö när temperaturen är över -2 grader	antal dagar	År	14
7.12	WarmPRSNgt10Days	Snö (> 10 mm/dygn) när temperaturen är över -2 grader	antal dagar	År	14
7.13	WarmPRSNgt20Days	Snö (> 20 mm/dygn) när temperaturen är över -2 grader	antal dagar	År	14
8.1	SST	Medeltemperatur i havet (från GCM)	°C	S/År	23
8.2	SIC	Havsisutbredning (från GCM)	%	S/År	17
8.3	-	Maximal temperatur i havet			-
8.4	-	Havsnivå jämfört med normalt			-
9.1	-	Sjönivå jämfört med normalt			-
9.2	-	Temperatur i sjöar, vattendrag			-
9.3	-	Islossning i sjöar			-
9.4	-	Istjocklek i sjöar >15 cm			-
10.1	-	Åska			-
10.2	-	Marknära ozon			-
10.4	-	Hagel			-

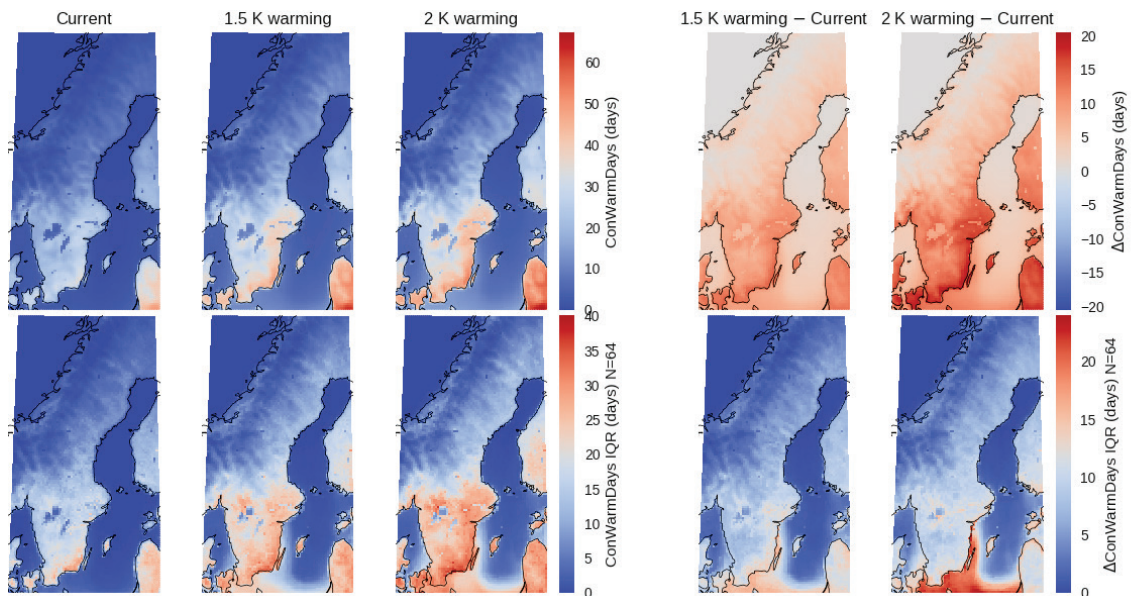
2.5. GEOGRAFISKA OMRÅDEN, KARTOR OCH DIAGRAM

Informationen som baseras på de regionala klimatprojektionerna (index i kategori 1-7 i Tabell 2) har tagits fram och presenteras i ett antal kartor och diagram för att illustrera de relevanta klimatförändringsaspekterna. Kartor har tagits fram för hela Europa och hela Skandinavien där fördelningen visas för varje enskild 12,5x12,5 km² gridruta i modellerna och dels specifikt för Sverige i de av SMHI använda väderprognosdistrikten (Fig. 2). Väderprognosdistrikten har valts eftersom de motsvarar regioner i Sverige med olika väder och klimat som t.ex. västra och östra Götaland i söder, där skillnader bl.a. styrs av Sydsvenska höglandet, och fjälltrakter, inland och kusttrakter i Norrland. Utöver de 15 traditionella prognosdistrikten har vi också tagit fram data för själva kustzonen uppdelat på tre delar samt för de stora sjöarna enligt Figur 2.



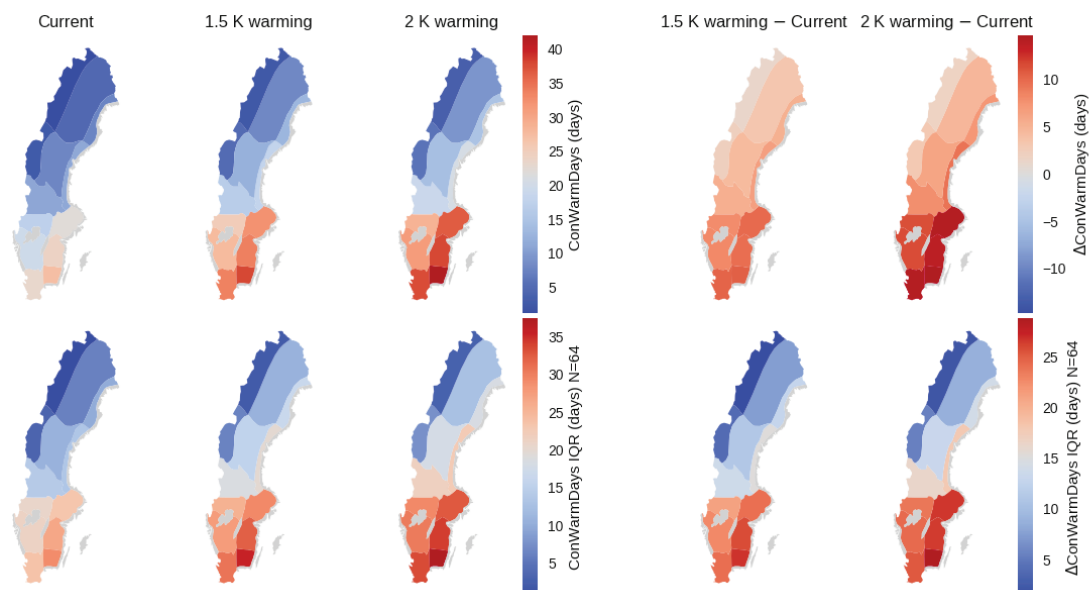
Figur 2. Prognosdistrikt i Sverige (1–15) samt separata distrikt för kustzonerna och de stora sjöarna (16–19).

För de olika områdena har vi sammanställt kartor i figurer motsvarande Figur 3 och 4. Figurerna visar på simulerade klimatförhållande under en referensperiod, satt till 1971–2000, och vid olika uppvärmningsnivåer samt skillnaden mellan framtida uppvärmningsnivåer och den valda referensnivån (se avsnitt 2.2 ovan). Utöver förändring i ensemblemedelvärde visar vi också på spridningen inom ensemblen definierad som interkvartilavståndet mellan 25- och 75-percentilerna. I Figur 3, samt i motsvarande kartor för hela Europa, visas hela fältet, dvs. för varje 12,5 x 12,5 km gridruta. I Figur 4 är informationen aggregerad till distrikten som beskrivs i Figur 2.

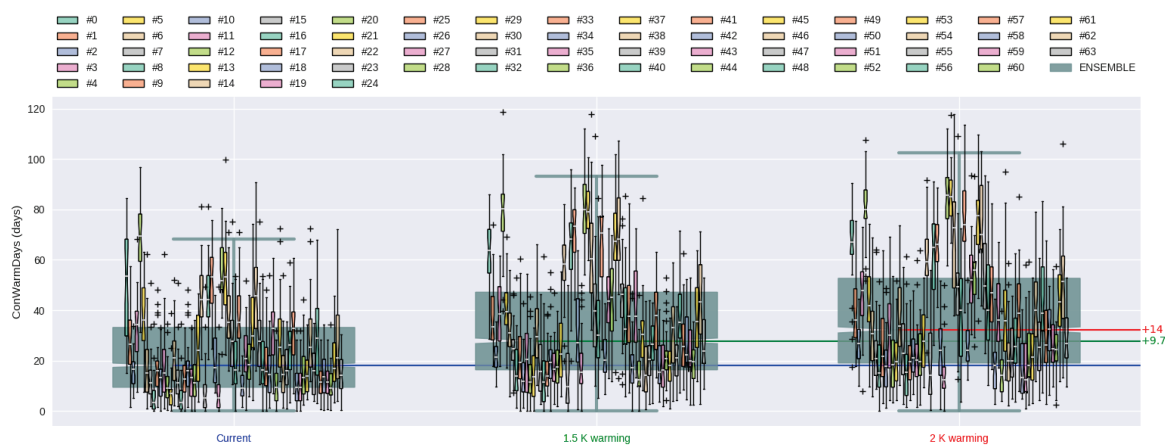


Figur 3. Förklaring av kartor. Ex. värmebölja (antal dagar i följd med maxtemperatur över 20°C). Kartorna till vänster visar förhållandena för referensperioden 1971–2000 ("current") samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperioden och vid 1,5°C respektive 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid. Den övre raden visar på medelvärde över alla tillgängliga simuleringar och den undre raden visar på spridningen inom ensemblen uttryckt som skillnaden mellan första och tredje kvartilen.

Utöver kartor så har vi också tagit fram figurer med laddiagram för att visa på hur klimatet förändras över tid i olika områden. Dessa diagram visar både information från de enskilda klimatsimuleringarna och hur förändringen ser ut i det sammantagna materialet, se Figur 5. I figuren framgår att spridningen i resultat mellan enskilda år för de olika simuleringarna skiljer sig mellan olika modeller. Det är också tydligt att modellerna uppvisar delvis olika klimat, både vad gäller absolutvärden och spridning mellan åren.



Figur 4. Samma som Figur 3 men aggregerat till olika distrikt (enligt Fig. 2). Ex. värmebölja (antal dagar i följd med maxtemperatur över 20°C). Kartorna till vänster visar förhållandena för referensperioden 1971–2000 samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperioden och 1,5°C respektive 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid. Den övre raden visar på medelvärde över alla tillgängliga simuleringar och den undre raden visar på spridningen inom ensemblen uttryckt som skillnaden mellan första och tredje kvartilen.



Figur 5. Förklaring av diagram som visar på klimatförändringssignalen. Ex. värmebölja (antal dagar i följd med maxtemperatur över 20°C) över södra Götaland (distrikt 1 i Figur 2). I diagrammet finns resultat från 63 olika klimatsimuleringar (#1–63) i referensperiodens klimat (1971–2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. För varje simulering visas areella medelvärden över alla enskilda gridpunkter för varje år i södra Götaland (område 1 i Fig. 2) i form av ett låddiagram där 30-årsmedelvärdet är markerat i mitten som ett avbrott i den färgade rektangeln, rektangeln representerar alla data mellan första (Q1) och tredje (Q3) kvartilen, dvs. 50% av alla åren finns inom det färgade fältet (IQR). Strecken som utgår från rektangeln går till respektive $Q3 + 1.5 \cdot IQR$ eller $Q1 - 1.5 \cdot IQR$. I vissa fall finns ytterligare data som ligger utanför strecken (avvikande "outliers"), sådana enskilda år som sticker ut representeras av plustecken (+). I bakgrunden visas motsvarande låddiagram där data från alla de enskilda modellerna först lagts samman (i det fallet visas inte enskilda outliers utan strecken representerar antingen $Q3 + 1.5 \cdot IQR$ eller $Q1 - 1.5 \cdot IQR$ eller maximum eller minimum). Det blåa, gröna och röda strecken representerar medelvärdet för hela datasetet vid de respektive uppvärmningsnivåerna.

2.6. SAMMANSTÄLLNING OCH ANVÄNDNING AV RESULTATEN

När vi sammanställer resultaten har vi använt följande terminologi:

- "mycket troligt" i vilket vi lägger att det finns en entydig signal och att bedömningen görs baserat på ett stort antal projektioner
- "troligt" där vi ser en relativt entydig signal baserat på relativt många projektioner
- "mindre troligt" där vi ser en liten signal baserat på många projektioner
- "osäkert" där vi antingen ser olika signaler eller har bara ett fåtal projektioner att tillgå.

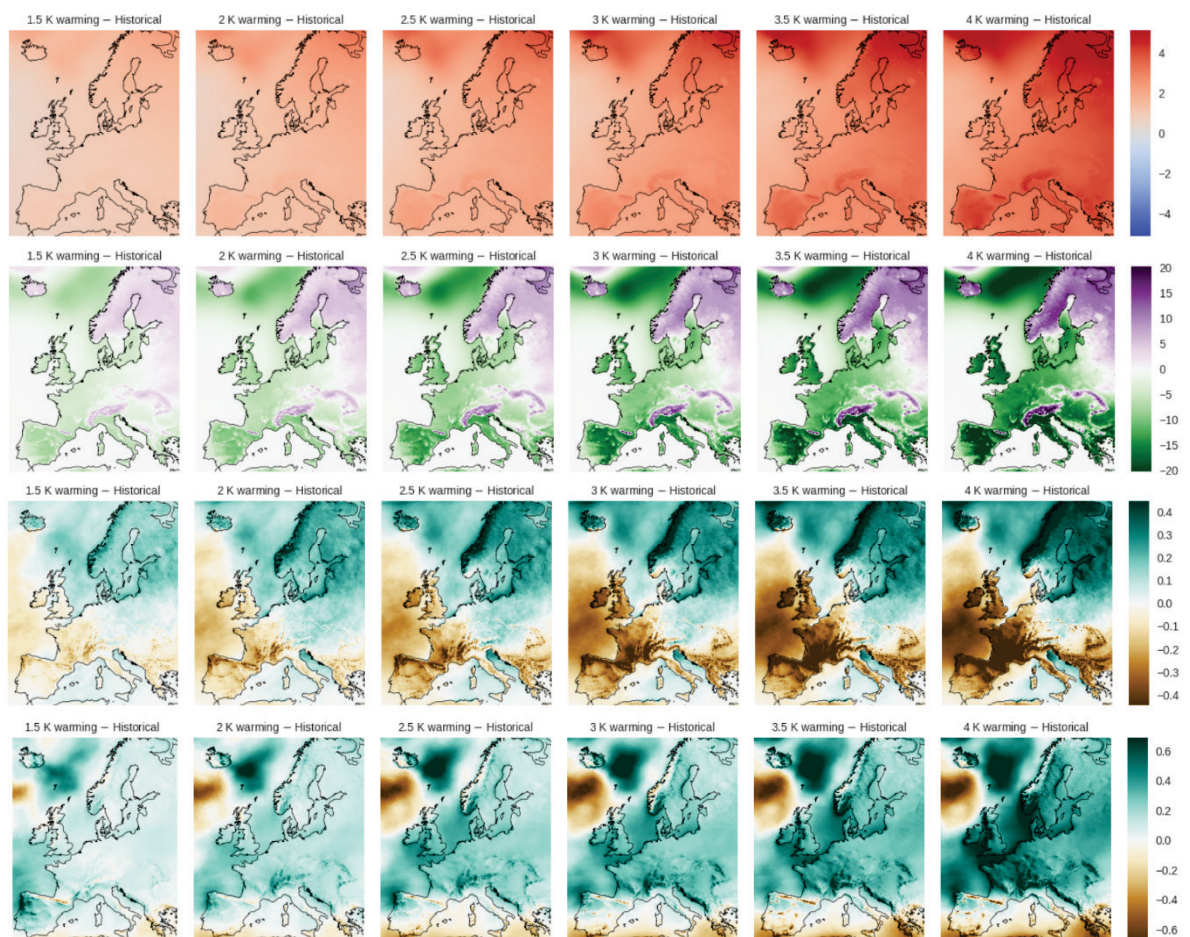
Modellernas tillförlitlighet och graden av entydighet i klimatiförändringssignal har bedömts kvalitativt. De olika graderna av samstämmighet och i vilken mån klimatiförändringssignalen är mer eller mindre trolig har bedömts kvalitativt. I alla fyra fallen kan också annan information utöver de EURO-CORDEX-simuleringar som beskrivs här användas för att bedöma huruvida en viss förändring är trolig eller ej.

Resultat från det här forskningsprojektet kommer att användas i SMHI:s nya webbaserade klimatscenariotjänst som lanseras 2021. Läsaren rekommenderas att undersöka i vilken grad motsvarande index som finns i den här rapporten har uppdaterats med nyare material.

3. Resultat

Här går vi igenom och presenterar resultat från modellerna vad gäller framtida klimatförändringssignal samt sammanställningar för de olika klimatindexen i projektet. Fokus ligger på uppvärmningsnivåerna +1,5 och +2 graders global uppvärmning jämfört med förindustriell tid. Utblick görs också mot ännu högre uppvärmningsnivåer.

Som exempel på resultat visar Figur 6 på några övergripande drag i klimatförändringssignalen för Europa som helhet vid olika globala uppvärmningsnivåer från 1,5 till 4 grader. Det syns tydligt att klimatförändringssignalen i Europa blir större ju kraftigare den globala uppvärmningen är. Kartorna visar på en rad olika regionala detaljer och att olika aspekter av klimatet ändras på olika sätt i olika områden. Vi noterar här att då den historiska referensperioden är 1971–2000 så har vi sannolikt redan upplevt ungefär hälften av förändringen på väg mot 2 grader.



Figur 6. Ändring i årsmedeltemperatur (°C, överst), nollgenomgångar under vintermånaderna dec-feb (antal dagar, andra raden uppför), nederbörd under sommarmånaderna jun-aug (mm/dag, tredje raden) och vintermånaderna (mm/dag, längst ner). Från vänster till höger visar kartorna skillnaden mot referensperioden (1971–2000) för respektive uppvärmningsnivåer från 1,5°C till 4°C.

Från figuren framgår t ex att temperaturen ökar överallt men också att det finns regionala skillnader där ökningen är som allra störst längst i norr över Nordkalotten och delar av Nordatlanten. Lokala maxima finns också i en del bergskedjor som Alperna och Pyrenéerna samt över delar av Iberiska halvön. De minsta temperaturökningarna finns över Nordatlanten och delar av Västeuropa. Temperaturökningen i Medelhavsområdet är störst under sommaren medan ökningen i norr främst förknippas med vintern. Som ett resultat av den kraftiga uppvärmningen på vintern ökar antalet dagar med s.k. nollgenomgångar (då temperaturen både är över och under noll grader på samma dygn) i stora delar av Skandinavien och en del höglänta områden längre söderut på kontinenten under vintermånaderna. På årsbasis minskar antalet dagar med nollgenomgångar i hela Europa (inte visat).

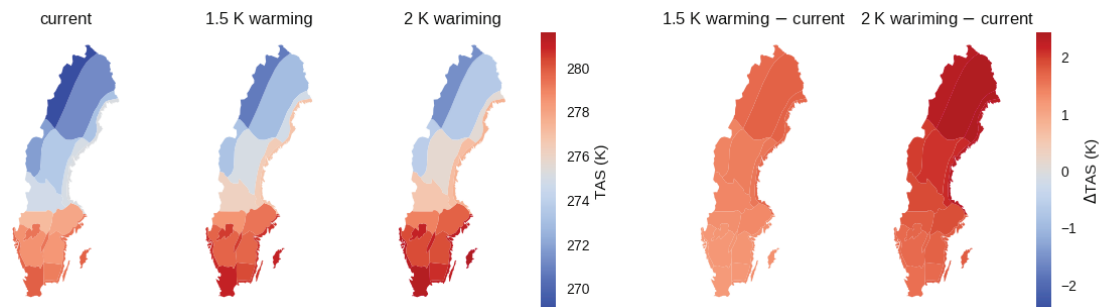
För nederbörd syns en gradvis ökning i nederbörd för större delen av Europa under vintern medan sommaren uppvisar både ökning (längst i norr) och minskning (i söder). För Sveriges del innebär detta ökad nederbörd under hela året men möjligen minskning i sydliga delar av landet under sommaren. Tillsammans med ökad temperatur, och ökad avdunstning (inte visat här) betyder det att risken för torka kan komma att öka under sommaren.

För varje index (Tabell 2) beskriver vi här nedan hur modellernas representation av den geografiska fördelningen ser ut för referensperiodens klimat (1971–2000), antingen på årsbasis eller mer detaljerat på säsongs- eller månadsbasis. Vi tar också upp de fall då modellerna uppvisar systematisk bias jämfört med observationer. På motsvarande sätt beskrivs hur klimatförändringssignalen är fördelad över tid och rum för respektive +1,5°C och +2°C. För både referensperiodens klimat och för framtida varmare klimat diskuterar vi också hur spridningen ser ut mellan de olika klimatmodellsimuleringarna. En stor spridning innebär att osäkerheten i resultaten är större och att det generellt är svårare att säga något om hur klimatet kommer att ändras.

3.1. INDEX RELATERAT TILL TEMPERATURKLIMATET

3.1.1. Medeltemperatur (TAS, (°C))

Årsmedeltemperaturen i Sverige varierar med ungefär 10 grader från allra längst i söder till längst i norr. De olika klimatmodellerna skiljer sig åt med flera grader inom varje prognosdistrikt. Klimatförändringssignalen är mycket tydlig med ökade temperaturer överallt under alla årstider och större ökning vid +2 grader jämfört med vid +1,5 (Figur 7). Ökningen är störst i norra Sverige under vinterhalvåret och överstiger väsentligt den globala temperaturhöjningen. Mellanårsvariabiliteten förväntas vara ungefär densamma som idag. Slutsats: Mycket troligt med en tydlig temperaturökning särskilt under vinterhalvåret. Osäkerhet om absolutvärden med relativt stora skillnader mellan olika modeller.

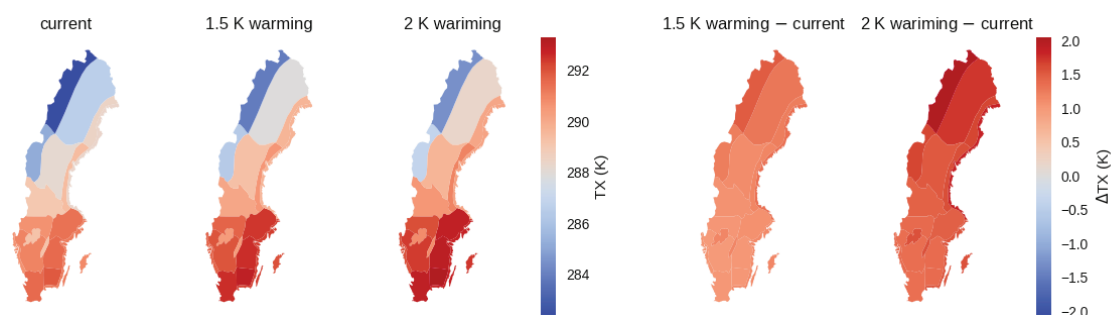


Figur 7. Årsmedeltemperatur. Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971–2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figuren till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.1.2. Dygnsmaxtemperatur (TX, (°C))

Dygnsmaxtemperaturen i Sverige varierar med ungefär 10 grader från allra längst i söder till längst i norr (Figur 8). Skillnaderna är ungefär desamma under olika årstider. De olika klimatmodellerna skiljer sig kraftigt åt inom de olika prognosdistrikten. Klimatförändringssignalen är däremot relativt entydig mellan olika klimatmodeller, modeller med lägre maxtemperaturer i referensklimatet har lägre maxtemperaturer även i ett framtida klimat och vice versa.

Klimatförändringssignalen är lite drygt 1 grad vid 1,5 graders global uppvärmning och 1,5 vid två graders global uppvärmning utom längst i norr och i fjällkedjan där man får lägga till ytterligare ca en halv grads ökning av maxtemperaturerna. Mellanårsvariabiliteten ändras inte nämnvärt. Slutsats: Mycket trolig med en tydlig ökning i dygnets maxtemperatur för alla årstider. Störst ökning i norr.

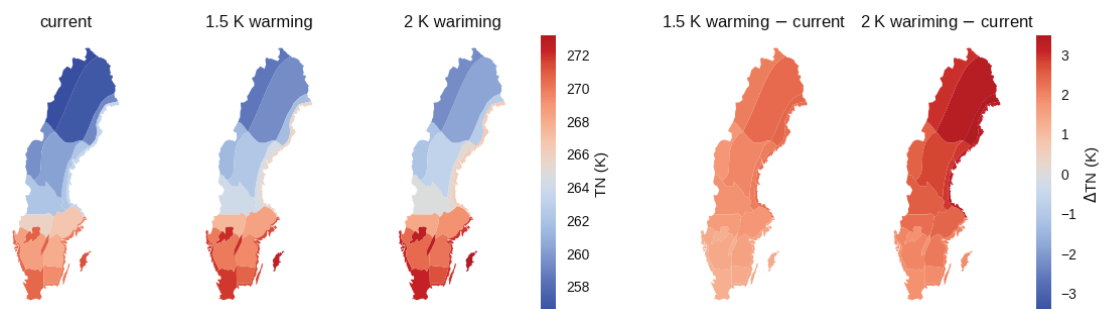


Figur 8. Dygnsmaxtemperatur under sommaren (JJA). Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971–2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figuren till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.1.3. Dygnsminimitemperatur (TN, (°C))

Dygnsminimitemperaturen i Sverige varierar med ungefär 10 grader från allra längst i söder till längst i norr. Skillnaderna är ungefär desamma under olika årstider. De allra högsta dygnsminimitemperaturerna hittar man längs kusterna och kring de stora sjöarna vilka fungerar som värmemagasin som minskar de största temperatursvängningarna (Figur 9). De olika klimatmodellerna skiljer sig kraftigt åt inom de olika prognosdistrikten. Klimatförändringssignalen är däremot relativt entydig mellan olika klimatmodeller, modeller med lägre

minimitemperaturer i referensklimatet har lägre minimitemperaturer även i ett framtida klimat och vice versa. Klimatförändringssignalen är ca 1,5°C vid 1,5°C global uppvärmning och ca 2°C vid 2°C global uppvärmning utom längst i norr och längs norrlandskusten där ökningen är ännu större. Ökningen är störst under vintern. Slutsats: Mycket troligt med en tydlig ökning i dygnets minimitemperatur för alla årstider men mest utpräglat på vintern. Störst ökning i norr. Osäkerhet kring hur stor ökningen blir.



Figur 9. Dygnsminimitemperatur under vintern (DJF). Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971–2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.1.4. Kalla nätter, varma dagar (DTR, (°C))

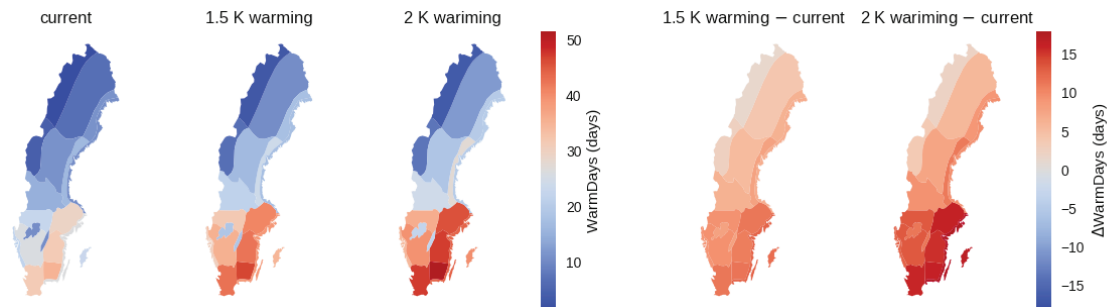
Under perioden november till mars är DTR i medeltal som störst i Norrlands inland och i inre delarna av norra Svealand för att under resten av året vara relativt enhetlig över landet med undantaget av fjällkedjan där dygnsvariationerna är något mindre under sommarhalvåret. Fem av de sju regionala klimatmodellerna underskattar dygnsvariationerna i temperatur i de återanalysdrivna körningarna för alla månader, de andra två visar på relativt bra överensstämmelse. Systematiska skillnader finns även i de GCM-drivna körningarna där de modeller som underskattar DTR i de återanalysdrivna körningarna underskattar DTR även här. I klimatscenerierna minskar dygnsvariationerna i temperatur. Förändringen är olika stor i olika landsdelar under olika årstider. På vintern finns maximum längs norrlandskusten då med värden upp över 0,5°C och även under andra månader finns områden i norr med relativt stora skillnader. Under juni däremot finns största förändringarna i Götaland och Svealand med uppemot ett par tiondels grad. Mellanårsvariabiliteten väntas inte ändras i någon större utsträckning men minskar allmänt något till följd av minskningen i absolutvärde. Slutsats: Mycket troligt med minskande DTR i takt med att klimatet blir varmare eftersom minimitemperaturerna ökar mer än maxitemperaturerna.

3.1.5. Varma dagar/högsommardagar (Maxtemperatur >20°C) (WarmDays, (dagar))

Antalet varma dagar med högsommartemperaturer varierar stort i landet med minima i fjällkedjans norra delar och maxima i de sydligaste och sydostligaste delarna av landet (Figur 10). Klimatmodellerna uppvisar stora skillnader i antalet dagar med högsommartemperaturer, i vissa prognosdistrikt kan skillnaden vara

mer än 30 dagars skillnad mellan olika modeller. En del modeller underskattar antalet dagar medan andra representerar en överskattning av det faktiska antalet dagar. Klimatförändringssignalen är relativt entydig med en ökning över hela landet men med skillnader i absoluta tal mellan olika modeller.

Mellanårsvariabiliteten förväntas öka. Slutsats: Mycket troligt med en tydlig ökning av antalet varma högsommardagar i hela landet. Osäkerhet kring hur stor ökningen blir.



Figur 10. Antal dagar per år med maxtemperatur >20°C. Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971–2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.1.6. Värmebölja (dagar i följd med maxtemperatur > 20°C) (ConWarmDays, (dagar))

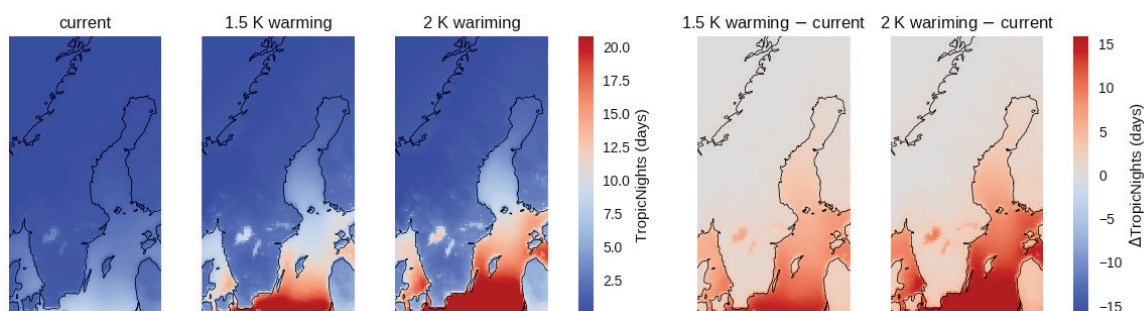
Antalet dagar i följd med maxtemperatur över 20°C varierar mellan ett fåtal i fjällkedjan till uppemot en månad i sydöstra delarna av landet.

Klimatförändringssignalen följer ungefär samma mönster med störst ökning längst i sydost. Förändringen är tydlig i scenarierna med allt ifrån ett par dagar längst i norr till uppemot lite drygt en vecka vid +1,5 resp. två veckor vid +2 grader varmare jämfört med förindustriell tid längst i sydost. Spridningen mellan simuleringarna är relativt stor och vissa modeller uppvisar väsentligt längre perioder med varma förhållanden än andra (Figur 5). Skillnaderna i absoluta tal är särskilt markerade i södra delen av landet (Figur 3 och 4). I ett varmare klimat väntas också mellanårsvariabiliteten bli större. Slutsats: Mycket troligt att antalet dagar i följd med maxtemperatur över 20°C ökar kraftigt. I absoluta tal är ökningen störst i södra och sydöstra delarna av landet. Osäkerheten om med hur mycket är dock stor.

3.1.7. Tropiska nätter (dagar med minimitemperatur >17°C) (TropicNights, (dagar))

Tropiska nätter är ett relativt ovanligt fenomen i Sverige. Det är i princip bara längs med kusterna i de sydligaste delarna av landet som modellerna visar på någon till ett par dagar per år. Det finns ett stort modellberoende, vissa modeller ger i princip aldrig några tropiska nätter medan andra är betydligt mer benägna att göra det. Jämfört med observationerna så är de RCMer som ligger någonstans i mitten av intervallet mest realistiska. Klimatförändringssignalen visar på en viss ökning i förekomsten i klimatscenierna. Särskilt i närheten av de stora sjöarna och kusterna blir fenomenet mer vanligt (Figur 11). Även för

klimatförändringssignalen är skillnaden dock stor mellan modeller. För de RCMer som inte ger några tropiska nätter i dagens klimat fås endast mycket små skillnader. För de som stämmer bättre med observationerna fås en ökning med någon till några dagar längs med kusterna i söder och kring de stora sjöarna. Över södra Östersjön är ökningen större, uppemot ett par veckor. För modeller som uppvisar tropiska nätter i dagens klimat ökar också mellanårsvariabiliteten i dessa områden. Slutsats: Troligt med en viss ökning finns dock främst längs med kusterna i södra Sverige. Osäkerhet kring hur stor ökningen blir.

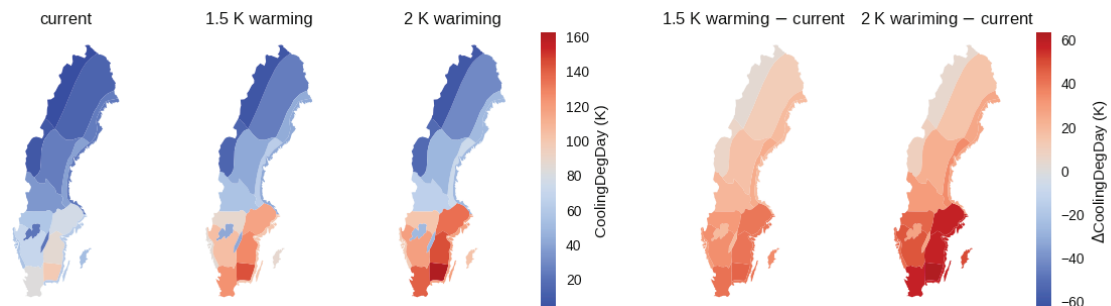


Figur 11. Antal dagar per år med minimitemperatur >17°C. Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971-2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.1.8. Kylgraddagar (maxtemperatur > 20°C) (CoolingDegDay, (graddagar))

Antalet graddagar för kylbehov baserat på dygn då maxtemperaturen är över 20°C är relativt litet i dagens klimat med stora skillnader över landet. Från närmare noll i fjällkedjan till de högsta värdena allra längst i sydost med i medeltal uppemot 100 graddagar enligt klimatmodellerna (Figur 12). Klimatmodellerna uppvisar stora skillnader där enstaka modeller i medeltal visar på uppemot 200 graddagar i referensklimate i sydöstra Götaland medan andra visar på betydligt färre. Antalet kylgraddagar har en naturligtvis en markerad årsvariation med huvuddelen av kylgraddagarna under sommarmånaderna.

Klimatförändringssignalen har också ett tydligt geografiskt mönster med de största förändringarna i södra Sverige och då särskilt i de östra delarna. Även här är skillnaderna mellan olika modeller stora. I relativa termer är ökningen vid 2-gradersnivån mer än 50% i många regioner och uppemot en fördubbling i delar av Norrland (undantaget fjällkedjan). I ett varmare klimat väntas också mellanårsvariabiliteten bli större. Slutsats: Mycket troligt att antalet kylgraddagar ökar över hela landet med störst ökning i absoluta tal söder och sydost. Osäkerhet kring hur stor ökningen blir.



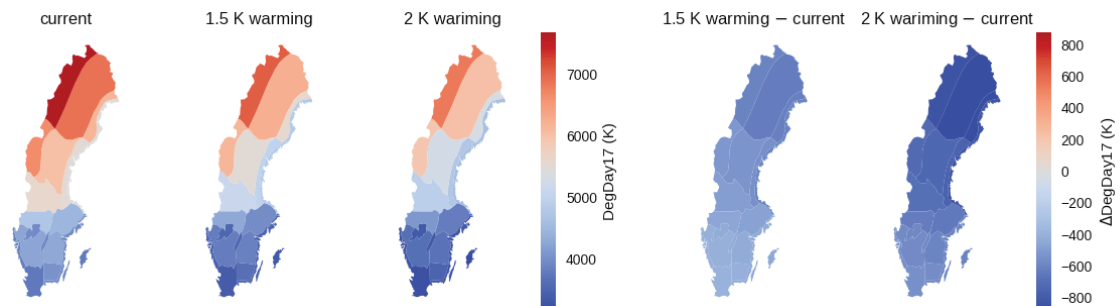
Figur 12. Kylgraddagar baserat på maxtemperatur >20°C. Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971–2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.1.9. Kylgraddagar (medeltemperatur > 20°C) (DegDay20, (graddagar))

Antalet graddagar för kylbehov baserat på dygn då medeltemperaturen är över 20°C är relativt litet i referensklimatet med stora skillnader över landet. Från närmare noll i fjällkedjan till de högsta värdena allra längst i sydost med ca 10 graddagar enligt klimatmodellerna. Klimatmodellerna uppvisar stora skillnader där enstaka modeller visar på uppemot 20 eller t o m 30 i referensklimatet längst i söder medan andra visar på betydligt färre. Antalet kylgraddagar har naturligtvis en markerad årsvariation med huvuddelen av kylgraddagarna under sommarmånaderna. Klimatförändringssignalen har också ett tydligt geografiskt mönster med de största förändringarna i södra Sverige och då särskilt i de östra delarna. Även här är skillnaderna mellan olika modeller stora. I relativa termer är ökningen mer än 50% i många regioner och uppemot en fördubbling i delar av Norrland (undantaget fjällkedjan). I ett varmare klimat väntas också mellanårsvariabiliteten bli större. Slutsats: Mycket troligt att antalet kylgraddagar ökar över hela landet med störst ökning i absoluta tal söder och sydost. Osäkerhet kring hur stor ökningen blir.

3.1.10. Graddagar för uppvärmning (med medeltemp < 17°C) (DegDay17, (graddagar))

Antal graddagar för uppvärmning är störst i landets nordligaste delar och då särskilt i fjällkedjan (Fig. 13). Lägst antal graddagar för uppvärmning finns i södra Götaland. Skillnaden mellan största värdena i norr och de minsta värdena i söder är ungefär en faktor två. Antalet graddagar för uppvärmning har också en gradient med de största värdena i inlandet och de lägsta värdena längs kusterna och runt de stora sjöarna. Klimatmodellerna visar på stora skillnader i absoluta tal. I takt med att det blir varmare minskar antalet graddagar för uppvärmning. I absoluta tal är minskningen störst i norr och relativt jämnt fördelad mellan fjälltrakterna, inlandet och kusten. Klimatförändringssignalen är relativt enhetlig oavsett om en modell varit bland de varmare eller bland de kallare i det historiska klimatet. Inga större väntade förändringar i mellanårsvariabiliteten. Slutsats: Mycket troligt att uppvärmningsbehovet minskar i takt med att klimatet blir varmare med den största ökningen i absoluta termer i norra delarna av landet. Osäkerhet kring hur stor minskningen blir men vid +1,5°C är minskningen ungefär 10% i större delen av landet och vid +2°C närmare 15%.

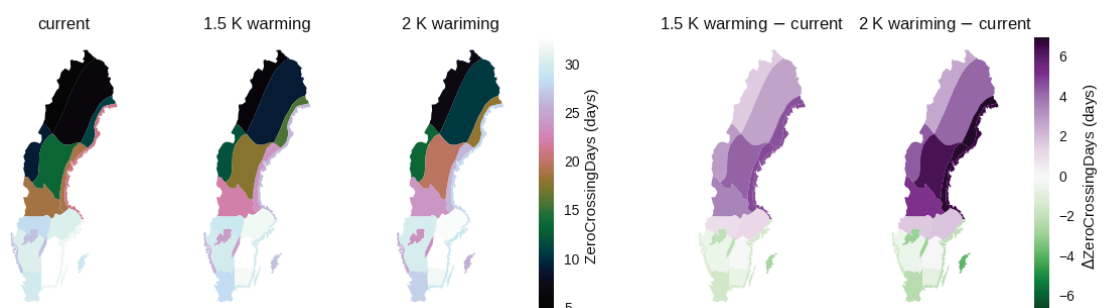


Figur 13. Graddagar för uppvärmning baserat på medeltemperatur $<17^{\circ}\text{C}$. Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971–2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når $1,5^{\circ}\text{C}$ resp. 2°C . Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid $1,5^{\circ}\text{C}$ och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.1.11. Nollgenomgångar (Antal dagar med högsta temp $> 0^{\circ}\text{C}$ och lägsta temp $< 0^{\circ}\text{C}$) (ZeroCrossingDays, (dagar))

Antalet dagar med nollgenomgångar varierar stort över landet och mellan olika årstider. För vintern är det relativt vanligt i södra delarna av landet och längs södra Norrlandskusten där man vanligen har mer än 30 dagar (Fig. 14). Längre upp i norr och i fjällkedjan minskar antalet till som mest någon vecka. Under vår och vinter är de flesta dagarna med nollgenomgångar i norra Svealand och det inre av Norrland medan man under sommaren bara hittar dagar med nollgenomgångar i fjällkedjan. Modellerna fångar i stort de här skillnaderna även om en del modeller som regel ger för få dagar och några ger för stora kontraster mellan söder och norr. I takt med att klimatet blir varmare flyttar områdena med flest nollgenomgångar norrut. Under vintern är det främst i Norrlands kustland som antal dagar med nollgenomgångar ökar med i snitt uppemot en vecka vid 2°C global uppvärmning. Under resten av året sker en minskning i hela landet utom i delar av fjällkedjan där antalet dagar förväntas öka under våren och delvis under hösten.

Mellanårsvariabiliteten ökar i områden och säsonger med ökat antal dagar och minskar i områden och under säsonger med minskning. Slutsats: Mycket troligt att antal dagar med nollgenomgångar minskar i landet i takt med att det blir varmare. Under vintermånaderna sker dock en ökning i stora delar av landet, främst längs norrlandskusten. Osäkerhet kring hur stor ökningen blir.



Figur 14. Antal dagar med nollgenomgångar under vintermånaderna (DJF). Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971–2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når $1,5^{\circ}\text{C}$ resp. 2°C . Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid $1,5^{\circ}\text{C}$ och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.1.12. Vegetationsperiodens slut (sista dag i sammanhängande 4-dags period med medeltemp > 5°C) (VegSeasonDayEnd-5, (dagnummer))

Vegetationsperiodens slut infaller någon gång mellan augusti och oktober med tidigaste slut i fjällkedjan och senaste längs med kusterna och runt de stora sjöarna i söder. När de regionala modellerna drivs av återanalys fångar de detta inom $\pm$ två veckor. I de flesta GCM-drivna körningarna infaller vegetationsperiodens slut som regel uppemot två veckor senare än i observationerna. Klimatförändringssignalen är likartad över landet med ca 1 vecka vid 1,5°C global uppvärmning och 2 veckor vid 2°C global uppvärmning. Geografiska skillnader visar något mindre förändring i södra Götaland där vegetationsperiodens slut ligger sent på året redan i dagens klimat samt i inre delarna av norra Norrland. Spridningen mellan modellerna är ungefär lika stor i scenarierna som i dagens klimat och varmare modeller i dag är också generellt sett varmare i framtiden. Inga större förändringar väntas i mellanårsvariabiliteten utom längst i söder där den minskar till följd av att säsongen under vissa år räcker hela året ut. Slutsats: Mycket troligt att vegetationsperioden förlängs på hösten med en till två veckor vid +1.5 eller +2 grader global uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

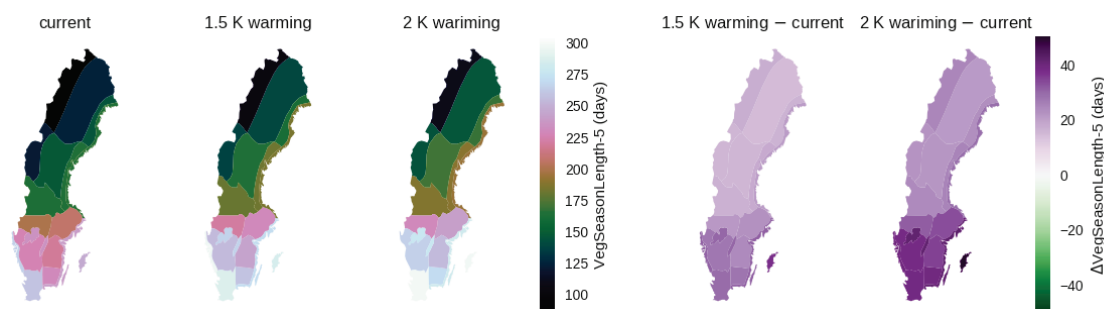
3.1.13. Vegetationsperiodens start (första dag i sammanhängande 4-dags period med medeltemp > 5°C) (VegSeasonDayStart-5, (dagnummer))

Vegetationsperiodens start infaller någon gång mellan februari eller början av mars längst i söder och längs med kusterna i Sydsverige och juni eller till och med juli i fjällkedjan. När de regionala modellerna drivs av återanalys ligger vegetationsperiodens start som regel ett par veckor eller uppemot en månad senare än i observationerna. I de GCM-drivna körningarna är överensstämmelsen generellt bättre. Klimatförändringssignalen är störst i Götaland och södra Svealand. Vid 1,5°C global uppvärmning handlar det om uppemot 3 veckor och vid 2°C global uppvärmning drygt en månad. För Gotland är ökningen ännu större. Spridningen mellan modellerna minskar i många områden i söder, i övrigt relativt oförändrad. Mellanårsvariabiliteten ändras på likartat sätt med kraftig ökning i söder och relativt liten förändring i norr. Slutsats: Mycket troligt att vegetationsperioden förlängs på våren med som minst ca en vecka i norra Norrlands inland och som mest upp emot drygt en månad i södra Götaland vid +2 grader global uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.1.14. Vegetationsperiodens längd (medeltemp > 5°C) (VegSeasonLength-5, (dagar))

Vegetationsperiodens längd varierar mellan ungefär 4 och 10 månader från fjälltrakterna i norr ner till södra Götaland (Fig. 15). De flesta regionala modellerna underskattar detta med ett par veckor upp emot en månad när de drivs av återanalys. När de drivs av GCMer är spridningen stor med både över- och underskattning av vegetationsperiodens längd med flera veckor i de olika simuleringarna men i medeltal är överensstämmelsen relativt god. I ett varmare klimat ökar vegetationsperiodens längd. Spridningen är stor mellan modellerna. Modeller som är varma i dagens klimat är varma även i framtiden och vice versa. Ökningen är störst i Götaland samt längs med kusterna. Vid 1,5°C global uppvärmning handlar det om uppemot 1 månad längst i söder och vid 2°C global

uppvärmning uppemot 6 veckor vid Västkusten ytterligare ett par veckor. Notera också att i många simuleringar nås 365 dagar för olika år och platser i scenarierna särskilt vid 2°C global uppvärmning men i vissa fall även vid 1,5°C global uppvärmning. Mellanårsvariabiliteten ändras relativt lite i större delen av landet. Slutsats: Mycket troligt att vegetationsperiodens längd ökar i hela landet. Störst ökning i söder längs med kusterna. Osäkert kring hur stor förändringen kommer att bli.



Figur 15. Vegetationsperiodens längd (baserat på dagar då medeltemperaturen är > 5°C). Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971–2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

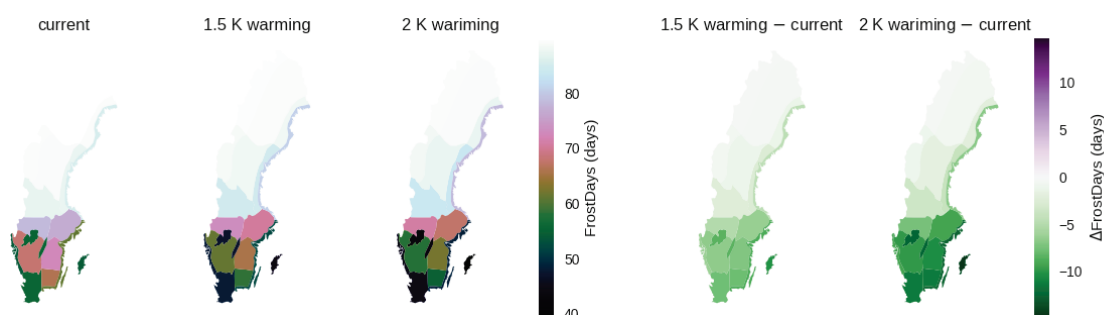
3.1.15. Vegetationsperiodens längd (medeltemp > 2°C) (VegSeasonLength-2, (dagar))

Vegetationsperiodens längd varierar mellan ungefär ett halvår allra längst i norr till mer eller mindre hela året längst i söder. De flesta regionala modellerna underskattar detta med 1–2 månader när de drivs av återanalys. När de drivs av GCMer är spridningen stor med både över- och underskattning av vegetationsperiodens längd men i medeltal syns även här en viss systematisk underskattning. I ett varmare klimat ökar vegetationsperiodens längd. Ökningen är som störst längs med norrlandskusten med över 6 veckor vid 2°C global uppvärmning samt i ett ost-västligt band över södra Svealand. De relativt sett minsta ökningarna fås i södra Götaland och norra Norrlands inland med 2–3 veckor vid 2°C global uppvärmning. Mellanårsvariabiliteten väntas minska i söder där en allt större del av åren ser en vegetationsperiod som sträcker sig över hela året. I norr väntas ingen förändring av mellanårsvariabiliteten. Slutsats: Mycket troligt att vegetationsperiodens längd ökar i hela landet. Störst ökning längs med norrlandskusten. Osäkert kring hur stor förändringen kommer att bli.

3.1.16. Frostdagar (minimitemperatur < 0°C) (FrostDays, (dagar))

Antal frostdagar varierar stort över landet från ca 3 månader längst i söder till över 10 månader i delar av fjällkedjan (Fig. 16). Skillnaderna mellan olika modeller kan lokalt vara stora med uppemot 2 månader. På årsbasis minskar antalet frostdagar kraftigt med mellan 2–3 veckor vid +1,5 resp. en månad vid +2 grader varmare jämfört med förindustriell tid. De allra största ökningarna hittar vi över Bottenhavet och Bottenviken till följd av mindre utbredd havsis och varmare havsvatten som håller temperaturen över noll grader. Sett över året är skillnaderna olika i olika delar av landet under olika säsonger. Längst i norr är förändringarna

under vintern små både vid +1,5 och +2 grader uppvärmning samtidigt som skillnaderna över södra delarna av landet och omgivande havsområden och de stora sjöarna i söder är väsentligt större. Under sommaren är det bara i fjällkedjan vi har frostdagar i dagens klimat och följaktligen är det där vi ser förändringar vid det varmare klimatet. Spridningen är relativt stor mellan olika simuleringar både i referensklimatet och i framtida klimat. Slutsats: Mycket troligt med en kraftig minskning av antalet frostdagar i takt med att klimatet blir varmare. Förändringar i mellanårsvariabiliteten är olika i olika områden och för olika säsonger. T ex minskar den i fjällkedjan under sommaren men ökar under våren då antal dagar med frost minskar. Osäkerheten om hur stor förändringen i antal frostdagar kan bli är dock stor.



Figur 16. Antal frostdagar (då minimitemperaturen < 0°C). Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971–2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.1.17. Sista vårfrost (minimitemperatur < 0°C) (SpringFrostDayEnd, (dagnummer))

Sista dag med frost varierar med mer än två månader från sydligaste Sverige till fjällen längst i norr. Modellerna visar stor spridning för varje distrikt med ibland flera månaders skillnad mellan den modell som ger tidigast och den som ger senaste slutdatum för vårfrost. Klimatförändringssignalen pekar på att sista datum för vårfrost kommer att flyttas tidigare. De största förändringarna väntas i fjällkedjan med upp emot 2 veckor vid 1,5°C global uppvärmning och tre veckor vid 2°C global uppvärmning. Längre söderut blir förändringarna något mindre och i södra Götaland där sista vårfrost redan idag inträffar relativt tidigt handlar det om 1–2 veckors tidigareläggning. Spridningen mellan modeller är stor men relativt entydig mellan olika klimatmodeller, modeller med senare datum för sista vårfrost i referensklimatet har senare datum även i ett framtida klimat och vice versa. Mellanårsvariabiliteten väntas inte ändras i någon större utsträckning. Slutsats: Mycket troligt med en tidigareläggning av datum för sista vårfrost, särskilt utpräglad längs fjällkedjan. Osäkerhet kring hur stor ökningen blir.

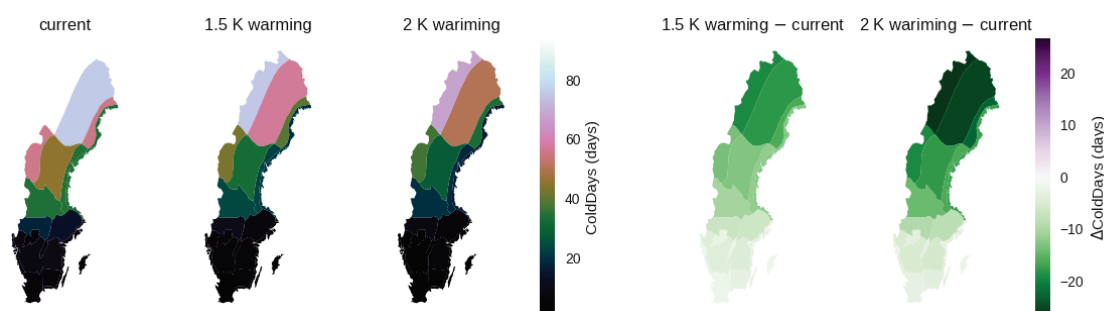
3.1.18. Första dagen utan frost (minimitemperatur < 0°C) (FirstDayWithoutFrost, (dagnummer))

Första dag utan frost varierar från januari längst i söder till april eller t o m maj i delar av fjällkedjan. Modellerna visar på stor spridning för de olika distrikten. Klimatförändringssignalen visar att första dag utan frost infaller allt tidigare i ett

varmare klimat. De största förändringarna väntas längs Norrlandskusten med mer än tre veckor vid 1,5°C och mer än en månad vid 2°C global uppvärmning. I södra Götaland där första dagen utan frost infaller mycket tidigt redan i dagens klimat är förändringarna som minst. Mellanårsvariabiliteten förväntas öka något i fjällkedjan, ändras relativt lite i övriga Norrland och Svealand men minska i södra Götaland där en allt större del av åren får sin första dag utan frost allt tidigare. Slutsats: Mycket troligt med tidigareläggning av datum för första dag utan frost, särskilt utpräglad längs Norrlandskusten. Osäkerhet kring hur stor ökningen blir.

3.1.19. Kalla dagar (maxtemperatur < -7°C) (ColdDays, dagar)

Antal kalla dagar med låga temperaturer (här under -7°C) varierar stort över landet med maxima i landets norra delar där det under vintern i medeltal råder så pass kalla förhållanden under minst en av tre dagar och allra längst i norr och i delar av fjällkedjan med två av tre dagar eller mer. I Götaland och södra Svealand är antalet kalla vinterdagar i medeltal begränsat till som mest en till två veckor under tremånaderssäsongen december-februari. Spridningen mellan olika simuleringar är stor för de olika regionerna där vissa modeller har mer än dubbelt så många kalla dagar som andra. Skillnaderna är dock systematiska varvid de modeller som uppvisar flest kalla dagar i referensklimatet också gör det i framtida varmare klimat. Klimatförändringssignalen pekar på en minskning över hela landet med den största absoluta minskningen i Norrlands kustland och inland samt i norra Svealand (Fig. 17). Minskningen under vintermånaderna är uppemot en vecka längst i norr vid 1,5°C och två veckor vid 2°C. Under vår och höst är förändringen mer koncentrerad till de nordligaste delarna av landet och särskilt till fjällkedjan. Slutsats: Mycket troligt att riktigt kalla vinterdagar med medeltemperatur under -7°C minskar med alltifrån ett par dagar längst i söder till uppemot två veckor vid +1,5°C längst i norr. Vid högre uppvärmningsgrad är minskningen i antal dagar större. Mellanårsvariabiliteten minskar mestadels under vår och höst samt i södra delarna av landet även under vintern. I norra delarna av landet är ändringen i mellanårsvariabilitet under vintern liten. Osäkerhet kring hur stor minskningen blir.

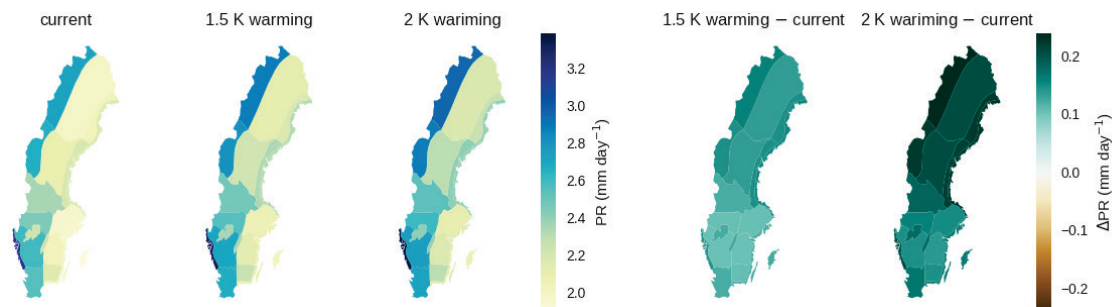


Figur 17. Antal dagar då minimitemperaturen < -7°C. Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971–2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.2. INDEX RELATERAT TILL NEDERBÖRDSKLIMATET

3.2.1. Nederbörd (PR, (mm/dag))

Nederbörden varierar från i medeltal ca 2 mm/dag i östra Sverige till uppåt 4 mm/dag i fjällkedjan (Fig. 18). Modellerna överskattar nederbörden jämfört med observationer med 50%, eller ibland mer. I södra Sverige är sommaren blötast, i fjällen ger vintern mest nederbörd. Detta mönster beräknas bestå även i ett förändrat klimat. Nederbörden beräknas öka i hela landet under alla årstider. Även om modellerna är överens om att nederbörden ökar är ökningen liten, omkring 5%. IQR är förhållandevis stor, ungefär hälften av det absoluta värdet. Slutsats: Troligt med ökad nederbörd men förändringen är liten och variationen i nederbörd är stor. Förändringen kan, även på längre tidsskalor som decennier, övertrumpas av naturliga variationer. Med en global uppvärmning på mer än +2°C blir signalen tydligare och beräknas uppgå till 10% eller mer. Troligt att mellanårsvariationen förblir densamma.



Figur 18. Årsmedelnederbörd. Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971–2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figuren till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

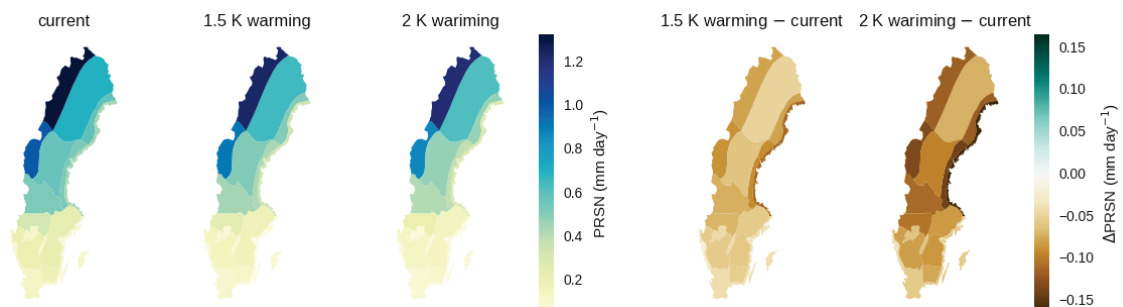
3.2.2. Summa regn (PRRN, (mm/dag))

Regnsumman varierar från nära 0 mm/dag i norra Sverige på vintern (då den mest nederbörden faller som snö) till drygt 4 mm/dag i fjällkedjan på sommaren. Spridningen är förhållandevis stor, IQR är ungefär en tredjedel av absolutvärdena, och ensemblen består endast av 14 modeller. Regnsumman beräknas öka i framtiden, men på olika sätt i olika delar av landet och på olika årstider. På vintern syns en tydlig ökning på ca 10% i södra Sverige och längs Norrlandskusten. På våren syns en liknande ökning i hela landet. På sommar och höst beräknas förändringen i regnsumman vara liten i södra Sverige. Slutsats: Troligt med ökad nederbörd men variationen i nederbörd är stor. Förändringen kan, även på längre tidsskalor som decennier, övertrumpas av naturliga variationer.

3.2.3. Summa snö (PRSN, (mm/dag))

Snösumman är störst på vintern i norra Sverige där den är drygt 2 mm/dag, och minst på sommaren där bara fjällkedjan har små mängder snö. Även på vintern är snösumman liten i Skåne. Spridningen mellan modeller är ganska liten. De flesta modeller ger liknande värden och liknande spridning. Ensemblen är liten, endast 14 modeller. I ett varmare klimat beräknas snönederbörden minska, framför allt för

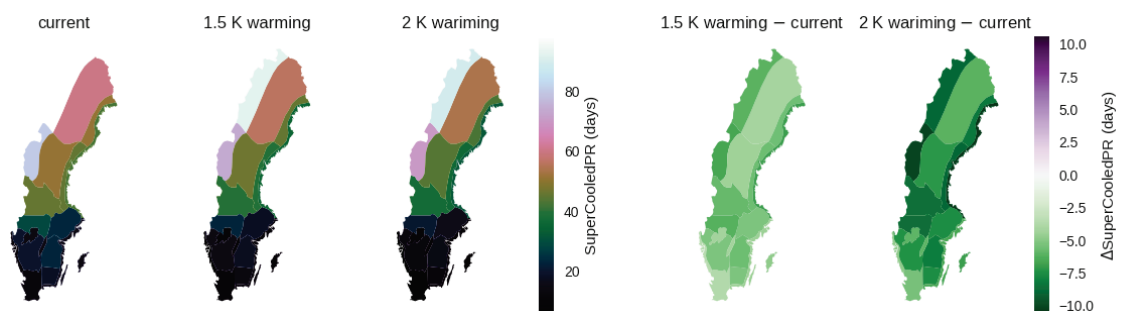
att mer nederbörd faller som regn (Fig. 19). I södra Sverige beräknas den på vintern minska med 30–40% vid en uppvärmning på 2 grader. I norra Norrland och norra fjällkedjan förändras snösumman lite på vintern (december - februari). Här är det även vid en viss uppvärmning tillräckligt kallt för att nederbörden ska falla som snö. På vår och höst minskar snösumman i norra Sverige med omkring 20% och ännu lite mer i fjällen. Slutsats: mycket troligt att snösumman minskar i ett framtida varmare klimat, i de säsonger då det faller snö. Enda undantaget är norra Norrland och norra fjällkedjan där det är mindre troligt med förändringar i snösumman på vintern. Osäkert om mellanårsvariationen förändras eftersom antalet modeller är litet.



Figur 19. Summa snö (helår). Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971–2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.2.4. Antal dagar med underkyllt regn (SuperCooledPR, (dagar))

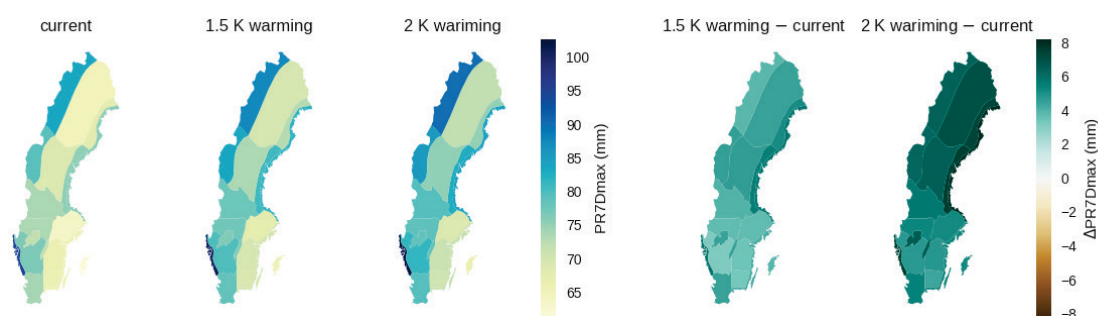
Antalet dagar per år med underkyllt regn sträcker sig från drygt 10 i södra Sverige till drygt 80 i fjällen (Fig. 20). Spridningen mellan modeller är relativt stor. De modeller med flest dagar ger ungefär 20% fler dagar än de modeller som ger minst antal. Ensemblen är liten, endast 13 modeller ingår. Antalet dagar med underkyllt regn beräknas minska i framtiden. Som mest i den västra delen av fjällkedjan, där är minskningen ner mot 15 dagar. I övriga Sverige är minskningen 5–10 dagar. Mellanårsvariationen förändras inte på något uppenbart sätt. Slutsats: antalet dagar med underkyllt regn beräknas minska i framtiden, men eftersom antalet modeller är få och förändringen är liten jämfört med den naturliga variationen är bedömningen osäker.



Figur 20. Antal dagar med underkyllt regn. Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971–2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.2.5. Högsta nederbörd under 7 dagar (PR7Dmax, (mm))

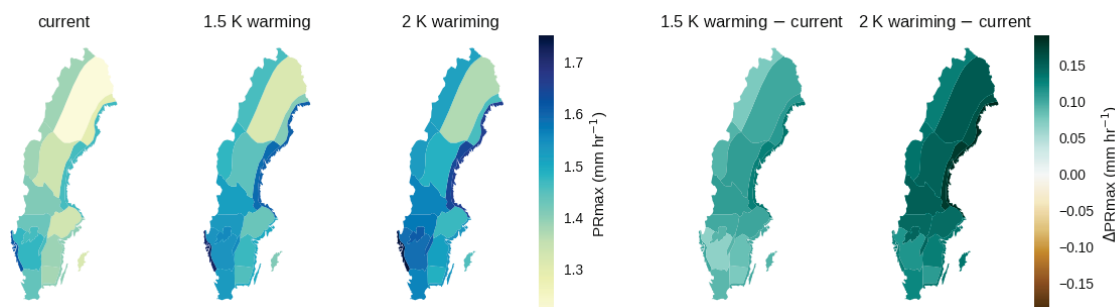
Den största nederbörds mängden under sju dagar varierar från under 70 mm i sydöstra Sverige till över 100 mm i fjällkedjan. Modellerna överskattar nederbörden med omkring 20% jämfört med observationer. Spridningen mellan modeller är förhållandevis stor, ungefär hälften av det absoluta värdet. Den största nederbörds mängden under sju dagar beräknas öka i hela landet med 4–8 mm (Fig. 21). Det är en tydlig signal även om det finns modeller som ger små förändringar, och till och med små minskningar. Slutsats: Troligt med ökad nederbörd men den naturliga variabiliteten är stor och kan, även på längre tidsskalor som decennier, övertrumfa förväntade förändringar även vid +2 graders uppvärmning. Mindre troligt med förändring av mellanårsvariationen.



Figur 21. Högsta nederbörd under 7 dagar. Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971–2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.2.6. Extrem nederbördsintensitet (PRmax, (mm/timme))

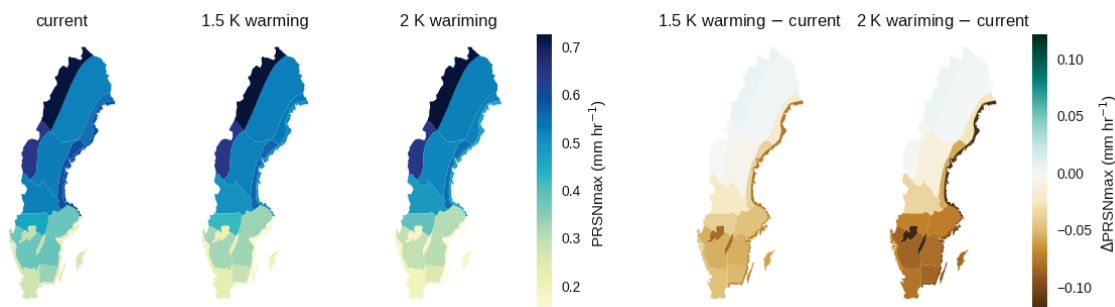
Den extrema nederbörden varierar från drygt 1 mm/h i delar av Norrlands inland till närmare 1,5–2 mm/h längs delar av Västkusten och Norrlandskusten. I fjällkedjan är de lokala variationerna stora med värden mellan 1 och 2 mm/h. (Fig. 22). Den extrema nederbörden är störst där medelnederbörden är störst. Modellerna överskattar den extrema nederbördsintensiteten med ungefär 15%. Förändringen i den extrema nederbörden är förhållandevis stor, 5–10%. Förändringen är ungefär lika stor i alla delar av landet. Förändringen är tydlig och syns i alla delar av fördelningen, det är alltså inte bara i medelvärdet som förändringen syns utan även i de extrema percentilerna. Alla delar av fördelningen ökar ungefär lika mycket. Slutsats: mycket troligt att den extrema nederbörden beräknas öka. Detta är en tydligare signal än för förändringen i medelnederbörd. Men den naturliga variabiliteten är stor och kan, även på längre tidsskalor som decennier, övertrumfa förväntade förändringar även vid +2 graders uppvärmning. Signalen blir ännu tydligare vid en uppvärmning på över +2°C. Osäkert om mellanårsvariationen ökar.



Figur 22. Maximal nederbördsintensitet. Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971-2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.2.7. Maximal snöfallsintensitet (PRSNmax, (mm/h))

Den maximala snöfallsintensiteten går från 0.1 mm/h i södra Sverige till nästan 1 mm/h i fjällen och delar av Norrlands inland (Fig. 23). Spridningen mellan modeller är relativt stor, skillnaden mellan två modeller kan vara 0.1 mm/h. Endast 14 modeller ingår i ensemblen. Den maximala snöfallsintensiteten beräknas minska i framtiden. Minskningen är störst i södra Sverige, 0.05-0.1 mm/h, dvs en minskning på 5-10%. I norr är förändringen nära noll, i fjällen ses en viss minskning, i inlandet en viss ökning. Mellanårsvariationen förändras inte på något enhetligt sätt, den minskar i några modeller och ökar i andra. Slutsats: den maximala snöfallsintensiteten beräknas minska något i söder och förbli ungefär densamma i norr. Resultatet är osäkert då antalet modeller är få och förändringen är liten jämfört med den naturliga variationen.

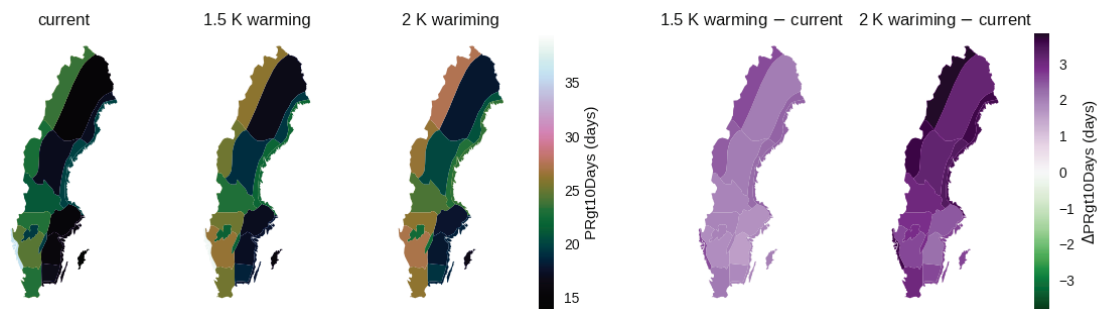


Figur 23. Maximal snöfallsintensitet. Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971-2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.2.8. Antal dagar med kraftig nederbörd (>10 mm/dag) (PRgt10Days, (dagar))

Antalet dagar med kraftig nederbörd är störst på sommaren, 7-9 dagar i större delen av landet. Endast östra Götaland har något färre, omkring 6 dagar. Vintern är den årstid med minst antal dagar, 2-3 dagar i det mesta av landet. Västra Götaland har något fler, omkring 6 dagar. Modellerna överskattar antalet dagar med kraftig nederbörd med ungefär 2 dagar per årstid. Spridningen mellan modeller är stor, IQR är ofta hälften, eller mer, av absolutvärdet. Vid en två grader varmare värld beräknas antalet dagar med kraftig nederbörd öka med som mest 1

dag per årstid. Trots den stora spridningen är i princip alla modeller överens om att antalet dagar kommer att öka (Fig. 24) och i relativa termer är ökningen betydande (närmare 20% för landet som helhet på helårsbasis). Denna utveckling blir tydligare i takt med att uppvärmningen fortskrider. Slutsats: det är troligt att antalet dagar med kraftig nederbörd ökar vid en två grader varmare värld. Det är mindre troligt att mellanårsvariationen förändras.



Figur 24. Antal dagar med kraftig nederbörd. Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971–2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.2.9. Antal dagar med extrem nederbörd (>25 mm/dag) (PRgt25Days, (dagar))

Antalet dagar med extrem nederbörd (>25 mm/dag) är litet i Sverige. Det är nästan bara på sommaren det inträffar och även då är antalet dagar i medeltal omkring 1 per årstid. Modellerna överskattar antalet dagar med extrem nederbörd med högst en halv dag per årstid. Spridningen är stor, ungefär lika stor som absolutvärdet. Antalet dagar med >25 mm/dag beräknas vara litet även i framtiden. Ökningen är som högst 0.5 fler dagar per sommar vid en uppvärmning på 2 grader, och i de flesta områden färre än så. Trots den stora spridningen är i princip alla modeller överens om att antalet dagar kommer att öka och i relativa termer är förändringen stor (omkring 30% för landet som helhet under sommaren). Det är alltså troligt att denna utveckling blir tydligare i takt med att uppvärmningen fortskrider. Slutsats: Troligt med ökat antal dagar med extrem nederbörd vid en två grader varmare värld. Mindre troligt med förändrad mellanårsvariation.

3.2.10. Antal torra dagar (DryDays, nederbörd < 1mm, (dagar/månad))

Antalet torra dagar helt utan eller med bara mycket lite nederbörd varierar från ca 14 dagar/månad i fjällkedjan till ca 20 dagar/månad i sydöstra Sverige. Det minsta antalet torra dagar har månaderna i de nederbördsrikaste områdena och årstiderna (fjällkedjan, västkusten och vintern). De flesta antalet torra dagar har månaderna i de torraste områdena och årstiderna (sydöstra Sverige och våren). Denna fördelning är ungefär densamma under alla årstider, med något fler torra dagar per månad på sommaren. Modellerna ligger nära återanalysen, möjligen underskattar de antalet torra dagar med 1–2 dagar. Även om det finns en viss spridning i ensemblen så ligger de flest modeller nära medianen för hela ensemblen. Förändringen i antalet torra dagar beräknas vara liten. Förändringen i ensemblemedelvärde är omkring 0.2 dagar/månad, att jämföra med ett absolut tal på omkring 18. Förändringen är alltså någon enstaka procent. En viss spridning

finns i modellensembeln, men kvartilavståndet (IQR, avståndet mellan 25:e och 75:e percentilen) är inte mer än ungefär 3 dagar/månad. Mycket troligt att mellanårsvariationen förblir densamma. Slutsats: mindre troligt att antalet torra dagar förändras vid +1.5 eller +2 grader varmare jämfört med förindustriell tid. Förändringen är liten jämfört med både absolutvärden, variabiliteten och spridningen inom modellensembeln. På längre sikt vid högre uppvärmningsnivåer syns dock en ökning i antalet torra dagar i södra Sverige.

3.2.11. Längsta torrperioden (LnstDryDays, (dagar))

Den längsta torrperioden är det största antalet dagar i rad under en säsong eller år utan nederbörd. Den längsta torrperioden varierar mellan 10–15 dagar beroende på årstid och region. De kortaste torrperioderna återfinns i de nederbördsrikaste områdena och årstiderna (fjällkedjan, västkusten och vintern). De längsta i de torraste områdena och årstiderna (sydöstra Sverige och våren). Modellerna ligger nära återanalysen, möjligen underskattar de den längsta torrperioden med 1–2 dagar. Även om det finns en viss spridning i ensemblen så ligger de flest modeller nära medianen för hela ensemblen. Förändringen beräknas vara liten vid +1.5 eller +2 grader varmare jämfört med förindustriell tid, inom ± 0.5 dagar. För högre uppvärmningsnivåer syns däremot en tydlig ökning för sommaren i södra Sverige med uppemot 1 dag i Götaland och delar av Svealand vid +4 grader. Även mellanårsvariabiliteten ökar i södra landet för högre uppvärmningsnivåer. Slutsats: mindre troligt att den längsta torrperioden ökar vid +1,5 eller 2-gradersnivåerna. På längre sikt är det troligt att den längsta torrperioden bli längre i södra Sverige där också mellanårsvariationen ökar.

3.3. INDEX RELATERAT TILL MARKFÖRHÅLLANDE

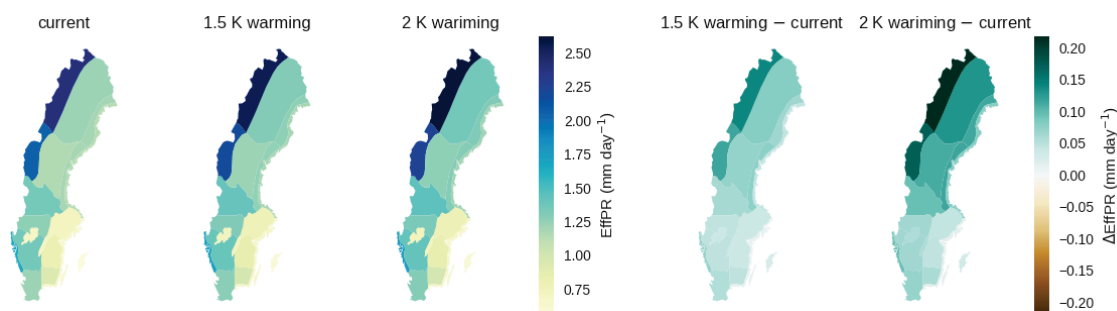
3.3.1. Evapotranspiration (ET, (mm/dag))

Evapotranspirationen varierar från nära 0 mm/dag i norra Sverige på vintern till uppemot 3 mm/dag i södra Sverige på sommaren. Evapotranspirationen ökar med högre temperatur, den är därför större på sommaren och större i södra Sverige. Spridningen mellan modeller är stor, särskilt på sommaren då evapotranspirationen är hög, troligen är detta en effekt av att modellerna ger olika temperaturer. IQR är förhållandevis hög jämfört med medianen, knappt 1 mm/dag jämfört med 2.5 mm/dag. Ökningen i evapotranspiration är liten på vintern eftersom temperaturen är låg, en viss ökning syns ändå i södra Sverige där temperaturen även vintertid kan vara tillräckligt hög för att ge evapotranspiration. På sommaren är ökningen omkring 10 % vid en +1.5 eller +2 grader varmare värld. Förändringen är störst i norr eftersom temperaturökningen är störst där. Slutsats: Mycket troligt med ökad evapotranspirationen i ett framtida varmare klimat. Detta märks framförallt på sommarhalvåret då temperaturen är tillräckligt hög för att evapotranspiration ska uppstå. Mindre troligt med förändrad mellanårsvariation.

3.3.2. Effektiv nederbörd (EffPR, (mm/dag))

Effektiv nederbörd är differensen mellan nederbörd och evapotranspiration. Den är som störst i delar av landet med störst nederbördsmängder (Fig. 25). Framför

allt fjällkedjan (2–2,5 mm/dag), men även längs västkusten på vintern. Minst är den i de sydöstra landsdelarna där den till och med blir negativ på sommaren. Spridningen är relativt stor, IQR är ungefär en tredjedel så stor som medianen. Detta är främst ett resultat av att spridningen inom modellerna är stor snarare än att spridningen mellan modeller är stor. Den effektiva nederbörden beräknas öka på vintern på grund av ökad nederbörd. På sommaren är förändringen liten. I södra Sverige är den omkring noll, vissa modeller ger ökning och andra minskning. Vid +1,5 eller +2 graders global temperaturökning är nederbördsförändringarna relativt små och osäkra, framför allt på sommaren. Det är därför svårt att säga om det är nederbördsökningen eller ökningen i avdunstning som kommer att ta överhanden. Den signalen blir tydligare om/när den globala temperaturökningen passerar två grader över förindustriella nivåer. Slutsats: troligt att den effektiva nederbörden ökar i framtiden som ett resultat av ökad nederbörd, framför allt i norra Sverige på vintern. På sommaren, och särskilt i södra Sverige, är förändringen osäker eftersom nederbördsförändringen är osäker. På sikt, vid högre uppvärmningsnivåer, kan södra Sverige få se en tydlig minskning under sommaren. Under flera årstider finns en tendens till ökad variabilitet, antingen genom fler blöta eller torra år, eller genom en kombination av båda.

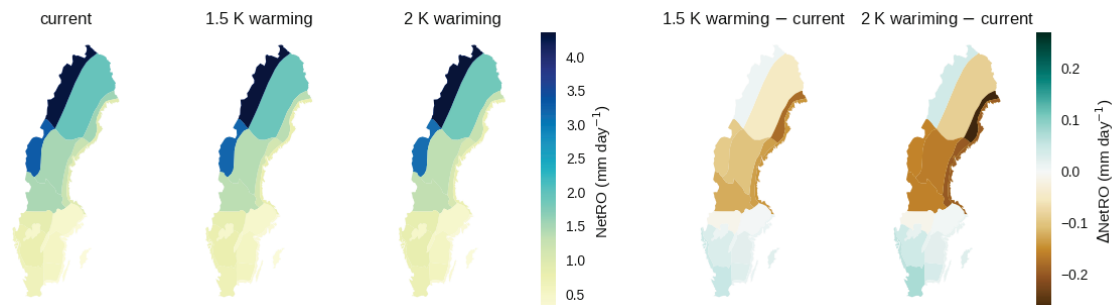


Figur 25. Effektiv nederbörd (nederbörd minus evapotranspiration, mm/dag) på årsbasis. Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971–2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.3.3. Nettoavrinning (NetRO, (mm/dag))

Nettoavrinningen är störst i fjällen till följd av stora nederbördsmängder, omkring 4 mm/dag. Nettoavrinningen är mindre än 2 mm/dag i det mesta av södra Sverige. Spridningen inom ensemblen är relativt stor. IQR är ungefär en tredjedel av absolutvärdet. Trots ökad effektiv nederbörd (se 3.3.2) minskar nettoavrinningen i stora delar av norra Sverige. Här är det den allt kortare snösäsong som spelar in då den ökar förutsättningarna för upptorkning av marken vilket leder till mindre avrinning under sommarmånaderna. Undantaget är den nordligaste delen av fjällkedjan där det fortfarande är relativt gott om snö, relativt låga temperaturer och mycket nederbörd. I landets södra delar ökar avrinningen i medeltal till följd av ökad nederbörd på årsbasis. De enskilda modellerna ger ganska olika medelvärden och olika spridning. Det finns en tendens till att nettoavrinning ökar i söder och minskar i norr undantaget fjällkedjans norra delar, men förändringarna är inte entydiga och därför osäkra (Fig. 26). Slutsats: troligt med ökad avrinning i

Götaland och minskad avrinning i norra Sverige undantaget fjällkedjan. Osäkert om förändrad mellanårsvariation.

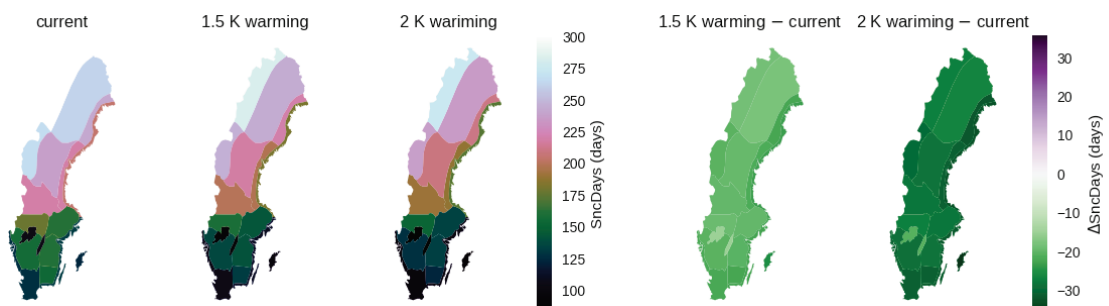


Figur 26. Nettoavrinning (mm/dag) på årsbasis. Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971-2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.4. INDEX RELATERAT TILL SNÖKLIMATET

3.4.1. Antal dagar med snötäcke (SncDays, (dagar))

Antalet dagar med snötäcke varierar från knappt 100 dagar per år i södra Sverige till knappt 300 i norra fjällkedjan (Fig. 27). Spridningen mellan modeller är stor, kvartilavståndet (IQR) är 50–100 dagar. Trots stor spridning är det en tydlig signal att antalet dagar med snötäcke minskar i framtiden. Alla modeller ger en minskning på 20–40 dagar vid en två grader varmare värld, ganska jämnt fördelat över landet. Slutsats: antalet dagar med snötäcke minskar med omkring 30 dagar vid två graders uppvärmning. Troligt med viss minskning av mellanårsvariationen i de områden där minskningen är störst.



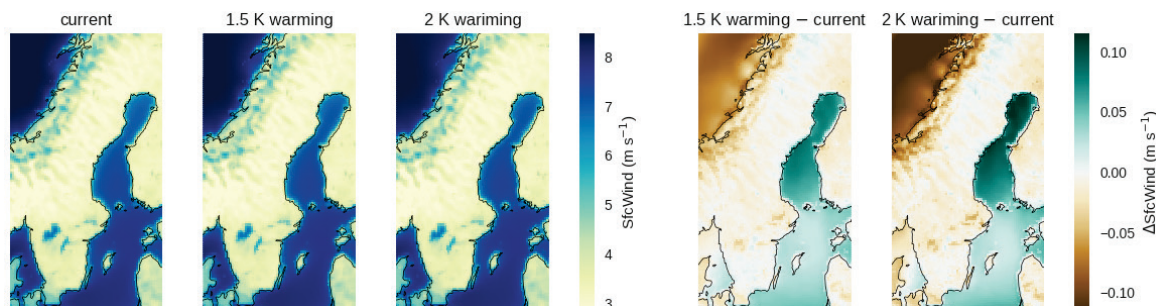
Figur 27. Antal dagar med snötäcke. Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971-2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.5. INDEX RELATERAT TILL VINDKLIMATET

3.5.1. Medelvindhastighet (SfcWind, (m/s))

Medelvindhastigheten varierar ganska lite över året och mellan delar av Sverige. De blåsiga områdena (Götalands kuster, Skåne, Öland och Gotland) har medelvindhastigheter på knappt 5 m/s. Området med minst vind (Norrlands

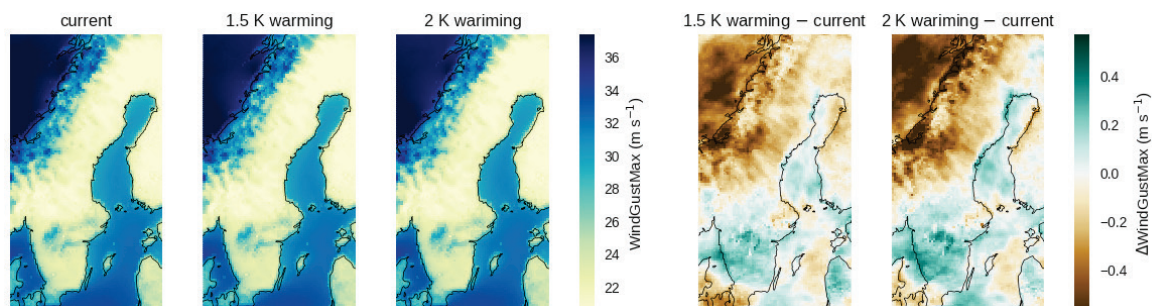
inland) har medelvindhastighet på drygt 3 m/s. Spridningen mellan modeller är stor. Kvartilavståndet (IQR) är i många fall 0.5–1 m/s. De beräknade förändringarna är nära noll för hela landet. Över delar av Östersjön, särskilt Bottenviken och Bottenhavet finns en viss ökning (Fig. 28). Slutsats: mindre troligt att medelvindhastigheten ändras i ett varmare klimat även om variationer på längre tidsskalor som decennier kan uppträda. Osäkert om mellanårsvariationen ändras.



Figur 28. Medelvind, årsmedelvärde (m/s). Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971–2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.5.2. Maximal byvind (WindGustMax, (m/s))

Den maximala byvinden varierar lite mellan delar av landet, mellan 22 och 28 m/s (Fig. 29). Områden med starkast maximal byvind är Götalandskusten, Öland, Gotland, Skåne och fjällen. Området med svagast maximal byvind är Norrlands inland. Spridningen är ganska liten. Kvartilavståndet (IQR) går från 3 m/s i de områdena med svagast maximal byvind till 6 m/s i de områdena med starkast maximal byvind. De beräknade förändringarna är nära noll. Slutsats: mindre troligt att den maximala byvinden ändras i ett varmare klimat även om variationer på längre tidsskalor som decennier kan uppträda. Osäkert om mellanårsvariationen förändras.

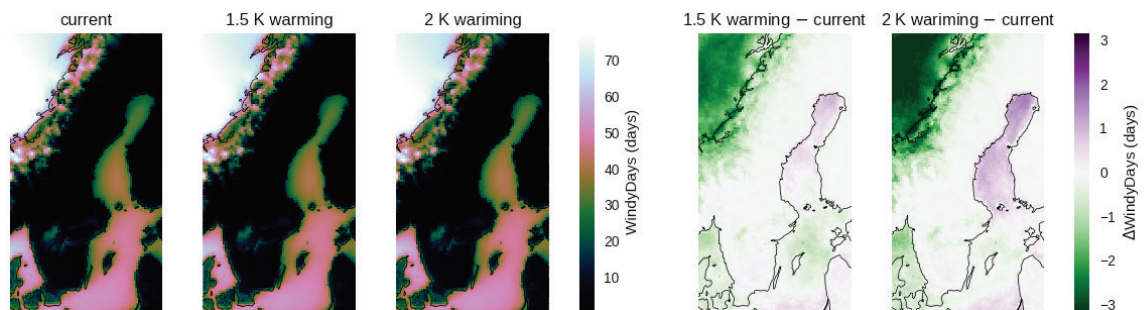


Figur 29. Maximal byvind, årsmedelvärde (m/s). Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971–2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.5.3. Antal dagar med byvind > 21 m/s (WindyDays, (dagar))

Antalet dagar med byvind över 21 m/s är få i större delen av landet (Fig. 30). Endast fjällen, Skåne och i viss mån västra Götaland har fler än 1–2 dagar per

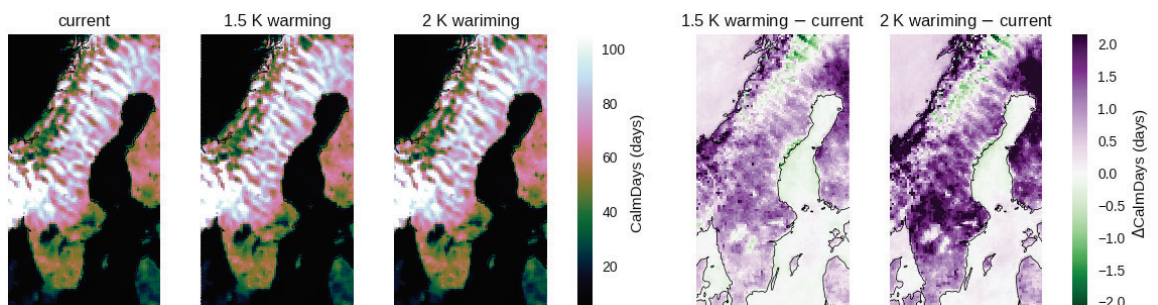
årstid. På vintern är antalet dagar 7–8 i norra fjällen, 5–6 i södra fjällen och Skåne och 3–4 i västra Götaland. På vår och höst är antalet dagar något färre. På sommaren är antalet dagar färre än 1 i nästan hela landet. Spridningen varierar mellan områdena. I områden med få dagar med byvind över 21 m/s blir spridningen skev eftersom många modeller ligger nära noll. Det gör att kvartilavståndet (IQR) underskattas. IQR kan ändå vara 1–2 dagar trots att ensemblemedelvärdet är 1 dag. I områden och årstider med fler dagar blir spridningen större. Även här kan spridningen vara lika stor, eller större, än absolutvärdet. Alla modeller ger mycket små förändringar av antalet dagar i framtiden. Skillnaden mellan uppvärmningsnivåer är liten jämfört med skillnaden mellan modeller. Slutsats: mindre troligt att antalet dagar med byvind över 21 m/s förändras även om variationer på längre tidsskalor som decennier kan uppträda. Osäkert om mellanårsvariationen ändras.



Figur 30. Antal dagar med vind > 21 m/s. Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971-2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.5.4. Antal dagar med vind < 2 m/s (CalmDays, (dagar))

Antalet dagar med vind < 2 m/s går från tjugotalet i Skåne till uppemot 80 i Norrlands inland (Fig. 31). Spridningen mellan modeller är stor. I vissa områden kan skillnaden mellan två modeller vara 100 dagar. Kvartilavståndet (IQR) är 20 dagar eller mer. Trots dessa skillnader ger alla modeller en obetydlig förändring, mindre än 1 dag, även om vissa modeller ger en ökning och andra en minskning. Slutsats: mindre troligt att antalet lugna dagar eller mellanårsvariationen av dessa ändras.



Figur 31. Antal dagar med vind < 2 m/s. Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971-2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.5.5. Antal dagar i följd med vind < 2 m/s (ConCalmDays, (dagar))

Antalet dagar i följd med vind < 2 m/s går från omkring 5 i Skåne till uppåt 60 i delar av Norrland. Spridningen mellan modeller är stor. I vissa områden kan skillnaden mellan två modeller vara så mycket som 50 dagar. Kvartilavståndet (IQR) är 20–40 i de flesta regioner. Alla modeller ger små förändringar, några ökat några minskat antal dagar. Slutsats: mindre troligt att antal dagar i följd med vind < 2 m/s ändras i ett varmare klimat. Detsamma gäller förändringen i mellanårsvariation.

3.5.6. Medelvindhastighet på tryckytan 975 hPa (Wind975, (m/s))

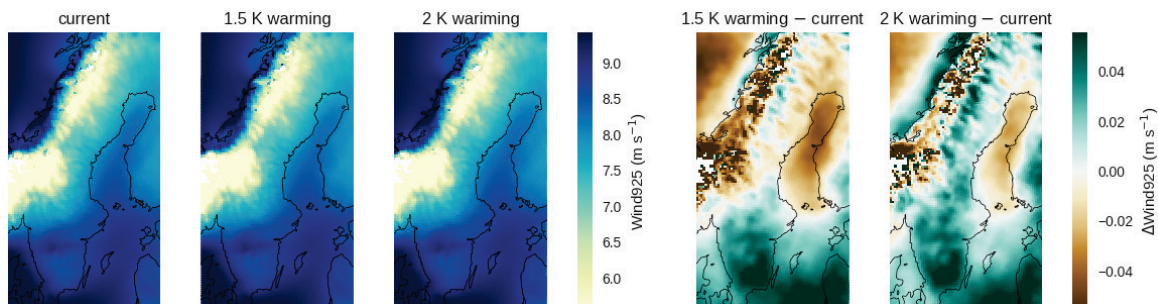
Vindhastigheten på tryckytan 975 hPa varierar från upp mot 10 m/s i Skåne till ner mot 5 m/s i Norrlands inland, med viss variation över året. Fjällkedjan ligger till största delen över 975 hPa-nivån och finns inte med. Spridningen mellan modeller är relativt liten, knappt 1 m/s, men antalet modeller är begränsat, endast 14 modeller ingår i ensemblen. Förändringen är liten i alla modeller. Som mest 0,1 m/s, oftast mindre. Förändringen i mellanårsvariation är också liten. Slutsats: mindre troligt att vinden på tryckytan 975 hPa ändras i ett varmare klimat även om variationer på längre tidsskalor som decennier kan uppträda.

3.5.7. Förhållandet mellan medelvind på tryckytan 975 hPa och 10m-nivån (Wind975toSfc, (-))

Förhållandet mellan medelvind på 975 hPa-nivån och på 10 m varierar från knappt 2 i södra Sverige till drygt 1 i Norrlands inland. Fjällkedjan ligger över 975 hPa-nivån och finns inte med. Variationen över året är liten. Spridningen mellan modeller är relativt liten, kvartilavståndet (IQR) är som mest ungefär 0.1, men antalet modeller är begränsat, endast 13 modeller ingår i ensemblen. Förändringen visar systematiskt en skillnad mellan land och omgivande havsområden. För områden över hav, särskilt Bottenviken och Bottenhavet, minskar förhållandet mellan vindhastigheten i 975 hPa och 10-metersnivån medan det istället ökar för landområden. Förändringen är dock liten, som mest inom +/- 0.05. Förändringen i mellanårsvariation är också liten. Slutsats: mindre troligt att förhållandet mellan medelvind på tryckytan 975 hPa och 10m-nivån ändras i ett varmare klimat.

3.5.8. Medelvindhastighet på tryckytan 925 hPa (Wind925, (m/s))

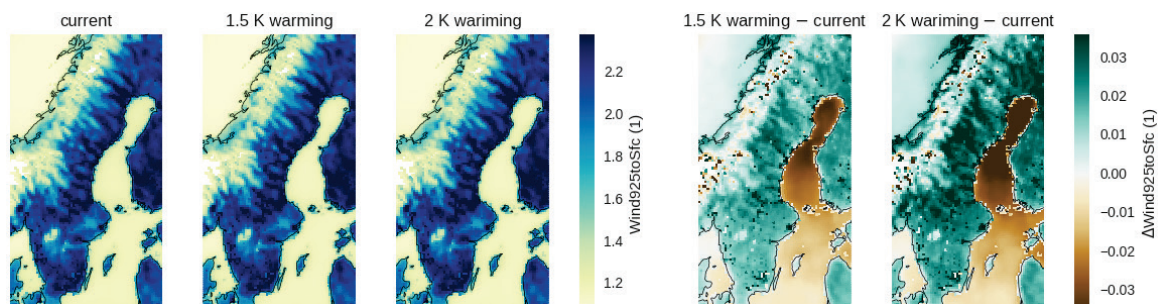
Vindhastigheten på tryckytan 925 hPa varierar från som mest 10 m/s i södra Sverige till ner mot 5 m/s i Norrlands inland (Fig. 32). Fjällkedjan och delar av Norrland ligger nära 925 hPa-nivån vilket delvis förklarar de lägre vindhastigheterna. Variationen över året är liten. Spridningen mellan modeller är relativt liten, kvartilavståndet (IQR) är omkring 0,5 m/s, men antalet modeller är begränsat, endast 14 modeller ingår i ensemblen. Förändringen är liten i alla modeller. Som mest 0,15 m/s, oftast mindre. Förändringen i mellanårsvariation är också liten. Slutsats: mindre troligt att vinden på tryckytan 925 hPa ändras i ett varmare klimat även om variationer på längre tidsskalor som decennier kan uppträda.



Figur 32. Medelvindhastighet på tryckytan 925 hPa. Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971-2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.5.9. Förhållandet mellan medelvind på tryckytan 925 hPa och 10m-nivån (Wind925toSfc, (-))

Förhållandet mellan medelvind på 925 hPa-nivån och på 10 m är omkring 2 största delen av Sverige (Fig. 33). Fjällkedjan som ligger nära 925 hPa-nivån är undantaget, här är förhållandet mindre. Variationen över året är liten. Spridningen mellan modeller är relativt liten, kvartilavståndet (IQR) är som mest ungefär 0.05, men antalet modeller är begränsat, endast 14 modeller ingår i ensemblen. Förändringen visar systematiskt en skillnad mellan land och omgivande havsområden. För områden över hav, särskilt Bottenviken och Bottenhavet, minskar förhållandet mellan vindhastigheten i 975 hPa och 10-metersnivån medan det istället ökar för landområden. Förändringen är liten i alla modeller. Där den är som störst är den ändå inom +/- 0.05. Förändringen i mellanårsvariation är också liten. Slutsats: mindre troligt med förändring i förhållandet mellan medelvind på tryckytan 925 hPa och 10m-nivån.



Figur 33. Förhållandet mellan medelvind på tryckytan 925 hPa och 10m-nivån. Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971-2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.5.10. Antal dagar med vind < 2 m/s (på tryckytan 975 hPa) (CalmDays975, (dagar))

Antalet dagar med vind < 2 m/s är omkring 20 i södra Sverige, i norr några mer. Fjällkedjan ligger över 975 hPa-nivån och finns inte med. Spridningen mellan modeller är relativt liten, 2-3 dagar, men bara 10 modeller ingår i ensemblen. Kvartilavståndet (IQR) är oftast 3-5 dagar. Alla modeller ger små förändringar i

antal dagar. Förändringen i mellanårsvariation är också liten. Slutsats: mindre troligt att antalet dagar med svag vind på tryckytan 975 hPa ändras i ett varmare klimat. Detsamma gäller för mellanårsvariationen.

3.5.11. Antal dagar i följd med vind < 2 m/s (på tryckytan 975 hPa) (ConCalmDays975, (dagar))

Antalet dagar i följd med vind < 2 m/s ligger mellan 0 och 2 i södra Sverige. I norra Sverige är det något mer, men här ligger markytan närmare 975 hPa-nivån, vilket påverkar resultatet. Fjällen och delar av Norrland inland ligger över 975 hPa och finns inte med. Förändringarna är små, inom +/-0.5 dagar. Kvartilavståndet (IQR) är ungefär 2. De små förändringarna tillsammans med det låga antalet modeller, 10 stycken, gör att ingen tydlig signal framträder, varken i antalet dagar eller i mellanårsvariationen. Slutsats: mindre troligt att längden av perioder med svag vind på tryckytan 975 hPa ändras i ett varmare klimat. Detsamma gäller för mellanårsvariationen.

3.5.12. Antal dagar med vind < 2 m/s (på tryckytan 925 hPa) (CalmDays925, (dagar))

Antalet dagar ligger mellan 10 och 15 i södra Sverige. I norra Sverige är det något mer, 15-20, men här ligger markytan närmare 925 hPa-nivån, vilket påverkar resultatet. Kvartilavståndet (IQR) är relativt litet, oftast inom 2 till 5, men bara 11 modeller ingår i ensemblen. Alla modeller ger små förändringar, i medeltal inom +/- 1 överallt. De små förändringarna tillsammans med det låga antalet modeller gör att ingen tydlig signal framträder, varken i antalet dagar eller i mellanårsvariationen. Slutsats: mindre troligt att antalet dagar med svag vind på tryckytan 925 hPa ändras i ett varmare klimat. Detsamma gäller för mellanårsvariationen.

3.5.13. Antal dagar i följd med vind < 2 m/s (på tryckytan 925 hPa) (ConCalmDays925, (dagar))

Antalet dagar ligger mellan 0 och 1 i större delen av Sverige. I höglänta områden är det något mer, men närheten till 925 hPa-nivån påverkar. Kvartilavståndet (IQR) är oftast knappt 1, men bara 11 modeller ingår i ensemblen. Förändringarna är små. I medeltal inom +/- 0.5 överallt. De små förändringarna tillsammans med det låga antalet modeller gör att ingen tydlig signal framträder, varken i antalet dagar eller i mellanårsvariationen. Slutsats: mindre troligt att längden av perioder med svag vind på tryckytan 975 hPa inte i ett varmare klimat. Detsamma gäller för mellanårsvariationen.

3.5.14. Luftdensitet (RhoS, (kg/m3))

Luftdensiteten är omkring 1,2 kg/m³ i hela Sverige, något mer i fjällen och i norr och mindre i söder. Densiteten är högre på vintern och lägre på sommaren. Dessa variationer är inom 0.1 kg/m³. Luftdensiteten minskar något i takt med att klimatet blir varmare, störst förändring syns på vintern då minskningen som mest kan vara 0.01 kg/m³ (dvs högst 1%). Förändringen är liten jämfört med både mellanårsvariationen och kvartilavstånd (IQR). Trots det är minskningen tydlig,

och kan bli signifikant i och med en större temperaturökning. Slutsats: troligt att luftens densitet minskar något i ett varmare klimat.

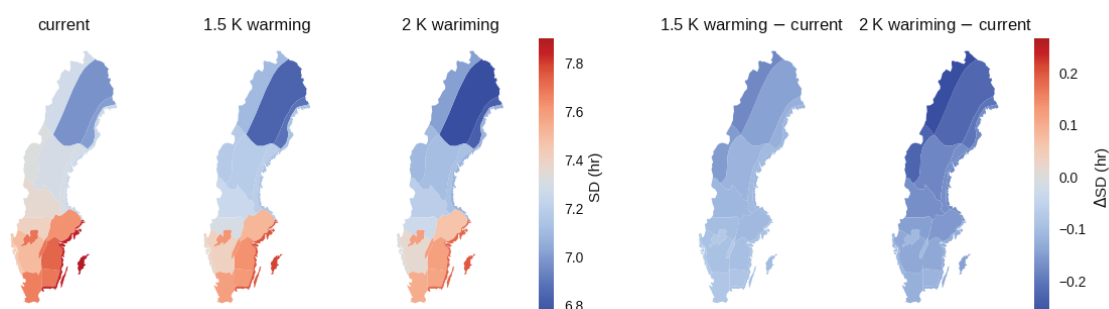
3.5.15. Luftdensitet på 925 hPa-nivån (ρ_{925} , (kg/m³))

Luftdensiteten ligger mellan 1,1 och 1,2 kg/m³ i hela Sverige, något mer i fjällen och i norr och mindre i söder. Densiteten är högre på vintern och lägre på sommaren. Dessa variationer är inom 0,1 kg/m³. De högsta fjällen ligger nära 925 hPa-nivån och finns inte med. Luftdensiteten minskar något i takt med att klimatet blir varmare, störst förändring syns på vintern då minskningen som mest kan vara 0,01 kg/m³ (dvs högst 1%). Förändringen är liten jämfört med både mellanårsvariationen och kvartilavstånd (IQR). Trots det är minskningen tydlig, och kan bli signifikant i och med en större temperaturökning. Slutsats: troligt att luftens densitet på 925-hPa-nivån minskar något.

3.6. INDEX RELATERAT TILL STRÅLNINGSKLIMATET

3.6.1. Soltimmar (SD, (timmar))

Antal soltimmar per dygn ligger i medeltal på omkring 7 timmar i hela Sverige (Fig. 34). Det finns vissa systematiska skillnader mellan enskilda modeller, men dessa ligger inom $\pm 0,2$ timmar. Alla modeller ger en minskning av antalet soltimmar med ungefär 0,1 timmar vid en två grader varmare värld. Slutsats: alla modeller ger en liten men tydlig minskning av antalet soltimmar. Denna minskning får ändå ses som osäker på grund av den lilla förändringen och det relativt begränsade antalet modeller. Viss ökning av mellanårsvariationen i södra Sverige.



Figur 34. Antal soltimmar. Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971-2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.6.2. Kortvågig strålning (RSDS, (W/m²))

Den kortvågiga strålningen varierar betydligt mer mellan årstider än mellan delar av landet. På vintern när dagen är kort ligger den kortvågiga strålningen på omkring 20 W/m², på sommaren omkring 200 W/m². På sommaren varierar den kortvågiga strålningen från knappt 180 W/m² i norr till drygt 220 W/m² i söder. Spridningen mellan modeller är stor, på sommaren är kvartilavståndet (IQR) åtminstone 30 W/m². Modellerna visar generellt en minskning av den infallande kortvågsstrålningen för alla årstider. Det är bara i södra delarna av landet som en

viss ökning syns under hösten. Förändringarna är dock små, som regel några få procent. Slutsats: troligt med en liten minskning i den kortvågiga strålningen. Osäkert om mellanårsvariationen förändras.

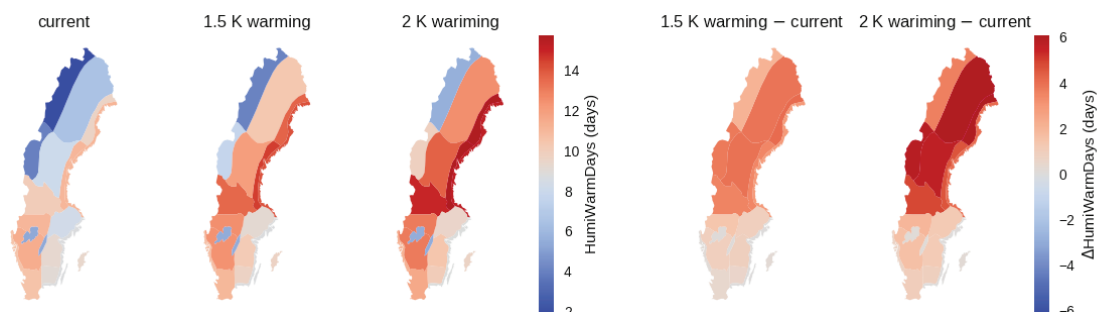
3.6.3. Långvågig strålning (RLDS, (W/m²))

Den långvågiga strålningen varierar mer mellan årstider än mellan delar av landet. På vintern ligger den långvågiga strålningen på omkring 250 W/m², på sommaren omkring 320 W/m². På sommaren varierar den långvågiga strålningen från 300 W/m² i norra fjällen till 340 W/m² i söder. Spridningen mellan modeller är liten, på sommaren är kvartilavståndet (IQR) 5-10 W/m² att jämföra med ett absolutvärde på drygt 300 W/m². Men endast 14 modeller ingår i ensemblen. Förändringen är likartad i alla modeller. Den allt varmare atmosfären i ett varmare klimat leder till ökad ingående långvågsstrålning. Under vintern, då den relativa förändringen är som störst är ökningen knappt 5% för Sverige som helhet vid 2-gradersnivån. På sommaren, då den relativa förändringen är som minst handlar det om ca 2%. Slutsats: mycket troligt att den infallande långvågiga strålningen ökar. Osäkert om mellanårsvariationen förändras.

3.7. INDEX SOM KOMBINERAR OLIKA VARIABLER

3.7.1. Antal dagar med hög fuktighet och hög värme (Relativ fuktighet > 90 % och medeltemperatur >10°C, (HumiWarmDays, dagar))

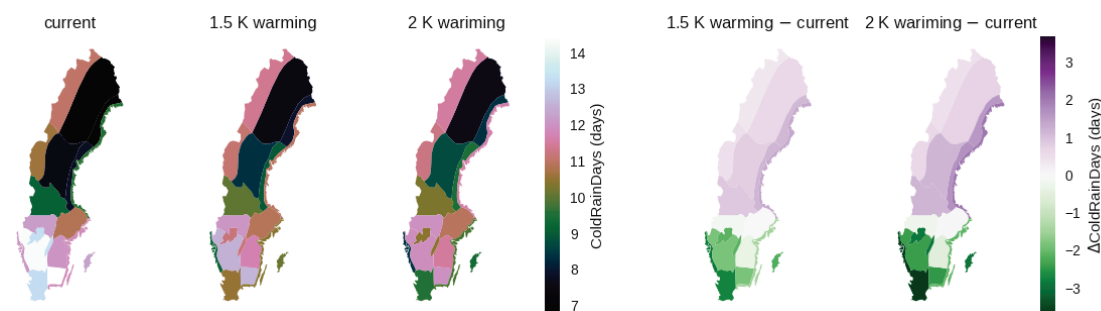
Varma dagar med hög luftfuktighet är vanligast under sommarhalvåret. Under vår och höst är det främst sydvästra Götaland som har den här typen av varma och fuktiga dagar. Under sommaren är det vanligast i delar av västra Götaland och Svealand samt längs Norrlandskusten (Fig. 35). Det är stor skillnad i antal dagar i de olika modellerna, t ex i södra Götaland varierar antal varma dagar med hög luftfuktighet under sommaren från ett fåtal dagar till uppemot 20 dagar i de modeller som har minst respektive flest. Alla modeller visar på en ökning med olika geografiskt mönster under olika årstider. Under våren och hösten är ökningen störst i Götaland och Svealand samt längs Norrlandskusten. På sommaren är ökningen störst i Norrland. Sammanlagt handlar det om en ökning med uppemot en vecka för landet som helhet. Skillnaden mellan olika modeller är dock stor, någon ger en ökning om bara några dagar medan andra pekar på en ökning med ungefär en vecka vid +2°C global uppvärmning. Mellanårsvariabiliteten ökar i många områden i de allra flesta modellerna till följd av ökning från nära noll till ett par dagar. Slutsats: Mycket troligt med en viss ökning över hela landet.



Figur 35. Antal dagar med hög luftfuktighet och hög värme under sommaren (JJA). Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971-2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.7.2. Antal dagar med regn då temperaturen ligger nära noll grader (nederbörd då $T > 0,58$ och $T < 2^{\circ}\text{C}$) (ColdRainDays, (dagar))

Antal dagar med nederbörd vid temperaturer strax över noll grader tas här som ett mått på regn vid låga plusgrader. Modellerna visar att detta är vanligast i delar av fjällkedjan samt i stora delar av Götaland med 10 till 20 dagar (Fig. 36). Det är också vanligt över norra Östersjön och Bottenhavet. I ett varmare klimat minskar antalet dagar i Götaland, över Östersjön och Bottenhavet. I övriga Sverige samt över Bottenviken pekar modellerna istället på en ökning av antalet dagar med regn vid temperaturer strax över noll grader. Storleken på förändringarna varierar med som mest ca ± 3 dagar jämfört ensemblemedelvärdet vid $+2^{\circ}\text{C}$ global temperaturökning. Mellanårsvariabiliteten är stor både i referensklimatet och i framtida varmare klimat. Förändringarna följer klimatförändringssignalen med ökad variabilitet i norr och minskad variabilitet i söder. Slutsats: troligt med ökning i norr och minskning i söder.



Figur 36. Antal dagar med regn då temperaturen ligger nära noll grader. Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971-2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.7.3. Antal dagar med kraftigt regn då temperaturen ligger nära noll grader (nederbörd $> 10\text{ mm}$ då $T > 0,58$ och $T < 2^{\circ}\text{C}$) (ColdRainGT10Days, (dagar))

Antal dagar med kraftig nederbörd vid temperaturer strax över noll grader tas här som ett mått på kraftigt regn vid låga plusgrader. Modellerna visar att detta är vanligast i delar av fjällkedjan samt längs västkusten med uppemot 4-5 dagar. Det finns också ett lokalt maximum längs Norrlandskusten. I ett varmare klimat minskar antalet dagar i västra Götaland och Skåne. I övrigt är ändringarna små

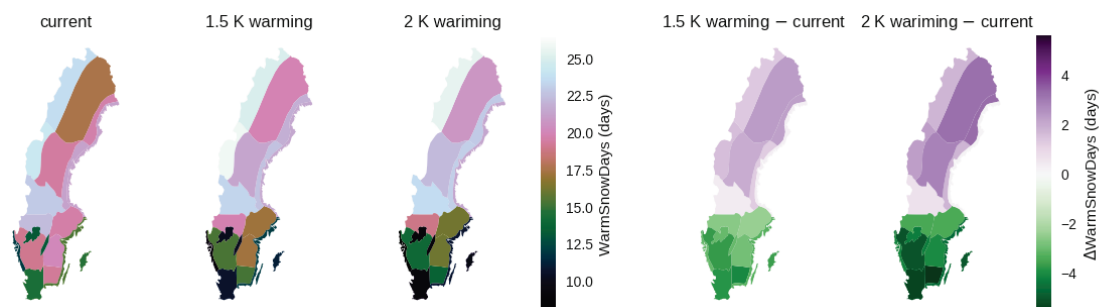
eller på plussidan. Den största ökningen återfinns längs Norrlandskusten och i fjällkedjan. Storleken på förändringarna varierar med som mest ca en halv dag jämfört ensemblemedelvärdet vid +2°C global temperaturökning. Mellanårsvariabiliteten är stor både i referensklimatet och i framtida varmare klimat. Förändringarna följer klimatförändringssignalen med ökad variabilitet i norr och minskad variabilitet i söder. Slutsats: troligt med ökning i norr och minskning i söder.

3.7.4. Antal dagar med intensivt regn då temperaturen ligger nära noll grader (nederbörd > 20 mm då $T > 0,58$ och $T < 2^\circ\text{C}$) (ColdRainGT20Days, (dagar))

Antal dagar med intensiv nederbörd vid temperaturer strax över noll grader tas här som ett mått på intensivt regn vid låga plusgrader. Modellerna visar att detta är ovanligt i hela landet. Högsta frekvensen finns i delar av fjällkedjan samt längs västkusten med som mest uppemot 1 dag i medeltal. Det finns också ett lokalt maximum längs Norrlandskusten. I ett varmare klimat minskar antalet dagar längs västkusten. I övrigt är ändringarna små eller på plussidan. Den största ökningen återfinns längs Norrlandskusten och i fjällkedjan. Storleken på förändringarna varierar med som mest ca en halv dag jämfört ensemblemedelvärdet vid +2°C global temperaturökning. Mellanårsvariabiliteten är stor både i referensklimatet och i framtida varmare klimat. Förändringarna följer klimatförändringssignalen med ökad variabilitet i norr och minskad variabilitet i söder. Slutsats: trolig ökning längs norrlandskusten och i fjällkedjan och minskning längs västkusten.

3.7.5. Antal dagar med snöfall då temperaturen ligger nära noll grader (nederbörd då $T < 0,58$ och $T > -2^\circ\text{C}$) (WarmSnowDays, (dagar))

Antal dagar med nederbörd vid temperaturer nära noll grader tas här som ett mått på snöfall nära nollan. Modellerna visar att detta är vanligast över Sydsvenska höglandet, i delar av Svealand och längs Norrlandskusten samt i fjällkedjan där detta inträffar omkring 30 dagar per år (Fig. 37). Klimatförändringssignalen pekar på minskning i Götaland, södra Svealand och över havsområdena. För Norrlands del ökar istället antalet dagar med snöfall nära nollan. I medeltal handlar det om förändringar på uppemot ± 5 dagar som mest. Förändringar i mellanårsvariabiliteten följer i någon mån förändringen i antal dagar med en relativt stor minskning längst i söder och en viss ökning i norr. Slutsats: troligt med ökat antal dagar med snöfall vid temperaturer nära noll i Norrland. Minskning i övrigt.



Figur 37. Antal dagar med snöfall då temperaturen ligger nära noll grader. Kartorna till vänster visar förhållandena i referensperiodens klimat (1971-2000) samt vid tidpunkten då den globala uppvärmningen jämfört med förindustriell tid når 1,5°C resp. 2°C. Figurerna till höger visar klimatförändringssignalen mellan referensperiodens klimat respektive vid 1,5°C och 2°C uppvärmning jämfört med förindustriell tid.

3.7.6. Antal dagar med kraftigt snöfall då temperaturen ligger nära noll grader (nederbörd > 10 mm då $T < 0,58$ och $T > -2^{\circ}\text{C}$) (WarmSnowGT10Days, (dagar))

Antal dagar med kraftig nederbörd vid höga temperaturer nära noll grader tas här som ett mått på kraftigt snöfall nära nollan. Modellerna visar att detta är vanligast över i delar av Svealand, längs Norrlandskusten samt i fjällkedjan där detta i medeltal inträffar som mest uppemot en vecka per år. Klimatförändringssignalen pekar på minskning i Götaland, södra Svealand och över havsområdena. För norra Svealand och Norrlands del ökar istället antalet dagar med kraftigt snöfall nära nollan. I medeltal handlar det om uppemot $\pm 0,5$ dagar som mest. Förändringar i mellanårsvariabiliteten följer i någon mån förändringen i antal dagar med en relativt stor minskning längst i söder där det blir allt vanligare att förhållandena helt uteblir under enstaka säsonger. I norr sker istället en viss ökning. Slutsats: troligt med ökat antal dagar med snöfall vid temperaturer nära noll i Norrland. Minskning i övrigt.

3.7.7. Antal dagar med intensivt snöfall då temperaturen ligger nära noll grader (nederbörd > 20 mm då $T < 0,58$ och $T > -2^{\circ}\text{C}$) (WarmSnowGT20Days, (dagar))

Antal dagar med intensiv nederbörd vid höga temperaturer nära noll grader tas här som ett mått på intensivt snöfall nära nollan. Modellerna visar att detta är ovanligt i större delen av landet med flest dagar i delar av fjällkedjan samt längs Norrlandskusten där detta i medeltal inträffar som mest ett par gånger per år. Klimatförändringssignalen pekar på minskning i Götaland. För Svealand och Norrlands del ökar istället antalet dagar med intensivt snöfall nära nollan. Förändringar i mellanårsvariabiliteten följer i någon mån förändringen i antal dagar med en minskning längst i söder där det blir allt vanligare att förhållandena helt uteblir under enstaka säsonger. I norr sker istället en viss ökning. Slutsats: troligt med ökat antal dagar med intensivt snöfall vid temperaturer nära noll i Svealand och Norrland. Minskning i övrigt.

3.7.8. Antal dagar med regn då temperaturen ligger nära noll grader (regn $T < 2^{\circ}\text{C}$) (ColdPRRNDays, (dagar))

Antal dagar med regn vid temperaturer under plus två grader. Klimatsimuleringarna visar att detta är vanligast i delar av fjällkedjan samt i stora delar av västra Svealand och över sydsvenska höglandet med 40 dagar eller mer. Det är också vanligt över Bottenhavet och Bottenviken. I ett varmare klimat minskar antalet dagar i Götaland, södra Svealand samt över hav. I övriga Sverige pekar modellerna istället på en ökning av antalet dagar med snö vid temperaturer nära noll grader. Storleken på förändringarna varierar mellan ca -5 till $+5$ dagar i medel över modellensembeln vid $+2^{\circ}\text{C}$ global temperaturökning. Mellanårsvariabiliteten är stor både i referensklimatet och i framtida varmare

klimat med en viss ökning i norr. Slutsats: Troligt⁴ med ökning i norr och minskning i söder.

3.7.9. Antal dagar med kraftigt regn då temperaturen ligger nära noll grader (regn > 10 mm $T < 2^{\circ}\text{C}$) (ColdPRRNgt10Days, (dagar))

Modellerna visar att detta är vanligast i delar av fjällkedjan, i delar av Svealand och längs Norrlandskusten med i medeltal uppemot en vecka av den här typen av förhållande. I ett varmare klimat minskar antalet dagar i sydvästra Götaland och över hav. I övriga Sverige pekar modellerna istället på en ökning av antalet dagar med snö vid temperaturer nära noll grader. Storleken på förändringarna varierar mellan ca -1,5 till +1,5 dagar i medel över modellensembeln vid $+2^{\circ}\text{C}$ global temperaturökning. Mellanårsvariabiliteten är stor både i referensklimatet och i framtida varmare klimat med en viss ökning i norr. Slutsats: troligt med ökning i norr och minskning i söder.

3.7.10. Antal dagar med intensivt regn då temperaturen ligger nära noll grader (regn > 20 mm $T < 2^{\circ}\text{C}$) (ColdPRRNgt20Days, (dagar))

Modellerna visar att detta är vanligast i delar av fjällkedjan, i delar av Svealand och längs Norrlandskusten med i medeltal uppemot ett par dygn av den här typen av förhållande. I ett varmare klimat minskar antalet dagar i längs med västkusten och över en del havsområden hav. Längs Norrlandskusten och i stora delar av Svealand och Norrland väntas en viss ökning. Storleken på förändringarna varierar mellan ca -0,2 till +0,2 dagar i medel över modellensembeln vid $+2^{\circ}\text{C}$ global temperaturökning. Mellanårsvariabiliteten är stor både i referensklimatet och i framtida varmare klimat med en viss ökning i norr. Slutsats: troligt med ökning i norr och minskning i söder.

3.7.11. Antal dagar med snöfall då temperaturen ligger nära noll grader (snöfall då $T > -2^{\circ}\text{C}$) (WarmPRSNDays, (dagar))

Modellerna visar att detta är vanligast längs Västkusten, över delar av Sydsvenska höglandet, i delar av Svealand, längs Norrlandskusten samt i fjällkedjan där detta inträffar i medeltal med två till tre veckor per år. Klimatförändringssignalen pekar på minskning i Götaland, södra Svealand och över Bottenhavet och Bottenviken. För Norrlands del ökar istället antalet dagar med snöfall nära nollan. I medeltal handlar det om uppemot ± 3 dagar som mest. Förändringar i mellanårsvariabiliteten följer i någon mån förändringen i antal dagar med en relativt stor minskning längst i söder och en viss ökning i norr. Slutsats: Troligt med ökat antal dagar med kraftigt snöfall vid temperaturer nära noll i Norrland. Minskning i övrigt.

⁴ Eftersom resultaten här är konsistenta med dem i 3.7.2 har vi gjort bedömningen "troligt" här trots att resultaten här enbart bygger på en regional klimatmodell.

3.7.12. Antal dagar med kraftigt snöfall då temperaturen ligger nära noll grader (snöfall (> 10 mm vatten) då $T > -2^{\circ}\text{C}$) (WarmPRSNgt10Days, (dagar))

Modellerna visar att detta är vanligast längs Norrlandskusten samt i delar av fjällkedjan där detta inträffar i medeltal uppemot ett par dagar per år. Klimatförändringssignalen pekar på minskning i Götaland, delar av Svealand och över Bottenhavet och Bottenviken. För Norrlands del ökar istället antalet dagar med kraftiga snöfall nära nollan. Förändringar i mellanårsvariabiliteten följer i någon mån förändringen i antal dagar med en relativt stor minskning längst i söder och en viss ökning i norr. Slutsats: Troligt med ökat antal dagar med kraftigt snöfall vid temperaturer nära noll i Norrland. Minskning i övrigt.

3.7.13. Antal dagar med intensivt snöfall då temperaturen ligger nära noll grader (snöfall (> 20 mm vatten) då $T > -2^{\circ}\text{C}$) (WarmPRSNgt10Days, (dagar))

Enligt modellerna är det ovanligt att detta förekommer i landet. Högst sannolikhet är det längs Norrlandskusten samt i delar av fjällkedjan. Klimatförändringssignalen pekar på viss minskning längs med Norrlandskusten. För övriga Norrlands del ökar istället antalet dagar med kraftiga snöfall nära nollan på många platser. I södra Sverige finns både områden med liten ökning eller minskning i antalet dagar. Förändringar i mellanårsvariabiliteten är i regel små möjligen med en viss ökning i norr. Slutsats: Troligt med ökat antal dagar med intensivt snöfall vid temperaturer nära noll i delar av inre Norrland. Minskning i övrigt.

3.8. INDEX RELATERAT TILL HAVSKLIMATET

3.8.1. Medeltemperatur i havet (SST, (K))

Havstemperaturen ges av globala klimatmodeller som inte alls har samma höga upplösning som de regionala modeller som används för andra index. Medeltemperaturen i havet varierar från ca 15°C i södra Östersjön på sensommaren till 0°C i Bottenviken på vintern. Spridningen mellan modeller är stor, skillnaden i absolutvärden mellan två modeller kan vara $5\text{--}10^{\circ}\text{C}$. Detta beror på att Östersjön ser mycket olika ut i olika modeller, beroende på modellens upplösning. Det gör också att kvartilavståndet (IQR) varierar mellan olika delar av Östersjön eftersom vissa delar inte finns med i alla modeller. Antalet modeller är också relativt litet, 23 modeller ingår i ensemblen. Trots det syns en tydlig signal om att medeltemperaturen i havet ökar i framtiden. Temperaturen ökar med $1\text{--}2^{\circ}\text{C}$ under alla delar av året. Någon avgörande förändring i mellanårsvariationen syns inte. Slutsats: mycket troligt att temperaturen stiger trots låg modellupplösning och få modeller.

3.8.2. Isutbredning till havs (SIC, (%))

Isutbredningen i havet är störst på vintern i Bottenviken där den kan uppgå till 100 %. Utbredningen minskar gradvis söderut för att bli endast ett par procent eller helt isfritt söder om Gotland. Även på våren kan isutbredningen vara betydande i

Bottenviken. Spridningen mellan modeller är stor skillnaden i utbredning mellan två modeller kan vara mer än 50 procentenheter. Detta beror på att Östersjön ser mycket olika ut i olika modeller, beroende på modellens upplösning. Det gör också att kvartilavståndet (IQR) varierar mellan olika delar av Östersjön eftersom vissa delar inte finns med i alla modeller. Antalet modeller är också relativt litet, 17 modeller ingår i ensemblen. Det syns en tydlig minskning i isutbredningen i framtiden. Minskningen är störst i de områden som har stor isutbredning (där minskningen kan vara större), där den kan vara 10-20%. Variationen mellan modeller är stor eftersom minskningen börjar från mycket olika nivåer. Mellanårsvariationen minskar i de områden och modeller där utbredningen närmar sig noll. Slutsats: mycket troligt med minskad isutbredning trots låg modellupplösning och få modeller.

3.8.3. Maximal temperatur i havet

I samband med högre temperaturer i haven väntas också de högsta temperaturerna stiga. Värmeböljor i haven har redan blivit vanligare i ett globalt perspektiv (Frölicher et al, 2018). Ett exempel från Östersjön noterades under sommaren 2018 (Humborg et al., 2019) som var exceptionellt varm i Sverige (Wilcke et al., 2020). Klimatscenarier pekar på fortsatt generell ökning av värmeböljor i haven i framtiden, både vad gäller intensitet och antal (Oliver et al., 2019). Trots att detaljerade studier för Östersjön och västerhavet saknas gör vi bedömningen att det är mycket troligt med mer intensiva värmeböljor i havet. Det är också osäkert hur mellanårsvariabiliteten kan komma att ändras men ett scenario är att den ökar till följd av ökad mellanårsvariabilitet i atmosfäriska värmeböljor (se ovan).

3.8.4. Havsnivå i medeltal

I samband med den globala uppvärmningen stiger havsnivån till följd av termisk expansion och ökande avsmältning av landisar och glaciärer. IPCC visar i sin Specialrapport om haven och kryosfären i ett förändrat klimat (IPCC, 2019) att den genomsnittliga havsnivån globalt har stigit med 0,16 meter mellan åren 1902 och 2015. Ökningstakten är större under de senaste decennierna och har de senaste åren legat på uppemot 5 mm per år. Havsnivåhöjningens storlek under resten av seklet beror på hur stor framtida klimatpåverkan blir. Redan i scenarier med relativt låg klimatpåverkan (RCP2,6) väntas en höjning om minst 0,26-0,53 m till år 2100 och för scenarier med mycket kraftig klimatpåverkan (RCP8.5) anges 0,61-1,1 m av IPCC (2019). Intervallen är bedömningar av trolig höjning vilket inte utesluter högre nivåer. För Sveriges del är landhöjningen en avgörande faktor för hur stor havsnivåhöjningen runt Sveriges kuster kan förväntas bli (Nerheim et al., 2018). I norr, där landhöjningen är stor, sjunker havsytan sen länge och det är inte förrän vid kraftigare klimatpåverkan och därmed större global havsnivåhöjning som den börjar stiga igen. I södra delarna av landet stiger havet redan i dagsläget. För den senaste detaljerade sammanställningen för Sveriges del hänvisas till Hieronymus och Kalén (2020) eller till SMHIs hemsida där kommunvis information presenteras⁵.

⁵ <https://www.smhi.se/klimat/stigande-havsnivaer/framtida-medelvattenstand-1.165493>

3.9. INDEX RELATERAT TILL SJÖAR

3.9.1. Sjönivå jämfört med normalt

I ett varmare klimat väntas större inslag av regn under vinterhalvåret och ökad avdunstning under sommaren. Sammantaget väntas detta leda till större fluktuationer i sjönivåer mellan vinter och sommar (Eklund m fl., 2018). Större mellanårsvariabilitet i temperaturklimatet påverkar avdunstning och därmed avrinning vilket i sin tur kan leda till ytterligare ökade fluktuationer mellan torra och nederbördsrika år.

3.9.2. Temperatur i sjöar

I takt med atmosfärens uppvärmning stiger temperaturen generellt även i sjöarna. Förändringen gäller inte bara i vattnet närmast ytan utan även längre ner mot botten. I djupare sjöar finns som regel ett s.k. språngskikt under sommarhalvåret med varmt vatten närmast ytan och kallare vatten längre ner. Beräkningar visar att språngskiktet flyttas till större djup och existerar över en längre period under året när klimatet blir varmare (Eklund m fl., 2018). Det här betyder också att antalet dagar på vintern med kallt vatten nära ytan minskar. Påverkan på sjötemperaturerna sträcker sig också ner mot botten och även vattnet under språngskiktet värms succesivt upp. I beräkningar för Mälaren visar Stensen m fl (2017) t ex att antalet dagar med vattentemperaturer nära ytan över +20°C ökar från ca 40 till drygt 55 i två scenarier för tidsperioden 2032-2050 vilket ungefär motsvarar scenarierna för +1,5°C global uppvärmning. De pekar också på att maxtemperaturerna ökar mer än medeltemperaturerna både för yt- och bottenvatten.

3.9.3. Islossning i sjöar

I takt med högre temperaturer och en kortare vintersäsong infaller islossningen tidigare i sjöar och vattendrag. Även isläggningen förändras och infaller allt senare. Den här typen av förändringar är redan observerade och väntas bli allt vanligare i takt med den globala temperaturökningen. T ex visar Sharma m fl. (2019) att antalet sjöar som vissa år är helt isfria ökar, främst i landets sydliga delar men gradvis, i takt med ökad global uppvärmning även längre norrut i delar av Svealand. I norra Svealand och Norrland väntas klimatet vara tillräckligt kallt för att det skall finnas is på sjöarna även vid mycket kraftig global uppvärmning. I exemplet för Mälaren visar Stensen m fl (2017) på ca en månads kortare issäsong för tidsperioden 2032-2050 enligt ovan (se 3.9.2).

3.9.4. Istjocklek > 15 cm i sjöar

Kortare issäsong och mildare vintrar leder till mindre gynnsamma förhållanden för is och istillväxt vilket väntas ge mindre istjocklek i allmänhet. Isens tillväxt påverkas också av om den är snötäckt eller ej. Avsaknaden av detaljerade beräkningar för framtida istjocklek under olika klimatscenarier gör att det är osäkert kring hur istjockleken kan komma att förändras under vintrarna.

3.10. ANDRA INDEX

3.10.1. Åska

I ett varmare klimat ökar atmosfärens förmåga att innehålla vattenånga. Ökad värme och större vatteninnehåll bidrar båda till ökad potential för bildandet av kraftiga bymoln vilka är de moln som vanligen ger åska främst sommartid. Atmosfärens vertikala temperaturvariationer är också viktiga för bildandet av bymolnen. De storskaliga förutsättningarna för åska i Sverige ökar markant i ett varmare klimat med en längre åksäsong och fler dagar per år med förutsättningar för djup konvektion och bymoln (Wennerdahl, 2017). För att åska skall bildas krävs att det finns iskristaller i molnen. I ett varmare klimat kan mängden iskristaller i molnen minska till förmån för fler vattendroppar. Mer gynnsamma storskaliga förutsättningar kan alltså motverkas av mindre gynnsamma lokala mikrofysikaliska egenskaper hos molnen och det är därför svårt att veta om risken för åska ökar eller minskar i Sverige (Belušić et al., 2019). I en jämförande studie som tar hänsyn både till storskaliga förändringar och förändringar i molnegenskaper visar De Ridder (2020) att frekvensen av dagar med åska kan komma att öka i Sverige i ett varmare klimat och att åksäsongen förlängs dock inte lika mycket som i studier som enbart tar hänsyn till storskaliga förutsättningar.

3.10.2. Hagel

Hagel faller från kraftiga bymoln vilka väntas bli vanligare och mer intensiva till följd av en global uppvärmning. Förutsättningarna för hagel är i stort desamma som för åska med skillnaden att de mikrofysikaliska skillnader som ev. kan minska förutsättningarna för åska inte spelar någon roll här. Det är därför troligt att både frekvens och intensitet hos hagelskuror kan komma att öka i ett varmare klimat. I takt med att det blir varmare blir också sommarsäsongen längre vilket betyder att säsongen då de kraftigaste hagelskurorna inträffar förväntas bli längre.

3.10.3. Marknära ozon

Halten av ozon bestäms dels av atmosfärskemiska processer och dels av väderfaktorer och utbyte med markytan. Förutsättning för ozonbildning är att det finns tillgång till gaser som metan, kolmonoxid, kväveoxider och en rad andra volatila kolväten. Hur framtida marknära ozonhalter kommer att ändras är därför till stor del styrt av vad som hänger med utsläppen av dessa gaser. Ändrade förhållanden vad gäller kortvägsstrålning och markfuktighet påverkar också ozonbildningen och i en studie visar Langner m fl (2012) att ozonhalterna i Sverige minskar i framtiden till följd av ett fuktigare klimat med ökad molnighet. De pekar också på att minskade utsläpp av ett antal andra gaser som är viktiga för ozonbildningen spelar stor roll för minskningen i marknära ozon.

4. Sammanfattning och slutsatser

Resultaten i den här rapporten visar tydligt att den pågående globala uppvärmningen leder till fortsatt ändring av klimatet för Sverige. Indexen som analyserats visar att påverkan på energisektorn kommer att ändras även om Parisavtalets mål klaras och att påverkan blir större ju kraftigare den globala uppvärmningen blir. Resultaten indikerar också att olika delar av energisektorn kommer att påverkas mycket olika.

I det här arbetet presenteras en omfattande analys av framtida möjlig klimatiförändringar i Sverige med konsekvenser för energisektorn. Analysen har gjorts för olika uppvärmningsnivåer med fokus på +1,5°C respektive +2°C global uppvärmning jämfört med förindustriell tid. Materialet bygger i huvudsak på ett stort antal högupplösta regionala klimatmodeller som körts med drivdata från en rad globala klimatmodeller under olika scenarier för framtida klimatpåverkan. Inom projektet har i flera fall efterfrågats detaljerad information om faktorer som klimatmodellerna inte direkt kan svara på, t ex hur brandrisken, eller förekomsten av tjälad mark förväntas ändras i ett varmare klimat. I sådana fall har vi i dialog med expertgrupper för de olika energislagen tagit fram index som kan användas för att ge en idé om hur ändringar i de efterfrågade faktorerna kan se ut. Detta inkluderar ett antal kombinationsindex som t ex beskriver "besvärliga förhållanden i närheten av noll grader" eller "dagar med både hög luftfuktighet och hög värme". Resultaten visar bl a att:

- I den höga upplösningen som används i de regionala modellerna framträder detaljerade skillnader i klimatet mellan olika delar av landet såsom mellan kustzon och inland eller mellan låglänta och höglänta delar av landet.
- Distinkta skillnader i klimat och i klimatiförändringssignal för olika variabler och index framträder mellan de olika väderprognosdistrikten i Sverige.
- Klimatmodellerna representerar mycket av klimatsystemets variabilitet på olika rums- och tidsskalor. Resultaten visar på en tydlig förbättring jämfört med tidigare material som baserades på modeller med lägre upplösning.
- Klimatet ändras märkbart redan vid +1,5°C och i ökande grad vid högre uppvärmningsnivåer.
- Klimatiförändringssignalen är olika för olika variabler, årstider och platser.
- Framtida klimat väntas, liksom historiskt klimat, i hög grad uppvisa en stor variabilitet mellan åren med omväxlande varma eller kalla år respektive nederbördsrika och torra år.
- Förändringarna i temperaturklimat är mest tydliga och robusta. Särskilt framträder den kraftiga uppvärmningen i norr under vinterhalvåret. Men även ändringar i övergångszonen mellan utpräglat "vinterklimat" i norr och mer milt klimat i söder framträder mycket tydligt för vissa index.
- Förändringar i nederbörds-klimatet pekar generellt på mer nederbörd och blötare förhållanden. En större del av nederbörden förväntas falla som regn och en mindre andel som snö.

- Problemen med marktorka kan trots ökad nederbörd i medeltal förväntas öka på sikt vid större grad av uppvärmning och då främst i delar av södra landet till följd av ökad avdunstning som är ett resultat av högre temperaturer.
- Mängden snö på marken och längden på snösäsongen minskar som regel. Men klimatmodellerna är olika bra på att beskriva snö på marken vilket försvårar möjligheten att dra detaljerade slutsatser om ändringar i snötäcke.
- Vinterförhållanden med nederbörd när temperaturen ligger nära noll grader förväntas bli vanligare i stora delar av norra Sverige samtidigt som de blir ovanligare i söder.
- Förändringar i vindklimatet är som regel små och olika modeller ger olika resultat.

5. Referenser

Belušić D, Berg P, Bozhinova D, Barring L, Döscher R, Eronn A, Kjellström E, Klehmet K, Martins H, Nilsson C, Olsson J, Photiadou C, Segersson D and Strandberg S, 2019. Climate extremes for Sweden. State of knowledge and implications for adaptation and mitigation. SMHI, SE-60176 Norrköping. 75 pp.

Barring, L and Strandberg, G, 2018. Does the projected pathway to global warming targets matter? *Environ. Res. Lett.* 13 024029, DOI 10.1088/1748-9326/aa9f72

Coppola E, Nogherotto R, Ciarlo JM, Giorgi F, Somot S, Nabat P, Corre L, Christensen OB, Boberg F, van Meijgaard E, Aalbers E, Lenderink G, Schwingshackl C, Sandstad M, Sillmann J, Bülow K, Teichmann C, Iles C, Kadyrov N, Vautard R, Levavasseur G, Sørland SL, Demory M-E, Kjellström E and Nikulin G, 2020. Assessment of the European climate projections as simulated by the large EURO-CORDEX regional climate model ensemble. *J. Geophys. Res.* DOI: 10.1029/2019JD032356

Dee DP, Uppala SM, Simmons AJ, Berrisford P, Poli P, Kobayashi S, Andrae U, Balmaseda MA, Balsamo G, Bauer P, Bechtold P, Beljaars ACM, van de Berg L, Bidlot J, Bormann N, Delsol C, Dragani R, Fuentes M, Geer AJ, Haimberger L, Healy SB, Hersbach H, Hólm EV, Isaksen I, Kållberg P, Köhler M, Matricardi M, McNally AP, Monge-Sanz BM, Morcrette JJ, Park BK, Peubey C, de Rosnay P, Tavolato C, Thépaut JN, Vitart F (2011) The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 137(656):553–597, DOI 10.1002/qj.828

Eklund A, Stensen K, Alavi G och Jacobsson K, 2018. Sveriges stora sjöar idag och i framtiden Klimatets påverkan på Vätern, Vättern, Mälaren och Hjälmaren. Kunskapssammanställning februari 2018. SMHI, KLIMATOLOGI Nr 49. ISSN: 1654-2258.

Frölicher TL, Fischer EM, Gruber N. Marine heatwaves under global warming. *Nature*. 2018;560(7718):360-364. doi:10.1038/s41586-018-0383-9

Gode J, Axelsson J, Eriksson S, Holmgren K, Hovsenius G, Kjellström E, Larsson P, Lundström L, Persson G, 2007. Tänkbara konsekvenser för energisektorn av klimatförändringar: Effekter, sårbarhet och anpassning. Elforsk rapport nr 07:39, 100 pp.

Hieronymus, M., Kalén, O. Sea-level rise projections for Sweden based on the new IPCC special report: The ocean and cryosphere in a changing climate. *Ambio* 49, 1587–1600 (2020). <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01313-8>

Humborg C, Geibel MC, Sun X, McCrackin M, Mörth C-M, Stranne C, Jakobsson M, Gustafsson B, Sokolov A, Norkko A and Norkko J (2019). High Emissions of Carbon Dioxide and Methane From the Coastal Baltic Sea at the End of a Summer Heat Wave. *Front. Mar. Sci.* 6:493. doi: 10.3389/fmars.2019.00493

IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the IPCC 5th Assessment Report. [Stocker TF, D Qin, G-K Plattner, M

Tignor, SK Allen, J Boschung, A Nauels, Y Xia, V Bex & PM Midgley (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

IPCC, 2018. Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Cambridge & New York: Cambridge University Press.

IPCC, 2019. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H-O Pörtner, DC Roberts, V Masson-Delmotte, P Zhai, M Tignor, E Poloczanska, K Mintenbeck, A Alegría, M Nicolai, A Okem, J Petzold, B Rama, NM Weyer (eds.)]. In press.

Jacob D, Petersen J, Eggert B, Alias A, Christensen OB, Bouwer LM, et al. (2014b). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg. Environ. Chang.* 14, 563–578. doi:10.1007/s10113-013-0499-2.

Kjellström E, Abrahamsson R, Boberg P, Jernbäcker E, Karlberg M, Morel J och Sjöström Å, 2014. Uppdatering av det klimatvetenskapliga kunskapsläget. *Klimatologi* 9, SMHI, SE-60176 Norrköping. 65 pp.

Kjellström E, Barring L, Nikulin G, Nilsson C, Persson G, and Strandberg G, 2016. Production and use of regional climate model projections – a Swedish perspective on building climate services. *Climate Services*, 2-3, 15-29, DOI: 10.1016/j.cliser.2016.06.004.

Kämäräinen M, Hyvärinen O, Vajda A, Nikulin G, van Meijgaard E, Teichmann C, et al., 2018. Estimates of present-day and future climatologies of freezing rain in Europe based on CORDEX regional climate models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123, 13,291– 13,304. <https://doi.org/10.1029/2018JD029131>

Langner J, Engardt M, Baklanov A, Christensen JH, Gauss M, Geels C, Hedegaard GB, Nuterman R, Simpson D, Soares J, Sofiev M, Wind P, and Zakey A, 2012. A multi-model study of impacts of climate change on surface ozone in Europe, *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 10423–10440, <https://doi.org/10.5194/acp-12-10423-2012>.

Moss RH, Edmonds JA, Hibbard KA, Manning MR, Rose SK, van Vuuren DP, Carter TR, Emori S, Kainuma M, Kram T, Meehl GA, Mitchell JFB, Nakicenovic N, Riahi K, Smith SJ, Stouffer RJ, Thomson AM, Weyant JP, and Wilbanks TJ, 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment, *Nature*, 463, 747–756, <https://doi.org/10.1038/nature08823>.

Nerheim S, Schöld S, Persson G, och Sjöström Å, 2018. Framtida havsnivåer i Sverige. SMHI Klimatologi Rapport Nr 48, Norrköping.

Oliver ECJ, Burrows MT, Donat MG, Sen Gupta A, Alexander LV, Perkins-Kirkpatrick SE, Benthuysen JA, Hobday AJ, Holbrook NJ, Moore PJ, Thomsen MS, Wernberg T and Smale DA (2019) Projected Marine Heatwaves in the 21st Century and the Potential for Ecological Impact. *Front. Mar. Sci.* 6:734. doi: 10.3389/fmars.2019.00734

Prein AF, Gobiet A, Truehetz H, Keuler K, Goergen K, Teichmann C, Fox Maule C, van

Meijgaard E, Déqué M, Nikulin G, Vautard R, Colette A, Kjellström E and Jacob D, 2016. Precipitation in the EURO-CORDEX 0.11° and 0.44° simulations: high resolution, high benefits? *Clim. Dyn.*, 46, 383–412, DOI: 10.1007/s00382-015-2589-y.

Sharma S, Blagrove K, Magnuson JJ et al., 2019. Widespread loss of lake ice around the Northern Hemisphere in a warming world. *Nat. Clim. Chang.* 9, 227–231. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0393-5>

Sjökvist E, Axén Mårtensson J, Dahné J, Köplin N, Björck E, Nylén L, Berglöv G, Tengdelius Brunell J, Nordborg D, Hallberg K, Södling J och Berggreen Clausen S, 2015. Klimatscenarier för Sverige - Bearbetning av RCP-scenarier för meteorologiska och hydrologiska effektstudier. SMHI rapporter: Klimatologi, 15. 36pp, ISSN: 1654-2258.

Stensen K, Tengdelius-Brunell J, Sjökvist E, Andersson E och Eklund A, 2017. Vattentemperaturer och is i Mälaren - Beräkningar för dagens och framtidens klimatförhållanden, SMHI Klimatologi Rapport nr 41, Norrköping.

Taylor KE, Stouffer RJ and Meehl GA, 2010. An Overview of CMIP5 and the Experiment Design, *B. Am. Meteorol. Soc.*, 93, 485–498, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>.

Vautard R, Gobiet A, Sobolowski S, Kjellström E, Stegehuis A, Watkiss P, Mendlik T, Landgren O, Nikulin G, Teichmann C and Jacob D, 2014. The European climate under a 2°C global warming. *Environ. Res. Lett.* 9, 034006, DOI: 10.1088/1748-9326/9/3/034006.

Vautard R, Kadyrov N, Iles C, Boberg F, Buonomo E, Bülow K, Coppola E, Corre L, van Meijgaard E, Nogherotto R, Sandstad M, Schwingshackl C, Somot S, Aalbers E, Christensen OB, Ciarlo JM, Demory M-E, Giorgi F, Jacob D, Jones RG, Keuler K, Kjellström E, Lenderink G, Levvasseur G, Nikulin G, Sillmann J, Solidoro C, Sørland SL, Steger C, Teichmann C, Warrach-Sagi K and Wulfmeyer V, 2020. Evaluation of the large EURO-CORDEX regional climate model ensemble. *J. Geophys. Res.* DOI: 10.1029/2019JD032344

Werner Dahl E, 2017. Change in Thunderstorm Activity in a Projected Warmer Future Climate: A Study over Europe. Examensarbete vid Institutionen för geovetenskaper, Uppsala Universitet. ISSN 1650-6553 ; 419

Wilcke R, Kjellström E, Liu C, Matei K and Moberg A, 2020. The extreme warm summer 2018 in Sweden - set in a historical context. Submitted to *Earth System Dynamics*.

WMO, 2020. WMO Provisional Statement on the State of the Global Climate in 2020. https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21804#.X8oSH9hKiUk

FÖRÄNDRINGAR I KLIMATET SOM PÅVERKAR ENERGISEKTORN I SVERIGE

Här beskrivs, med fokus på energisektorn, hur klimatet kan ändras i Sverige vid en global uppvärmning på 1,5 och 2 grader över förindustriell nivå.

Klimatförändringarna är stora, de märks redan nu och konsekvenserna för energisektorn förväntas öka. Forskarna har här tagit fram ett nytt underlag som utgår från regionala klimatmodeller och analyserat klimatindex för olika energisektorer.

Enligt alla klimatscenarier kommer klimatet att ändras även i framtiden och det kommer att finnas perioder som är varmare eller kallare, blötare eller torrare än vad den långsiktiga utvecklingen pekar på.

För Sverige handlar förändringarna särskilt om en fortsatt förskjutning av säsongerna, gradvis högre temperaturer och mer nederbörd som i allt mindre utsträckning faller som snö. Det kommer också att bli mer extrema förhållanden – intensiva värmeböljor och färre köldknäppar som inte blir lika kalla som tidigare. Scenarierna pekar också på mer intensiv nederbörd men också en ökad risk för torka under nederbördsfattiga år. För vindklimatet är förändringarna relativt små och resultaten mer osäkra.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se