

Regionala klimatförändringar

En kunskapssammanställning om observerade och framtida klimatförändringar med relevans för dammsäkerhet



Svenska kraftnät

Svenska kraftnät är systemansvarig myndighet, med uppgift att på ett affärsmässigt sätt förvalta, driva och utveckla ett kostnadseffektivt, driftsäkert och miljöanpassat kraftöverföringssystem. Det omfattar ledningar för 400 kV och 220 kV med stationer och utlandsförbindelser. Svenska kraftnät utvecklar transmissionsnätet och elmarknaden för att möta samhällets behov av en säker, hållbar och ekonomisk elförsörjning. Därmed har Svenska kraftnät också en viktig roll i klimatpolitiken.

Version

Org. Nr 202 100-4284

Svenska kraftnät
Box 1200
172 24 Sundbyberg
Sturegatan 1

Tel: 010-475 80 00
Fax: 010-475 89 50
www.svk.se

Förord

Svenska kraftnäts ska främja dammsäkerheten i landet, vari ingår bl.a. att följa och medverka till att klimatförändringar och höga flöden beaktas i dammsäkerhetsarbetet. Denna rapport har tagits fram som en redovisning av deluppdraget att sammanställa aktuell kunskap rörande klimatförändringars påverkan på dammsäkerhet som Svenska kraftnät fått inom regeringsuppdraget att kartlägga och analysera klimatförändringars påverkan på dammsäkerheten.¹

Sammanställningen syftar till att beskriva observerade klimatförändringar och modellerade framtida klimatförändringar med relevans för dammanläggningar i ett risk- och sårbarhetsperspektiv. Den redovisar nuvarande kunskapsläge utifrån allmänt tillgängliga underlag per 1 april 2023.

Sammanställningen har utförts av Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) på uppdrag av och i nära samverkan med Svenska kraftnät. Samverkan har även skett löpande med representanter för kraft- och gruvindustrin genom den s.k. kommittén för dammsäkerhet i ett klimat i förändring.²

SMHI har hittills främst har tagit fram klimatindikatorer för samhällets allmänna behov. Följden är att underlag för specifika dammsäkerhetsändamål saknas i stor utsträckning. För att täcka vissa identifierade behov har Svenska kraftnät gett SMHI i uppdrag att genomföra kompletterande studier (pågår).

För en allmän och aktuell beskrivning av klimatinformation för Sverige hänvisas till Kjellström et al. (2022), vilken i delar även återges i denna rapport.

¹ Uppdrag att kartlägga och analysera klimatförändringarnas påverkan på dammsäkerheten. I2022/00621. Infrastrukturdepartementet 2022-03-10.

² Överenskommelse om kommitté för dammsäkerhet i ett klimat i förändring. Överenskommelse mellan Svenska kraftnät, Energiföretagen Sverige och Svemin (huvudmännen för riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar) samt SMHI. 2021-05-06.

Innehåll

1	Disposition och inledning.....	5
1.1	Disposition	5
1.2	Kunskapen har ökat avsevärt senaste decenniet	5
1.3	Om klimatförändring och kunskapsunderlag.....	6
1.4	Databaser och klimattjänster har utvecklats snabbt	7
1.5	Kunskapsläget i korthet	7
1.6	Sammanfattande slutsatser	8
2	Observerade förändringar i klimat.....	11
2.1	Temperaturökningen större i Sverige	11
2.2	Nederbörden har stor variabilitet	13
2.3	Snöförhållanden – färre dagar med snötäcke och minskat vatteninnehåll.....	17
2.4	Vattenföring och avrinning påverkas på olika sätt	21
3	Modellerade förändringar i framtida klimat.....	26
3.1	Temperatur.....	26
3.2	Nederbörd	32
3.3	Snöförhållanden.....	38
3.4	Vattenföring och lokal tillrinning.....	41
	Referenser och underlag.....	55
	Referenser i texten.....	55
	Referenser i figurer.....	62
	Bilaga 1 Naturvetenskapliga underlag och koncept.....	70

1 Disposition och inledning

1.1 Disposition

Rapporten är upplagd enligt följande.

- > I detta avsnitt ges en introduktion till FN:s klimatpanels (IPCC) och SMHI:s roll i klimatarbetet, kunskapsunderlag om klimatförändring samt data och klimattjänster. Avsnittet avslutas med en summering av kunskapsläget och sammanfattande slutsatser.
- > I avsnitt 2 redovisas observerade förändringar i regionalt klimat, dvs. utveckling fram till idag. Noteringar görs om pågående aktiviteter för att ta fram kompletterande kunskapsunderlag med relevans för dammsäkerhet.
- > I avsnitt 3 redovisas resultat om framtida klimatförändringar under innevarande sekel, modellerade med olika klimatscenarier. Noteringar görs om pågående aktiviteter för att ta fram kompletterande underlag med relevans för dammsäkerhet.
- > Referenser och referenser till figurerna listas i det sista avsnittet.
- > I Bilaga 1 Naturvetenskapliga underlag beskrivs terminologi, begrepp och metoder som används inom fackområdet.

1.2 Kunskapen har ökat avsevärt senaste decenniet

Jordens klimat och takten i pågående klimatförändringar ägnas alltmer uppmärksamhet. Generellt gäller att kunskapen om klimatsystem och klimatförändringar ökat avsevärt under det senaste decenniet.

FN:s klimatpanel (IPCC) sammanfattar och bedömer regelbundet det rådande vetenskapliga läget relaterat till den globala uppvärmningen och dess effekter. Panelen har de senaste femton åren sammanställt och publicerat ett flertal forskningsrapporter med successivt skärpta formuleringar och tydligare ställningstaganden. Att klimatet är i förändring är otvetydigt och antropogena utsläpp av växthusgaser påverkar redan väder- och extremhändelser i alla regioner jorden runt (IPCC, 2021).

Denna rapport har sammanställts av SMHI på uppdrag av och i nära samverkan med Svenska kraftnät. Rapporten redovisar nuvarande kunskapsläge i fråga om observerade och framtida klimatförändringar med betydelse för dammar och dammsäkerhet utifrån allmänt tillgängliga underlag.

SMHI är expertmyndighet inom bland annat klimatologi. SMHI tar fram dataunderlag för beslut och har en central roll för klimatanpassningsarbetet i Sverige. Nationellt Kunskapscentrum för klimatanpassning och sekretariatet för Nationella expertrådet för klimatanpassning finns på SMHI. Likaså finns Sveriges nationella kontaktpunkt för FN:s klimatpanel, placerat på SMHI. För att bedöma påverkan, sårbarhet och risker kopplat till ett förändrat klimat liksom behov och utformning av anpassningsåtgärder är det viktigt att tillgängliggöra klimatinformation på lämplig skala (Vautard, 2018). På SMHI:s webbsidor under www.smhi.se/klimat finns information om hur och varför klimatet förändras.

1.3 Om klimatförändring och kunskapsunderlag

Utsläpp av växthusgaser i atmosfären är avgörande för klimatets framtida utveckling. Tröghet och återkopplingsmekanismer i klimatsystemet medför att historiska utsläpp verkar under lång tid framöver. Om arbetet med att kraftfullt begränsa framtida utsläpp av växthusgaser lyckas, kan temperaturökningen till viss del begränsas. Information om kumulativa koldioxidutsläpp i kombination med forskarsamhällets modellberäkningar i [klimatscenarier](#) ger tillsammans god ledning om kommande förändringar.

Flera olika [tidsperspektiv](#) används för att visa och analysera klimatets variation och förändring. För att kunna dra slutsatser om klimatet måste dock en tillräckligt lång tidsperiod (vanligtvis 30 år) analyseras. För dammanläggningar eller system där dammar ingår är det primärt klimatologiska förhållanden som låg till grund för ursprunglig design, nuvarande förhållanden respektive förhållanden under den förväntade tekniska livslängden – normalt innevarande sekel – som är av intresse. För vissa gruvdammsanläggningar kan tidshorisonten efter avslutad drift, i efterbehandlingskedje, vara hundratals år.

Förändringar i klimat presenteras ofta som [globala medelvärden](#), men i praktiken fördelas förändringar ojämnt mellan olika platser på jorden och i synnerhet mellan havs- respektive landområden. Globala medelvärden kan på ett övergripande plan beskriva trender men för många tillämpningar krävs [information av regional eller lokal karaktär](#).

Vattencykeln har en nära koppling till klimatologiska förhållanden och flertalet frågeställningar rörande dammanläggningar kräver en [hydrologisk ansats](#), exempelvis trender, dynamik och extremer för is, snö, tillrinning och tappning. Ökad temperatur förändrar vattenbalanskomponenter såsom nederbörd, avdunstning och avrinning vilket allmänt beskrivs som en intensifiering av vattencykeln (Huntington, 2006).

1.4 Databaser och klimattjänster har utvecklats snabbt

Kunskapen om klimat och förändringar av detsamma har under flera årtionden utvecklats avsevärt. För att följa historiska klimatförändringar under de senaste decennierna används i huvudsak observationsdata. Generellt tillskrivs resultat högre tillförlitlighet om de går att belägga utifrån multipla bevislinjer såsom kunskap om klimatprocesser, observerad klimatutveckling och paleoklimat samt jämförelser mellan modellberäkningar och nutida samt historiska förhållanden.

Databaser och klimattjänster har utvecklats snabbt och tillgängliggör underlag för olika tidshorisonter och geografiska områden (Gutiérrez et al. 2021; SMHI, 2021). Antalet tjänster är stort (Sigel et al., 2016) och ämnesområdet genomgår generellt en mognadsfas med ett stort behov av ökad struktur (Weichselgartner & Arheimer, 2019).

Meteorologiska data dominerar fortfarande informationsmängden, men hydrologisk och oceanografisk information ökar. En jämförelse mellan hydrologiska tjänster finns i Merks et al. (2020). Utöver redovisning för samhällets allmänna behov finns riktad rapportering för tillämpad hydrologi (Arheimer & Lindström, 2015; Sjökvist et al., 2015), vattenkraft (Cherry et al., 2017; Haddeland et al., 2021; Contreras, 2020; Lindström, 2022) och dammsäkerhetsändamål (François et al., 2019; Clavet-Gaumont et al., 2017; Hallberg et al., 2014; Lawrence, 2016; Losjö et al., 2019).

1.5 Kunskapsläget i korthet

Sedan lång tid är den etablerade bilden att klimatet i norra Europa och i Sverige förändras mot varmare och mer nederbördsrikt. Kunskapsläget för Sverige kan sammanfattas enligt följande (se Kjellström et al. (2022), Lindström (2011), Lindström (2022), Olsson et al. (2017), Sjökvist et al. (2015), SMHI (2021), Arheimer & Lindströms (2015), Wilson et al. (2010)):

Temperatur

- > Temperaturökningen i Sverige är ungefär dubbelt så stor som medelvärdet för jorden. Jämfört med perioden 1961–1990 var perioden 1991–2020 ungefär 1 grad varmare.
- > Temperaturökningen är större än medelvärdet i landets norra delar och vintertid.

Nederbörd

- > Nederbörden ökar över hela landet. Jämfört med perioden 1961–1990 var perioden 1991–2020 ungefär 8 % mer nederbördsrik.
- > Uppvärmningen lett till en kortare säsong med snö på marken med undantag för Norra Norrland. Snötäcket väntas i medeltal minska, med reservation för områden i eller nära fjällkedjan.
- > Extrem nederbörd väntas öka över hela landet och ökningen bedöms något högre för nederbörd med varaktighet kortare än ett dygn jämfört med varaktigheten ett dygn.

Vattenföring

- > Medelvattenföring ökade i Sverige inom perioden 1991-2020 jämfört med perioden 1961-1990 enligt observationer. Ökningen var störst i norra Sverige.
- > Höga flöden i naturliga vattendrag visar inte någon nationell trend i storlek eller frekvens i observationsdata.
- > Säsongsvisa förändringar i flöden stöds av observationsdata. Flödestoppar under vintern, dvs. flödestoppar med ursprung i regn, är något högre. Flödestoppar med ursprung i snösmältning inträffar en aning tidigare.

I ett framtida klimat kan det inte uteslutas att hydrologiska extremer ändrar karaktär eller att ogynnsamma förhållanden kan sammanfalla på ett sätt som inte förekommer idag. Om vattenkraftens roll i energisystemet förändras kan även historiska driftmönster förändras vilket adderar ytterligare faktorer att väga in.

Utöver successiva förändringar av klimatet nämns allt oftare risken för s.k. tippningspunkter eller händelser med låg sannolikhet men som skulle medför stora konsekvenser (SOU,2007; van der Linden & Mitchell, 2009; Jacob et al., 2014; Kjellström et al., 2022).

1.6 Sammanfattande slutsatser

Sverige är på väg mot ett varmare och blötare klimat

Kunskapen om klimatsystemet och klimatprocesser ökar stadigt genom observationer och modellberäkningar för såväl historiska som framtida förhållanden. Jämförelser med paleoklimat sätter nuvarande förändringar i perspektiv om hundratals år eller längre, vilket stärker bilden av pågående omfattande och snabba förändringar. Utsläppen av växthusgaser är på sikt en

avgörande faktor för om och vid vilken nivå klimatförändringar eventuellt kan stabiliseras. Om de faktiska utsläppen inte minskar betydligt i närtid kommer scenarier för mer omfattande klimatpåverkan öka i relevans. Även om osäkerheter om framtida klimatutveckling kvarstår är kunskapsläget så väl utvecklat att de övergripande dragen kan anses väl kartlagda och bör kunna ligga till grund för översiktliga bedömningar av anpassningsbehov. Osäkerheter mellan olika framtidsscenarioer speglar att det fortfarande finns utrymme att påverka utvecklingen, vilket inte ska förväxlas med okunskap om klimatsystemet.

De tekniska underlagen bygger på alltmer detaljerad kunskap samtidigt som den övergripande bilden rörande förändringar i Skandinavien ligger fast. Sverige är på väg mot ett varmare och blötare klimat. Bedömningen har över tid varit relativt likartad både vad gäller observerade förändringar och framtidsscenarioer.

Tillkommande behov av kunskapsunderlag för dammar och dammsäkerhet SMHI har hittills främst tagit fram allmänt tillgängliga klimatindikatorer för samhällets allmänna behov. Men, för vattenkraft och dammsäkerhetsändamål bedömer Svenska kraftnät att det finns behov av kompletterade kunskapsunderlag rörande bl.a. ackumulerad tillrinning, vattenekvivalent av snö med hög återkomsttid, samt generellt uppgifter om extrema regnhändelser och extrema tillrinningar samt deras rumsliga variabilitet och varaktighet.

Säker utformning och drift av dammanläggningar baseras till viss del på erfarenhet och bedömningar av extremer. I klimatindikatorer används ofta förändringar i medelförhållanden för år eller säsong. Mått som visar på förändringar i varaktighet, mellanårs- eller inomårsvariation, bedöms vara värdefullt för frågor rörande drift av dammanläggningar men förekommer sparsamt eller inte alls. Eftersom extremer per definition är sällsynta kommer underlag och möjligheten att i observationsdata påvisa robusta trender eller förändringar vara begränsade. Mot denna bakgrund bedöms framtidsscenarioer vara ett viktigt verktyg för att uppmärksamma möjliga förändringar innan de manifesterats.

Snö och isförhållanden är faktorer av betydelse för dammanläggningar. Dessa förhållanden påverkas mycket av ett varmare klimat. Utifrån nuvarande kunskapsläge går det inte att generellt tillskriva snö och is minskad betydelse utan att ta hänsyn till skillnader i olika regioner. Vidare är sådan grundinformation i mindre grad allmänt tillgänglig och standardiserad jämfört annan klimatinformation.

För att beräkna förändringar i flöden med en viss sannolikhet används årshögsta flöden. Årshögsta flöden i nuvarande klimat kan orsakas av

snösmältningen, beroende på var i landet vattendraget ligger. I ett framtida klimat med minskande snö och högre nederbörd kan högsta flödestoppen dock orsakas av en regnhändelse.

Studier av högflöden i Sverige differentierar typiskt mellan regioner, men i lägre grad mellan säsonger och flödesskapande processer. Ur ett dammsäkerhets- och vattenkraftperspektiv bedöms det vara av intresse att undersöka hur de högsta flödena förändrats till följd av bakomliggande processer ("snösmältningstoppar" och "regntoppar"). Dessutom finns det intresse att undersöka förändrade tillrinningsmönster exempelvis för perioder då magasin kan väntas hålla hög fyllnadsgrad. Perioder med hög magasinstrykningsgrad skiljer sig åt över landet och är en faktor som kan komma att ändra karaktär både till följd av klimatologisk betingade tillrinningsmönster och vattenkraftens roll i energisystemet. En annan intressant frågeställning är om magasinstrykningsgrader kommer vara höga på andra tider av året än idag, som en kombinerad effekt av elmarknad, vattendomar och tillrinningar.

2 Observerade förändringar i klimat

2.1 Temperaturökningen större i Sverige

Temperaturökningen i Sverige är ungefär dubbelt så stor som det globala medelvärdet (SMHI 1). I detta avsnitt beskrivs klimatindikatorerna medeltemperatur och antal dygn med nollgenomgångar.

Årsmedeltemperatur

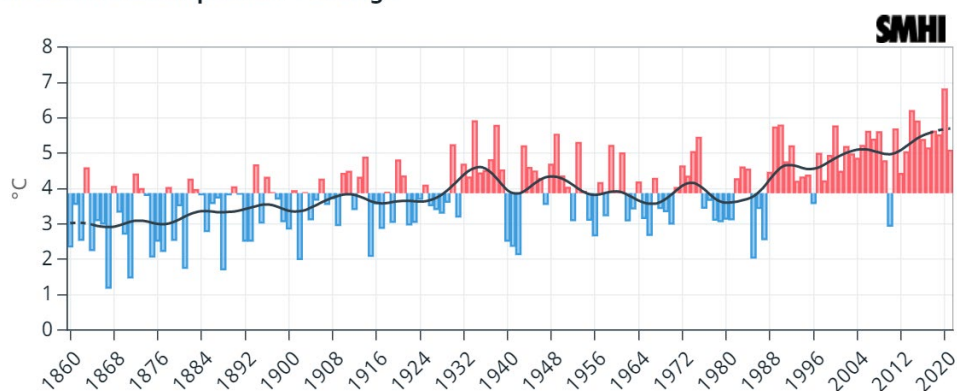
Sveriges årsmedeltemperatur för varje år mellan 1860 tom 2020 visas i **Figur 1**.

Blå staplar betyder att årsmedeltemperaturen var lägre än

medeltemperaturen över perioden 1961-1990 medan röda staplar betyder att årsmedeltemperaturen var högre än medeltemperaturen över perioden 1961-1990. Den grå linjen är ett glidande medelvärde över ungefär tio år.

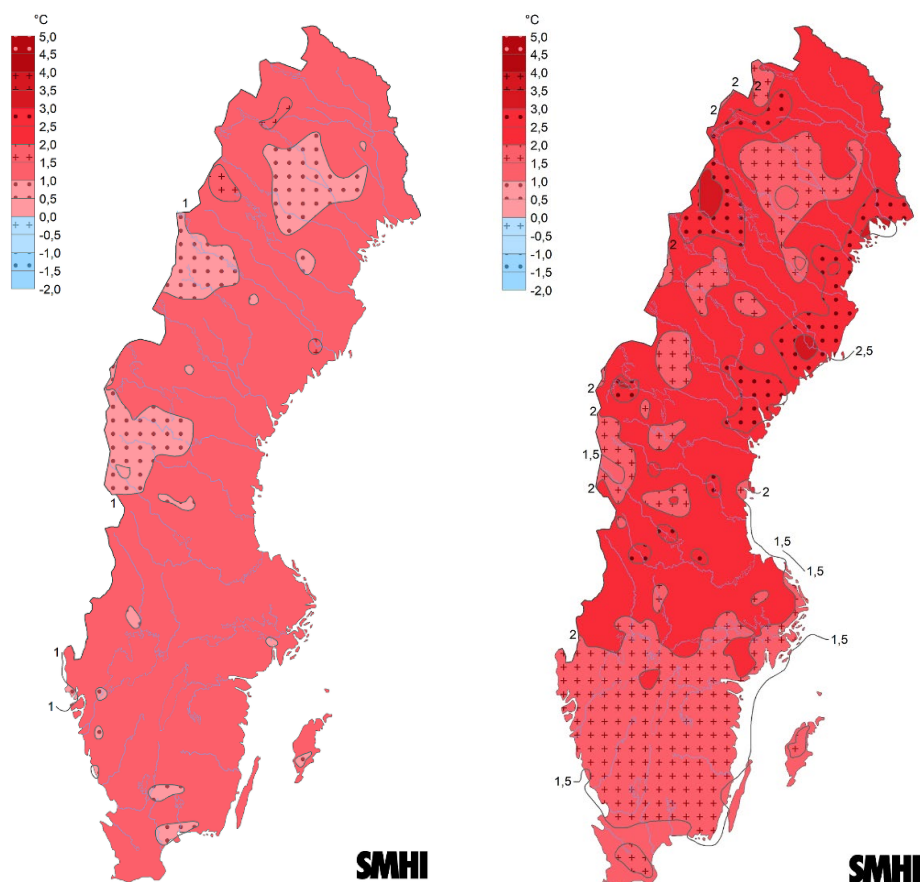
Medeltemperaturen för de flesta år inom perioden 1860-1930 har varit kallare jämfört med medeltemperaturen över åren 1961-1990. Sedan 1988 har medelårstemperaturen varit högre för alla år förutom 1996 och 2010 jämfört med medeltemperaturen över perioden 1961-1990.

Årets medeltemperatur i Sverige



Figur 1. Staplarna i diagrammet visar medeltemperaturen per år. Röda staplar visar högre och blå visar lägre temperaturer än medelvärdet för normalperioden 1961-1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år.

Förändringen i årsmedeltemperaturen för landet i kartform mellan perioden 1991-2020 jämfört med perioden 1961-1990 ges i **Figur 2** till vänster. Perioden 1991-2020 var ungefär 1,0 till 1,5 grad varmare jämfört med perioden 1961-1990. Temperaturökningen är större under vinterperioden (december-februari) jämfört med året som helhet jämfört med referensperioden 1961-1990, se **Figur 2** till höger.



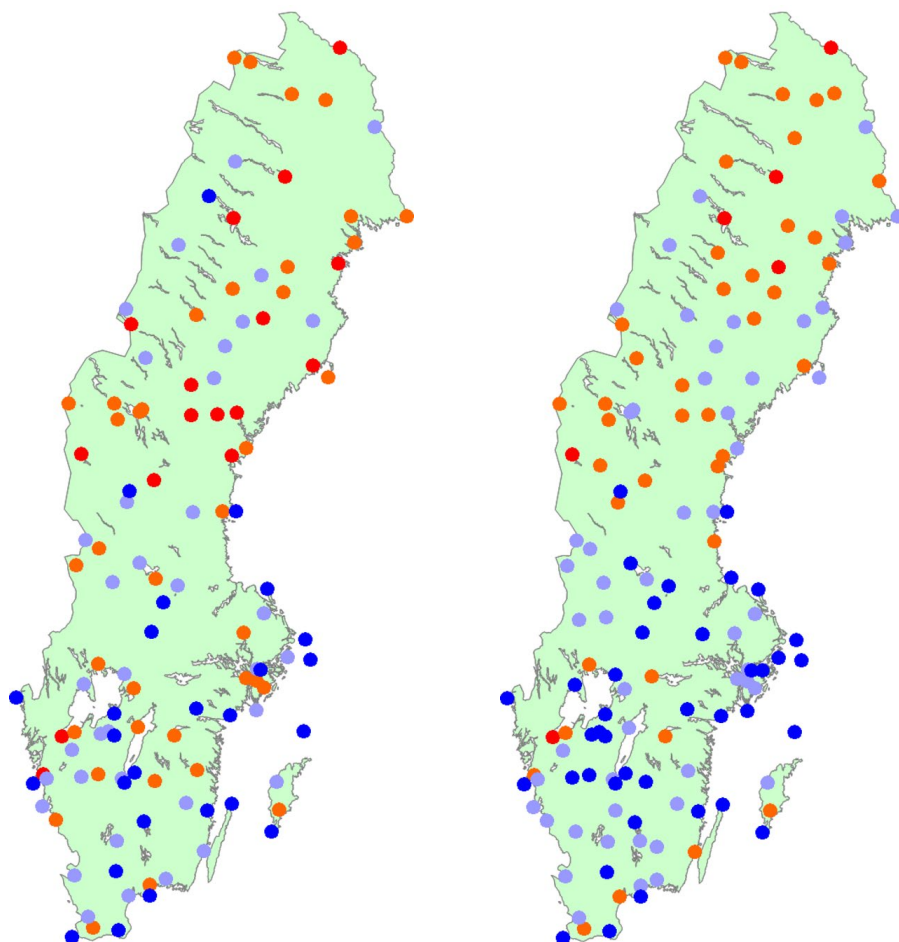
Figur 2. Till vänster: Förändringen av årsmedeltemperaturen mellan normalperioden 1991-2020 jämfört med normalperioden 1961-1990. Till höger: Förändringen av vintermedeltemperaturen (december, januari och februari) mellan normalperioden 1991-2020 jämfört med normalperioden 1961-1990.

Nollgenomgångar

Nollgenomgångar definieras som antalet dygn då dygnets högsta temperatur två meter över marken varit över 0°C under samma dygn som dygnets lägsta temperatur varit under 0°C. I **Figur 3** till vänster visas förändringen av nollgenomgångar för hela landet och hela året mellan normalperioden 1961-1990 och normalperioden 1991-2020. Det är ungefär lika många stationer som uppvisar en ökning som minskning av antalet nollgenomgångar under året som helhet (SMHI 2).

De flesta nollgenomgångar förekommer under våren. I Götaland och Svealand har det totala antalet nollgenomgångar under våren minskat mellan perioden 1961-1990 till 1991-2020. Antalet minskningar är för många stationer statistiskt säkerställd (mörkblå punkter). I Norrland däremot är antalet

minskningar och antalet ökningar i samma storleksordning. Även om det finns några punkter som visar en statistiskt säkerställd ökning av nollgenomgångar (mörkt röd) så är de mycket utspridda och kan inte relateras till en region, se **Figur 3** till höger.



Figur 3. Till vänster: Förändring av antalet nollgenomgångar från perioden 1961-1990 till 1991-2020. Till höger: Förändring av antalet nollgenomgångar från perioden 1961-1990 till 1991-2020 under våren. Röda punkter – ökning, blå punkter – minskning.

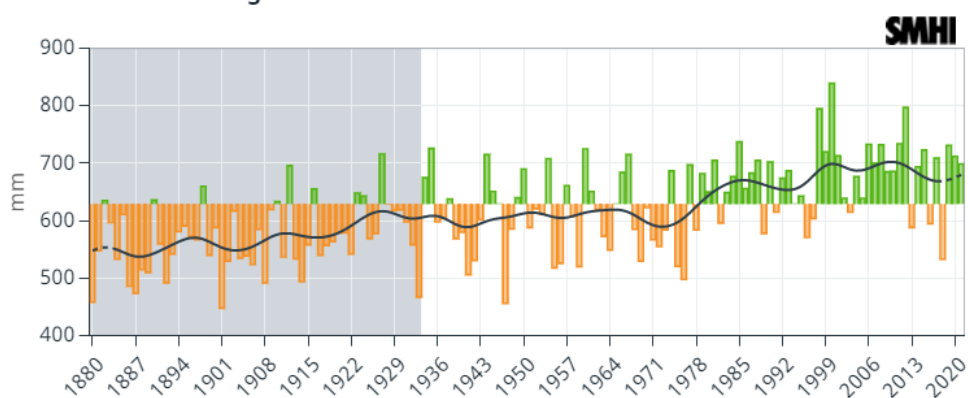
2.2 Nederbörden har stor variabilitet

Nederbörd karakteriseras av stor variabilitet både mellan år och mellan olika geografiska platser. I detta avsnitt beskrivs klimatindikatorerna årsmedelnederbörd och extrem nederbörd i form av bl.a. maximal dygnsnederbörd.

Årsmedelnederbörd

Årsnederbördssummor för varje år sedan 1880-talet syns i **Figur 4**. Gröna staplar visar högre och orangea visar lägre nederbörd än medelvärdet för normalperioden 1961-1990. Den grå linjen i figuren är ett glidande medelvärde av nederbördssummor över en ca 10-års period. Sveriges årsmedelnederbörd låg omkring 600 mm fram till mitten av 1970-talet och ökade till ungefär 700 mm till slutet av 2010-talet. Medan vintermedelnederbörden ökade från omkring 100 mm runt år 1890 till omkring 150 mm i nutid, så ökade höstmedelnederbörden från förra sekelskiftet från 150 mm till 200 mm i nutid. Medelnederbörden under vår och sommartid visar inte någon så tydlig trend (SMHI 3).

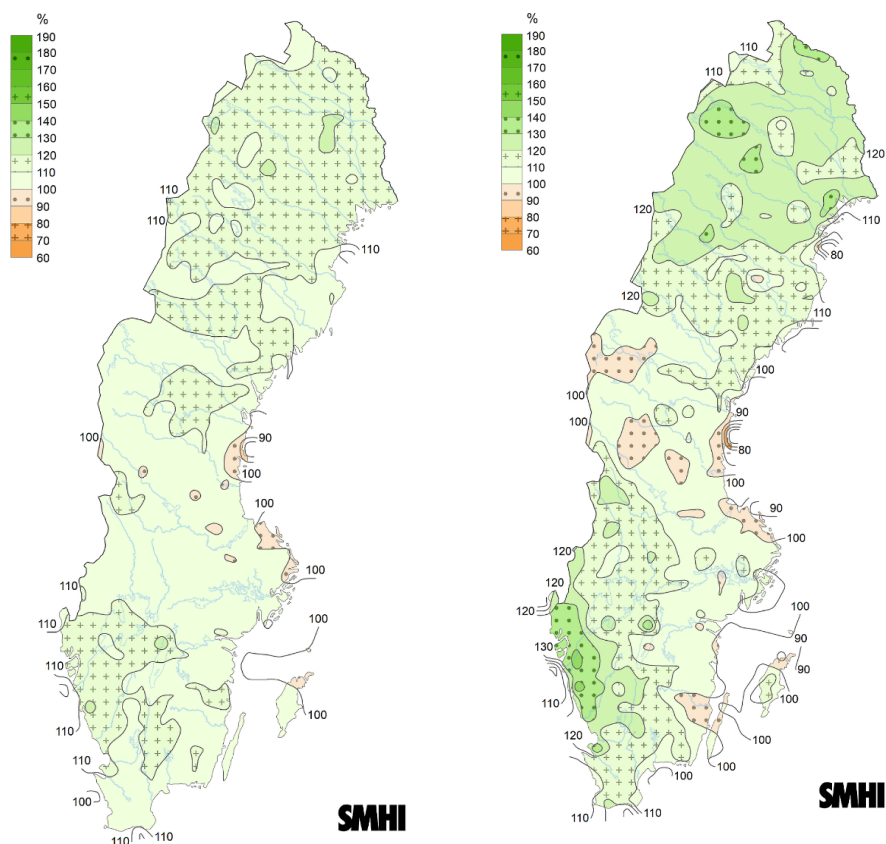
Årsnederbörd i Sverige



Figur 4. Staplarna i diagrammet visar summerad nederbörd per år. Gröna staplar visar högre och orangea visar lägre nederbörd än medelvärdet för normalperioden 1961-1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år. Observationer innan år 1933 anses ha lägre tillförlitlighet än senare observationer. Detta markeras med en grå skuggning i diagrammet. Det bör iakttas försiktighet vid eventuella klimatologiska slutsatser baserat på denna tidsperiod.

Förändringen av årsmedelnederbörd mellan perioden 1991-2020 och perioden 1961-1990 för landet ges i **Figur 5** till vänster. Nederbörden ökar över nästan hela landet med undantag för delar av ostkusten där den minskar. De senaste 30 åren (1991–2020) var ungefär 10 % mer nederbördsrika i Västra Götaland och norra Norrland än perioden 1961–1990 (SMHI 3).

Förändringen av vinternederbörden (december, januari och februari) mellan perioden 1991-2020 och 1961-1990 syns i **Figur 5** till höger. Störst ökning sker under vintermånaderna med 30 % i västra Götaland samt med mellan 10 % och 30 % i norra Norrland (SMHI 4).



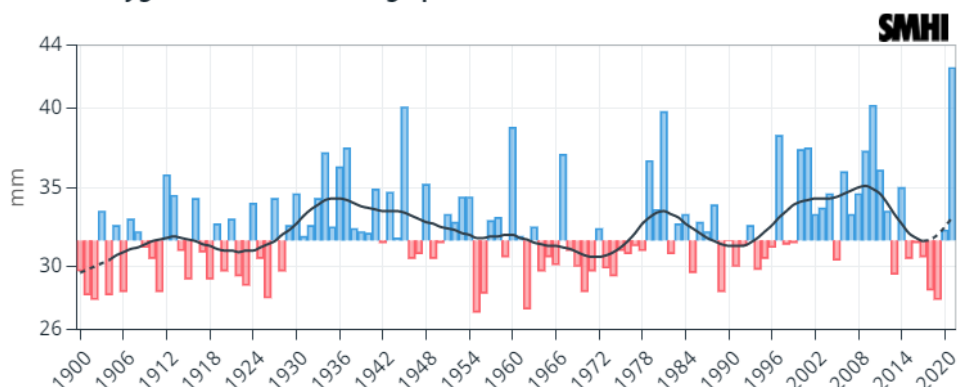
Figur 5. Till vänster: Förändring i årsnederbördssummor för perioden 1991-2020 jämfört med perioden 1961-1990. Till höger: Förändring i nederbörd under vintern 1991-2020 jämfört med 1961-1990.

Extrem nederbörd

Inom rapporten ”Uppföljning av de svenska riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar” (Losjö et al., 2019) undersöktes det om trender inom den dimensionerande nederbördssekvensen kunde fastställas inom perioden 1930-2018. Dessutom analyserades om en trend i årshögsta stationsnederbörd inom perioden 1943-2018 kunde fastställas. Inga trender kunde fastställas, varken för analysen av dimensionerande nederbördssekvens eller av årshögsta stationsnederbörd (Losjö, 2019).

I **Figur 6** presenteras maximal dygnsnederbörd i genomsnitt per station i Sverige per år. Det förekommer perioder med större dygnsmängder samt perioder med mindre dygnsmängder av nederbörd men ingen tydlig trend kan fastställas, vilket är i linje med resultat från Losjö et al., 2019.

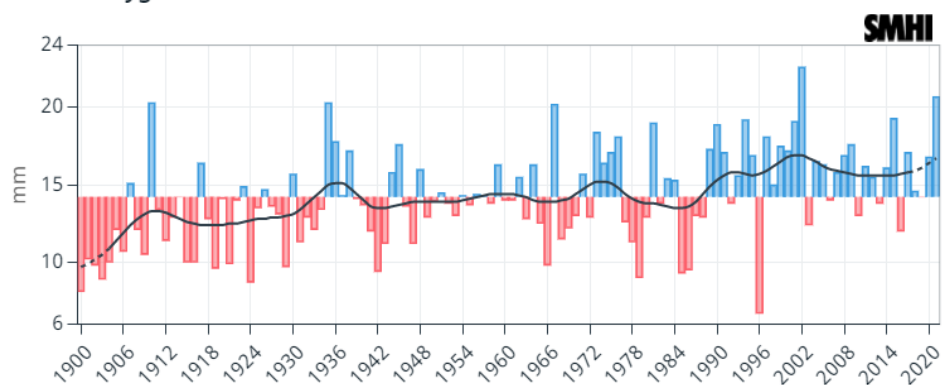
Maximal dygnsnederbörd i Sverige per år



Figur 6. Staplarna i diagrammet visar maximal dygnsnederbörd i genomsnitt per station i Sverige per år. Blå staplar visar högre och röda visar lägre mängder än medelvärdet för normalperioden 1961-1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år.

Vintertid finns dock en trend av ökande maximal dygnsnederbörd för alla landsdelar. Trenden är tydligast för norra Norrland (se **Figur 7**).

Maximal dygnsnederbörd i Norra Norrland under vintern



Figur 7. Staplarna i diagrammet visar maximal dygnsnederbörd i genomsnitt per station i Norra Norrland för december (föregående år), januari och februari. Blå staplar visar högre och röda visar lägre mängder än medelvärdet för normalperioden 1961-1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år.

Inga entydiga trender syns för de andra årstiderna och variationerna från år till år är stora.

Olsson et al. (2017) kunde inte fastställa en ökning av frekvensen för extrema nederbördshändelser $> 5\text{ mm}/15\text{ min}$ i Sverige inom perioden 1996-2017. Ingen trend i frekvens av nederbördshändelser $> 40\text{ mm/dygn}$ kunde heller fastställas för perioden 1900-2017 i Sverige eller för undersökta regioner.

I Norge har undersökningar visat på ökande korttidsnederbörd i stora delar av landet (Førland et al., 2015).

2.3 Snöförhållanden – färre dagar med snötäcke och minskat vatteninnehåll

I stora delar av landet har antal dagar med snötäcke minskat jämfört med perioden 1961-1990 och det syns en minskande trend. För maximala snödjupet kan dock ingen tydlig trend fastställas. I detta avsnitt beskrivs klimatindikatorerna dagar med snötäcke och snösäsongens största snödjup. Avslutningsvis beskrivs preliminära resultat från en pågående studie av snömagasinets snölast för 50-årssnö, som relaterar till snöns vatteninnehåll. Vidare diskuteras utländska studier av regn-på-snö-händelser och kopplingar till avrinningsbildning, och förslag på kompletterande svenska kunskapsunderlag och studier ges.

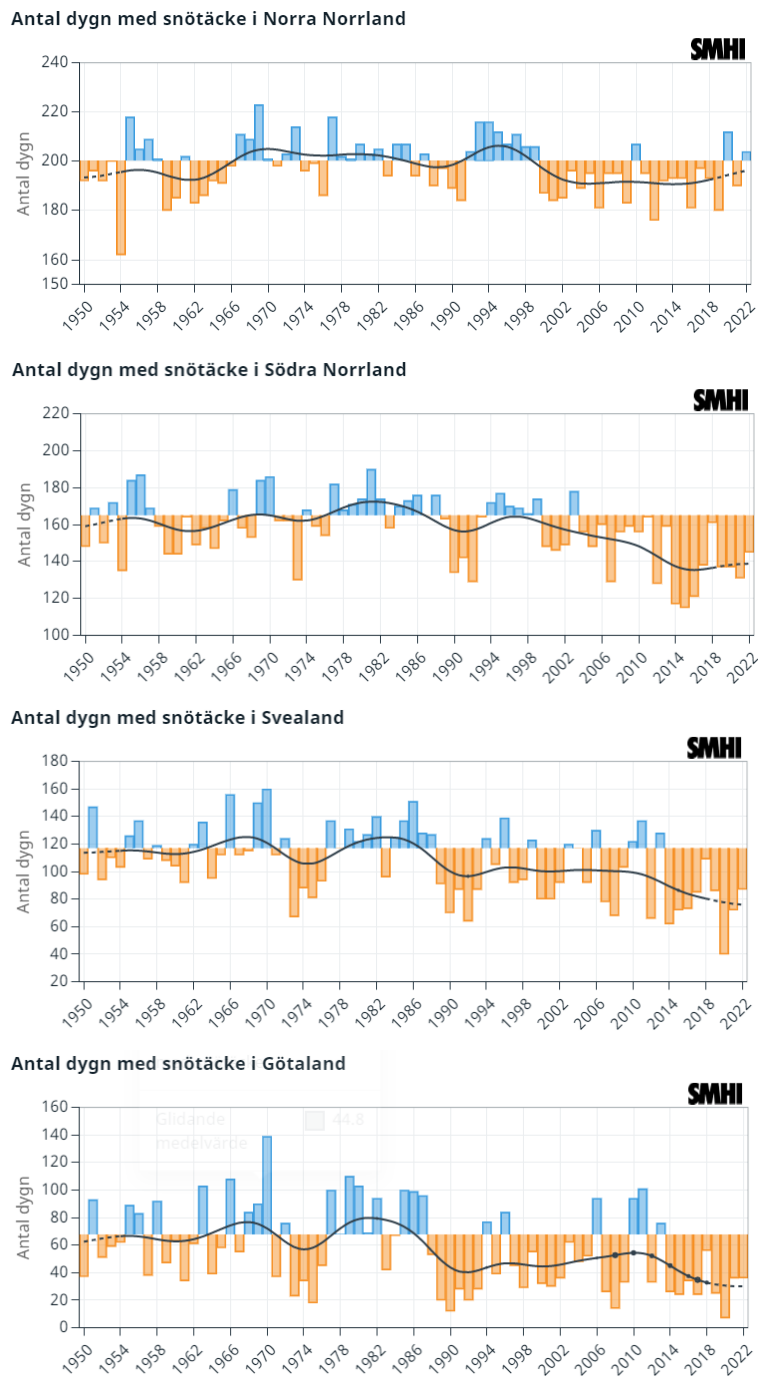
Dagar med snötäcke

Antal dagar med snötäcke definieras som antalet dagar då marken varit till minst hälften täckt med snö. För normalperioden 1991–2020 syns en kortare säsong med snö på marken jämfört med 1961–1990. Förutom för Norra Norrland syntes en minskande trend över de senaste ~20 åren. Resultaten är i överensstämmelse med analyser för Norge. Där har minskade snötäckningsgrad och varaktighet rapporterats med undantag för områden på hög höjd (Dyrrdal & Vikhamar-Schuler, 2009; Rizzi et al., 2018). I Svealand och Götaland syns en ca en månad kortare snösäsong i slutet av perioden 1991-2020 (Kjellström et al., 2022; SMHI 5).

Antal dygn med snötäcke för Norra Norrland, Södra Norrland, Svealand och Götaland presenteras i **Figur 8**. Blå staplar visar större dagar med snötäcke för respektive år jämfört med medelvärden över perioden 1961-1990, medan orangea staplar visar mindre dagar med snötäcke.

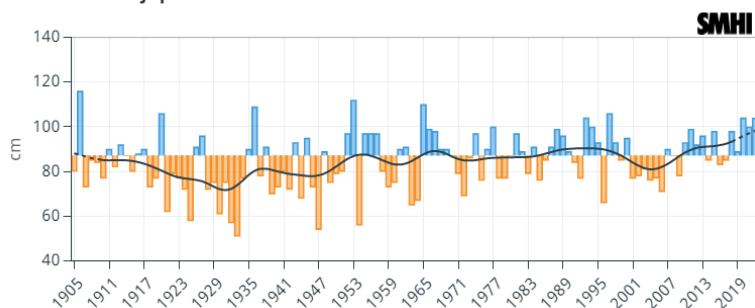
Största snödjup

Största snödjup avser största snödjup som observerats under ett eller flera dygn under snösäsongen. (SMHI 5) I **Figur 9** visas utvecklingen över tid för det maximala snödjupet för mätstationer i Norra Norrland, Södra Norrland, Svealand och Götaland. Vinterns största snödjup har minskat i Götaland men också i Svealand enligt Kjellström et al. (2022) jämfört med perioden 1961-1990. I Norrland går det inte att se någon långsiktig trend i observationerna (Kjellström et al., 2022; Wern, 2015). Enligt SMHI 5 och diagrammen som visas i **Figur 9** syns dock ingen tydlig trend i förändring i maximalt snödjup.

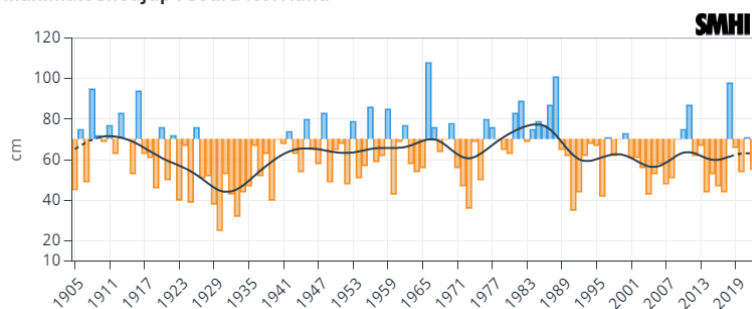


Figur 8. Staplarna i diagrammet visar antal dygn med snötäcke i Norra Norrland, Södra Norrland, Svealand och Götaland. Blå staplar visar er och orangea visar färre dygn än medelvärdet för normalperioden 1961-1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år. Året som visas representerar det år då säsongen avslutas. Det vill säga, 2000 står för säsongen 1999/2000.

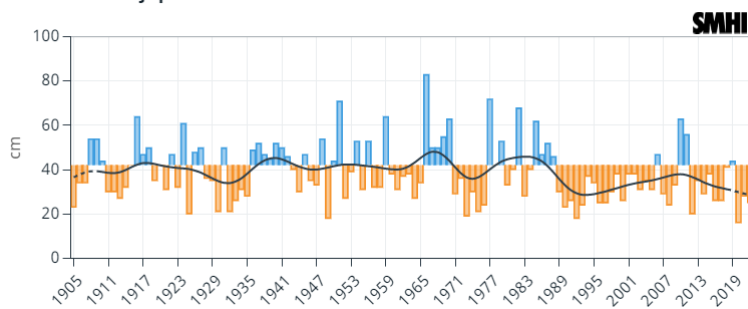
Maximalt snödjup i Norra Norrland



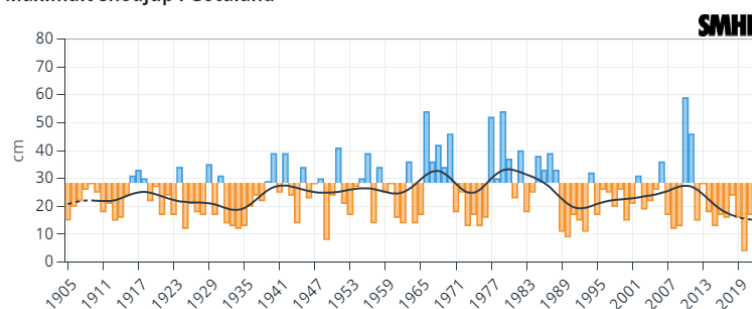
Maximalt snödjup i Södra Norrland



Maximalt snödjup i Svealand



Maximalt snödjup i Götaland



Figur 9. Staplarna i diagrammet visar maximalt snödjup i Norra Norrland, Södra Norrland, Svealand och Götaland. Blå staplar visar högre och orangea visar lägre snödjup än medelvärdet för normalperioden 1961-1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år. Året som visas representerar det år då säsongen avslutas. Det vill säga, 2000 står för säsongen 1999/2000.

Snömagasinets vatteninnehåll

Att redovisa regionala skillnader i snöns vatteninnehåll över tiden utifrån mätdata är svårt pga. begränsningen i antal mätningar samt fördelningen av mätningar över hela landet. På uppdrag av Boverket har SMHI utvecklat en metodik att modellera dimensionerande snölast (Lindström et al., in review), som relaterar till vatteninnehållet av snön. Inom rapporten av Lindström et al. (in preparation) presenteras snölast med en återkomsttid av 50 år för perioden 1961-1990 samt perioden 1991-2020 över hela Sverige. Det är tydligt att snölasten och därmed vattenekvivalenten av snön med en återkomsttid av 50-år är mindre under perioden 1991-2020 jämfört med perioden 1961-1990 för nästan hela Götaland och Svealand. Den minskar även i södra Norrlands inland samt längs Norrlands kust. Medelvärde över alla delområden över hela Sverige är 14 % lägre för perioden 1991-2000 jämfört med perioden 1961-1990.

Kunskap om snömagasinet har stor betydelse i dammsäkerhetssammanhang, för bestämning av dimensionerade flöden och risken för höga flöden. Vid beräkning av mycket extrema flöden nyttjas information om 30-års snö. I dagsläget saknas information om 30-års snö för normalperioden 1991-2020, samt förändring från föregående normalperiod. Svenska kraftnät har gett SMHI i uppdrag att ta fram detta.

En notering är att SMHIs tillgång till data från snömätningar är begränsat och att mätningarna inte är jämnt fördelade över landet. Resultat från kraftindustrins snötaxeringar nyttjas normalt inte av SMHI.

Regn-på-snö-händelser och koppling till avrinningsbildning

Regn-på-snö-händelser kan orsaka mycket höga flöden. Processerna och samspelet dem emellan, som ligger bakom sådana extrema flödes-händelser, är komplexa och kunskapen om dem är otillräcklig idag (Pall et al., 2019; Würzer, 2016). Flera faktorer som bidrar till höga flöden som konsekvens av regn-på-snö händelser har identifierats:

- > snödjup,
- > vattenekvivalent av snön,
- > flytande vatteninnehåll i snön,
- > fördelning av fysikaliska egenskaper för snötäcket i hela avrinningsområdet,
- > temperatur,
- > regn,

- > kortvariga klimatvariationer (orsakat av El Niño – Southern Oscillation (ENSO)),
- > vindhastigheter,
- > höjd för avrinningsområdet (McCabe et al., 2007; Cohen et al., 2015; Freudiger et al., 2014; Würzer, 2016).

Det poängteras att de bidragande faktorerna själva inte måste vara extrema för att kunna orsaka ett extremt flöde om en regn-på snö händelsen inträffar (Pall et al., 2019).

Svenska undersökningar av regn-på-snö händelser som orsakar höga flöden, och vilka följder sådana händelser skulle kunna få för dammar, saknas idag.

2.4 Vattenföring och avrinning påverkas på olika sätt

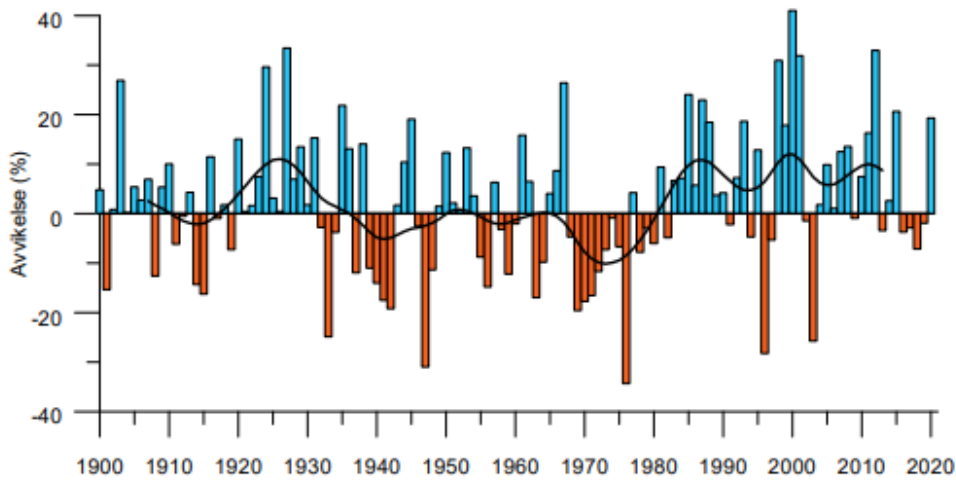
I detta avsnitt beskrivs klimatindikatorerna medelvattenföring/avrinning och årshögsta flöden, och säsongsmönster kommenteras.

De i avsnitt 2.1, 2.2 och 2.3 beskrivna förändringarna påverkar avrinningen och resulterande avrinningsmönster på olika sätt. För att nämna några: En temperaturökning kan öka avdunstningen vilket kan leda till en minskad avrinning. En ökning av nederbörd kan orsaka en ökad avrinning. Snöförhållanden kan påverka både tidpunkten när avrinningen sker och avrinningens storlek.

Årsmedelvattenföring/avrinning

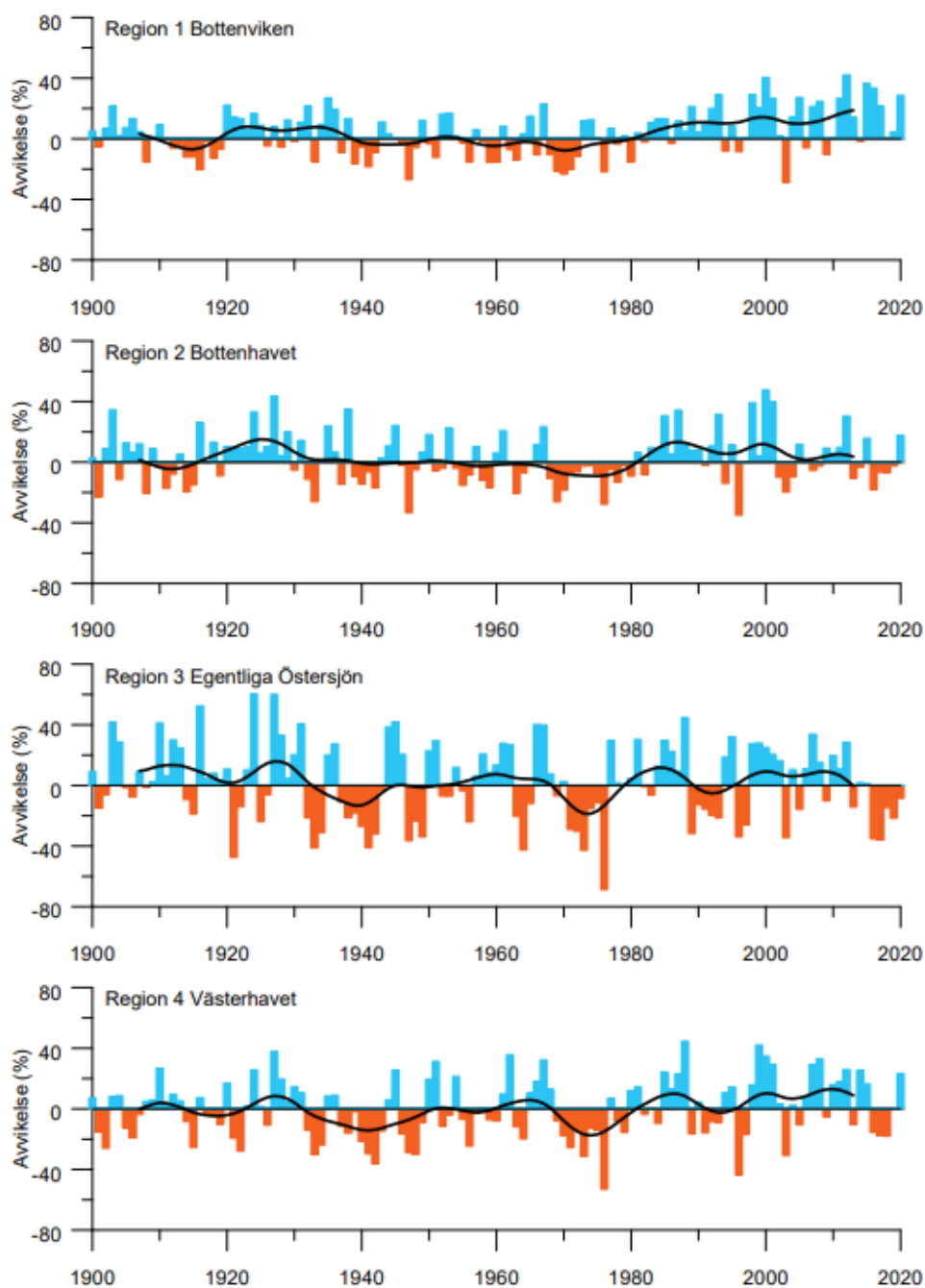
Förändringen av summerad årsvattenföring per år över hela Sveriges yta till havet jämfört med perioden 1961-1990 presenteras i **Figur 10**. Blå staplar betyder att summerad årsvattenföring för det aktuella året var högre än medel över perioden 1961-1990, medan röda staplar betyder att den var lägre.

I Sverige varierar vattenföring och avrinning ca ± 10 % mellan olika decennier jämfört med perioden 1961–1990 (Lindström, 2011, Lindström, 2022). Mönstret skiljer sig något för olika delar av landet men torra förhållanden under 1970-talet är gemensamt från norr till söder. Medelavrinningen för hela landet har ökat under 1991-2020 med ca +7 % jämfört med perioden 1961–1990, störst ökning förekom i norr (Lindström, 2022).



Figur 10. Avvikelse av summerat årsvattenföringen över hela Sverige jämfört med perioden 1961-1990 (%). Den svarta linjen är ett Gaussfilter som lyfter fram variationer med en tidsskala på 10 år.

Lindström (2022) undersökte även förändringen av avrinningen från olika regioner i Sverige. För detta syfte delades Sverige in i fyra regioner som utgörs av tillrinningsområdena till de olika havsbassängerna i Östersjön och Västerhavet: Bottenviken, Bottenhavet, Egentliga Östersjön och Västerhavet. Det konstaterades att ökningen av avrinningen under de senaste 30-åren är mest tydlig i regionen Bottenviken, se **Figur 11**.

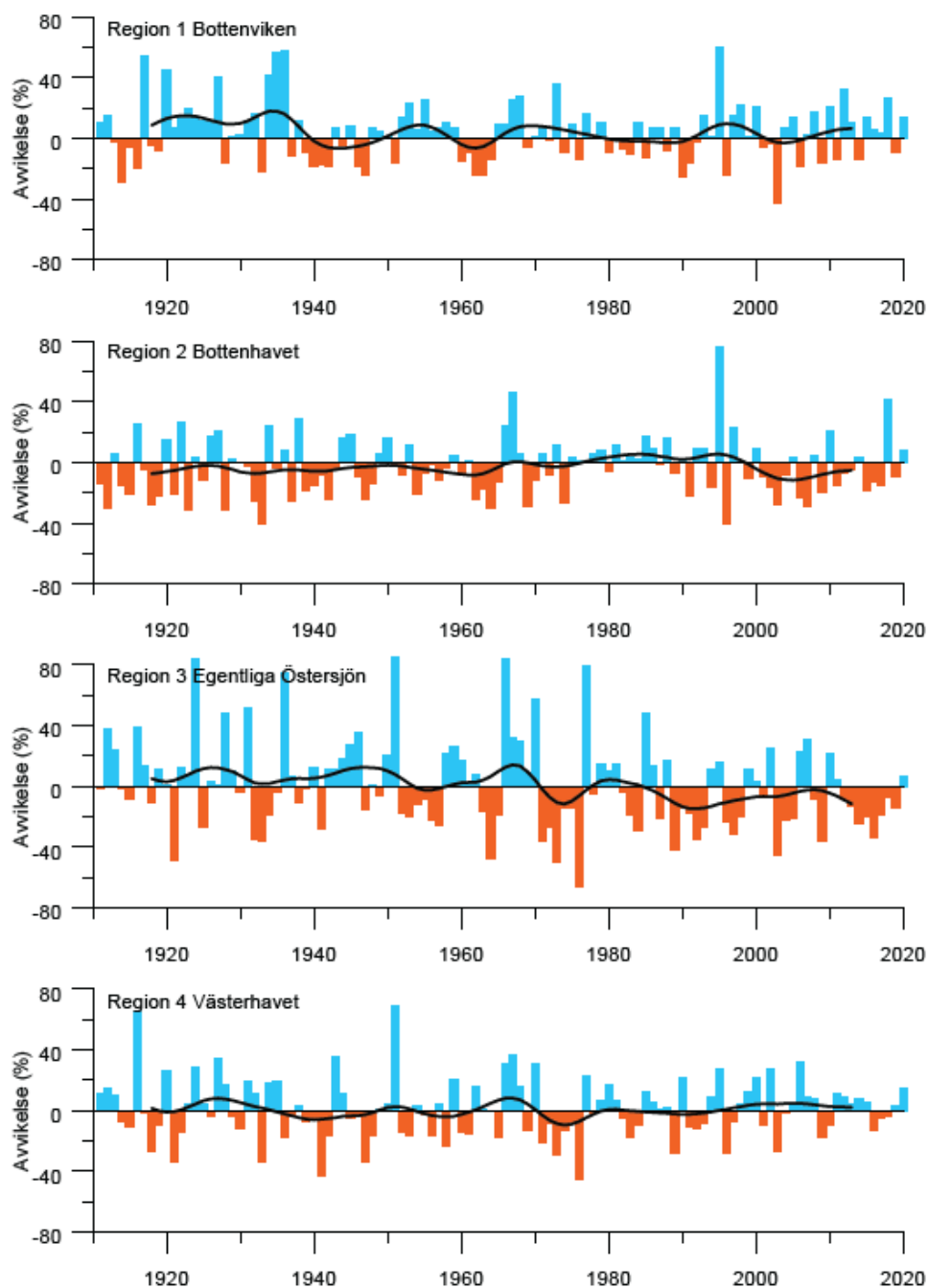


Figur 11. Avvikelse av summerat årsvattenföringen till de fyra omgivande havsbassängerna jämfört med perioden 1961-1990 (%). Den svarta linjen är en Gaussfilter som lyfter fram variationer med en tidsskala på 10 år.

Årshögsta flöden och säsongsmonster

För höga flöden indikerar analyser på årsbasis (Lindström & Arheimer, 2015 Lindström, 2022;) inte ökande storlek eller förekomst. Lindström (2022) undersökte utvecklingen av de högsta flödena för de fyra ovan nämnda regionerna. Förändringen av högsta flöden relaterat till medlet av högsta flöden

under perioden 1961-1990 visade inte någon tydlig trend i någon region se **Figur 12**, kopierad från Lindström (2022, sida 22).



Figur 12. Genomsnittlig avvikelse för det högsta flödet under året från medlet av årshögsta flöden under perioden 1961-1990 för de fyra regioner. Den svarta linjen är ett Gaussfilter som lyfter fram variationer med en tidsskala på 10 år.

Lindström (2022) undersökte förändringen av högsta flöden i landet baserat på 69 stationer med långa observationstidsserier med viss hänsyn till flödesskapande processer. En indelning av årshögsta flöden (oftast orsakade av snösmältningen) samt högsta höstflöden (from juli tom februari, oftast orsakat av regnhändelser) gjordes för hela landet över perioden 1910-2020. Slutsatsen drogs att storleken och frekvensen av höga flöden i naturliga vattendrag är relativt stabila över tiden. Storleken i högsta höstflöde har ökat enligt Lindström & Arheimer (2015) under perioden 1985-2015 jämfört med perioden 1961-1990. Det påpekas dock att sommar- och höstflöden under 1920-talet var högre, samt att 1970-talet som ingår i referensperioden var ett torrt årtionde i Sverige.

Analys av högflödessituationer i Norge som differentierat mellan flödesskapande processer visar på ökande betydelse av regnhändelser. Vidare framhålls vikten av att identifiera den flödesskapande processen jämfört med om månader eller säsonger används för urval och analys (Vormoor et al., 2016). För Sverige saknas motsvarande analys för högflödes händelser differentierade utifrån flödesskapande processer; snösmältning respektive regnhändelser. Svenska kraftnät har gett SMHI i uppdrag att göra en sådan analys.

En tendens till att vårflödestoppar typiskt inträffar tidigare på året har identifierats i Skandinavien (Lindström, 2022; Arheimer och Lindström, 2015; Wilson, 2011). Sedan början av 1900-talet sätter vårfloden igång mellan 5 och 15 dagar tidigare för 22 undersökta vattendrag i Sverige (SMHI 6). En interaktiv karttjänst har utvecklats för att analysera säsongsvisa mönster (Rottler, 2021).

Lindström (2022) fastställer att vinteravrinningen i de sydliga områdena (t.ex. Enningsdalsälven, Viskan och Alsterån) i medel har varit högre under perioden 1991-2020 jämfört med perioden 1911-1990.

3 Modellerade förändringar i framtida klimat

I detta avsnitt beskrivs modellerad förändring fram till slutet av seklet, jämfört med referensperioden 1971-2000. Resultat redovisas normalt för två klimatscenarier; RCP4.5 respektive RCP8.5 som representerar scenarier med koldioxidutsläpp som kulminerar omkring 2040 respektive scenarier med fortsatt höga utsläpp av koldioxid.

För mer om klimatscenarier, referensperioder, dataunderlag m.m. hänvisas till Bilaga 1 Naturvetenskapliga underlag och koncept.

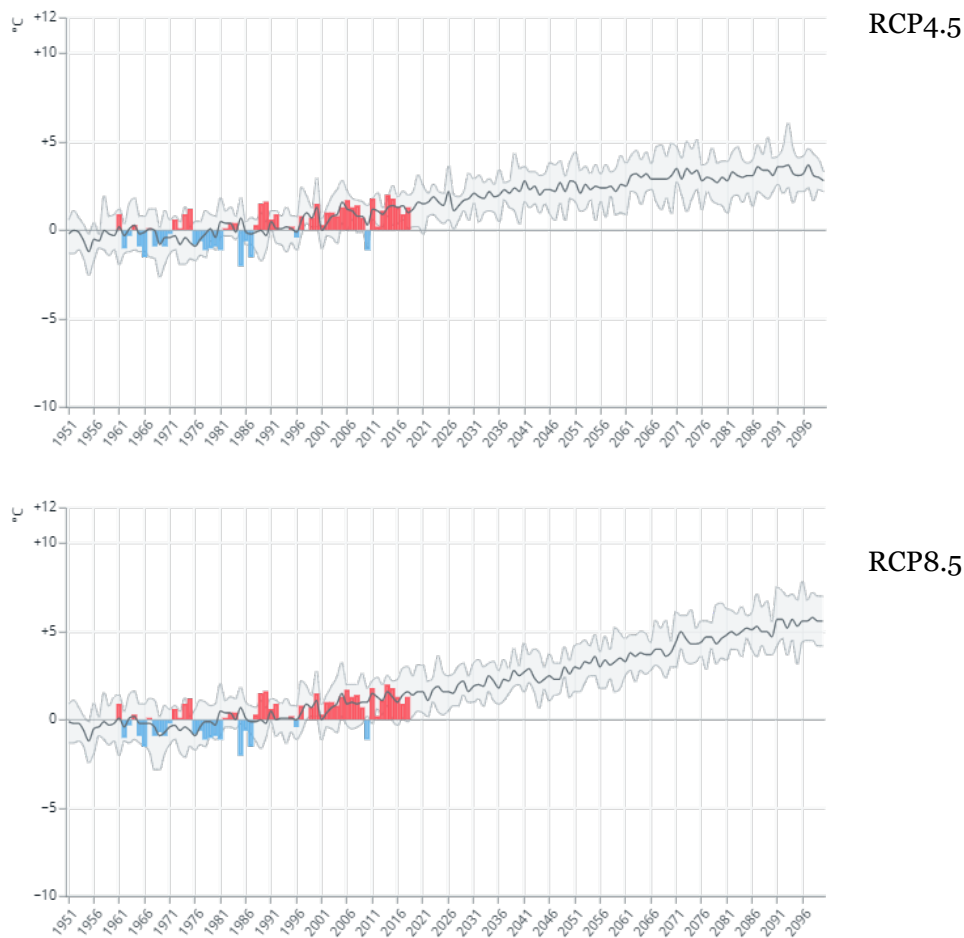
3.1 Temperatur

Detta avsnitt beskriver modellerad framtida förändring av medeltemperatur för året och respektive årstid, samt förändring av antal dagar med nollgenomgångar.

Årsmedeltemperatur

Under referensperioden 1971–2000 var medeltemperaturen för hela Sverige 2,3 °C. Medeltemperaturen beräknas stiga med 3,2 °C /5 °C för perioden 2071–2100 enligt scenario RCP4.5 /RCP8.5 jämfört med referensperioden (SMHI 7).

I **Figur 13** visas förändringen av årsmedeltemperaturen för varje år under perioden 1951-2100 från referensperioden 1971-2000 för RCP 4,5 och RCP8,5. Den gråa linjen representerar medelavvikelser av ensemblemedlemmar för varje år, medan staplarna visar avvikelser från observationer. Blå staplar betyder att medelårstemperaturen under respektive år blir kallare än medelårstemperaturen över perioden 1971-2000. Röda staplar betyder att medelårstemperaturen under respektive år är varmare än medelårstemperaturen över perioden 1971-2000.



Figur 13. Beräknad förändring av medeltemperatur (°C) i Sverige under åren 1951–2100 jämfört med den normala (medelvärde för 1971–2000) enligt klimatscenarier RCP4.5/RCP8.5. Grå fält visar variationsbredden mellan den 10:e och 90:e percentilen i respektive ensemble. Staplarna visar historiska data.

Årsmedeltemperaturen förväntas att öka över hela Sverige för perioden 2071–2100 jämfört med perioden 1971–2000 enligt både RCP4,5 och RCP8,5 (se **Figur 14** till vänster, respektive till höger). Förändringen av årsmedeltemperaturen simulerat med RCP8,5 är dock större jämfört med förändringen av RCP4,5.

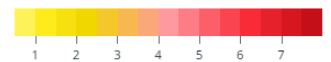
Årsmedel, RCP4,5 2071-2100



Årsmedel, RCP8,5 2071-2100



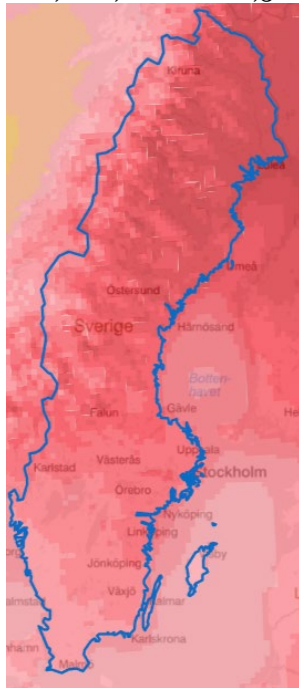
Förändring av temperatur (°C)



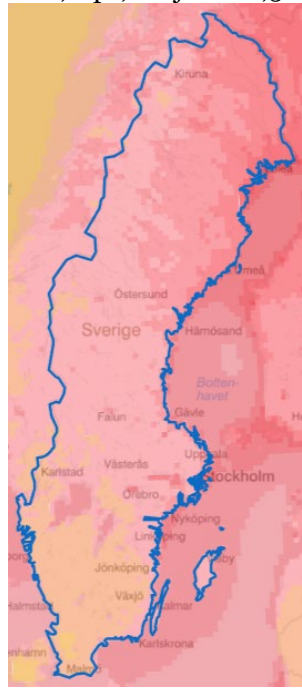
Figur 14. Till vänster: Förändringen av årsmedeltemperatur för perioden 2071-2100 jämfört med perioden 1971-2000 för RCP4,5. Till höger: Förändringen av årsmedeltemperatur för perioden 2071-2100 jämfört med perioden 1971-2000 för RCP8,5.

Medeltemperaturökningen är störst i de norra delarna under december-februari. Detta syns i **Figur 15** som presenterar förändringen av temperaturen enligt scenario RCP 8,5 för olika säsonger för perioden 2071–2100 jämfört med 1971–2000.

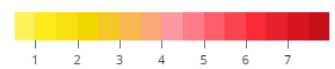
Dec, Jan, Feb RCP8,5 2071-2100



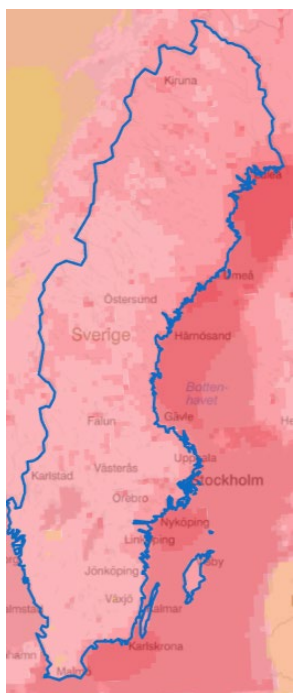
Mar, Apr, Maj RCP8,5 2071-2100



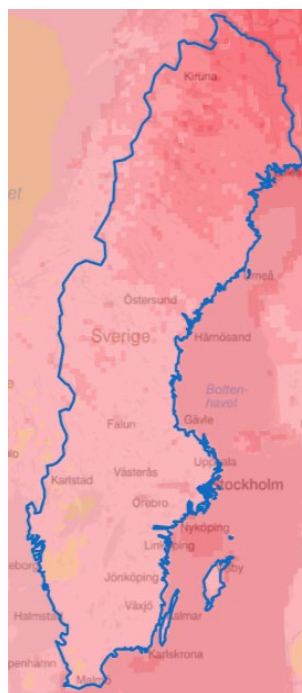
Förändring av temperatur (°C)



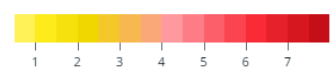
Jun, Jul, Aug RCP8,5 2071-2100



Sep, Okt, Nov RCP8,5 2071-2100



Förändring av temperatur (°C)



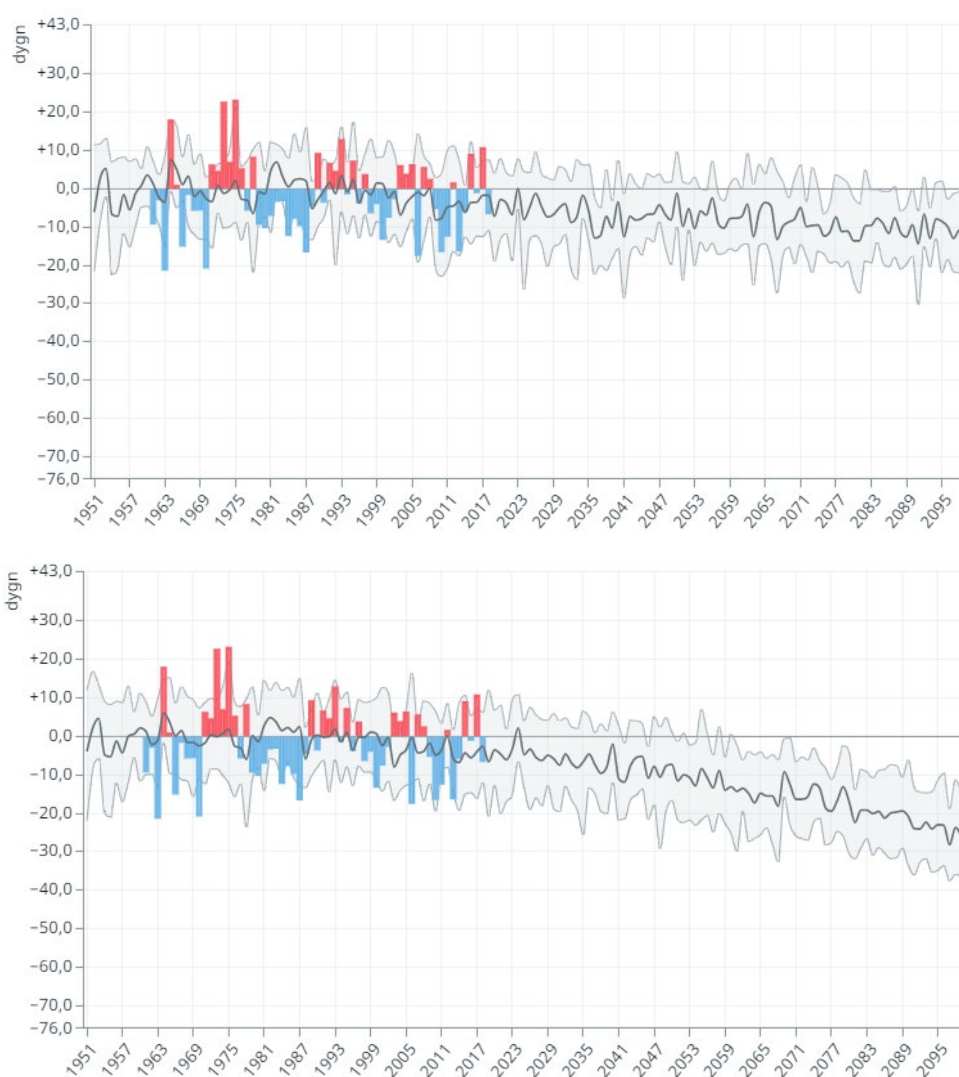
Figur 15. Beräknad förändring av medeltemperatur (°C) för vinter, vår, sommar och höst för perioden 2071–2100 jämfört med 1971–2000. Kartan baseras på ett medelvärde av ett antal klimatscenarier för scenario RCP8,5.

Resultaten för temperatur är robusta såtillvida att klimatscenarier är samstämmiga om förändringen i hela landet. Förändringen i temperaturen till slutet av seklet för RCP8,5 är robust för hela landet och alla årstider.

Nollgenomgångar

Växlingar från dygn med minusgrader till dygn med plusgrader väntas till slutet av seklet minska något i delar av Värmland och Dalarna och vara oförändrade längs Norrlandskusten (Länsstyrelsen, 2021). I de inre delarna av norra Sverige väntas dessa växlingar öka i förekomst då temperaturregimen vintertid blir mindre stabil.

I **Figur 16** visas förändringen av antal dagar i Sverige då dygnets högsta temperatur två meter över marken varit över 0 °C under samma dygn som dygnets lägsta temperatur varit under 0 °C för varje år under perioden 1951-2100 jämfört med referensperioden 1971-2000 för RCP 4,5 och RCP8,5. Den grå linjen representerar medelavvikelse av ensemblemedlemmar för varje år, medan staplarna visar avvikelser från observationer. Uppåtgående röda staplar visar att antal dagar med nollgenomgångar är flera än under referensperioden och nedåtgående blå staplar visar att antal dagar med nollgenomgångar är färre än medlet under referensperioden.

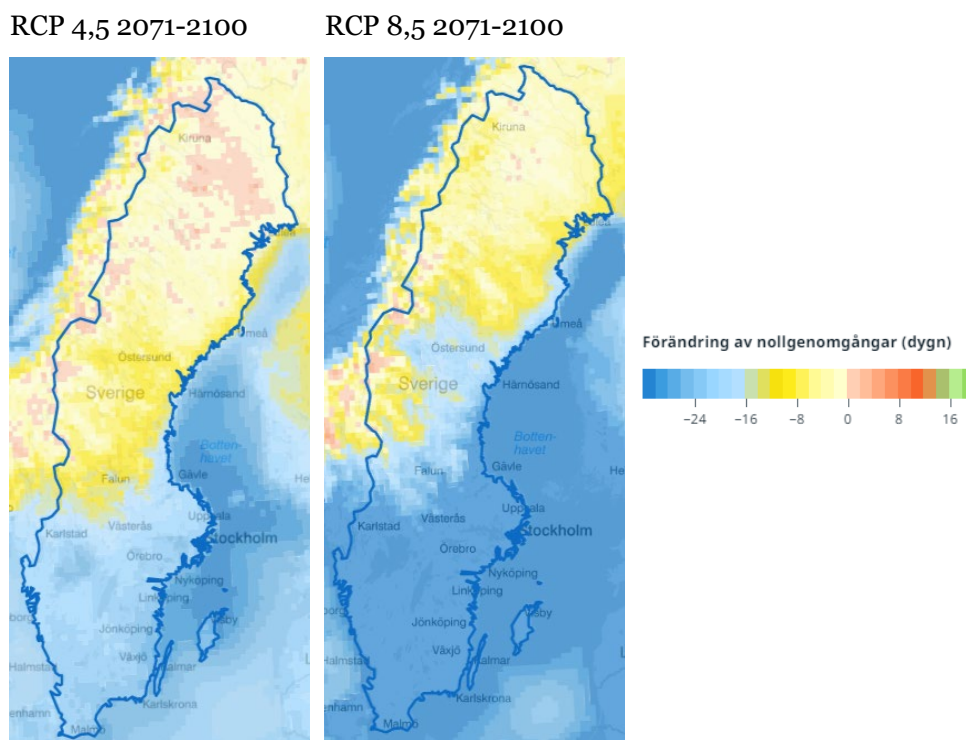


RCP4.5

RCP8.5

Figur 16. Beräknad förändring av antal dagar med nollgenomgång under åren 1951–2100 jämfört med den normala (medelvärdet för 1971–2000) enligt klimatscenarier RCP4.5/RCP8.5. Grå fält visar variationsbredden mellan den 10:e och 90:e percentilen i respektive ensemble. Staplarna visar historiska data.

Antalet dygn med nollgenomgångar minskar i stora delar av södra Norrland, Svealand och Götaland för RCP4,5 och RCP 8,5 och perioden 2071-2100 jämfört med perioden 1971-2000 (se **Figur 17**). Minskningen är störst för Svealand och Götaland. I norra Norrland är antalet dagar med nollgenomgång till största delen oförändrat eller delvis ökande. En ökning beräknas också för delar i fjällkedjan i södra Norrland. Områden med en ökning av dagar med nollgenomgång är större för RCP4,5 jämfört med RCP8,5. Även minskningen av dagar med nollgenomgång i södra Norrland är större för RCP4,5 jämfört med RCP8,5.



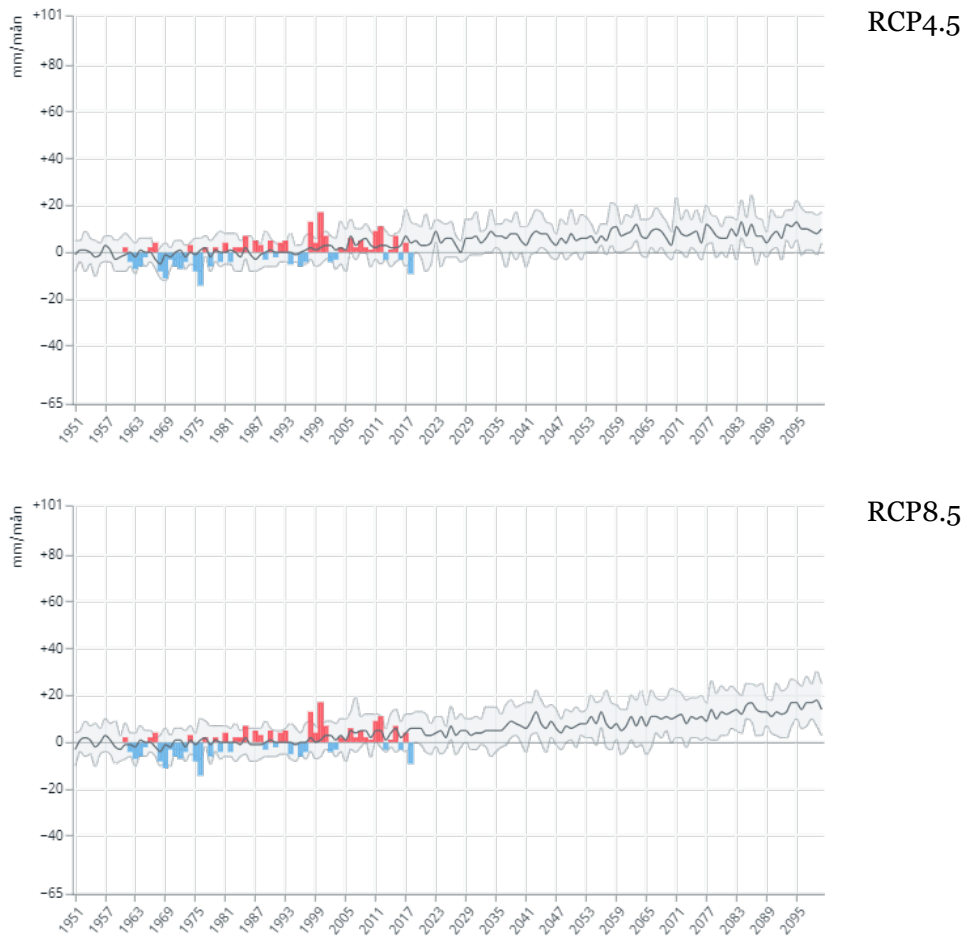
Figur 17. Förändring av antalet dagar med nollgenomgångar för perioden 2071–2100 jämfört med 1971–2000. Till vänster: Kartan baseras på ett medelvärde av ett antal klimatscenarier för scenario RCP4,5. Till höger: Kartan baseras på ett medelvärde av ett antal klimatscenarier för scenario RCP8,5

3.2 Nederbörd

I detta avsnitt beskrivs först modellerade förändringar av årsmedelnederbörd, därefter förändringar av extremnederbörd.

Årsmedelnederbörd

Förändringarna i nederbörd pekar på ökad nederbörd och följer ökad grad av klimatpåverkan. Under referensperioden 1971–2000 var medelnederbörden för Sverige 58 mm/månad. Scenarierna RCP4,5/ RCP8,5 ger ökning om ca 9/13 mm per månad för perioden 2071–2100 jämfört med referensperioden (SMHI 8). I **Figur 18** visas den relativa förändringen av månadsnederbörden per år för perioden 1951-2100 jämfört med perioden 1971-2000 för RCP4,5 och RCP8,5. Den gråa linjen representera medelavvikelser av ensemblemedlemmar för varje år, medan staplarna visar avvikelser från observationer. Uppåtgående röda staplar visar nederbördssummor större än under referensperioden och nedåtgående blå staplar visar nederbördssummor mindre än under referensperioden 1971-2000.

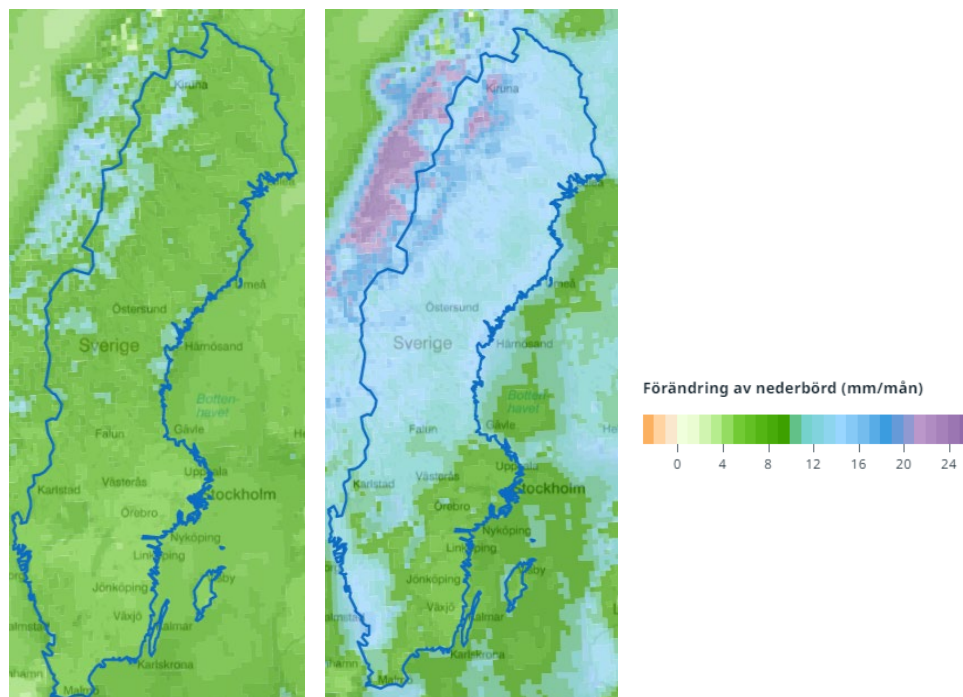


Figur 18. Beräknad förändring av nederbörd (mm/mån) i Sverige under åren 1951–2100 jämfört med den normala (medelvärdet för 1971–2000) enligt klimatscenarier RCP4.5/RCP8.5. Grå fält visar variationsbredden mellan den 10:e och 90:e percentilen i respektive ensemble. Staplarna visar historiska data.

Ökningen av månadsnederbörden för RCP 4,5 och RCP8,5 och perioden 2071-2100 jämfört med perioden 1971-2000 är störst i norra delen av landet och där främst i fjällkedjan. Ökningen är större för RCP8,5 jämfört med RCP4,5.

RCP4,5 2071-2100

RCP8,5 2071-2100



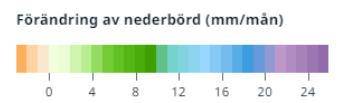
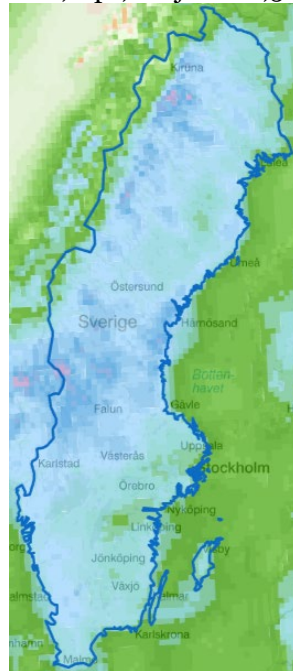
Figur 19. Förändringen av nederbörd i mm/månad för perioden 2071-2100 jämfört med perioden 1971-2000. Till vänster: Kartan baseras på ett medelvärde av ett antal klimatscenarier för scenario RCP4,5. Till höger: Kartan baseras på ett medelvärde av ett antal klimatscenarier för scenario RCP8,5

Förändringen av nederbörden för olika säsonger för perioden 2071-2100 jämfört med perioden 1971-2000 för RCP8,5 syns i **Figur 20**. Ökningen framträder speciellt vintertid där i delar av fjällkedjan, längs norrlandskusten samt längs västkusten (Kjellström et al., 2022), se **Figur 20**. Sommartid och under hösten är ökningen mindre. Under vinter och vår tid är förändringssignalen robust. Robustheten minskar betydligt i södra Sverige under sommaren och hösten.

Dec, Jan, Feb RCP8,5 2071-2100



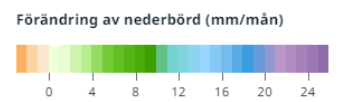
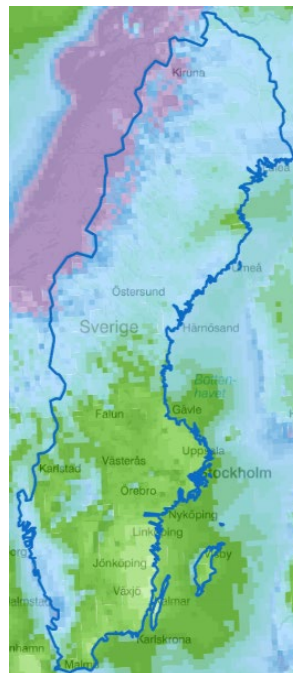
Mar, Apr, Maj RCP8,5 2071-2100



Jun, Jul, Aug RCP8,5 2071-2100



Sep, Okt, Nov RCP8,5 2071-2100



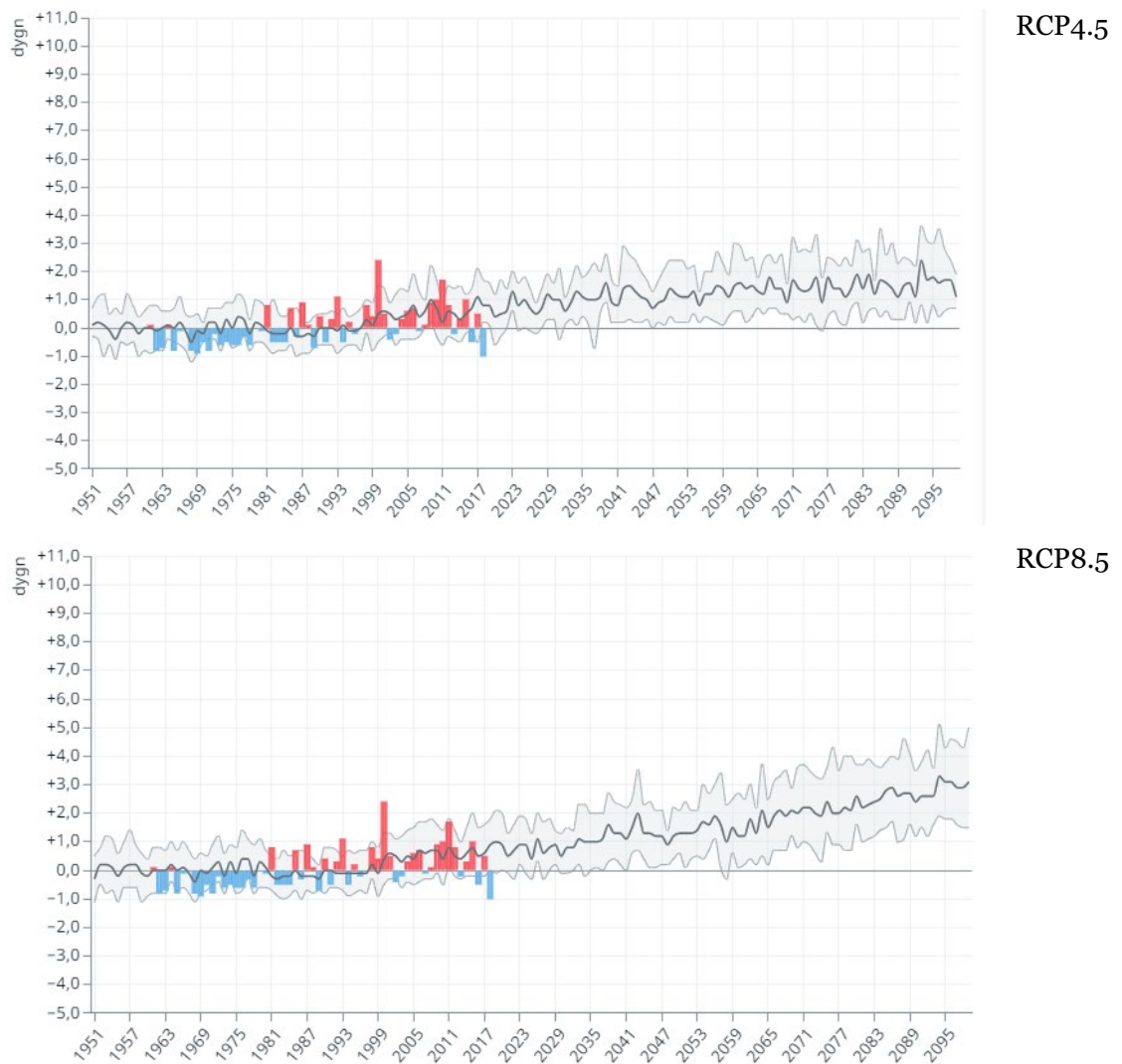
Figur 20. Förändringen av nederbörd i mm/månad för vinter, vår, sommar och höst för RCP8,5 och perioden 2071-2100 jämfört med perioden 1971-2000.

Extrem nederbörd > 20 mm/dygn

Intensiv och extrem nederbörd förväntas öka i ett varmare klimat för Nordeuropa och Sverige. Hur en intensiv och extrem nederbördshändelse definieras är olika mellan olika studier/klimatdatascenariotjänster. Nikulin et al. (2011) samt Olsson et al. (2017) har beräknat en ökning av nederbörd för flera undersökta återkomsttider. Nikulin et al. (2011) definierar extrem nederbörd som nederbördssummor med en återkomsttid av 20 år. Olsson et al. (2017) undersökte nederbörd med återkomsttider mellan 5 och 50 år varaktighet mellan 1 och 12 timmar. På klimatscenariotjänsten (SMHI, 2021) definieras extrem nederbörd som en situation med dygnsnederbördssumma större än 20 mm.

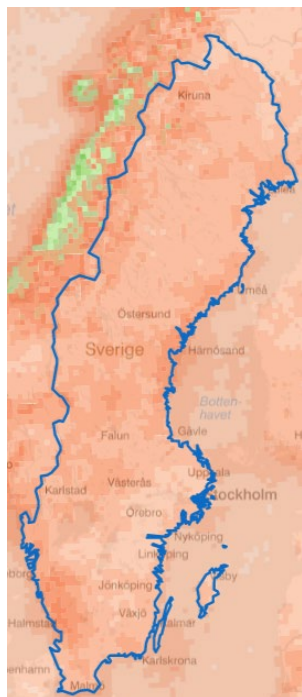
Antal dagar med en nederbördssumma större än 20 mm förväntas öka med något eller några dagar under innevarande sekel. I **Figur 21** visas förändringen av antal dagar i Sverige med nederbördssumman > 20 mm för varje år under perioden 1951-2100 från referensperioden 1971-2000 för RCP 4,5 och RCP8,5. Den gråa linjen representerar medelavvikelser av ensemblemedlemmar för varje år, medan staplarna visar avvikelser från observationer. Uppåtgående röda staplar visar dygn med extrem nederbörd fler än referensperioden och nedåtgående blå staplar dygn med extrem nederbörd färre än referensperioden.

I **Figur 22** visas förändringen över landet för perioden 2071-2100 jämfört med 1971-2000. Större förändring simuleras för RCP8,5 än RCP4,5 och ökningen av antalet dagar är störst för delar av fjällkedjan, längs delar av norrlandskusten samt längs västkusten. Förändringssignalen är robust.

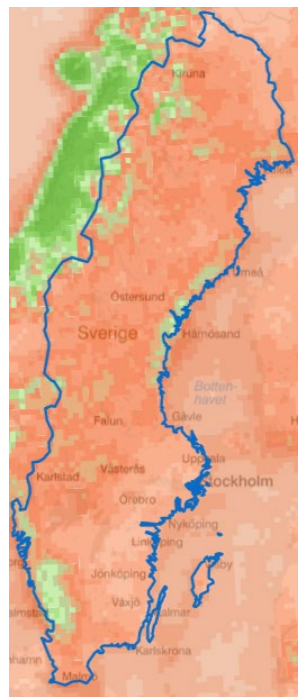


Figur 21. Beräknad förändring av antal dagar med nederbördssummor > 20 mm under åren 1951–2100 jämfört med den normala (medelvärdet för 1971–2000) enligt klimatscenarier RCP4.5/RCP8.5. Grå fält visar variationsbredden mellan den 10:e och 90:e percentilen i respektive ensemble. Staplarna visar historiska data.

RCP4,5 2071-2100



RCP8,5 2071-2100



Förändring av dygn med extrem nederb. (dygn)



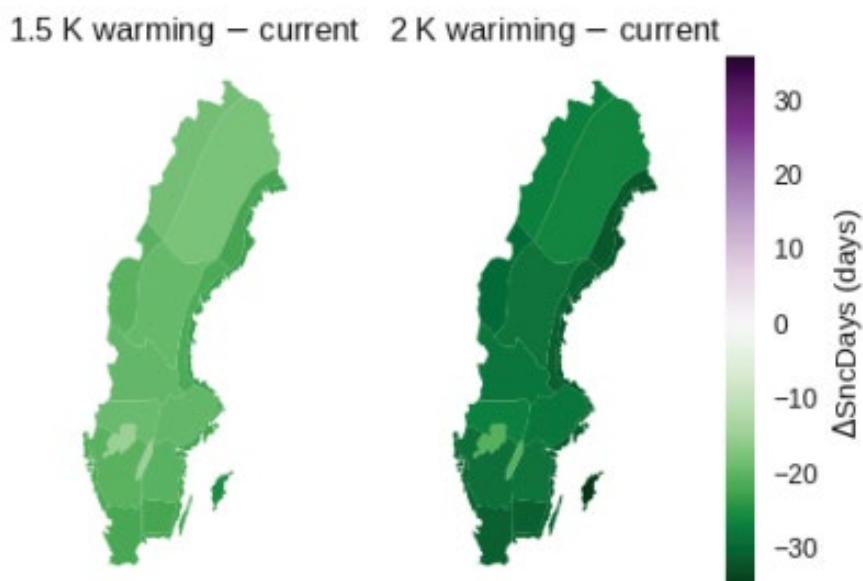
Figur 22. Förändringen av antalet dagar med nederbördssummor > 20 mm för perioden 2071-2100 jämfört med perioden 1971-2000. Till vänster: Kartan baseras på ett medelvärde av ett antal klimatscenarier för scenario RCP4,5. Till höger: Kartan baseras på ett medelvärde av ett antal klimatscenarier för scenario RCP8,5.

3.3 Snöförhållanden

I detta avsnitt beskrivs snöförhållanden i termer av förändringar i maximalt snödjup för året och period med snötäcke, samt snöns vattenekvivalent. Vidare beskrivs förändringar i maximal snölast för perioder med längre återkomsttid.

Period med snötäcke och maximalt snödjup under året

Trots mer nederbörd på vintern beräknas tillfällena med snö på marken minska i nästan hela landet. Minskningen är i princip större med starkare klimatförändring och med längre tidsperspektiv. Jämfört med referensperioden 1971–2000 visar regionala klimatscenarier som regel ungefär en månad kortare snösäsong för stora delar av Sverige vid en global uppvärmning om +2 °C (Kjellström et al., 2021), se **Figur 23**. Förändringarna i snö beror på en kombination av flera faktorer som diskuteras i detalj i Räsänen (2021).



Figur 23. Förändringen i antal dagar med snötäcke. Till vänster: Förändringen mellan en 1,5 °C uppvärmning jämfört med referensperioden relaterat till 1971-2000. Till höger: Förändringen mellan en 2,0 °C uppvärmning jämfört med referensperioden relaterat till 1971-2000.

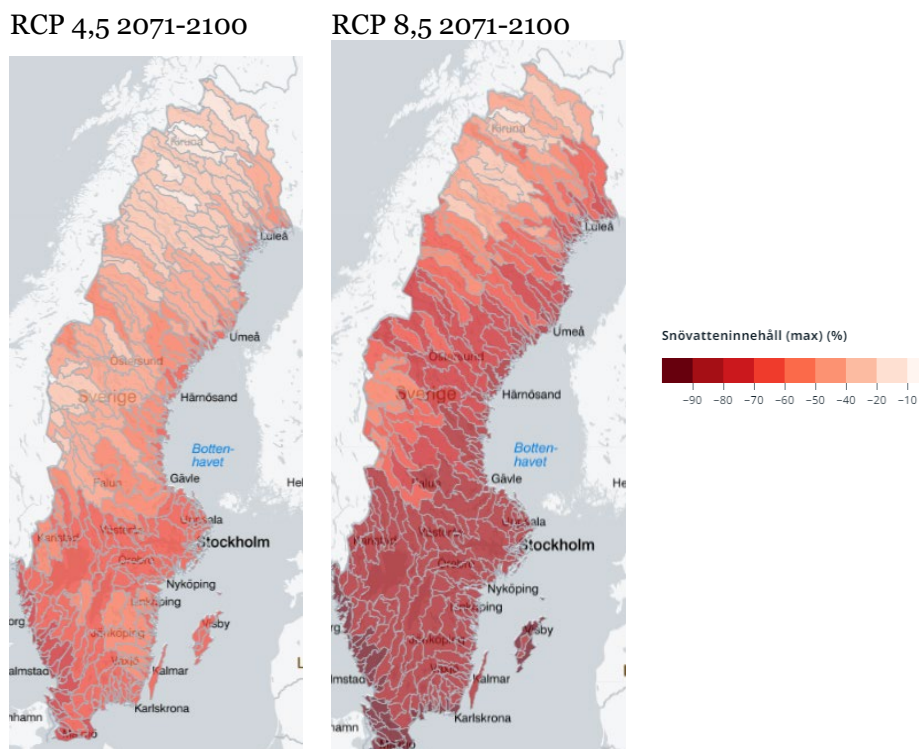
Analys av snö i Värmland, Dalarna, Gävleborg, Jämtland, Västernorrland, Västerbotten och Norrbotten med hjälp av klimatscenarier visar på mycket kraftiga minskningar av såväl snödjup som antal dagar med olika snömängd (Länsstyrelsen, 2021). Den absoluta minskningen i snödjup är som mest över 100 cm för RCP8,5 för senvintern och i västligaste fjällen för perioden 2069-2098 jämfört med perioden 1963-1992. Stora minskningar i snödjup förekommer dock även i inre delarna av Jämtlands och Västerbottens län samt i norra Värmlands och Dalarnas län. Relativa minskningar i snödjup för ovan angivna perioder är störst (som mest 85 %) i de södra områdena samt längs Norrlandskusten (Länsstyrelsen, 2021).

Snöns vatteninnehåll

Antalet dagar per år med snötäcke med vatteninnehåll över 40 mm respektive 60 mm förväntas att minska med som mest över 60 dagar i de sydliga fjällen, i inlandet samt längs Norrlandskusten för perioden 2069-2098 jämfört med perioden 1963-1992 för RCP8,5. Även för RCP4,5 minskar antalet dagar per år med snötäcke med vatteninnehåll över 40 mm respektive 60 mm men inte så mycket som för RCP8,5. (Länsstyrelsen, 2021).

Det maximala vatteninnehållet av snön (som beräknas som medel av alla årshögsta vatteninnehåll av snön över en viss period) beräknas generellt minska i framtida klimat över hela landet (för RCP4,5 och RCP8,5 och perioden

2071-2100 jämfört med 1971-2000), se **Figur 24**. Minskningen är större för RCP8,5 jämfört med RCP4,5. De regionala förändringarna är dock lika: Den relativa minskningen är störst på västkusten (mellan 90 % och 100 % för RCP8,5) och minskningen är generellt sett större i Svealand och Götaland än i Norrland. För fjällområden, kan minskningen vara relativt liten, eller till och med indikera lokalt en ökning av snöns maximala vattenekvivalentet jämfört med i referensklimatet. Minskningen är robust över hela landet (SMHI 9).



Figur 24. Förändringen av det maximala vatteninnehållet av snö för perioden 2071-2100 jämfört med perioden 1971-2000. Till vänster: Kartan baseras på ett medelvärde av ett antal klimatscenarier för scenario RCP4,5. Till höger: Kartan baseras på ett medelvärde av ett antal klimatscenarier för scenario RCP8,5.

Inom Lindström et al. (in preparation) dras slutsatsen att framtida snölaster förväntas att minska, men storleken av minskningen är beroende på utsläppsscenario och region. Vidare dras slutsatsen att minskningen i maximalt vatteninnehåll är sannolikt större än minskningen i 50-årssnölasten.

Motsvarande kartläggning vad gäller framtida förändring i 30-års snö, dvs. det snömagasin som nyttjas för bestämning av dimensionerande flöden för dammar, saknas. Svenska kraftnät har gett SMHI i uppdrag att göra en sådan kartläggning.

Regn-på-snö händelser och avrinningsbildning

Analys av regn-på-snö händelser för framtida klimat har inte utförts för Sverige.

3.4 Vattenföring och lokal tillrinning

Detta avsnitt beskriver modellerade förändringar avseende årsmedelvattenföring och lokal medeltillrinning för olika månader. Vidare beskrivs förändringar i modellerad vattenföring med grovt generaliserad s.k. principiell vattenföring med 50 års återkomsttid tillsammans med en analys av samband mellan den antaga vattenregleringen och vattendragens regleringsdrag. Avslutningsvis beskrivs förändringar i lokal tillrinning med 100 års återkomsttid, och skillnader i resultat för modelleringar gjorda vid olika tillfällen och med olika modeller diskuteras.

Flera genomförda hydrologiska effektstudier för extrema flöden har genomförts genom frekvensanalys baserat på data för oreglerade förhållanden (Andréasson, 2011; Sjökvist, 2015). På SMHI:s nya klimatscenariotjänst, som tillhandahåller de bästa klimatdata för Sverige som finns i nuläget, har dock simuleringarna genomförts med regleringar inlagda i modellen. Regleringar påverkar inte alla hydrologiska klimatindikatorer som presenteras på klimatscenariotjänsten, men vattenföring är en indikator som påverkas när en reglering är inlagd i modellen.

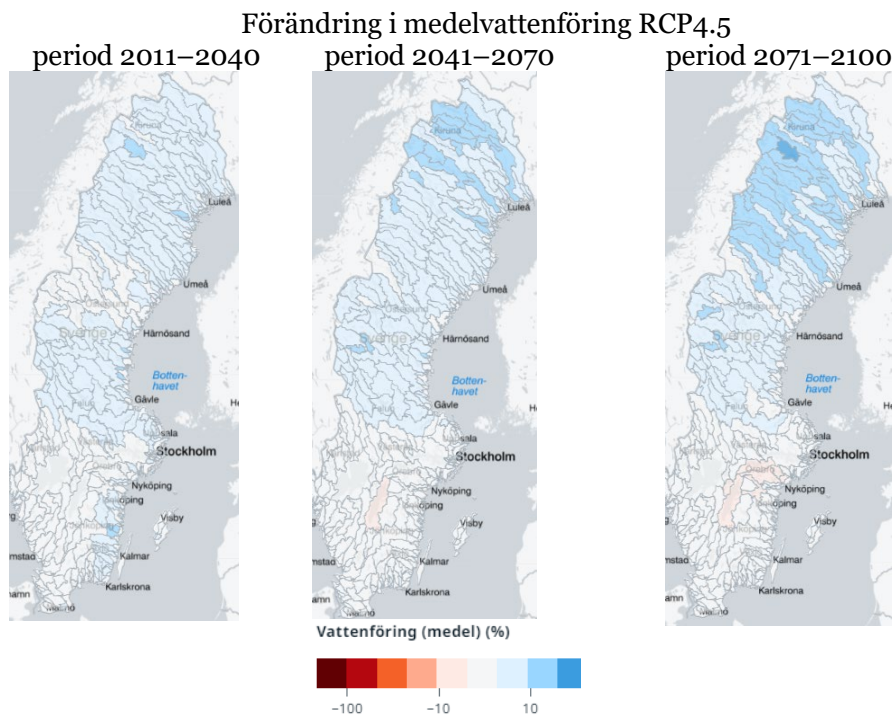
Årsmedelvattenföring

Stora vattendrag i Norrland är till största del hårt reglerade vilket påverkar vattenföringen om man tittar på kortare tidsperioder, t.ex. år till år, säsonger och månader samt på extrema flöden. Därför presenteras i detta stycke bara förändringen av årsmedelvattenföringen, för att säkerställa att förändringen orsakas av klimatförändringen och inte regleringen.

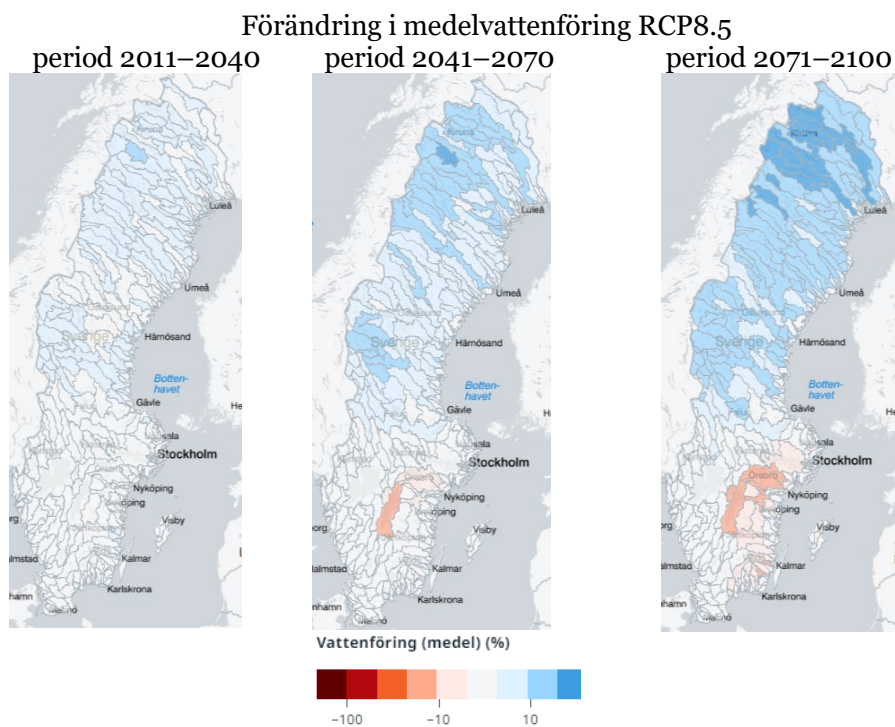
Hydrologiska modellsimuleringar för klimatscenarier visar på ökad medelvattenföring i norra delen av landet och att förändringen ökar med starkare klimatförändring (som blir tydligt genom de två scenarierna RCP4,5 och RCP8,5 men även genom att klimatförändringen skrider fram genom tiden) (se **Figur 25** och **Figur 26**).

Medelvattenföring bedöms generellt öka för avrinningsområden i norra Sverige för klimatscenarier RCP4.5 (**Figur 25**) som RCP 8.5 (**Figur 26**) i såväl kort som långt tidsperspektiv. Förändringen bedöms robust mot bakgrund av den stora sammanstämmigheten i ensemblen samt mot bakgrund av att den procentuella förändringen är större än standardavvikelsen för medlemmar (**Figur 27**).

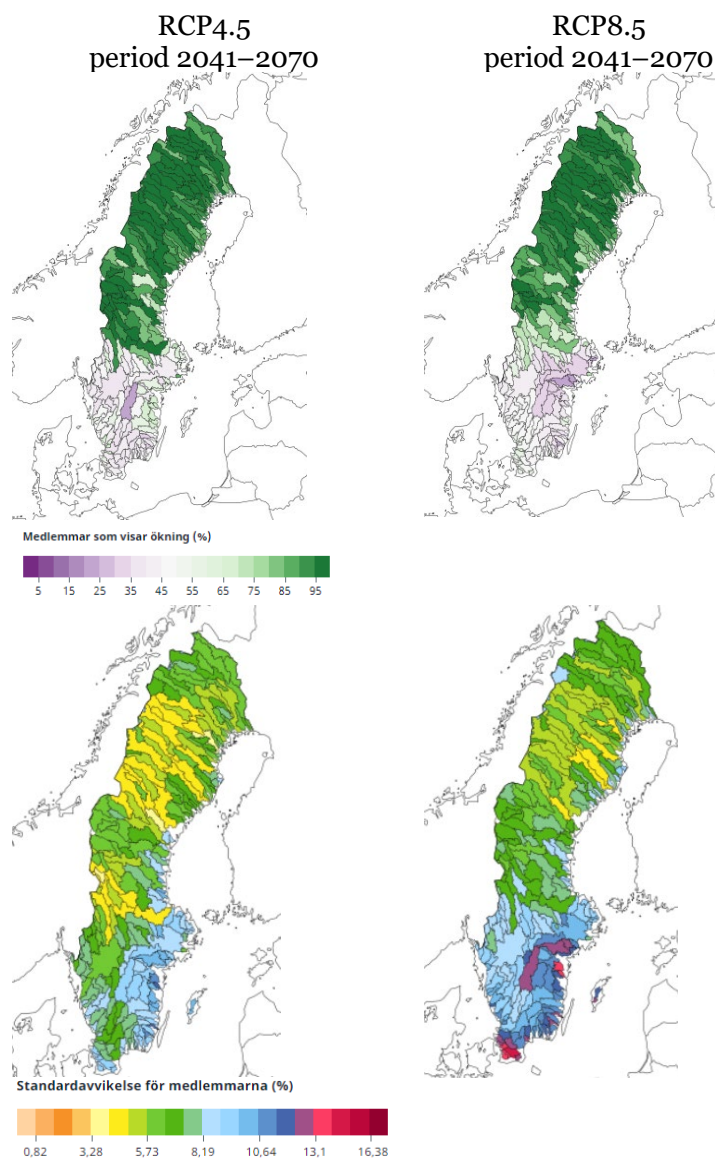
För södra Sverige indikeras oförändrade förhållanden eller minskande medelvattenföring i ett framtida klimat samtidigt som standardavvikelsen för ensemblemedlemmar ökar. Om standardavvikelsen är större än den absoluta förändringssignalen tyder det på att förändringssignalen inte är robust. Det kan konstateras att signalen av oförändrade eller minskande flöden i södra Sverige är mindre robust än signalen av ökande flöden i norra Sverige för RCP4,5 och RCP8,5 samt perioden 2041-2070 jämfört med perioden 1971-2000 (se **Figur 27**).



Figur 25. Beräknad förändring av medelvattenföring jämfört med år 1971 – 2000. Kartorna visar medelvärde för ensemble med hydrologiska beräkningar för framtidsscenario RCP4.5.



Figur 26. Beräknad förändring av medelvattenföring jämfört med år 1971 – 2000. Kartorna visar medelvärde för ensemble med hydrologiska beräkningar för framtidsscenario RCP8.5.



Figur 27. Andelen av medlemmarna i ensemble som visar på en ökning för det framtida klimatet (översta raden) samt standardavvikelse av förändringen över ensemblemedlemmar (nedersta raden).

Lokal medeltillrinning för olika månader

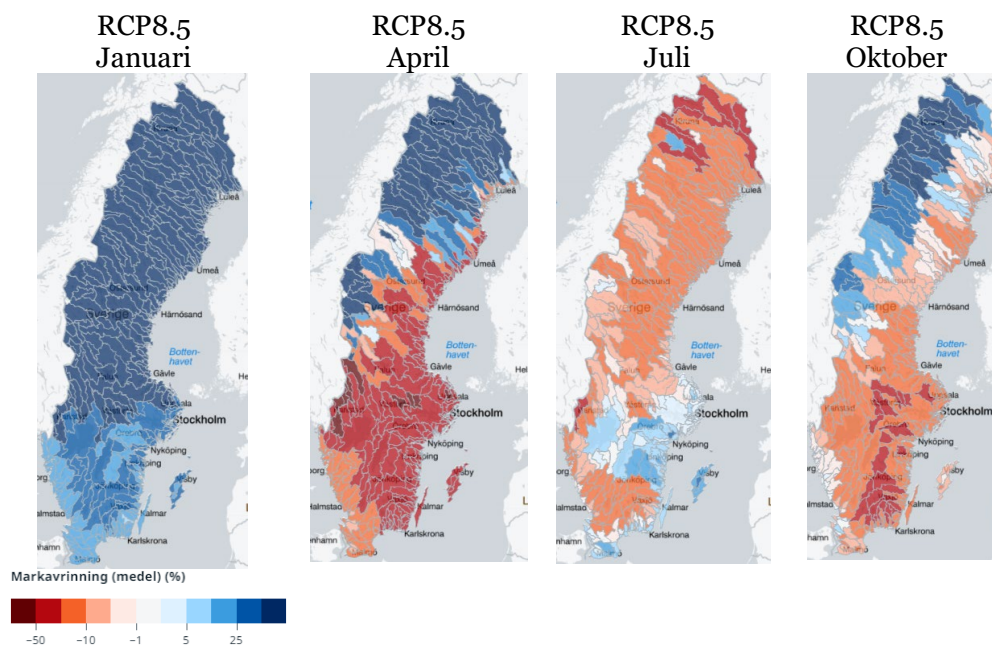
En indikator för hur oreglerad vattenföring under olika månader förändras i framtida klimat är den lokala tillrinningen. En analys av olika månader kan indikera om den oreglerade vattenföringen minskar eller ökar, dock kan inga procentuella förändringar för större avrinningsområden uppströms ges.

Indikatorer för, och motsvarande analys av, säsongvis förändring av ackumulerad lokal tillrinning för större avrinningsområden liksom för säsongsvisa förändringar och förändringar av tillrinning med olika höga återkomsttider saknas.

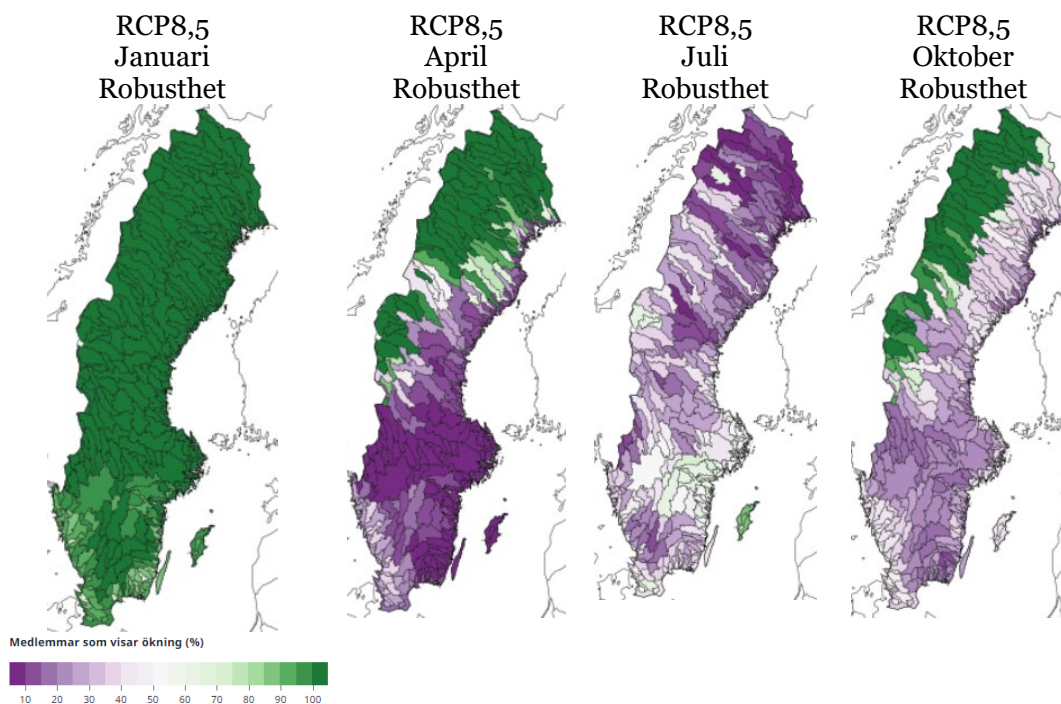
På klimatscenariotjänsten (SMHI, 2021) presenteras hur den lokala avrinningen/tillrinningen (s.k. ”markavrinning”) förväntas förändras per månad. Förändringen av den lokala tillrinningen visar förändringen av vattnet som genereras i delavrinningsområdet. Förändringen av de lokala tillrinningarna under månaderna januari, april, juli och oktober för RCP8,5 och perioden 2071-2100 jämfört med perioden 1971-2000 presenteras i **Figur 28**. Relaterade robusthet av förändringssignalen syns i **Figur 29**.

Skillnaderna kan vara stora från månad till månad, inga säsongsvisa medel presenteras på klimatscenariotjänsten.

- > En ökning av den lokala tillrinningen för januari månad sker för hela landet. Förändringssignalen är i stort sett robust.
- > Under april månad ökar de lokala tillrinningar i norra Norrland förutom längs kusten. I södra delen av Norrland däremot är de i stort sett minskande förutom för fjällområdet. En minskning av den lokala tillrinningen beräknas även för hela Svealand och Götaland. Förändringssignalen är över huvud taget robust för största delen av landet (se **Figur 29**).
- > Under juli månad minskar den lokala tillrinningen i nästan hela landet. Undantag är delar av östra och södra Svealand, norra Götaland och delar av Skånes kust, där flödena är oförändrade eller ökande. Den simulerade ökningen av lokal tillrinning är mindre robust. Minskningen i norra Norrland samt Norrlands kustområde är mer robust än minskningen i resterande delar av Norrland.
- > Under oktober månad simuleras en ökning av lokal tillrinning i fjällområdena i Norrland. En minskning eller oförändrad lokal tillrinning simuleras längs Norrlands kustområde. I största delar av Svealand och Götaland simuleras en minskning av de lokala flödena. Ökningen i Norrland är robust medan minskningen i Svealand och Götaland är mindre robust. Minst robust är ändringar i längs Norrlands kustområde samt förändringar i västra Götaland (se **Figur 29**).



Figur 28. Beräknad förändring i % av markavrinning (medel) för perioden 2071–2100 jämfört med 1971 – 2000 för januari, april, juli och oktober. Kartan baseras på ett medelvärde av en ensemble av ett antal klimatscenarier för scenario RCP8,5.



Figur 29. Andelen av medlemmarna som visar på en ökning för det framtida klimatet (period 2071-2100) för januari, april, juli och oktober. Om andelen är under 50% visar merparten av modellerna på en minskning.

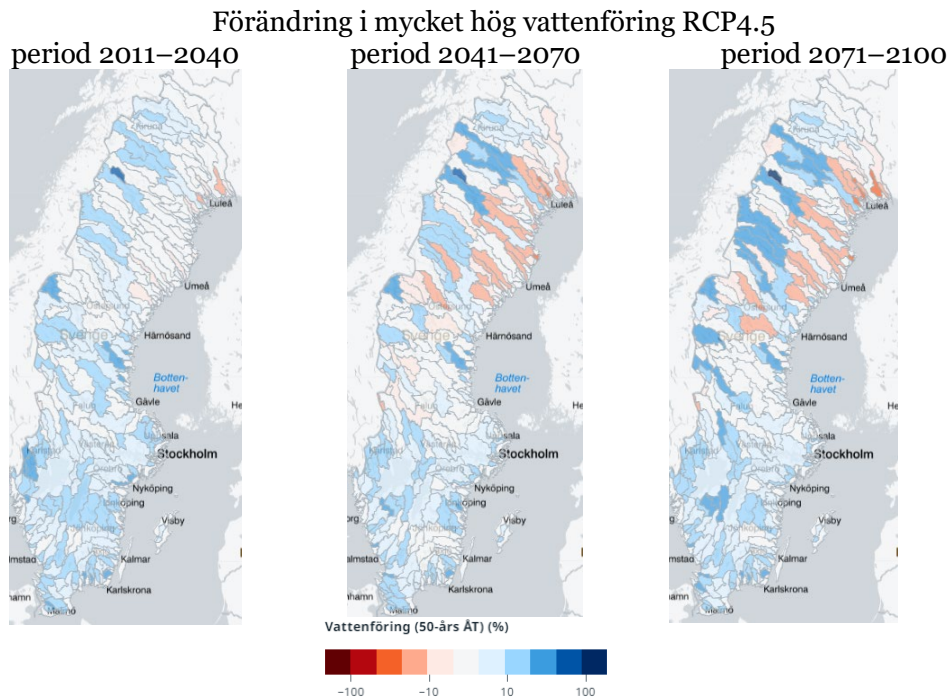
Vattenföring med sannolikhet 1/50 med "principiell vattenreglering"

Regleringen som antagits i S-HYPE, som nyttjats för modelleringen, är mycket generell och avser bara reglering av de största ca. 700 sjöarna/magasinen.

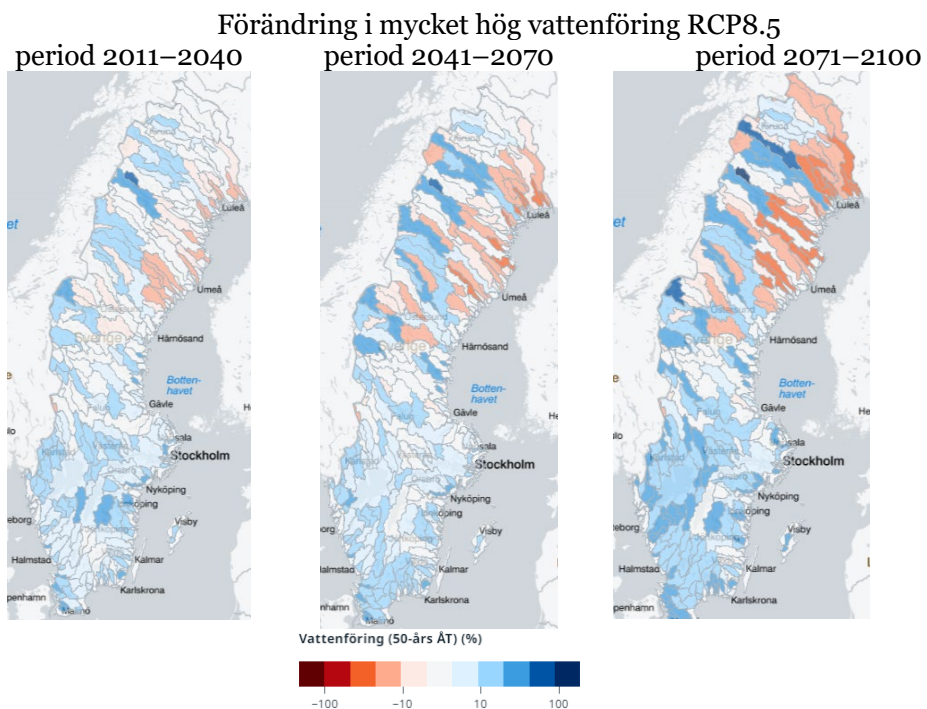
Regleringen beskrivs som en omfördelning av vatten från våren/sommaren till hösten/vintern under antaganden av två olika produktionsflöden. Vid höga vattenstånd ökas tappningen och simuleras som spill och vid låga vattenstånd minskar produktionstappningen. Denna kraftiga förenkling av regleringen betecknas i det följande som "principiell reglering". I modelleringarna utgick man ifrån antagandet att regleringsrutinen inte förändras i framtiden, effekter av detta antagande diskuteras i slutet av avsnittet.

Förändring i vattenföring med årlig sannolikhet 1/50 redovisas för RCP4.5 (**Figur 30**) som RCP 8.5 (**Figur 31**) i såväl kort som långt tidsperspektiv. Till skillnad från förändringen i årsmedelvattenföringen påverkar den antagna "principiella" vattenregleringen förändringen av de höga flödena tydligt.

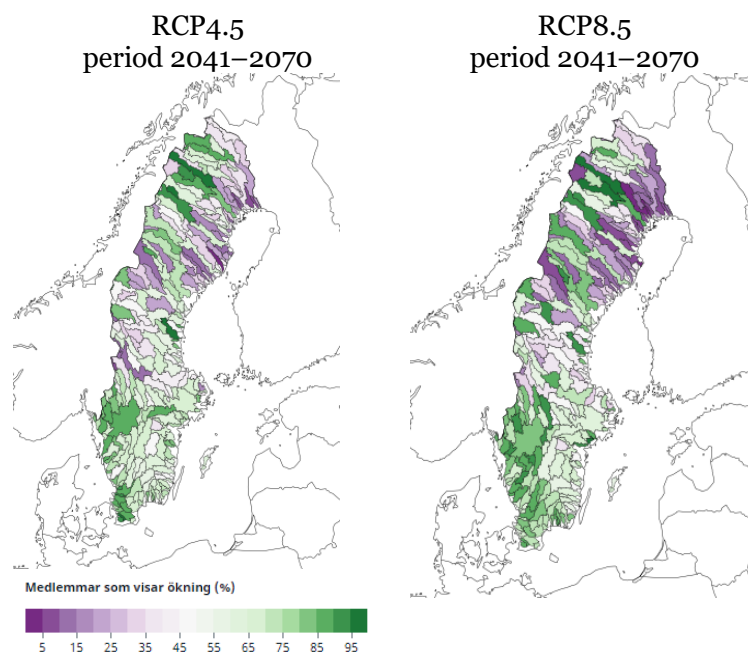
- > Modellsimuleringar som inkluderar principiell vattenreglering av klimatscenarier visar ökade och minskande flöden med sannolikhet 1/50 i delar av mellersta och norra Norrland samt att dessa förändringar ökar med starkare klimatförändring (som blir tydligt genom de två scenarierna RCP4,5 och RCP8,5 men även genom att klimatförändringen skrider fram genom tiden).
- > För RCP4,5 samt södra Norrland, Svealand och Götaland är ökningen av förändringen i flöden med sannolikhet 1/50 med ökande klimatförändring inte lika tydligt. Detta gäller även för RCP8,5 samt förändringen inom perioden 2011-2040 och 2041-2071 jämfört med perioden 1971-2000. För perioden i slutet av seklet är förändringssignalen dock tydligt i jämförelse med tidigare perioder för RCP8,5.
- > Förändringar i flöden med en sannolikhet 1/50 innefattar båda, ökning och minskningar i norra Norrland. Stora minskningar förekommer främst i områden som mynnar i havet, medan stora ökning förekommer främst i områden i fjällen som kan mynnar i områden som visar stora minskningar. Dessutom ligger områden som uppvisar en stor förändring bredvid områden med ingen eller bara en liten förändring. Indikerat sammanhang mellan regleringsgrad och storleken av förändringssignalen (se **Figur 33**) tyder på att de större förändringarna inte uteslutande är konsekvensen av klimatförändring.



Figur 30. Beräknad förändring av reglerad vattenföring med årlig sannolikhet 1/50 jämfört med 1971 – 2000. Kartorna visar medelvärde för ensemble med hydrologiska beräkningar för framtidsscenario RCP4.5.



Figur 31. Beräknad förändring av reglerad vattenföring med årlig sannolikhet 1/50 jämfört med 1971 – 2000. Kartorna visar medelvärde för ensemble med hydrologiska beräkningar för framtidsscenario RCP8.5.



Figur 32. Andelen av medlemmarna i ensemble som visar på en ökning för det framtida klimatet för förändringen av vattenföringen med en sannolikhet 1/50 för perioden 2041-2070 jämfört med perioden 1971-2000.

Kommentarer om effekter av antaganden om principiell vattenreglering:

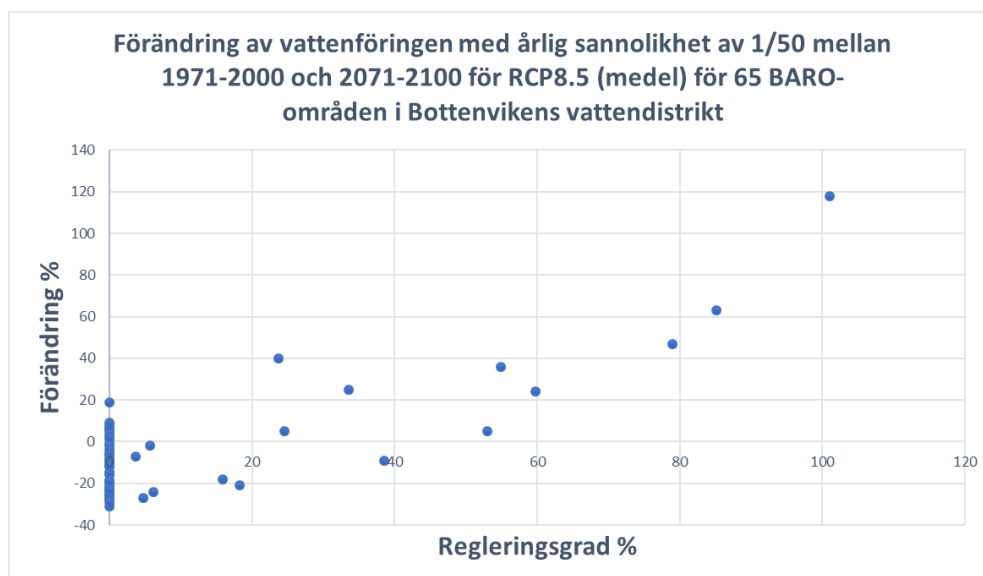
Den i modellen tillämpade regleringen förefaller samvariera med och förstärka klimatförändringens effekt. Detta framkommer vid en jämförelse mellan förändringen i de kraftigt reglerade kraftverksälvarna och förändringen för oreglerade älvar i Norrland som Torneälven, Kalixälven, Piteälven och Vindelälven.

- > Ingen tydlig förändring syns för RCP4,5 mellan de tre i **Figur 30** presenterade tidsperioderna för de ovan nämnda oreglerade älvarna.
- > En minskning syns dock för Nedre Kalixälven, Nedre Torneälven samt Nedre Vindelälven för RCP 8,5 mellan de tre i **Figur 31** presenterade tidsperioderna.
- > För övre delen av samtliga dessa oreglerade älvar samt för nedre delen av Piteälven för RCP8,5, finns dock ingen tydlig förändring, osäkerheten är stor.
- > För de reglerade Norrlandsälvarna syns en tydlig minskning för flöden med en återkomsttid av 50 år för kustområden samt en ökning för fjällområden om man jämför perioden 2041-2070 med perioden 2071-2100. Skillnader mellan perioden 2041-2070 och perioden 2071-2100 är mindre tydligt för RCP4,5.

- > För RCP8,5 är det tydligt att ökningen i fjällområden och minskningen i kustområden blir större för senare tidsperioder jämfört med tidigare tidsperioder.

Angående robustheten av förändringssignalen, dvs. samstämmigheten av ensemblemedlemmar som visar på en ökning eller minskning, kan följande konstateras:

- > Robustheten i beräknade förändringar i högflöden verkar i Norrland vara kopplat till storleken av förändringssignalen, som dock beror även på regleringsgraden, se **Figur 32** och **Figur 33**.
- > Ändringssignalen för områden som visar en större ökning eller minskning av flöden med en sannolikhet av 1/50 verkar vara mer robust än områden med mindre förändring (se **Figur 32**).
- > För Götaland och Svealand är förändringen mer robust i västra delarna, än i östra delarna för RCP4,5 och 8,5 och perioden 2041-2070 jämfört med perioden 1971-2000 (se **Figur 32**).



Figur 33. Förändringen av flöden med sannolikhet 1/50 som en funktion av vattendragets regleringsgrad för 65 biflödesavrinningsområden inom Bottenvikens vattendistrikt.

I **Figur 33** presenteras att den modellerade förändringen av flöden med en sannolikhet av 1/50 för 65 biflödesavrinningsområden (BARO-områden) i Bottenvikens vattendistrikt verkar vara påverkad av vattendragets regleringsgrad.

- > Ju högre regleringsgraden är, desto större verkar förändringen av vattenföringen med en sannolikhet 1/50 vara.

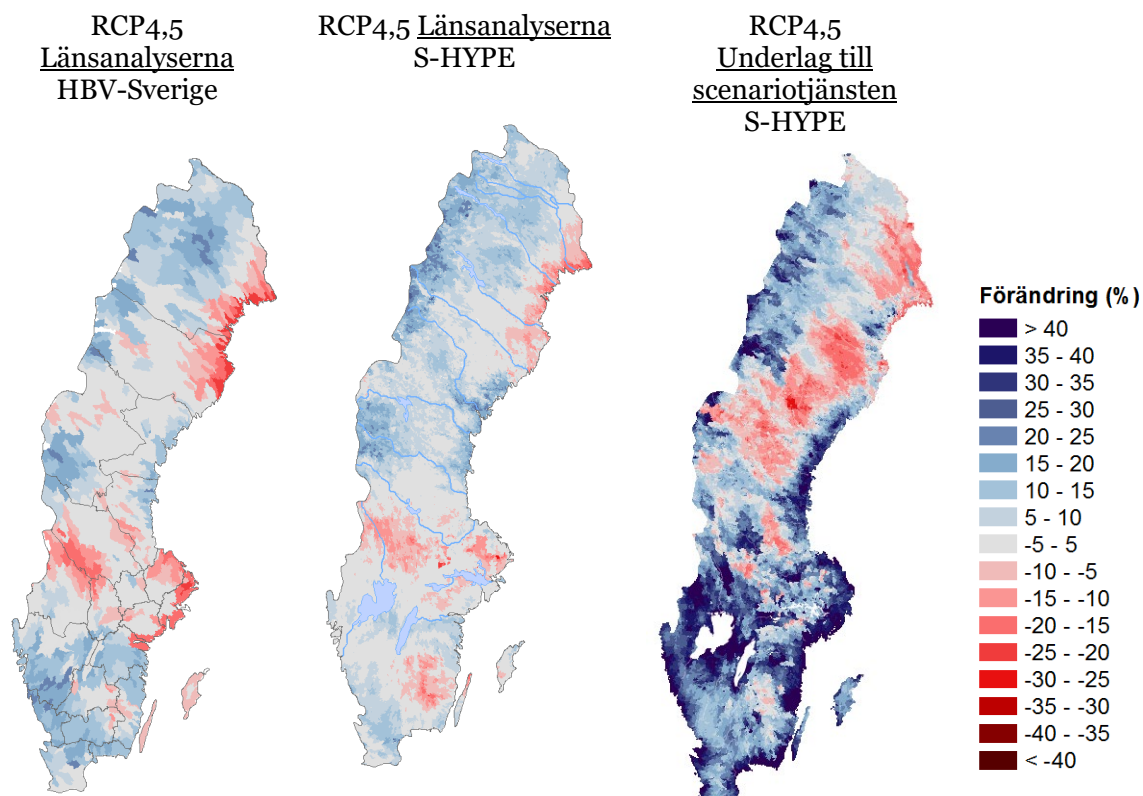
En djupare analys behövs men saknas i nuläget.

Data för att beräkna förändring av oreglerade flöden med höga återkomsttider saknas. Sådana data och analys av ackumulerad lokal tillrinning med olika återkomsttid för valda punkter i kraftverkälvarna skulle kunna vara till nytta för dammsäkerhetsändamål. Svenska kraftnät har gett SMHI i uppdrag att göra en sådan kartläggning.

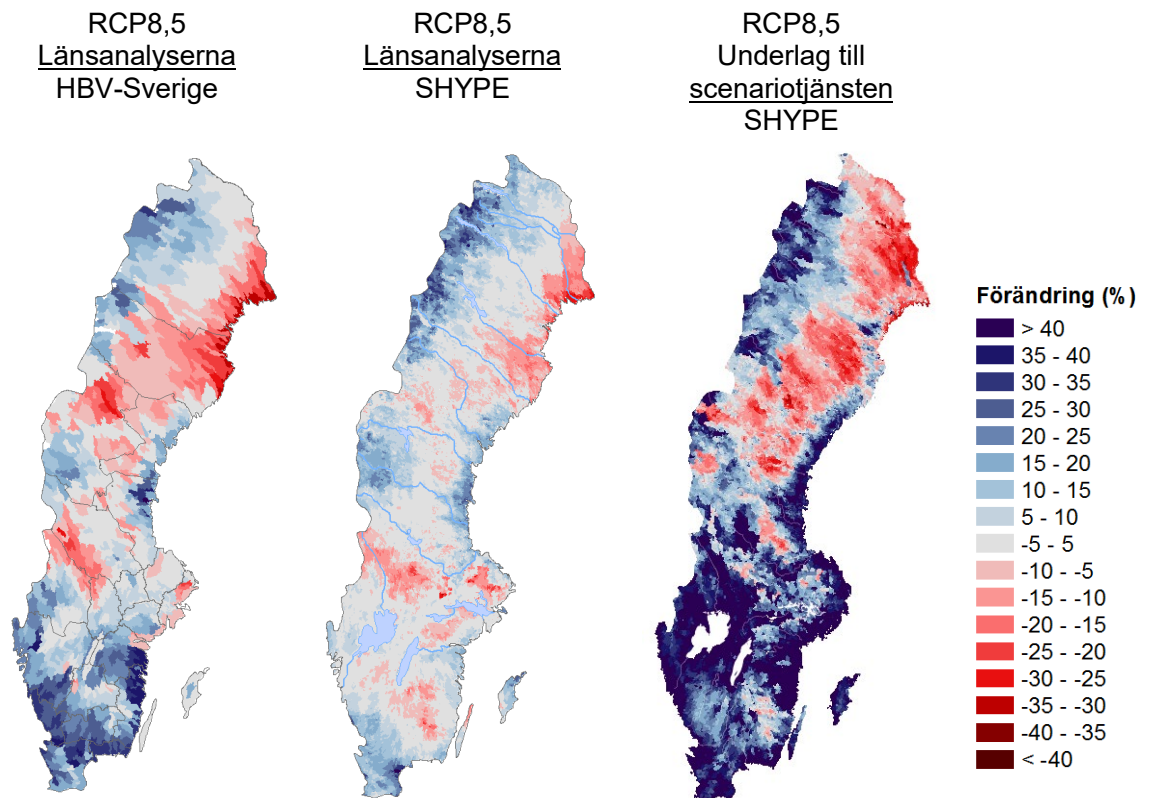
Lokal tillrinning/markavrinning med sannolikhet 1/100

Inom rapporten ”Jämförelse länsanalyser och scenariotjänst” (Sjökvist et al., in press) presenteras förändringen av lokala flöden med en sannolikhet 1/100. Lokala flöden betecknas som ”markavrinning” på SMHIs klimatscenariotjänst (SMHI, 2021) och i dessa ingår ingen avdunstning från eller nederbörd på vattenytor. Utöver resultat som beräknats på bakomliggande data för klimatscenariotjänsten, presenteras även resultat från länsanalyserna inom ovan nämnda rapport (se **Figur 34**).

- > En ökning av den lokala tillrinningen med en sannolikhet 1/100 beräknades för största delen av Götaland och Svealand, samt södra Norrland och norra Norrlands fjällområde.
- > I de övriga delarna av landet, dvs. mellersta Norrland och norra Norrlands kustområden visar klimatscenerierna på en minskning av lokal tillrinning med en sannolikhet 1/100.
- > Förändringarna i underlaget för klimatscenariotjänsten är större jämfört med resultaten för länsanalyserna (Sjökvist et al., in press), se **Figur 34** och **Figur 35**.
- > Dessutom tyder beräkningarna från länsanalyserna på en minskning av lokal tillrinning med sannolikhet 1/100 i Svealand, som inte visas i underlag för scenariotjänsten.
- > Eftersom resultat av HBV modellen och S-HYPE modellen som användes för länsanalyserna är lika, dras slutsatsen att skillnader mot underlag till klimatscenariotjänsten mest troligt beror på att olika klimatensemblar användes.
- > Inga kartor som visar robustheten eller standardavvikelsen för klimatförändringssignalen är tillgängliga i rapporten ”Jämförelse länsanalyser och scenariotjänst” (Sjökvist et al., in press).



Figur 34. Förändring i lokal 100-årstillrinning för RCP4,5. Till vänster: Förändring i lokal 100-årstillrinning framtagen med HBV-Sverige för perioden 2069-2098 jämfört med perioden 1963-1992. Presenteras i Sjökvist et al., 2015. I mitten: Förändring i lokal 100-årstillrinning framtagen med S-HYPE för perioden 2069-2098 jämfört med perioden 1963-1992. Presenteras i Sjökvist et al., 2015. Till höger: Förändring i lokal 100-årstillrinning framtagen med S-HYPE för perioden 2071-2100 jämfört med perioden 1971-2000. Framtagen från underlagsdata av den nya klimatscenariotjänsten (SMHI, 2021).



Figur 35. Förändring i lokal 100-årstillrinning för RCP8,5. Till vänster: Förändring i lokal 100-årstillrinning framtagen med HBV-Sverige för perioden 2069-2098 jämfört med perioden 1963-1992. Presenteras i Sjökvist et al., 2015 I mitten: Förändring i lokal 100-årstillrinning framtagen med S-HYPE för perioden 2069-2098 jämfört med perioden 1963-1992. Presenteras i Sjökvist et al., 2015. Till höger: Förändring i lokal 100-årstillrinning framtagen med S-HYPE för perioden 2071-2100 jämfört med perioden 1971-2000. Framtagen från underlagsdata av den nya klimatscenariotjänsten (SMHI, 2021).

Referenser och underlag

Referenser i texten

- Andersson S., Barring L., Landelius T., Samuelsson P., Schimanke S. (2021). SMHI Gridded Climatology, Report Meteorology and Climatology No. 118
- Andréasson J., Bergström S., Gardelin M., German J., Gustavsson H., Hallberg K., Rosberg J. (2011). Dimensionerande flöden för dammanläggningar för ett klimat i förändring - metodutveckling och scenarier, Elforsk rapport 11:25.
- Arheimer B, Lindström G. (2015). Climate impact on floods. Changes in high flows in Sweden in the past and the future (1911–2100). *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(2), 771–784. <https://doi.org/10.5194/hess-19-771-2015>
- Berg P., Bosshard T., Yang W. et al. (2021). MIIdAS version 0.1 framtagande och utvärdering av ett nytt verktyg för biasjustering. SMHI rapport Klimatologi 63, SMHI, SE-60176 Norrköping, Sverige, 23 pp.
- Bergström, S. (1995). The HBV model. Computer models of watershed hydrology, Singh, V.P. (Red.) Water Resources Publications, Highlands Ranch, 443–476.
- Cherry J.E., Knapp C., Trainor S., Ray A.J., Tedesche M., Walker, S.(2017). Planning for climate change impacts on hydropower in the Far North. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2017, 21, 133–151.
- Clavet-Gaumont, J., Huard, D., Frigon, A., Koenig, K., Slota, P., Rousseau, A., et al. (2017). Probable maximum flood in a changing climate: An overview for Canadian basins. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 13, 11–25. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.07.003>
- Cohen, J., H. Ye, and J. Jones (2015), Trends and variability in rain-on-snow events, *Geophys. Res. Lett.*, 42,7115–7122, doi:10.1002/2015GL065320.
- Contreras, E., Herrero, J., Crochemore, L., Pechlivanidis, I., Photiadou, C., Aguilar, C., Polo, M.J., (2020). Advances in the Definition of Needs and Specifications for a Climate Service Tool Aimed at Small Hydropower Plants' Operation and Management. *Energies*, 13, 1827, doi.org/10.3390/en13071827
- Cornes R, van der Schrier G, van den Besselaar EJM et al. (2018). An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Datasets, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 123. doi:10.1029/2017JD028200
- Dahné, J., Donnelly, C., and Olsson, J.(2013). Post-processing of climate projections for hydrological impact studies: how well is the reference state preserved?, *IAHS Publication*, 359, 53–59, 2013.

- Dyrddal, A. & Vikhamar-Schuler, D. (2009). Analysis of Long-Term Snow Series at Selected Stations in Norway. Met.no Report 05/2009 Climate. The Norwegian Meteorological Institute, Oslo, Norway.
- Eklund, A. (1998). Hydrologi Istjocklek på sjöar -en statistisk bearbetning av SMHls mätningar. SMHI Nr 76, 1998
- François B., Schlef K.E., Wi, S., Brown C.M. (2019). Design considerations for riverine floods in a changing climate – A review, *Journal of Hydrology*, Volume 574, 2019, Pages 557-573 <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.068>.
- Freudiger, D., I. Kohn, K. Stahl, and M. Weiler, (2014). Large-scale analysis of changing frequencies of rain-on-snow events with flood-generation potential. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 2695–2709, doi:10.5194/hess-18-2695-2014.
- Førland, E., Mamen, J., Grinde, L., Dyrddal, A. V. og Myrabø S. (2015). Dimensjonerende korttidsnedbør. NVE Rapport 134–2015. Norges vassdrags- og energidirektorat. https://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_134.pdf
- Gutiérrez JM, Jones RG, Narisma GT et al. (2021). Atlas. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Eds. Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, et al]. Cambridge University Press. In Press. Interactive Atlas available from <http://interactive-atlas.ipcc.ch/>
- Haddeland, I., J. Hole, E. Holmqvist, V. Koestler, M. Sidelnikova, C.A. Veie, and M. Wold (2021) Effects of Climate on Renewable Energy Sources and Electricity Supply in Norway <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3940150>
- Hall, J., Arheimer, B., Borga, M., Brázdil, R., Claps, P., Kiss, A., Kjeldsen, T. R., Kriaučiuniene, J., Kundzewicz, Z. W., Lang, M., Llasat, M. C., Macdonald, N., McIntyre, N., Mediero, L., Merz, B., Merz, R., Molnar, P., Montanari, A., Neuhold, C., Parajka, J., Perdigão, R. A. P., Plavcová, L., Rogger, M., Salinas, J. L., Sauquet, E., Schär, C., Szolgay, J., Viglione, A., and Blöschl, G. (2014). Understanding flood regime changes in Europe: a state-of-the-art assessment, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 2735–2772, doi:10.5194/hess-18-2735-2014, 2014.
- Hallberg, K., Andréasson, J., Axén-Mårtensson, J., Bergström, S., Dahné, J., Nylén, L., & Sjökvist, E. (2014). Metodbeskrivning och jämförande studie av dimensionerande flöden för dammanläggningar med två generationer klimatscenarier. *Elforsk rapport 14:27*.
- Huntington, T.G. (2006). Evidence for Intensification of the Global Water Cycle: Review and Synthesis. *Journal of Hydrology*, 319, 83–95. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.07.003>

- IPCC (2021). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi:10.1017/9781009157896.001.
- Jacob D, Petersen J, Eggert B et al. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg. Environ. Change* 14 (2), 563–578.
- Johansson B. & Chen D. (2003). The influence of wind and topography on precipitation distribution in Sweden: Statistical analysis and modelling. *International Journal of Climatology*, 23, 1523–1535.
- Kjellström E., Barring L., Nikulin G., Nilsson C., Persson G., Strandberg G., (2016). Production and use of regional climate model projections – A Swedish perspective on building climate services. *Climate Services*, Online 27 June 2016 <http://dx.doi.org/10.1016/j.cliser.2016.06.004>.
- Kjellström E., Strandberg G., Lin C. (2021). Förändringar i klimatet som påverkar energisektorn i Sverige. *Energiforsk rapport nr 2021:745*, ISBN 978-91-7673-745-3, 64 pp.
- Kjellström E., Andersson L., Arneborg L., Berg P., Capell R., Fredriksson S., Hieronymus M., Jönsson A., Lindström L., Strandberg G. (2022). Klimatinformation som stöd för samhällets klimatanpassningsarbete. SMHI *Klimatologi* 2022–64.
- Kunkel, K. E., Robinson, D. A., Champion, S., Yin, X., Estilow, T., & Frankson, R. M. (2016). Trends and extremes in Northern Hemisphere snow characteristics. *Current Climate Change Reports*, 2(2), 65-73.
- Lawrence, D., (2016). *Klimaendringer og framtidige flommer i Norge*. NVE rapport 81-2016. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Lindström, G., Harlin, J., Olofsson, J. (1993). Uppföljning av Flödeskommitténs riktlinjer. SMHI *Hydrologi* Nr 46.
- Lindström, G., Pers, C.P., Rosberg, R., Strömqvist, J., Arheimer, B. (2010). Development and test of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) model – A water quality model for different spatial scales. *Hydrology Research* 41.3-4:295-319.
- Lindström, G. (2011). *Klimat, vattentillgång och höga flöden i Sverige 1860-2010*. *Elforsk rapport* 11:73

- Lindström, G. (2022). Klimat, vattentillgång och höga flöden i Sverige 1860-2020. Energiforsk rapport 2022:902
- Lindström, G., Hjerdt, N., Wern, L. (in preparation): Klimatlaster i Boverkets konstruktionsregler – nya snölaster.
- Losjö, K., Södling, J., Wern, L., & German, J. (2019). Uppföljning av de svenska riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar. SMHI Klimatologi Nr 51.
- Länsstyrelsen (2021). Snö i framtida klimat -Rapport för våra sju nordligaste län. Gävleborgs rapport nr: 2021-03, ISSN 0284:5954
- Merks, J., Photiadou, C., Ludwig, F. and Arheimer, B. (2020). Comparison of open access global climate services for hydrological data. *Hydrological Sciences Journal*, doi.org/10.1080/02626667.2020.1820012
- Mortimer, C., Mudryk, L., Derksen, C., Luoju, K., Brown, R., Kelly, R., and Tedesco, M. (2020). Evaluation of long-term Northern Hemisphere snow water equivalent products, *The Cryosphere*, 14, 1579–1594, <https://doi.org/10.5194/tc-14-1579-2020>, 2020.
- McCabe, G. J., M. P. Clark, and L. E. Hay, (2007). Rain-on-snow events in the western United States. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 88, 319–328, doi:10.1175/BAMS-88-3-319.
- Merz, R. & Blöschl, G. (2003). A process typology of regional floods. *Water Resour. Res.* 2003, 39, 1340.
- Moss RH, Edmonds JA, Hibbard KA, Manning MR, Rose SK, van Vuuren DP, Carter TR, Emori S, Kainuma M, Kram T et al (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463:747–756
- Mudryk, L., Santolaria-Otín, M., Krinner, G., Ménégos, M., Derksen, C., Brutel-Vuilmet, C., Brady, M., and Essery, R. (2020). Historical Northern Hemisphere snow cover trends and projected changes in the CMIP6 multi-model ensemble, *The Cryosphere*, 14, 2495–2514, <https://doi.org/10.5194/tc-14-2495-2020>, 2020.
- Nakićenović N, Swart R (ed.) (2000). Special report on emissions scenarios. A special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. 612 pp.
- Nikulin G., Kjellström E., Hansson U., Strandberg G. and Ullerstig A. (2011). Evaluation and future projections of temperature, precipitation and wind extremes over Europe in an ensemble of regional climate simulations. *Tellus* 63 (1):41 – 55. DOI:10.1111/j.1600-0870.2010.00466.x
- Olsson J, Berg P, Eronn A et al. (2017). Extremregn i nuvarande och framtida klimat, SMHI Klimatologi Nr 47

- Pall, P., Tallaksen, L. M., and Stordal, F. (2019). A Climatology of Rain-on-Snow Events for Norway. *Journal of Climate* 32, 20, 6995–7016
- Rizzi, J., I. B. Nilsen, J. H. Stagge, K. Gislås, and L. M. Tallaksen. (2018). Five decades of warming: Impacts on snow cover in Norway. *Hydrol. Res.*, 49, 670–688, <https://doi.org/10.2166/nh.2017.051>.
- Rottler E., Vormoor K., Francke T., Bronstert A. (2021): Hydro Explorer: An interactive web app to investigate changes in runoff timing and runoff seasonality all over the world. *River Res Applic.*, 37, 544–554, DOI: 10.1002/rra.3772
- Räisänen J. (2021) Snow conditions in northern Europe: the dynamics of interannual variability versus projected long-term change, *The Cryosphere*, 15, 1677–1696, <https://doi.org/10.5194/tc-15-1677-2021>.
- Sigel M., Fischer A., Zubler E., Liniger M. (2016). Dissemination of climate change scenarios - a review of existing scenario platforms. Technical Report MeteoSwiss, 257 (2016), 88 pp.
- 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 Klimatologi Nr 15.
- Sjökvist E., Björck E., Carlsson D., Eklund A., Jacobsson K., Johnell A., Södling J., Zábori J. (in press): Jämförelse länsanalyser och scenariotjänst. SMHI Klimatologi Nr 70.
- SOU (2007). Klimat- och sårbarhetsutredningen. SOU 2007:60. 721 p.
- SMHI (2021). Fördjupad klimatscenariotjänst <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier?l=null> (hämtat 2023-02-10)
- SMHI 1: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat/temperaturens-okning-i-sverige-sedan-1800-talet-1.158913> (hämtat 2023-01-26)
- SMHI 2: <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindex/nollgenomgangar-1.22895> (hämtat 2023-02-10)
- SMHI 3: <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikator-nederbord-1.2887> (hämtat 2023-03-26)
- SMHI 4: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat/sveriges-klimat-har-blivit-varmare-och-blotare-1.21614> (hämtat 2023-01-30)

SMHI 5: <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikator-sno-1.91052> (hämtat 2023-02-13)

SMHI 6: <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikator-varflodens-startdatum-1.101282> (hämtat 2023-02-13)

SMHI 7: <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/met/sverige/medeltemperatur/rcp45/2071-2100/year/anom> och <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/met/sverige/medeltemperatur/rcp85/2071-2100/year/anom> (hämtat 2023-03-26)

SMHI 8: <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/met/sverige/medelnederbord/rcp85/2071-2100/year/anom> och <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/met/sverige/medelnederbord/rcp45/2071-2100/year/anom> (hämtat 2023-03-26)

SMHI 9: <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/hyd/-/snowwater/rcp85/2071-2100/year> (hämtat 2023-02-13)

Stensen K., Krunegård A., Rasmusson K., Matti B., Hjerdt N. (2019) Sveriges vattentillgång utifrån perspektivet vattenbrist och torka – Delrapport 1 i regeringsuppdrag om åtgärder för att motverka vattenbrist i ytvattentäkter, SMHI rapport, Hydrologi 120

Tarasova L, Merz R, Kiss A, Basso S, Blöschl G, Merz B, Viglione A, Plötner S, Guse B, Schumann A, Fischer S, Ahrens B, Anwar F, Bárdossy A, Bühler P, Haberlandt U, Kreibich H, Krug A, Lun D, Müller-Thomy H, Pidoto R, Primo C, Seidel J, Vorogushyn S, Wietzke L. (2019) Causative classification of river flood events. *WIREs Water*. 2019 Jul-Aug;6(4):e1353. doi: 10.1002/wat2.1353.

Teutschbein, C. and Seibert, J.(2010) Regional climate models for hydrological impact studies at the catchment scale: A review of recent model strategies, *Geography Compass*, 4, 834–860, doi:10.1111/j.1749-8198.2010.00357.x, 2010.

Trubilowicz JW & Moore RD (2017). Quantifying the role of the snowpack in generating water available for run-off during rain-on-snow events from snowpillow records. *Hydrological Processes*. 2017;31:4136–4150. <https://doi.org/10.1002/hyp.11310>

van der Linden P. and Mitchell JFB (2009). ENSEMBLES: Climate change and its impacts - summary of research and results from the ENSEMBLES project. Tech. rep., Met Office Hadley Centre, Exeter, United Kingdom

- Vautard R. (2018) Regional Climate Projections. In: Troccoli A. (eds) Weather & Climate Services for the Energy Industry. Palgrave Macmillan, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-68418-5_10
- Vormoor, K., D. Lawrence, L. Schlichting, D. Wilson, and W. K. Wong, 2016: Evidence for changes in the magnitude and frequency of observed rainfall vs. snowmelt driven floods in Norway. *J. Hydrol.*, 538, 33–48,
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.03.066>.
- Weichselgartner, J. , and Arheimer, B. (2019). Evolving climate services into knowledge–action systems. *Wea. Climate Soc.* , 11, 385–399,
<https://doi.org/10.1175/WCAS-D-18-0087.1>.
- Wilson, D., Hisdal, H. and Lawrence, D. (2010). Has streamflow changed in the Nordic Countries? – Recent trends and comparisons to hydrological projections. *Journal of Hydrology* 394 (2010) 334–346.
- Wern L. (2015) Snödjup i Sverige 1904/05 – 2013/14. SMHI Klimatologi Nr 158
- Würzer, S., Jonas, T., Wever, N., and Lehning, M. (2016). Influence of Initial Snowpack Properties on Runoff Formation during Rain-on-Snow Events. *Journal of Hydrometeorology* 17, 6, 1801–1815
- Yang, W., Andréasson, J., Graham, L. P., Olsson, J., Rosberg, J and Wetterhall, F. (2010): Distribution based scaling to improve usability of regional climate model projections for hydrological climate change impacts studies. *Hydrol. Res.*, 41.3-4.

Referenser i figurer

Figur 1. Staplarna i diagrammet visar medeltemperaturen per år. Röda staplar visar högre och blå visar lägre temperaturer än medelvärdet för normalperioden 1961-1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år.: <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikator-temperatur-1.2430> (hämtat 2023-02-10)

Figur 2. Till vänster: Förändringen av årsmedeltemperaturen mellan normalperioden 1991-2020 jämfört med normalperioden 1961-1990. Till höger: Förändringen av vintermedeltemperaturen (december, januari och februari) mellan normalperioden 1991-2020 jämfört med normalperioden 1961-1990.. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat/sveriges-klimat-har-blivit-varmare-och-blotare-1.21614> (hämtat 2023-02-10) samt <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat/sveriges-klimat-har-blivit-varmare-och-blotare-1.21614> (hämtat 2023-02-10)

Figur 3. Till vänster: Förändring av antalet nollgenomgångar från perioden 1961-1990 till 1991-2020. Till höger: Förändring av antalet nollgenomgångar från perioden 1961-1990 till 1991-2020 under våren. Röda punkter – ökning, blå punkter – minskning.: <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindex/nollgenomgangar-1.22895> (hämtat 2023-02-10) samt <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindex/nollgenomgangar-1.22895> (hämtat 2023-02-10)

Figur 4. Staplarna i diagrammet visar summerad nederbörd per år. Gröna staplar visar högre och orangea visar lägre nederbörd än medelvärdet för normalperioden 1961-1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år. Observationer innan år 1933 anses ha lägre tillförlitlighet än senare observationer. Detta markeras med en grå skuggning i diagrammet. Det bör iakttagas försiktighet vid eventuella klimatologiska slutsatser baserat på denna tidsperiod.: <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikator-nederbord-1.2887> (hämtat 2023-02-10)

Figur 5. Till vänster: Förändring i årsnederbördssummor för perioden 1991-2020 jämfört med perioden 1961-1990. Till höger: Förändring i nederbörd under vintern 1991-2020 jämfört med 1961-1990.: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat/sveriges-klimat-har-blivit-varmare-och-blotare-1.21614> (hämtat 2023-02-10) [samt https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat/sveriges-klimat-har-blivit-varmare-och-blotare-1.21614](https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat/sveriges-klimat-har-blivit-varmare-och-blotare-1.21614) (hämtat 2023-02-10)

Figur 6. Staplarna i diagrammet visar maximal dygnsnederbörd i genomsnitt per station i Sverige per år. Blå staplar visar högre och röda visar lägre

mängder än medelvärdet för normalperioden 1961-1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år.:

<https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikator-extrem-nederbord-1.29819> (hämtat 2023-02-10)

Figur 7. Staplarna i diagrammet visar maximal dygnsnederbörd i genomsnitt per station i Norra Norrland för december (föregående år), januari och februari. Blå staplar visar högre och röda visar lägre mängder än medelvärdet för normalperioden 1961-1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år. : <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikator-extrem-nederbord-1.29819> (hämtat 2023-02-10)

Figur 8. Staplarna i diagrammet visar antal dygn med snötäcke i Norra Norrland, Södra Norrland, Svealand och Götaland. Blå staplar visar fler och orangea visar färre dygn än medelvärdet för normalperioden 1961-1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år. Året som visas representerar det år då säsongen avslutas. Det vill säga, 2000 står för säsongen 1999/2000. <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikator-sno-1.91052> (hämtat 2023-02-10)

Figur 9. Staplarna i diagrammet visar maximalt snödjup i Norra Norrland, Södra Norrland, Svealand och Götaland. Blå staplar visar högre och orangea visar lägre snödjup än medelvärdet för normalperioden 1961-1990. Den grå linjen visar ett glidande medelvärde beräknat över ungefär tio år. Året som visas representerar det år då säsongen avslutas. Det vill säga, 2000 står för säsongen 1999/2000.: <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikator-sno-1.91052> (hämtat 2023-02-13)

Figur 10. Avvikelse av summerat årsvattenföringen över hela Sverige jämfört med perioden 1961-1990 (%). Den svarta linjen är en Gaussfilter som lyfter fram variationer med en tidsskala på 10 år.: Lindström, G. (2022). Klimat, vattentillgång och höga flöden i Sverige 1860-2020. Energiforsk rapport 2022:902, figur kopierat från sida 10.

Figur 11. Avvikelse av summerat årsvattenföringen till de fyra omgivande havsbassängerna jämfört med perioden 1961-1990 (%).: Lindström, G. (2022). Klimat, vattentillgång och höga flöden i Sverige 1860-2020. Energiforsk rapport 2022:902, figur kopierat från sida 14.

Figur 12. Genomsnittlig avvikelse för det högsta flödet under året från medlet av årshögsta flöden under perioden 1961-1990 för de fyra regioner.: Lindström, G. (2022). Klimat, vattentillgång och höga flöden i Sverige 1860-2020. Energiforsk rapport 2022:902, figur kopierat från sida 22.

Figur 13. Beräknad förändring av medeltemperatur (°C) i Sverige under åren 1951–2100 jämfört med den normala (medelvärde för 1971–2000) enligt klimatscenarier RCP4.5/RCP8.5. Grå fält visar variationsbredden mellan den 10:e och 90:e percentilen i respektive ensemble. Staplarna visar historiska data.: <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/sverige/medeltemperatur/rcp45/2071-2100/year/anom> (hämtat 2023-02-13) samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/sverige/medeltemperatur/rcp85/2071-2100/year/anom> (hämtat 2023-03-20)

Figur 14. Till vänster: Förändringen av årsmedeltemperatur för perioden 2071-2100 jämfört med perioden 1971-2000 för RCP4,5. Till höger: Förändringen av årsmedeltemperatur för perioden 2071-2100 jämfört med perioden 1971-2000 för RCP8,5.: <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/sverige/medeltemperatur/rcp45/2071-2100/year/anom> (hämtat 2023-03-20) samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/sverige/medeltemperatur/rcp85/2071-2100/year/anom> (hämtat 2023-03-20)

Figur 15. Beräknad förändring av medeltemperatur (°C) för vinter, vår, sommar och höst för perioden 2071–2100 jämfört med 1971–2000. Kartan baseras på ett medelvärde av ett antal klimatscenarier för scenario RCP8,5.: <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/sverige/medeltemperatur/rcp85/2071-2100/winter/anom> samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/sverige/medeltemperatur/rcp85/2071-2100/spring/anom> samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/sverige/medeltemperatur/rcp85/2071-2100/summer/anom> samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/sverige/medeltemperatur/rcp85/2071-2100/fall/anom> (hämtat 2023-03-20)

Figur 16. Beräknad förändring av antal dagar med nollgenomgång under åren 1951–2100 jämfört med den normala (medelvärde för 1971–2000) enligt klimatscenarier RCP4.5/RCP8.5. Grå fält visar variationsbredden mellan den 10:e och 90:e percentilen i respektive ensemble. Staplarna visar historiska data.: <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/sverige/zerocross/rcp45/2071-2100/year/anom> samt

<https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/sverige/zerocross/rcp85/2071-2100/year/anom> (hämtat 2023-02-13)

Figur 17. Förändring av antalet dagar med nollgenomgångar för perioden 2071–2100 jämfört med 1971–2000. Till vänster: Kartan baseras på ett medelvärde av ett antal klimatscenarier för scenario RCP4,5. Till höger: Kartan baseras på ett medelvärde av ett antal klimatscenarier för scenario RCP8,5.:

<https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/sverige/zerocross/rcp45/2071-2100/year/anom> samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/sverige/zerocross/rcp85/2071-2100/year/anom> (hämtat 2023-02-13)

Figur 18. Beräknad förändring av nederbörd (mm/mån) i Sverige under åren 1951–2100 jämfört med den normala (medelvärdet för 1971–2000) enligt klimatscenarier RCP4.5/RCP8.5. Grå fält visar variationsbredden mellan den 10:e och 90:e percentilen i respektive ensemble. Staplarna visar historiska data.: <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/sverige/medelnederbord/rcp45/2071-2100/year/anom> samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/sverige/medelnederbord/rcp85/2071-2100/year/anom> (hämtat 2023-02-13)

Figur 19. Förändringen av nederbörd i mm/månad för perioden 2071-2100 jämfört med perioden 1971-2000. Till vänster: Kartan baseras på ett medelvärde av ett antal klimatscenarier för scenario RCP4,5. Till höger: Kartan baseras på ett medelvärde av ett antal klimatscenarier för scenario RCP8,5.:

<https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/sverige/medelnederbord/rcp45/2071-2100/year/anom> samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/sverige/medelnederbord/rcp85/2071-2100/year/anom> (hämtat 2023-03-21)

Figur 20. Förändringen av nederbörd i mm/månad för vinter, vår, sommar och höst för RCP8,5 och perioden 2071-2100 jämfört med perioden 1971-2000.: <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/sverige/medelnederbord/rcp85/2071-2100/winter/anom> samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/sverige/medelnederbord/rcp85/2071-2100/spring/anom> samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/sverige/medelnederbord/rcp85/2071-2100/summer/anom> samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/sverige/medelnederbord/rcp85/2071-2100/fall/anom>

Figur 21. Beräknad förändring av antal dagar med nederbördssummor > 20 mm under åren 1951–2100 jämfört med den normala (medelvärdet för 1971–2000) enligt klimatscenarier RCP4.5/RCP8.5. Grå fält visar variationsbredden mellan den 10:e och 90:e percentilen i respektive ensemble. Staplarna visar historiska data.: https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/sverige/exprec/rcp45/2071-2100/year/anom_samt samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/sverige/exprec/rcp85/2071-2100/year/anom> (hämtat 2023-02-13)

Figur 22. Förändringen av antalet dagar med nederbördssummor > 20 mm för perioden 2071-2100 jämfört med perioden 1971-2000. Till vänster: Kartan baseras på ett medelvärde av ett antal klimatscenarier för scenario RCP4,5. Till höger: Kartan baseras på ett medelvärde av ett antal klimatscenarier för scenario RCP8,5.

<https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/sverige/exprec/rcp45/2071-2100/year/anom> samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/met/sverige/exprec/rcp85/2071-2100/year/anom> (hämtat 2023-02-13)

Figur 23. Förändringen i antal dagar med snötäcke. Till vänster: Förändringen mellan en 1,5 °C uppvärmning jämfört med referensperioden relaterat till 1971-2000. Till höger: Förändringen mellan en 2,0 °C uppvärmning jämfört med referensperioden relaterat till 1971-2000.: Kjellström E., Strandberg G., Lin C. (2021). Förändringar i klimatet som påverkar energisektorn i Sverige. Energiforsk rapport nr 2021:745, ISBN 978-91-7673-745-3, 64 pp.

Figur 24. Förändringen av det maximala vatteninnehållet av snön för perioden 2071-2100 jämfört med perioden 1971-2000. Till vänster: Kartan baseras på ett medelvärde av ett antal klimatscenarier för scenario RCP4,5. Till höger: Kartan baseras på ett medelvärde av ett antal klimatscenarier för scenario RCP8,5.: <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/hyd/-/snowwater/rcp85/2071-2100/year> samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/hyd/-/snowwater/rcp45/2071-2100/year> (hämtat 2023-02-13)

Figur 25. Beräknad förändring av medelvattenföring jämfört med år 1971 – 2000. Kartorna visar medelvärde för ensemble med hydrologiska beräkningar för framtidsscenario RCP4.5 klimatet.:

<https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarier/hyd/-/vattenforing/rcp45/2011-2040/year> samt

<https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/hyd/-/vattenforing/rcp45/2041-2070/year> samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/hyd/-/vattenforing/rcp45/2071-2100/year> (hämtat 2023-02-13)

Figur 26. Beräknad förändring av medelvattenföring jämfört med år 1971 – 2000. Kartorna visar medelvärde för ensemble med hydrologiska beräkningar för framtidsscenario RCP8.5 klimatet.:

<https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/hyd/-/vattenforing/rcp85/2011-2040/year> samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/hyd/-/vattenforing/rcp85/2041-2070/year> samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/hyd/-/vattenforing/rcp85/2071-2100/year> (hämtat 2023-02-13)

Figur 27. Andelen av medlemmarna i ensemble som visar på en ökning för det framtida klimatet (översta raden) samt standardavvikelse av förändringen över ensemblemedlemmar (nedersta raden).:

<https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/hyd/-/vattenforing/rcp45/2041-2070/year> samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/hyd/-/vattenforing/rcp85/2041-2070/year>

Figur 28. Beräknad förändring i % av markavrinning (medel) för perioden 2071–2100 jämfört med 1971 – 2000 för januari, april, juli och oktober. Kartan baseras på ett medelvärde av en ensemble av ett antal klimatscenarioer för scenario RCP8,5.: <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/hyd/-/avrinning/rcp85/2071-2100/jan> samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/hyd/-/avrinning/rcp85/2071-2100/apr> samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/hyd/-/avrinning/rcp85/2071-2100/jul> samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/hyd/-/avrinning/rcp85/2071-2100/oct> (hämtat 2023-02-13)

Figur 29. Andelen av medlemmarna som visar på en ökning för det framtida klimatet (period 2071-2100) för januari, april, juli och oktober. Om andelen är under 50% visar merparten av modellerna på en minskning.:

<https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/hyd/-/avrinning/rcp85/2071-2100/jan> samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/hyd/-/avrinning/rcp85/2071-2100/apr> samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/hyd/-/avrinning/rcp85/2071-2100/oct>

<https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/hyd/-/avrinning/rcp85/2071-2100/jul> samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/hyd/-/avrinning/rcp85/2071-2100/oct> (hämtat 2023-02-13)

Figur 30. Beräknad förändring av reglerad vattenföring med årlig sannolikhet 1/50 jämfört med 1971 – 2000. Kartorna visar medelvärde för ensemble med hydrologiska beräkningar för framtidsscenario RCP4.5.:

<https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/hyd/-/maximalvattenforing50/rcp45/2011-2040/year>
<https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/hyd/-/maximalvattenforing50/rcp45/2041-2070/year>
<https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/hyd/-/maximalvattenforing50/rcp45/2071-2100/year> (hämtat 2023-02-14)

Figur 31. Beräknad förändring av reglerad vattenföring med årlig sannolikhet 1/50 jämfört med 1971 – 2000. Kartorna visar medelvärde för ensemble med hydrologiska beräkningar för framtidsscenario RCP8.5.:

<https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/hyd/-/maximalvattenforing50/rcp85/2011-2040/year> samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/hyd/-/maximalvattenforing50/rcp85/2041-2070/year> samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/hyd/-/maximalvattenforing50/rcp85/2071-2100/year> (hämtat 2023-02-14)

Figur 32. Andelen av medlemmarna i ensemble som visar på en ökning för det framtida klimatet för förändringen av vattenföringen med en sannolikhet 1/50 för perioden 2041-2070 jämfört med perioden 1971-2000.:

<https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/hyd/-/maximalvattenforing50/rcp45/2041-2070/year> samt <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/fordjupade-klimatscenarioer/hyd/-/maximalvattenforing50/rcp85/2041-2070/year> (hämtat 2023-02-16)

Figur 33. Förändringen av flöden med sannolikhet 1/50 som en funktion av vattendragets regleringsgrad för vattendrag inom Bottenvikens vattendistrikt, ej publicerat.

Figur 34. Förändring i lokal 100-årstillrinning från referensperioden (1963-1992 resp 1971-2000) till slutet av seklet (2069-2098 resp. 2071-2100) för scenario RCP4,5.: Sjökvist E., Björck E., Carlsson D., Eklund A., Jacobsson K., Johnell A., Södling J., Zábori J. (in press): Jämförelse länsanalyser och scenariotjänst. SMHI Klimatologi Nr 70.

Figur 35. Förändring i lokal 100-årstillrinning från referensperioden (1963-1992 resp 1971-2000) till slutet av seklet (2069-2098 resp. 2071-2100) för scenario RCP8,5.: Sjökvist E., Björck E., Carlsson D., Eklund A., Jacobsson K., Johnell A., Södling J., Zábori J. (in press): Jämförelse länsanalyser och scenariotjänst. SMHI Klimatologi Nr 70.

Bilaga 1 Naturvetenskapliga underlag och koncept

Allmänt

Klimat och klimatförändring är mycket breda ämnesområden. För att tolka underlag och klimatinformation är det av vikt att känna till de övergripande koncept som används inom ämnesområdet. Genom att utveckla och kombinera olika fackområden s.k. multipla bevislinjer (eng. lines of evidence) har förmågan att beskriva historiska och möjliga framtida förhållanden stärkts. De grundläggande bevislinjerna omfattar kunskap om klimatprocesser, observerad klimatutveckling och paleoklimat (klimat under tidigare perioder i jordens utveckling, före utvecklingen av meteorologiska instrument) samt jämförelser mellan modellberäkningar och nutida samt historiska förhållanden.

Att klimatet är i förändring är otvetydigt (IPCC, 2021). För analys av antropogent betingade förändringar är den dominerande ansatsen att jämföra förhållanden under olika tidsperioder mot ett referenstillstånd eller tidsperiod innan betydande antropogena utsläpp av växthusgaser startade. FN:s klimatpanel IPCC har sedan 1990 med några års mellanrum gjort sammanställningar av kunskapsläget i s.k. Assessment reports (AR1-AR6) som redovisar både metodik och resultat inom ämnesområdet. Förändringar ser olika för olika regioner, men allmänt gäller att förändringar i Sverige stora och snabba i ett globalt perspektiv.

Förändringar uttrycks typiskt som avvikelser relativt en historisk tidsperiod. Exempelvis refererar 1,5 - 2 graders global uppvärmning som nämns i Parisavtalet till *förindustriella förhållanden*. I svenska dammsäkerhetstillämpningar (Andréasson et al., 2011; Hallberg et al., 2014; Svenska kraftnät et al., 2011) och många av andra tekniska underlag redovisar avvikelser gentemot en mer närtida period.

Avvikelse ges i absoluta eller relativa tal för olika klimatindikatorer såsom temperatur, nederbörd eller vattenföring. För att beskriva komplexa effekter används kartor eller karakteristiska fingeravtryck, (eng. *fingerprinting*). För att hantera osäkerhetsfaktorer som följer av exempelvis förmågan att observera klimatet, antaganden om framtida växthusgaser eller beskrivning av klimatsystemet med datormodeller finns etablerade ramverk. Detta sker genom användning av multipla bevislinjer, spridningsmått och användning av flera beräkningsmodeller i s.k. ensembler.

Terminologi och begrepp

Tidsperioder - referensperiod och framtidsperioder

En referensperiod är en sammanhängande tidsperiod som används som bas för att jämföra förändringar mot. Valet av referensperiod kan vara av stor betydelse för tolkningen av såväl observerade historiska som beräknade framtida klimatförändringar. Världsmeteorologiorganisationens (WMO) standard ger att klimatologisk normal är den senaste 30-årsperioden som slutar vid jämnt decennium.

- > Nuvarande klimatnormal är således år 1991–2020.
- > För långa tidsperspektiv och klimat i förändring förordas även fortsättningsvis standardreferensnormal år 1961–1990.

Inom klimatforskning och IPCC:s rapportering används ett flertal olika referensperioder.

- > Förindustriella förhållanden avser perioden 1850–1900 och är referensen som global ökning av medeltemperatur beräknas mot.
- > I den senaste globala rapporteringen (IPCC, 2021) används terminologin perioderna
 - Närtid (2021–2040),
 - Mellanlång sikt (2041–2060),
 - Lång sikt (2081–2100).

Vid SMHI har praxis vid hydrologiska effektstudier tidigare varit att redovisa resultat för de 30-årsperioder som slutar

- > mitten av seklet (~2021–2050) samt
- > slutet av seklet (~2069–2098).

I Tabell 1 nedan sammanfattas hur begreppet använts i tongivande underlag för klimatförändringar i relation till dammanläggningar i Sverige.

Tabell 1. Tidsperioder som använts i tongivande underlag om klimatförändringar.

Underlag	Referensperiod	Framtidsperioder
Klimat och sårbarhetsutredningen (SOU, 2007)	1961–1990	1991–2005 2011–2040 2041–2070 2071–2100
Klimatkommittén 2008–2011 (Svenska kraftnät et al., 2011)	1963–1992	2021–2050 2069–2098
Känslighetsanalyser för dammanläggningar Hallberg et al. (2014) Klimatscenarier för Sverige Sjökvist et al. (2015)	1963–1992	2021–2050 2069–2098
SMHI klimatscenariotjänst (SMHI, 2021)	1971–2000	2011–2040 2041–2070 2071–2100

För temperaturförändringar gäller allmänt att skillnaderna är större om jämförelse sker mot en tidigare referensperiod än en senare. För andra variabler, såsom hydrologiska, som uppvisar en variation på tidsskalan decennium gäller inte detsamma per automatik (Lindström, 2011).

Globala temperaturnivåer

I tillägg till att utgå ifrån fasta tidsperioder kan utvärdering av klimatprojektioner även ske för s.k. globala temperaturnivåer (Donnelly et al., 2017). Klimatprojektioner utvärderas då när de beskriver global medeltemperatur som når 1,5°C, 2°C, 2,5°C och 3°C över förindustriell tid. Denna metod ger ett enhetligt underlag sett till vilket global förändring som avses utan att jämförelsen belastas av att ingående klimatprojektioner når dessa vid något skilda tidpunkter.

Tekniska begrepp

Klimatscenario

Ett klimatscenario beskriver en tänkbar utveckling av klimatet. I de flesta svenska tekniska underlag motsvarar detta i praktiken modellberäkningar baserat på antaganden om framtida utsläpp av växthusgaser med en global- och en regional klimatmodell samt eventuellt en hydrologisk modell.

Klimatindikator

En klimatindikator är en parameter aggregerad övre längre tid för att kunna beskriva klimatförändringen eller effekten av klimatförändringen på miljön. Klimatindikatorn kan baseras på observationer eller på modellerade data som

kan beskriva medelvärden, säsongsvariationer eller extrema förhållanden. För samhällets allmänna behov tillhandahåller SMHI klimatindikatorer utifrån observationer såsom antal dagar med snötäcke, extrem nederbörd, geostrofisk vind, globalstrålning, havsis, havsvattenstånd, nederbörd, temperatur, vegetationsperiodens längd, vinterns största snödjup och vårflojdsstart. Dessutom tillhandahåller SMHI klimatindikatorer utifrån beräkningar för framtida klimat. Dessa omfattar meteorologiska, hydrologiska och oceanografiska indikatorer och delvis överlappas med klimatindikatorerna som går tillbaka till observationer.

Samstämmighet/Robusthet

Om resultaten baseras på flera olika underlag eller om flera olika simuleringar med klimatmodeller indikerar samma typ av förändring betraktas detta som robust jämfört med om resultaten i olika underlag inte ger en samstämmig bild.

Förändringssignal

En förändringssignal beskriver om förändringen av en klimatindikator är en ökning eller minskning relaterat till en referensperiod.

Ensemble och ensemblemedlem

En ensemble är en samling av flera klimatscenarier. Varje klimatscenario inom en ensemble betecknas som ensemblemedlem. Spridningen av resultat mellan olika ensemblemedlemmar indikerar osäkerheten relaterat till simuleringen av det framtida klimatet.

Observationer – mätstationer och dataset

För att följa historiska förändringar under de senaste decennierna används i huvudsak observationsdata i form av punktdata (mätstationer) eller s.k. griddade dataset där punktmätningar interpoleras för att representera ett större område, exempelvis E-OBS (Cornes et al., 2018), PTHBV (Johansson & Chen, 2003) och nordiska motsvarigheter seNorge och FMI-ClimGrid. SMHI:s senaste referensdataset är SMHI GridClim som täcker Norden med upplösning 2,5 x 2,5 km och innehåller avdunstning, nederbörd, lufttemperatur, relativ luftfuktighet och snödjup (Andersson et al., 2021).

För vattenföring i Sverige finns SMHI:s hydrologiska grundnät som består av cirka 300 stationer. Omkring 175 av stationerna ägs och drivs av SMHI, medan övriga ägs och drivs av vattenkraftindustrin. Vidare finns The Global Data Runoff Center (GRDC) som tillgängliggör data för ca 3000 europeiska vattenföringsstationer.

Nationellt täckande hydrologiska observationsdata för avdunstning och snö är i lägre grad standardiserad, digitaliserad och allmänt tillgänglig än temperatur, nederbörd och vattenföring. Allmän snödata finns främst i form av snödjup för

ca 40 platser med långa serier (Wern, 2015) medan snöns vatteninnehåll i de flesta fall inte mäts. Snötaxeringar där snöns vatteninnehåll mäts, finns inom vattenregleringsföretag och hos enstaka större dammägare. Tekniker för insamling och hantering av snöinformation för operationellt bruk för vattenkraftplanering har utvecklats inom ramen för Energiforsk HUVA-program.

SMHI:s observationsnät för isläggning/uppbrott har reducerats till ca 40 stora och medelstora sjöar, medan mätningar av istjocklek (Eklund, 1998) i princip upphört.

I tillägg finns mätstationer som ägs och drivs av vattenregleringsföretag och enstaka större dammägare, företrädesvis där SMHI:s stationsnät är glest.

Modellberäkningar och scenarier för framtida klimat

I takt med ökande beräkningskraft i datorer sker kontinuerligt en utveckling mot mer geografiskt högupplösta klimatmodeller samt mer detaljerade beskrivningar av ingående processer, t.ex. moduler som beskriver atmosfärens kemi, dynamisk vegetation eller biogeokemiska processer i haven. Detta ger bättre förutsättningar för att beskriva relevanta förändringar och återkopplingsmekanismer. Vid tiden för IPCC AR4 (IPCC, 2007) var upplösningen i regionala modeller typiskt 50 km, jämfört med 12,5 km idag.

Framtidsscenarier för klimatpåverkan har utvecklats över tid och inför de senaste större kunskapssammanställningarna från IPCC har underlaget till stor del baserats på en typ eller familj av scenarier.

- > IPCC AR4 (IPCC, 2007)
SRES-scenarier, där SRES står för "Special Report on Emission Scenarios" (Nakićenović & Swart, 2000) och beskriver socioekonomiska scenarier (A1, A2, B1 and B2) med associerade antaganden om utsläpp av växthusgaser.
- > IPCC AR5 (IPCC, 2013)
RCP-scenarier, där RCP står för "Representative Concentration Pathways" (Moss et al., 2010). RCP:er beskriver hur koncentration av växthusgaser översatt till strålningsbalans förändras över tid.
- > IPCC AR6 (IPCC, 2021)
SSP-scenarier, där SSP står för "Shared Socioeconomic Pathways" och inkluderar socioekonomiska aspekter som befolkningsmängd, ekonomisk tillväxt, och teknisk utveckling.

Hydrologiska analyser och effektstudier

Klimatet påverkar flera vattenbalanskomponenter genom en intensifiering av vattencykeln (Huntington, 2006). Hydrologiska modeller är värdefulla komplement till observationsdata för att förstå och analysera komplexa

samband. Under det senaste två decennierna har kunskapsbasen och processförståelsen utvecklats rörande höga flöden (Arheimer & Lindström, 2015; Hall et al., 2014, Merz & Blöschl, 2003; Tarasova et al., 2019) samt förståelsen kring Sveriges vattenresurser generellt (Lindström, 2022; Stensen et al. 2019).

Studier för Sverige differentierar typiskt mellan regioner, men i lägre grad mellan säsonger och sällan mellan flödesskapande processer, t.ex. flödesandel från regn respektive snö (Lindström, 1993). Snö och olika aspekter av snösmältning i förhållanden till klimatförändringar beskrivs i flera forskningsartiklar både för historiskt klimat (Kunkel, 2016; Wern, 2015; Mortimer et al., 2020; McCabe et al., 2007; Rizzi et al., 2018) och för scenarier om framtiden (Mudryk, 2021; Räisänen, 2021). Observationer vid regn-på-snö-händelser har kvantifierat bidraget från snösmältning till ca 25 % (Trubilowicz & Moore, 2017).

Vid hydrologiska studier baserade på klimatscenarier är s.k. biasjustering viktigt för att beskriva en trovärdig vattenbalans (Teutschbein & Seibert, 2010; Yang et al., 2010). Biasjustering innebär att resultat från klimatmodeller anpassas så att de följer utvalda statistiska fördelningar hos observationer och systematiska fel reduceras. SMHI har utvecklat teknik och ramverk för biasjustering genom MIDAS (Multi-scale bias Adjustment) (Berg et al., 2021) bl.a. för att lättare kunna jämföra och implementera nya metoder. För beskrivning av snödynamik har flera utmaningar identifierats (Dahné et al., 2013) vilka i allmänt kvarstår.

Hydrologiska klimatscenarier har tidigare presenterats av (Andréasson et al., 2011, Sjökvist et al., 2015). Nationellt täckande hydrologiska effektstudier vid SMHI baseras numera på HYPE-modellen (Lindström et al., 2010) jämfört med tidigare HBV-modellen (Bergström, 1995). Strukturellt är HYPE och HBV likartade, men tillämpningar med HBV ofta har större fokus på lokal kalibrering och beskrivning av vattenreglering.

Klimatdataportal via SMHI

I november 2021 publicerade SMHI en ny webbtjänst på www.smhi.se (SMHI, 2021). I tjänsten finns en interaktiv Sverigekarta där meteorologiska-, hydrologiska- och oceanografiska klimatindex presenteras. Karttjänsten beskrivs i Kjellström et al. (2022) och ersätter tidigare motsvarighet för meteorologiska data (Kjellström et al., 2016) från regionala klimatmodeller och tidigare hydrologiska data (Sjökvist et al., 2015). Den nya tjänsten skiljer sig från tidigare underlag bl.a. i genom;

- > Högre upplösning i de regionala klimatmodellerna
- > Fler regionala klimatmodeller och fler klimatsimuleringar

- > Biasjusterade klimatindikatorer för meteorologiska data håller mycket högre upplösning.
- > Hydrologiska modellen S-HYPE användes med större rumslig upplösning och reglering av vattenföringen

Klimatförändringars påverkan på hydrologin beräknas med hjälp av den hydrologiska modellen S-HYPE för cirka 40 000 delavrinningsområden. Modellberäkningar inkluderar sjöar och dammars påverkan på flödesdynamiken liksom effekter av vattenreglering.

- > Reglering modelleras schematiskt baserat på magasinsstorlek, produktionsflöden samt överledningar mellan avrinningsområden.
- > Regleringsantaganden är oförändrade under beräkningar för framtidsperioder.

Resultaten presenteras för biflödesavrinningsområden (BARO) som sammanfattar avrinningsområden av hela eller delar av vattendrag.

Svenska kraftnät är systemansvarig myndighet, med uppgift att på ett affärsmässigt sätt förvalta, driva och utveckla ett kostnadseffektivt, driftsäkert och miljöanpassat kraftöverföringssystem. Det omfattar ledningar för 400 kV och 220 kV med stationer och utlandsförbindelser. Svenska kraftnät utvecklar transmissionsnätet och elmarknaden för att möta samhällets behov av en säker, hållbar och ekonomisk elförsörjning. Därmed har Svenska kraftnät också en viktig roll i klimatpolitiken.

SVENSKA KRAFTNÄT
Box 1200
172 24 Sundbyberg
Sturegatan 1

Tel: 010-475 80 00
Fax: 010-475 89 50
www.svk.se

