

4

Klimatförändringar med påverkan på Sverige

I det här kapitlet går kunskapsläget kring klimatförändringen igenom, först med fokus på de stora generella globala dragen och sen med fokus på Sveriges klimat. I kapitlet tas också upp vilken typ av klimatinformation som finns tillgänglig för klimatanpassningsarbetet samt hur den kan användas. Till stöd för kapitlet har en underlagsrapport tagits fram vid SMHI¹.



1 SMHI, 2022. Information om klimatförändringar i Sverige. Rapport Klimatologi nr 64.

4.1 Kunskapsläget kring den globala klimatförändringen

Den senaste IPCC-rapporten om det naturvetenskapliga forskningsläget² kring klimatet och den globala klimatförändringen publicerades sommaren 2021. Den slår fast att den globala klimatförändringen fortgår i snabbt tempo och att den drivs av människans påverkan, främst av våra utsläpp av växthusgaser till atmosfären. Den globala medeltemperaturen ökar och är nu drygt en grad ($+1,1^{\circ}\text{C}$) högre än under slutet av 1800-talet. Med nuvarande ökningstakt i global medeltemperatur nås nivån $+1,5^{\circ}\text{C}$ över förindustriell temperatur inom något decennium och $+2^{\circ}\text{C}$ om ytterligare 20–30 år. Dessa båda temperaturnivåer är angivna som temperaturmål, det vill säga nivåer som ej ska överskridas enligt Parisavtalet³.

Fram till idag är bilden att ökade halter av växthusgaser i atmosfären uppskattas ha bidragit med en uppvärmning på mellan $1,0$ och $2,0^{\circ}\text{C}$, vilket delvis motverkats av ökade partikelhalter till följd av mer luftföroreningar som bidragit med en nedkylning på mellan $0,0$ och $0,8^{\circ}\text{C}$. Övriga faktorer, som inkluderar naturliga processer som ändringar i solinstrålning och vulkanutbrott liksom så kallad intern naturlig variabilitet⁴, är små i sammanhanget – inom $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ respektive $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Den observerade uppvärmningen är inte jämnt fördelad utan skiljer sig mellan olika områden och är större över kontinenterna än över haven. Allra störst är den i Arktis. I takt med att klimatsystemet blivit varmare ökar avdunstningen från mark och vattenytor, med mer nederbörd som följd. Kort sagt har hela det hydrologiska kretsloppet blivit mer intensivt vilket generellt betyder såväl större risk för mer utbredd torka som för intensivare nederbörd. En annan konsekvens av uppvärmningen är att en allt större andel av nederbörden faller som regn istället för snö. Säsongen med snö och is blir kortare och utbredningen av snö, is och glaciärer minskar. Fortsatt stora koldioxidutsläpp innebär också att världshaven blir allt mer försurade med ett pH som idag är det lägsta på två miljoner år. Haven värms också kraftigt vilket tillsammans med minskad volym av landisar och glaciärer lett till en ökning

av den observerade havsnivån från 1901 till 2018 på omkring 20 cm. För de senaste dryga tio åren (2006–2018) är ökningstakten större, $3,7$ mm/år, vilket domineras av bidrag från smältande glaciärer och landisar. Även atmosfärens allmänna cirkulation har påverkats och det är konstaterat att mellanbreddgradernas lågtrycksbanor i medeltal förskjutits något mot polerna på både södra och norra halvklotet.

Kunskapsläget kring klimatförändringen har förbättrats som ett resultat av nya observationer och förlängda observationsserier i ett allt varmare klimat, förbättrade klimatmodeller, fler klimat-scenarier och en omfattande klimatforskning. Ett område där forskningen särskilt gått framåt, i jämförelse med den förra stora kunskapssyntesen⁵ från IPCC, handlar om extremhändelser. I den senaste rapporten visas en ökning av varma extremer, till exempel värmeböljor, för nästan samtliga regioner i världen där tillräcklig mängd klimatdata finns. På motsvarande sätt har kalla extremer minskat för nästan alla landområden, särskilt utpräglat för norra halvklotets mellanbreddgrader. Rapporten pekar också på att dessa förändringar i hög grad kan knytas till människans ökade klimatpåverkan. På liknande sätt syns en ökning i intensiv nederbörd i de regioner där tillräckligt med underlag finns för att göra en bedömning. Även här pekas människans klimatpåverkan ut som orsak, dock med en lägre grad av säkerhet. Också för torka syns en ökning i antalet områden som sett fler torra extremer. Det inkluderar till exempel Väst- och Centraleuropa, Medelhavsområdet, stora delar av Mellanöstern och västra och södra Afrika. Men för torka finns också många geografiska områden där olika studier skiljer sig åt. Även tropiska cykloner har ändrats, där andelen av de mest intensiva cyklonerna har ökat under de senaste 40 åren – liksom graden av kraftig nederbörd de är förknippade med.

En avgörande källa till osäkerhet om framtiden handlar om hur stor den framtida klimatpåverkan blir. Människans klimatpåverkan brukar anges i

2 IPCC, 2021. Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In Press.

3 Regeringens proposition 2016/17:16 Godkännande av klimatavtalet från Paris.

4 Att enstaka år, årtionden eller till och med århundraden är varma/kalla eller blöta/torra jämfört med normalt utan att några yttre drivkrafter i klimatsystemet ändrats.

5 IPCC, 2014. Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC.

termer av strålningsdrivning⁶ och anges i enheten Watt per kvadratmeter (W/m^2) relativt nivån år 1750. År 2019 anges denna till drygt $2,7 \text{ W}/\text{m}^2$, vilket är en ökning med $0,43 \text{ W}/\text{m}^2$ sen 2011 som angavs i den tidigare syntesrapporten från 2013. Ökningen beror till största delen på ökade koncentrationer av växthusgaser, främst koldioxid, men också på en viss minskning i halten av aerosolpartiklar i atmosfären samt en förbättrad förståelse kring hur dessa påverkar klimatet. I ett långsiktigt perspektiv pekar IPCC-rapporterna på ett närapå linjärt samband mellan de över tid ackumulerade utsläppen av koldioxid och ökningen i global medeltemperatur. Då utsläppen är stora idag betyder det att uppvärmningen kommer att fortsätta ett bra tag och det är först när utsläppen är nere på nettonoll⁷ som en inbromsning kan börja. Det här betyder att jordklotet kommer att se en fortsatt global uppvärmning under åtminstone ett par decennier till vilket i sin tur pekar på behovet av klimatanpassning. Hur stor temperaturökningen blir framåt slutet av seklet, är mer oklart och i stor utsträckning beroende av hur arbetet med utsläpps begränsningar går. Centralvärden i IPCC:s bedömningar om hur stor den globala uppvärmningen, jämfört med 1850–1900, kan bli ligger för de fem olika scenarierna som används på omkring $+1,5^\circ\text{C}$ för 2021–2040, mellan $+1,6$ och $2,4^\circ\text{C}$ för 2041–2060 och mellan $1,4$ och $4,4^\circ\text{C}$ för 2081–2100.

Kunskapen om hur klimatsystemet fungerar och svarar på ändrad klimatpåverkan har förbättrats sen senaste kunskapssyntesen från 2013. Den så kallade klimatkänsligheten, som är ett mått på hur mycket den globala medeltemperaturen ökar till följd av fördubblad koldioxidhalt, och efter att ny jämvikt uppnåtts, uppskattas nu till att vara $+3,0^\circ\text{C}$ med ett osäkerhetsintervall mellan $+2,5$ och $+4^\circ\text{C}$. Intervallet har snävats in både vad gäller nedre och övre gräns vilket betyder att säkerheten i klimatprojektioner för framtiden är större än tidigare. Generellt gäller att osäkerheter ökar ju större klimatpåverkan blir och ju längre från dagens situation jordens klimat hamnar i. Frågetecken finns till exempel kring i vilken utsträckning hav- och landbaserade kolsänkor kan fortsätta ta upp koldioxid från atmosfären vid ytterligare uppvärmning. Historiskt har drygt hälften (56 procent) av den koldioxid som människan tillfört atmosfären tagits upp i hav och mark, resten har bidragit till ökad atmosfärshalt. I scenarier med ökande utsläpp och högre grad av uppvärmning väntas dessa kol-

sänkor bli mindre effektiva i att motverka ökningen i atmosfärens koldioxidhalt. Ett annat frågetecken handlar om huruvida de stora mängder metan som finns infruset i permafrostområden kan frigöras vid ytterligare uppvärmning och därigenom ytterligare kraftigt förstärka växthuseffekten.

Vid fortsatt framtida global uppvärmning fortsätter förändringarna som beskrivits ovan. Graden av förändring styrs av den globala uppvärmningsnivån. Effekterna av en fortsatt global uppvärmning påverkar både samhälle och naturmiljö. I IPCC:s 1,5-gradersrapport⁸ jämförs effekter vid $+1,5^\circ\text{C}$ respektive $+2,0^\circ\text{C}$ över förindustriell tid. Slutsatserna är tydliga, effekterna är stora, övervägande negativa och ökande med ökande global medeltemperatur. Sårbara ekosystem, som till exempel många av världens korallrev, utpekas som extra känsliga. Men även kalla regioner med stora förändringar i snö och is pekas ut som extra sårbara⁹. Påverkan på samhällen innefattar både ökade risker kring översvämningar och värmeböljor och problem med torka med inverkan på vattenförsörjning, påverkan på livsmedelsproduktion¹⁰ och ökad risk för skogsbränder. Även andra klimatrelaterade risker som är kopplade till hälsa, försörjningsförmåga och ekonomisk tillväxt, ökar med ökande global medeltemperatur. Även naturliga ekosystem påverkas kraftigt och den globala uppvärmningen bidrar till förlust av biologisk mångfald¹¹. Detta kan i sin tur leda till sämre möjligheter till uttag av ekosystemtjänster. Det framgår tydligt att de klimatrelaterade riskerna ökar med ökande grad av global uppvärmning och hur snabbt den går. För samma temperaturnivå vid slutet av seklet, till exempel $+1,5^\circ\text{C}$, är riskerna högre om temperaturnivån först överskrider jämfört med om det sker en gradvis stabilisering till nivån utan överskridande. Det är också klart att riskerna beror på geografiskt område, grad av sårbarhet och utveckling, samt i vilken grad klimatanpassningsåtgärder implementerats.

Det står klart att den globala havsnivån kommer fortsätta stiga under 2000-talet. Hur mycket beror till stor del på framtida klimatpåverkan. I de lindrigaste scenarierna med låga utsläpp av växthusgaser (SSP1-1,9¹²) väntas höjningen till 2100 relativt medelnivån under 1995–2014 ligga i intervallet¹³ $0,28$ – $0,55 \text{ m}$. I scenariet med högst utsläpp (SSP5-8,5) är motsvarande siffror $0,63$ – $1,01 \text{ m}$. Höjningarna fortsätter med tid och intervallet som anges för SSP1-1,9 år 2150 är $0,37$ – $0,86$ och

6 På engelska "radiative forcing".

7 Nettonoll innebär att eventuella utsläpp av växthusgaser till atmosfären kompenseras med motsvarande stora sänkningar där koldioxid tas bort från atmosfären, till exempel via ökad mängd biomassa eller annan koldioxidinfångning.

8 SMHI, 2019. FN:s klimatpanel – sammanfattning för beslutsfattare. Global uppvärmning på $1,5^\circ\text{C}$. Rapport Klimatologi nr 53.

9 SMHI, 2020. FN:s klimatpanel IPCC – sammanfattning för beslutsfattare. Specialrapport om havet och kryosfären i ett förändrat klimat. Rapport Klimatologi nr 58.

10 SMHI, 2020. FN:s klimatpanel IPCC – sammanfattning för beslutsfattare. Specialrapport om klimatförändringar och marken. Rapport Klimatologi nr 57.

11 Bergström, L., m.fl., 2020. Klimatförändringar och biologisk mångfald – slutsatser från IPCC och IPBES i ett svenskt perspektiv. Rapport Klimatologi nr 56. SMHI och Naturvårdsverket.

12 SSP står för "Shared Socioeconomic Pathways". Siffran 1,9 är graden av klimatpåverkan (W/m^2) år 2100.

13 Enligt bedömningen är det 66 % sannolikhet att siffran ligger inom detta intervall och 16% sannolikhet för över- respektive underskridande.

för SSP5-8,5 0,98-1,88 m. Högre nivåer kan inte uteslutas. I SSP5-8,5 kan det handla om nivåer som närmar sig 2 m för 2100 och 5 m vid 2150. Havsnivåerna förväntas fortsätta stiga under flera århundraden till årtusenden och IPCC:s bedömning pekar på 2–3 m under de närmaste 2000 åren om den globala uppvärmningen begränsas till 1,5 °C eller 2–6 m för begränsning till 2 °C och 19–22 m vid 5 °C. Kustöversvämningar som historiskt sett varit ovanliga (en gång per århundrade) beräknas inträffa oftare (en gång per år) redan 2050 för alla scenarier på många platser globalt.

Även om kunskapsläget är gott och effekterna av en fortsatt global uppvärmning är väl kartlagda finns förstås fortfarande osäkerheter kring exakt vad som kan förväntas. De viktigaste källorna till osäkerheter handlar om klimatkänsligheten, graden av framtida klimatpåverkan och hur stor den interna naturliga variabiliteten i klimatsystemet är. I listan här nedan tas upp ett par viktiga områden med potentiellt stor inverkan på Sveriges klimat och därmed klimatanpassningsarbete där det finns grundläggande osäkerheter:

- **Vad händer med Golfströmmen?** Klimat-scenarierna pekar på en minskad intensitet i den så kallade termohalina cirkulationen till vilken Golfströmmen hör, under 2000-talet men det är osäkert hur stor minskningen kan bli. En total kollaps bedöms av IPCC som osannolik före 2100 men skulle, om den inträffade, få konsekvenser för atmosfärens cirkulationsmönster såväl som för nederbörds klimatet i stora områden. För Europas del skulle detta innebära torrare förhållanden.
- **Hur kan ändringar i is- och snöförhållanden i Arktis eventuellt påverka klimatet på lägre latituder?** Uppvärmningen är som allra snabbast i Arktis vilket betyder att nord-sydliga temperaturkontraster minskar i takt med den globala uppvärmningen. En hypotes som lyfts fram handlar om att detta skulle kunna ge upphov till ett mer ”vågigt” cirkulationsmönster i atmosfären med påverkan också på lägre breddgrader. IPCC:s bedömning är att det råder oklarhet både kring den här typen av mekanismer, i vilken grad detta kan ha påverkat det historiska klimatet och hur en eventuell framtida påverkan kan se ut.

- **Hur kan frekvens och intensitet hos högtrycksblockeringar ändras i ett varmare klimat?**

Högtrycksblockeringar utgör relativt stationära väderlägen som förknippas både med mycket nederbörd där lågtrycken drar fram, och med torrt väder där högtryckssituationer råder. Dagens globala klimatmodeller har blivit bättre på att representera blockeringssituationer men problem kvarstår både när det gäller intensitet, frekvens och varaktighet vilka samtliga har betydelse för hur pass extrema väderförhållanden en blockeringssituation ger upphov till.

- **Hur mycket kraftigare blir framtida skyfall?**

Dagens klimatmodeller har relativt grov upplösning¹⁴ och har problem att representera nederbörd i samband med regn- och åskskurar. Med mer högupplösta, så kallade konvektions-tillåtande¹⁵ modeller blir simulerad nederbörd mer realistisk vad gäller intensitet och även variationer över dygnet. En del forskningsresultat pekar på att sådana mer högupplösta modeller under vissa förutsättningar ger större intensitetsökningar i ett framtida varmare klimat jämfört med dagens mer standardmässiga klimatmodeller. I dagsläget är dock underlaget för begränsat för att göra en mer komplett syntes.

14 I dagens högupplösta regionala klimatmodeller som t. ex. används i SMHI:s klimatscenariotjänst har beräkningsgriddet en upplösning om 12,5x12,5 km.

15 Med ett beräkningsgrid finare än 4x4 km, vilket gör att modellen på ett explicit sätt kan räkna på kraftiga konvektiva bymoln och den nederbörd de genererar.

4.2 Sveriges klimat i förändring

I det här delkapitlet tas kortfattat upp något om klimatutvecklingen längre tillbaka i tiden följt av en beskrivning av klimatförändringar under den tid för vilken observationer finns att tillgå. Kapitlet avslutas med en blick in i framtiden för ett antal olika scenarier vid olika tidpunkter. Texten bygger på SMHI:s underlagsrapport till Nationella expertrådet för klimatanpassning¹⁶, där ytterligare referenser kan hittas.

4.2.1 Hur har Sveriges klimat varierat över långa tidsskalor?

På mycket långa tidsskalor har Sveriges klimat styrts av istidscyklerna. Under de senaste 10 000 åren, Holocen, har klimatet varit relativt stabilt men ändå med viss variabilitet. I ett längre perspektiv har Holocen präglats av en värmeperiod för omkring 6 000 år sedan. Därefter har följt en långvarig avkylning som i nordvästra Europa kulminerade under 1600-talet i den så kallade Lilla istiden varefter det var fortsatt kallt fram till slutet av 1800-talet. Den mångtusenåriga nedkylningen har inte varit obruten eller utan variationer. Ett av avbrotten i den långvariga nedkylningen var den Medeltida värmeperioden som i Sverige inföll för omkring 1 000 år sedan och var ungefär lika varm som det tidiga 1900-talet. På motsvarande sätt har det också förekommit variationer i det hydroklimatiska förloppet med omväxlande blötare eller torrare förhållanden. Drivkrafter bakom de här långsiktiga trenderna och avbrotten involverar långsiktiga ändringar i jordbanans form och jordaxelns lutning, ändrad solaktivitet och större vulkanutbrott, vilka samtliga är exempel på externa faktorer som påverkar klimatsystemet. I tillägg till detta finns också en intern naturlig variabilitet som kan ge upphov till stora kontraster mellan år, årtionden och till och med århundraden.

Ur ett klimatanpassningsperspektiv är det klart att Sveriges befolkning i alla tider haft att förhålla sig till ett klimat som uppvisat variationer och förändringar med tid. Människor har alltid varit tvungna att anpassa sig till klimatförändringar¹⁷.

Detta är av intresse för dagens klimatanpassning då det visar sig att politiska, ekonomiska och andra mänskliga beslut förstärkte eller mildrade klimatförändringars inverkan på samhällen i historisk tid¹⁸. Ur ett klimatologiskt perspektiv är det högst relevant att kartlägga och förstå variabilitet och förändringar av klimatet under det senaste århundradet eller längre för att kunna identifiera trender över tid kopplat till dagens klimat och klimatscenarier för framtiden. Särskilt gäller detta ovanliga, extrema, händelser.

4.2.2 Hur har Sveriges klimat varierat sen förindustriell tid?

Sen slutet av 1800-talet har Sverige sett en kraftig uppvärmning. Ökningen i medeltemperatur mellan 1860–1900 och 1991–2019 var till exempel 1,7°C vilket är ungefär dubbelt så stor som motsvarande ökning av den globala medeltemperaturen. För samma period har nederbörden ökat med ungefär 20 procent, även om det finns osäkerheter i observationerna (se vidare kap. 4.3). För de senaste 50 åren har uppvärmningen i Sverige varit extra tydlig.

Ett antal klimatindikatorer¹⁹ används av SMHI för att följa upp klimatets utveckling och de visar bland annat på att det för 1991–2020 jämfört med 1961–1990 i medeltal varit:

- Högre medeltemperatur för alla säsonger, mest under vår (+1,2°C) och vinter (+1,8°C), minst under sommar (+0,8°C) och höst (+0,7°C).
- En längre vegetationsperiod²⁰. Skillnaderna är ungefär två veckor i södra delarna av landet och tio dagar i norr. Största förändringen har inträffat på våren.
- En kortare säsong med snö på marken med undantag av Norra Norrland. I Svealand och Götaland handlar det om närmare en månad kortare snösäsong.

¹⁶ SMHI, 2022. Information om klimatförändringar i Sverige. Rapport Klimatologi nr 64/2022.

¹⁷ Degroot, D., 2018. Climate change and society in the 15th to 18th centuries. WIREs Climate Change 2018; 9:e518.

¹⁸ Ibid.

¹⁹ <http://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer>

²⁰ Antal dagar då dygnsmedeltemperaturen överstiger +5°C vilket betyder ungefär 5–6 månader i medeltal för Götaland och Svealand och 6–7 månader i medeltal för Norrland.

- En minskning av vinterns största snödjup, framför allt i Götaland men också i Svealand. I Norrland går det inte att se någon långsiktig trend.
- Minskning av havsisens största utbredning i Östersjön till ungefär två tredjedelar.
- Ökning av årsnederbörden med i medeltal cirka 8 procent.

Notera att många av klimatindikatorerna visar på en pågående trend och att förändringarna i nuläget (2021) är större än vad jämförelsen mellan medelvärdena för 1860–1900 och 1991–2020 indikerar.

Också beträffande havsnivån kan den globala ökningen observeras utmed svenska kuster. I en linje ungefär norr om Göteborg-Norrköping är dock landhöjningen större än havsnivåhöjningen. En reell havsnivåhöjning sker således enbart söder om denna linje.

Kunskapsläget är inte lika klart när det gäller förändringar av förekomst av olika typer av extremhändelser. Ett generellt problem i sammanhanget ligger i extremhändelsernas natur då de är ovanliga och därför inte observeras särskilt ofta. Det leder till svårigheter att identifiera eventuella trender och skillnader över tid. En SMHI-rapport²¹ om extremhändelser från 2019 sammanfattar följande kring historiska trender i extremer för Sverige:

- Extremer med hög lufttemperatur har ökat,
- köldperioder har blivit mindre vanliga och mindre intensiva,
- det går inte att urskilja några trender i extrem korttidsnederbörd, det vill säga på dygnsbasis eller för högre tidsupplösning,
- höga flöden med 100 och 200 års återkomsttid ökar generellt i Sveriges vattendrag med undantag för områden som domineras av snösmältning,
- oklart kring trender i torka,
- det saknas data för att kunna säga något om trender i lokala extremer i samband med konvektiva moln, till exempel hagel, åska eller tromber,
- det finns inget stöd i observationer för trender i kraftiga vindar och stormar, däremot finns en variabilitet på decennieskala.

Liksom för tidigare historiska perioder finns flera orsaker bakom de observerade förändringarna under de senaste 150 åren. Även om inga formella studier gjorts för att tillskriva förändringarna någon särskild påverkansfaktor specifikt för Sverige

kan till exempel konstateras att temperaturökningen på europeisk skala under tidiga delen av 1900-talet drevs av en kombination av ökade halter av växthusgaser och intern naturlig variabilitet, men att även ändrade halter av aerosolpartiklar hade en viss påverkan på klimatets utveckling. Under det senaste halvsekle har fortsatt kraftig ökning av halterna av växthusgaser drivit utvecklingen vidare. Sedan omkring 1990 har också minskade halter av luftföroreningar och aerosolpartiklar bidragit till ökade temperaturer över Europa. Hur stor inverkan det haft för Sveriges klimat är inte klarlagt.

Sveriges klimat präglas i hög grad av den storskaliga atmosfärscirkulationen. Under vintrar med utpräglade västvindar är klimatet mildt och relativt fuktigt medan det under högtrycksdominerade situationer kan vara betydligt mer snörikt och kallt. Motsvarande på sommarhalvåret är varma högtrycksdominerade situationer, respektive kallare lågtrycksdominerade regniga situationer med sval luft som förs in från Nordatlanten. Det är väl känt att skillnader mellan år eller årtionden i stor utsträckning kan präglas av den här typen av variabilitet. Skillnader mellan storskalig atmosfärscirkulation kan dock bara förklara en del av skillnaden mellan årtionden. Det betyder att, oavsett om väderläget präglats av situationer med milda vindar från Atlanten eller av sträng vinterkyla eller hög sommarvärme i samband med högtryckssituationer, kan uppvärmning konstateras²².

4.2.3 Vad kan hända med Sveriges klimat i framtiden?

Klimatscenarier för framtiden pekar på en fortsatt uppvärmning av klimatet i Sverige. Hur stor uppvärmningen blir, och vilka effekterna blir på klimatet i övrigt, beror på tidshorisont, grad av mänsklig klimatpåverkan, klimatsystemets känslighet samt intern naturlig variabilitet som periodvis kan förstärka eller försvaga långsiktiga trender. Alla dessa faktorer påverkar vad som händer och vad man behöver ta hänsyn till.

Klimatförändringar är inte jämnt fördelade i tid och rum. Projektioner för framtida klimat visar på kraftigare uppvärmning under vinterhalvåret i samband med att förekomst av snö och is minskar i omfattning. Förändringarna i temperaturklimatet väntas därför vara större i norra än i södra Sverige. Förändringarna väntas också vara större för kalla vinterdagar än för relativt milda vinterdagar. En konsekvens av detta är att variabiliteten mellan dagar förväntas minska under vintern. I gräns-

21 SMHI, 2019. Climate extremes for Sweden. https://doi.org/10.17200/Climate_Extremes_Sweden

22 SMHI, 2021. Betydelsen av storskalig atmosfärisk cirkulation för Sveriges temperatur- och nederbörds-klimat. En jämförelse av normalperioder. Rapport Klimatologi nr 61.

området mellan områden med utpräglat "vinterklimat" i Norrlands och Svealands inland och mer mildt klimat i kustlandet, eller längre söderut, framträder också tydliga signaler i flera temperaturbaserade klimatindikatorer. En sådan indikator är antal dagar med nollgenomgångar²³ som väntas öka i Norrland under vintern men minska i de södra delarna av landet. I vissa avseenden är det alltså i områden som idag ligger i gränsområdet för utpräglat vinterklimat som förändringarna i temperaturklimatet väntas bli som mest märkbara. Även under sommarhalvåret väntas temperaturen öka i hela landet men med jämnare fördelning mellan norr och söder. För vissa indikatorer som till exempel vegetationsperiodens längd väntas dock förändringarna bli större i de sydligaste delarna av landet, och då särskilt i kustnära områden.

Generellt pekar klimatprojektionerna på mer nederbörd över hela landet. Men det finns säsongsvisa och geografiska skillnader. På vintern väntas nederbörden öka överallt men på sommaren är det främst i norr som ökningen är tydlig. I södra Sverige är ändringen liten jämfört med de naturliga variationerna. En tydlig klimatförändringssignal är att en större andel av nederbörden väntas falla som regn istället för snö. Utöver nederbörden styrs tillgång till vatten i marken också av avdunstningen. En varmare atmosfär ger mer avdunstning och därmed större sannolikhet för torrare förhållanden. Den effektiva nederbörden, det vill säga nederbörden minus avdunstningen, används ibland som ett mått på om det förväntas bli torrare eller blötare. Scenarierna pekar på att den effektiva nederbörden ökar, framför allt i norra Sverige och på vintern. På sommaren är det mer osäkert, och då särskilt i södra Sverige. Vid högre uppvärmningsnivåer ökar sannolikheten att den effektiva nederbörden minskar i söder. Under flera årstider finns också tendenser till ökad variabilitet och alltså större kontraster mellan blöta och torra år eller episoder.

Förväntade förändringar i extremhändelser:

- Maximitemperaturer förväntas öka i ungefär samma omfattning som medeltemperatur.
- Värmeböljor väntas bli intensivare, vanligare och längre.
- Minimitemperaturer på vintern väntas öka mycket kraftigare än medeltemperaturen.
- Köldknäppar blir mindre intensiva, mindre vanliga och kortare.
- Nederbördsextremer förväntas öka i intensitet på olika tidsskalor, både på daglig basis – till exempel i samband med lågtryckspassager och fronter – och i samband med kortvarig nederbörd från enstaka bymoln.
- Höga flöden i vattendrag som präglas av snösmältning väntas i många fall minska då vårflo den minskar i omfattning och infaller tidigare. I andra vattendrag som är mer styrda av regn förväntas istället en ökning.
- Förhållanden med meteorologisk torka förväntas generellt minska i Sverige. I södra Sverige kan dock vattentillgången och markfuktigheten komma att minska – huvudsakligen till följd av högre temperaturer och därmed kraftigare avdunstning.
- Förväntade förändringar i vindextremer är små.

Förändringar i havsnivåer i Sverige skiljer sig delvis från de globala medelvärdena ovan. Det beror på att dels påverkas Sverige av landhöjningen enligt ovan, dels av närheten till Grönland som vid avsmältning bidrar till lägre regional havsnivåhöjning genom gravitationseffekter. För framtiden är förändringarna starkt beroende av i vilken grad människans påverkan på klimatet minskas. Tillfälliga kustöversvämningar beräknas bli allt vanligare i södra Sverige där effekterna av havsnivåhöjningen inte kompenseras av landhöjningen. I norra Sverige beräknas de istället bli ovanligare till följd av att landhöjningen fortsätter dominera. Den djupa osäkerheten som finns kring framtida havsnivåförändringar medför att det med scenariot som har störst ökning av växthusgaskoncentrationer i IPCC:s senaste rapport (SSP5-8.5) inte går att utesluta att landhöjningen inte räcker till för att kompensera havsnivåhöjningen någonstans längs Sveriges kuster.

23 En dag då maximitemperaturen ligger över och minimitemperaturen under 0°C.

4.3 Behov av nationellt underlag med klimatinformation

Dagens samhälle och naturmiljö är i olika grad anpassade till rådande eller till tidigare klimatförhållanden.

Klimatets framtida utveckling behöver, beroende på olika givna utsläppsscenarier, kvantifieras eftersom det styrs av såväl det globala arbetet med utsläppsminskningar, som av faktorer som naturlig variabilitet och osäkerhet kring vissa processer som styr klimatet.

Klimatanpassning handlar således om att möta den pågående gradvisa förändringen av klimatet, med hänsyn till att vi går mot en osäker framtid där vi har kunskap om de förändringar som redan har skett och där vi med hjälp av klimatscenarier kan förutse trender för fortsatta förändringar.

Utifrån lokala behov behöver åtgärder genomföras med hänsyn till det spann av långsiktiga förändringar vi står inför i takt med den globala uppvärmningen. Användning av klimatinformation som underlag för klimatanpassning diskuteras mer i kapitel 9: Tillgång och behov av planeringsunderlag, vägledning och varningssystem.

En utgångspunkt är att klimatinformation med relevant geografisk och tidsmässig upplösning krävs för analyser av hur dagens och framtidens klimat kan påverka risker och sårbarheter inom olika delar av samhället och för naturmiljön. Klimatanpassning, som oftast utgår från lokala behov, kräver alltså i någon mån tillgång till detaljerad information kring klimatets variabilitet och långsiktiga förändring i takt med den globala uppvärmningen anpassad till lokala förhållanden.

4.3.1 Information om Sveriges historiska klimat och om dagens väderhändelser

På nationell basis pågår arbete med att förbättra informationen om klimatets historiska variabilitet, bland annat inom ramen för SMHI:s basverksamhet och inom olika forskningsprojekt vid SMHI och vid flera svenska universitet. SMHI har också genomfört ett antal regeringsuppdrag med bäring på till exempel havsnivåhöjning²⁴, dricksvatten²⁵ och skyfallsproblematik²⁶. Metodutveckling, datainsamling, kvalitetskontroll och utbyte sker också inom ramen för en rad olika internationella samarbeten. Nya data samlas kontinuerligt in vid SMHI:s olika mark- och havsbaserade mätstationer samt från fjärranalysinstrument på vädersatelliter och radarstationer. Data som kan ha intresse för klimatanpassningsarbetet samlas också in av en rad andra aktörer. Hit hör till exempel många kommuner som detaljerat följer upp lokal nederbörd, vindkraftssektorn som kartlägger vindförhållanden i och omkring vindkraftsparker och vattenkraftsindustrin som följer upp snömängden i anslutning till sina magasin. Det kan också handla om insamling av data från solpaneler kring solinstrålning och molnförhållanden.

Uppföljning och kartläggning av klimatets variabilitet sker vid SMHI dels genom uppföljning av ett antal klimatindikatorer som är baserade på insamlade data från ett antal stationer utspridda över Sverige, dels genom månads- och säsongsvisa återblickar på förhållanden rörande väder och vatten²⁷. Utöver det mer rutinmässiga uppföljningsarbetet arbetas också med att förlänga tidsserier bakåt i tiden vilket kräver både digitalisering av gammalt arkivmaterial och så kallad homogenisering. Det betyder att observationer ska vara jämförbara över tid och att minimera

24 SMH, 2017. Framtida havsnivåer i Sverige. SMHI Rapport Klimatologi nr 48.

25 SMHI, 2020. Ökad kunskap om vattenuttag i Sverige. Rapportering av regeringsuppdrag. Rapport Hydrologi nr 126.

26 SMHI, 2015. Skyfallsuppdraget ett regeringsuppdrag till SMHI. Rapport Klimatologi nr 37.

27 <http://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/manadens-vader-och-vatten-sverige>

påverkan från annat som inte har med klimatet att göra, till exempel instrumentbyten eller flytt av observationsstationer eller ändringar i förhållanden i dess närmaste omgivning. Av flera skäl är det viktigt med långa tidsserier. Det handlar dels om uppföljningen av hur klimatet förändras med tid, dels om att kartlägga variabilitet på olika tidsskalor och dels om att fånga olika typer av extremer vilka till sin natur uppträder sällan.

Klimatindikatorerna är framtagna för att representera hela eller delar av Sverige. Det är dock viktigt att komma ihåg att de baseras på observationsdata från ett fåtal stationer och att de därför inte nödvändigtvis är representativa för lokala förhållanden. I vissa fall är ingående observationsnät glesa och information från områden med stor känslighet för förändringar kan saknas. Metoder för att ta fram yttäckande data för hela Sverige involverar såväl enklare medelvärdesbildning och interpolationsmetoder som mer avancerade tekniker. Sådana är till exempel återanalyser, där observationer och fjärranalysdata körs igenom det inledande analyssteget i en väderprognosmodell för att ta fram tredimensionella lägesbilder för flera tidpunkter varje dygn under flera decennier. I SMHI:s senaste referensdataset GridClim²⁸, som används i den nya tjänsten för framtida klimatscenarioer, har en kombination av regional återanalys för Europa på 11 x 11 km horisontell upplösning och optimal interpolation av över 900 stationer för temperatur och 2 000 stationer för nederbörd använts för att generera dagliga data för hela Sverige på 2,5 x 2,5 km upplösning.

Ett förbättrat underlag för klimatanpassning, baserat på klimatinformation och indikatorer kring Sveriges historiska och aktuella klimat, skulle underlättas av:

Ökad tillgänglighet av geografiskt representativa klimatindikatorer genom att:

- De nationella observationsbaserade klimatindikatorerna jämförs med motsvarande information från mer heltäckande data-set som till exempel SMHI:s nya referensdata GridClim. Detta för att dels utvärdera hur väl klimatindikatorn representerar utvecklingen för Sverige som helhet, dels för att kunna relatera lokal klimatutveckling till den nationella klimatindikatorn. Det senare är av vikt när lokala observationsserier inte finns tillgängliga eller bara täcker upp en kortare tidsperiod. GridClim bör också utökas till att gälla fler relevanta variabler vilket innebär fortsatt metodutveckling. GridClim bör också underhållas och successivt användas för att följa upp klimatets utveckling med nya data vartefter de samlas in.

Ökad kunskap om och tillgänglighet till klimatdata genom att:

- En heltäckande beskrivning över vilka typer av klimatdata som finns och vilka möjligheter som finns att eventuellt utöka datamaterialet tas fram. SMHI har ett omfattande datamaterial som för närvarande bara delvis är tillgängligt för det nationella klimatanpassningsarbetet. Även andra aktörer samlar in data som skulle kunna vara användbara. Genom att tydliggöra att dessa data finns och i vilken mån de skulle kunna göras tillgängliga kan man göra riktade satsningar mot insamling, sammanställning, digitalisering och homogenisering.

Ökad kunskap om och tillgänglighet till analys av extremväder genom att:

- Ta fram detaljerade extremvärdesanalyser för att underlätta för en användare som behöver ta fram sannolikheter för olika väder- och klimat-händelser till sin riskanalys.
- Upprätta databaser där tidigare väder- och klimathändelser enkelt kan identifieras och analyseras på ett systematiskt sätt. Sökbarehet på tid och plats samt typ av händelse, hur pass extrem den var bör ingå. Om möjligt kan databasen kompletteras med information om effekter på samhället.

4.3.2 Information om Sveriges framtida klimat

För framtida klimatförhållanden används olika typer av klimatmodeller där produktionen av såväl globala som mer detaljerade regionala klimatscenarioer sker inom ramen för internationell samverkan inom främst CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) och CORDEX (Co-ordinated Regional climate Downscaling EXperiment). Scenarier från CMIP och CORDEX har en mycket bred användning och ligger till grund för många av de forskningsstudier om framtida klimat som IPCC-rapporterna går igenom. Sveriges bidrag till produktion av globala klimatscenarioer inom CMIP koordineras vid SMHI och involverar även ett par lärosäten. SMHI är också en viktig aktör i det internationella CORDEX-arbetet och har nyligen lett en större satsning på produktionen av högupplösta regionala CORDEX-scenarier på Europeanivå inom Copernicus-samarbetet²⁹.

Svenskt klimatanpassningsarbete är avhängigt att det finns en internationell samverkan kring klimatmodellering och att det produceras klimatscenarioer. Genom olika forskningsprojekt som bidragit till CMIP och CORDEX har Sverige bidragit

28 SMHI, 2021. SMHI Gridded climatology. Report Meteorology and Climatology No. 118.

29 <https://climate.copernicus.eu/worldwide-regional-climate-projections-now-available-through-c3s>

till den produktionen och på så sätt också stöttat andra länder i deras klimatanpassningsarbete. Arbetet inom CMIP och CORDEX har också inneburit att Sverige har spetskompetens inom klimatmodellering vilken kommer till nytta också för att tillgängliggöra och tolka klimatscenarioer i klimatanpassningsarbetet. Informationen om framtida klimat i Sverige från klimatscenarioer har i ett par omgångar ställts samman vid SMHI och presenterats via någon form av webbaserad tjänst³⁰. Detta diskuteras mer i detalj i kapitel 9: Tillgång och behov av planeringsunderlag, vägledningar och varningssystem.

Nästa generations regionala klimatmodeller är under utveckling och kan nu, med en väsentligt högre upplösning jämfört med hittillsvarande CORDEX-scenarioer, betydligt bättre representera viktiga atmosfärsprocesser. Dessa modeller är mycket bättre på att simulera regnskuror och skyfall och har också visats delvis ändra resultaten vad gäller framtida klimatförändring då de visar på en kraftigare ökning i skyfallens intensitet. Andra processer och variabler där dessa modeller förväntas ge ett mervärde handlar till exempel om åska och hagel, och om vindextremer. Beräkningsbehovet är dock väsentligt större och Nationella expertrådet för klimatanpassning ser därför ett stort behov av förstärkta beräkningsresurser och lagring för framtiden.

Ett förbättrat underlag för att möta samhällets ökande krav på detaljerad information om Sveriges framtida klimat skulle underlättas av:

Framtagande och tillhandahållande av nationella klimatscenarioer så att samtliga aktörer, till exempel kommuner, länsstyrelser, vattenmyndigheter och sektorsansvariga myndigheter, arbetar utifrån enhetlig, vetenskapligt uppdaterad information om framtida klimat med hög rumslig och tidsmässig upplösning:

- För att kunna göra detta finns ett behov av infrastrukturessatser för att säkerställa att globala och regionala klimatscenarioer kan produceras, lagras och distribueras. Det krävs en långsiktig satsning på vidareutveckling av klimatmodeller så att de bättre representerar relevanta klimatprocesser och så att modellerna mer effektivt kan utnyttja erforderliga beräkningsresurser. Det innebär också att tillräckliga beräkningsresurser finns tillgängliga, liksom personal som kan sätta upp och köra klimatmodellerna, kvalitetskontrollera resultat, efterbehandla och lagra resultat samt publicera resultatdata via det internationella ESGF-nätverket (Earth System Grid Federation), bedriva forskning och analys samt kommunicera resultaten till olika klimatanpassningsaktörer via webb-tjänster och genom dialog med användare.

Framtagande och tillhandahållande av klimat-scenarioer som baseras på utsläppsscenarioer som svarar mot den förda klimatpolitiken:

- Klimatscenarioer baserade på utsläppsscenarioer som svarar mot den förda klimatpolitiken kan utgöra grund för ökad förståelsen för hur politiken kring minskade utsläpp av växthusgaser kan komma att påverka behovet av klimatanpassning.

Framtagande och tillhandahållande av relevanta klimatindikatorer och analysera extremväder för framtida klimat:

- Resurser behöver säkerställas för att identifiera behov av klimatindikatorer, bedriva metodutveckling och ta fram analyser för relevanta klimatindikatorer och för genomförande av extremvärdesanalys för väder- och klimat-händelser i likhet med det som görs för det historiska materialet, med vilket framtids-scenarierna behöver jämföras.

4.4 Prioritering av åtgärder – klimatinformation för klimatanpassning

Risk	Åtgärd: Ny kunskap, informativ (utöka nuvarande åtgärder)
Samtliga klimatrisker som representeras av klimatindikatorer	Vad: Förbättra underlag för klimatanpassning baserat på klimatinformation och indikatorer om historiskt och nuvarande klimat. Varför: För att öka potentialen av användning av nationella klimatindikatorer lokalt krävs mer kunskap kring hur lokal klimattutveckling kan relateras till nationella klimatindikatorer. Hur: Regeringen bör ge lämplig myndighet, t.ex. SMHI, i uppdrag att jämföra de nationella observationsbaserade klimatindikatorerna med motsvarande information från mer heltäckande data-set, som till exempel SMHI:s nya referensdata GridClim. Utifrån resultatet av denna jämförelse bör sedan förbättrade kunskapsunderlag för klimatanpassningsarbetet tas fram och spridas.
Risk	Åtgärd: Ny kunskap, informativ (utöka nuvarande åtgärder)
Samtliga klimatrisker	Vad: Samla och öka tillgänglighet till klimatdata från observationer Varför: SMHI har ett omfattande datamaterial som för närvarande bara delvis är tillgängligt för det nationella klimatanpassningsarbetet. Även andra aktörer samlar in data som skulle kunna vara användbara. Hur: Regeringen bör ge lämplig myndighet, t.ex. SMHI, i uppdrag och finansiering att ta fram och tillgängliggöra en heltäckande beskrivning över vilka typer av klimatdata som finns och vilka möjligheter som finns att eventuellt utöka datamaterialet. Myndigheten bör även få i uppdrag att genomföra en riktad satsning på insamling, digitalisering och homogenisering av tillgänglig information.
Risk	Åtgärd: Ny kunskap, informativ (utöka nuvarande åtgärder)
Samtliga klimatrisker orsakade av extremväder	Vad: Öka kunskap om och tillgänglighet till data och analyser av extrema väder- och klimathändelser. Varför: Klimatanpassning underlättas i många fall av tillgång till riskanalyser som bygger på uppskattningar av olika händelsers sannolikhet i ett framtida klimat. Ofta krävs dessutom kopplingar mellan sannolikhet för extremväder och effekter av dessa väderhändelser på samhället och naturmiljön. Hur: Regeringen bör ge lämplig myndighet, t.ex. SMHI, i uppdrag att, i samverkan med relevanta nationella myndigheter, ta fram detaljerade analyser av extrema väder- och klimathändelser för ett klimat i förändring. Detta kommer att underlätta för användare som behöver ta fram sannolikheter för olika väder- och klimathändelser till sin riskanalys. Uppdraget bör inkludera att komplettera databasen med information om effekter på samhället och naturmiljön.

Risk	Åtgärd: Ny kunskap, informativ (utöka nuvarande åtgärder)
Samtliga klimatrisker utifrån olika framtids-scenarier	Vad: Ökad kunskap kring vilka klimatförändringar som kan förväntas i Sverige givet olika framtida utvecklingar. Varför: Kunskap om vilka klimatförändringar som kan förväntas i Sverige behövs så att alla relevanta aktörer kan bedriva klimatanpassningsarbete utifrån ett enhetligt, vetenskapligt baserat, uppdaterat underlag kring framtida klimat med hög rumslig- och tidsmässig upplösning. En del i detta handlar om hur klimatscenarier svarar mot den förda klimatpolitiken kring minskade utsläpp av växthusgaser, dvs hur klimatpolitiken kan påverka behovet av klimatanpassning. Hur: Regeringen bör ge lämplig myndighet i uppdrag att, i samverkan med andra relevanta myndigheter/aktörer, ta fram utsläppsscenarioer, göra beräkningar och tillhandahålla nationella klimatscenarier för Sverige.

Risk	Åtgärd: Ny kunskap, informativ (utöka nuvarande åtgärder)
Samtliga klimatrisker	Vad: Säkerställ tillgång till relevanta klimatindikatorer. Varför: Tillgång till klimatindikatorer för framtida klimat ökar möjligheten till att ta fram relevanta klimatanpassningsåtgärder, speciellt om de anpassas specifikt för olika sektors behov. Hur: Regeringen bör ge lämpliga myndigheter i uppdrag att identifiera behov av och ta fram analyser för relevanta klimatindikatorer i likhet med det som görs för det historiska materialet, med vilket framtidsscenarioerna behöver jämföras.