



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap

Forskning

Säkert och osäkert i klimatscenarierna



HazardSupport

Tidsperiod: 2015-2020

Utförare: SMHI

Ansvarig: forskare/författare Gustav Strandberg

Kort sammanfattning Denna rapport beskriver osäkerheter som är förknippade med klimatscenarier, till exempel inom klimatanpassningsarbetet. Rapporten beskriver osäkerheterna, men också varför de finns och hur de går att hantera. Rapporten beskriver också en del av det som är säkert i vår kunskap om framtidens klimat.

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)
MSB:s Kontaktpersoner: Ulrika Postgård, 010-240 50 33

Foto omslag: Gustav Strandberg
Tryck: DanagårdLiTHO

Publ. nr: MSB1677 december 2020
ISBN: 978-91-7927-092-6

MSB har beställt och finansierat genomförandet av denna forskningsrapport . Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll.

Förord

Egentligen vet vi väldigt lite om framtiden, och vi gör mycket utan att vara säkra på utfallet. Vi gör rätt i att inte bekymra oss för mycket över saker som med mycket liten sannolikhet skulle kunna hända, som till exempel att plötsligt bli träffad av blixten. Vi reser utan att vara säkra på att komma fram, och vi litar på att den vi stämt träff med kommer till mötet. Annat gör vi trots att utgången är mer oviss; den som sätter in pengar på banken gör det i hopp om framtida avkastning, den som genomgår en operation gör det i hopp om att bli botad trots att det också är förenat med en risk för komplikationer. Kort sagt, osäkerheter är en del av vardagen, och i de flesta fall är det helt okontroversiellt att vi gör något utan att vara helt säkra på utfallet, även om vi så klart väger risker, kostnaden och vinster mot varandra. Ovisshet kan också vara något som väcker vår nyfikenhet och sporrar oss i vår jakt på kunskap.

Framtidens klimat och effekterna av klimatförändringen präglas på många sätt av osäkerheter. Det går inte att exakt beräkna framtiden. Det är på sätt och vis självklart och gör inte att klimatet av den anledningen skiljer sig från andra framtidsfrågor. Trots det står osäkerheten ibland i vägen för klimatanpassning och utsläppsminskningar. Vetenskapen framställs som säker trots att den kan vara behäftad med osäkerheter. Inom klimatforskningen är kanske osäkerheterna extra tydliga eftersom vi pratar om en osäker framtid som vi aldrig kommer att känna till i förväg.

Denna rapport beskriver osäkerheterna inom klimatforskningen, vilka de är och varför de finns, för att visa läsaren att dessa går att hantera, samt att klimatscenerierna innehåller mycket säker och användbar information. Rapporten är en del av projektet HazardSupport finansierat av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB).

Syftet med HazardSupport är att främja ändamålsenligt beslutsfattande i frågor som rör klimatanpassning. En del av det arbetet är att arbeta med specifika fallstudier, en annan är att förbättra beslutsstödet för klimatanpassningsarbetet. En viktig del av beslutsfattandet är att hantera osäkerheter. Alla som arbetar med klimatanpassning måste förhålla sig till det faktum att det finns olika scenarier för framtiden och dessa är behäftade med osäkerheter. Anpassningsåtgärder måste

utformas på ett sådant sätt att de tar dessa osäkerheter i akt, och så att de kan justeras i takt med att vår kunskap om framtidens klimat förändras.

Denna rapport vänder sig till de som på olika sätt använder information från klimatscenarier i till exempel beslutsunderlag, planering eller modellering. Användare som kanske inte har någon djupgående kunskap om klimatsystemet, men som ändå behöver förstå hur klimatscenarier beräknas för att kunna använda dem på ett bra sätt.

Norrköping, 2020-07-01

Gustav Strandberg

Forskare, SMHI

Innehåll

VAD VET VI OM FRAMTIDENS KLIMAT?	6
HUR HANTERAR VI OSÄKERHETER INOM KLIMATFORSKNINGEN?	8
Modellensembler – ett verktyg för att hantera osäkerheter i klimatscenarier	8
Kommunikation som ett sätt att hantera osäkerheter	10
Osäkerheter kan både beskrivas och hanteras på olika sätt	11
Andra sätt att hantera osäkerhet	12
VARFÖR KAN VI INTE VETA MER?	13
Naturliga variationer	13
Klimatmodeller	14
Framtidsscenarier.....	15
SAMMANFATTNING – ATT TÄNKA PÅ	19
REFERENSER	21

Vad vet vi om framtidens klimat?

Vi vet mycket om klimatet. Vi vet att det finns en växthuseffekt som gör att klimatet på Jorden är varmare än vad det skulle varit utan en atmosfär; och vi vet att styrkan på växthuseffekten beror på mängden växthusgaser i atmosfären. Med ökade halter av växthusgaser i atmosfären ökar temperaturen och vi får en klimatförändring. Klimatet förändras redan på grund av ökade halter av växthusgaser i atmosfären [1]. Sedan slutet av 1800-talet har den globala årsmedeltemperaturen ökat med 1.0°C[2]. Den observerade uppvärmningen har ett tydligt mönster där kontinenterna värms snabbare än haven, och där det område på jorden där uppvärmningen är som störst är Arktis[Fel! Bokmärket är inte definierat.]. I Arktis är uppvärmningen åtminstone dubbelt så stor som det globala medelvärdet. Denna utveckling är i enlighet med vår förståelse av klimatsystemet, och hur det förväntas förändras med ökande temperatur. Framtidens klimatförändring kommer att vara en fortsättning på den utveckling som vi redan observerar. Den globala uppvärmningen kommer att fortsätta så länge som halten av växthusgaser i atmosfären ökar. Även om växthushalten skulle stabiliseras skulle den globala årsmedeltemperaturen öka med några tiondels grader till innan hav och atmosfär når jämvikt[Fel! Bokmärket är inte definierat.]. Vi kan alltså vara säkra på att temperaturen kommer att fortsätta öka även i framtiden. Alla områden på jorden kommer att bli varmare. Med den uppvärmningstakt vi har nu (0.2 °C per årtionde) så når vi en global temperaturökning på +1.5°C jämfört med förindustriell tid omkring år 2040 och +2°C omkring 2065[3]. Oavsett hastigheten på uppvärmningen så kommer klimatförändringen att påverka klimatet i alla delar av världen och alla delar av samhället[4,5].

Med ökande temperatur förändras klimatet som helhet (Fig. 1). Globalt sett så ökar nederbörden i ett varmare klimat eftersom en varmare atmosfär kan hålla en större mängd vatten. En sådan förstärkning av det hydrologiska kretsloppet innebär också att den extrema nederbörden ökar så att skyfallen blir kraftigare. Nederbörden förändras emellertid inte lika mycket överallt; i vissa områden kommer den att öka och i andra kommer den att minska, detta trots att den globala nederbörden som sagt kommer att öka. I ett varmare klimat stiger haven, dels för att landisar och glaciärer smälter och fyller på haven, dels för att haven utvidgas när de blir varmare[6]. Det är en långsam och trög process, haven kommer att fortsätta stiga för en lång tid framöver oavsett hur mycket temperaturen ökar. Rekonstruktioner av klimat i det förflutna med liknande temperatur och koldioxidnivåer som idag visar att havsnivån då var åtminstone 5 m högre[7]. Haven kan alltså fortsätta stiga i tusentals år framöver.

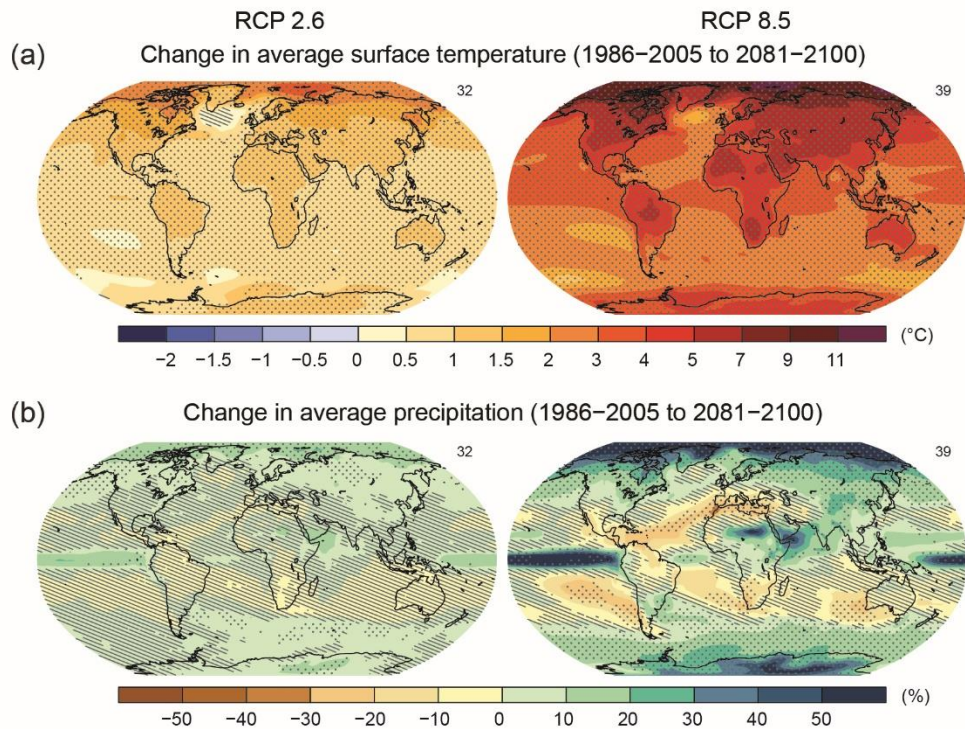


Fig. 1 Beräkningar av hur temperaturen (a) och nederbörden (b) förändras till slutet av seklet enligt utsläppsscenario RCP 2,6 (vänster) och RCP 8,5 (höger). Siffrorna i övre högra hörnet av varje karta anger antalet modeller som ingår i beräkningen. Prickar anger områden där medelförändringen är stor jämfört med de naturliga variationerna, här är förändringen säker. Streckning anger områden där medelförändringen är liten jämfört med de naturliga variationerna, här är förändringen osäker^[Fel! Bokmärket är inte definierat.] (en förklaring till RCP-scenarierna ges senare i rapporten).

Det går att teckna en ganska säker övergripande bild av hur det globala klimatet förändras med ökande halter av växthusgaser, allt utifrån de naturlagar som vi vet styr klimatsystemet. Som visas i figur 1 så finns det geografiska områden för vilka beräkningarna är mer osäkra än för andra områden, och variabler som är osäkrare än andra. I figur 1 ser vi att modellerna är överens om att temperaturen ökar i princip överallt. Nederbörden beräknas både minska och öka, men det är bara i vissa områden där förändringen är signifikant. Ju mer vi går in i detalj desto svårare blir det förstås att ge exakta svar. Att säga exakt hur stor förändringen blir är inte möjligt, inte heller att säga exakt hur det blir på en särskild plats vid en viss tidpunkt. Möjligheten att beskriva framtidens klimat begränsas också av att vi inte vet hur stor uppvärmningen blir, det avgörs till stor del av framtidens utsläpp av växthusgaser, något som inte styrs av naturlagar utan av samhällsutvecklingen. Alla förutsägelser om framtidens klimat innehåller alltså alltid ett visst mått av osäkerhet. De följande avsnitten handlar om hur vi kan hantera detta, samt om varför vi inte kan veta mer.

Sammanfattning - det vet vi säkert om framtidens klimat ^[1, Fel! Bokmärket är inte definierat., Fel! Bokmärket är inte definierat.]

- Halterna av växthusgaser ökar, med det följer klimatförändring.
- Ökade halter av växthusgaser gör att temperaturen stiger, framför allt över landområden och i Arktis.
- Även nederbörden förändras, men på olika sätt på olika platser.
- I ett varmare klimat smälter havsisar och landisar.
- Haven stiger på grund av värmexpansion och smältande landisar.
- Klimatförändringen påverkar hela jorden och alla delar av samhället.
- Utsläppsminskningar krävs för att bromsa klimatförändringen.

Hur hanterar vi osäkerheter inom klimatforskningen?

Att arbeta med framtidens klimat är att arbeta med osäkerheter. Att vi inte vet exakt hur framtidens klimat blir betyder inte att vi inte vet någonting. Förra stycket visade att det finns en del vi säkert kan säga om det framtida klimatet. Även i de fall där vi inte har exakt kunskap går det att dra viktiga slutsatser utifrån den kunskap vi faktiskt har. Det finns också sätt att hantera osäkerheterna i klimatscenerierna (scenerierna beskrivs nedan), både i hur resultaten tolkas och hur de kommuniceras. Nedan kommer vi att gå igenom några av dem.

Modellensembler – ett verktyg för att hantera osäkerheter i klimatscenerier

För att kunna värdera resultaten från beräkningar med klimatmodeller och till exempel beräkna hur tillförlitliga de är kan data från flera modellkörningar användas. Om vi bara har resultat från en beräkning, till exempel en klimatmodell med ett utsläppsscenario, vet vi inte hur de står sig i jämförelse med andra resultat. Ett sätt att hantera detta är att använda resultat från flera simuleringar i så kallade modellensembler. En modellensemble kan till exempel bestå av flera modeller som kör samma scenario, eller olika scenarier med samma modell, eller samma scenario med samma modell använd flera gånger med små förändringar i startvärde. Beroende på hur ensemblen är utformad kan den svara på frågor som hur känsligt

klimatet är för förändringar i halterna av växthusgaser, hur känsliga modellerna är för förändringar i halterna av växthusgaser, eller hur stora de naturliga klimatvariationerna är. Om många modeller är överens om en förändring så kan den förändringen anses vara säker. Om modellerna inte är överens så är det en osäker signal. Det kan kännas nedslående att veta att ett resultat är osäkert, men om resultaten är osäkra så är det bra att veta det. Om vi går tillbaka till exemplet med resultat från bara en modell, så är vi i det fallet tvungna att betrakta alla resultat som lika säkra eller osäkra, trots att det i själva verket kan vara så att temperaturförändringen är betydligt säkrare än nederbördsförändringen (fig. 2). Ett enkelt mått på säkerhet/osäkerhet kan alltså vara hur stor andel av modellerna som är överens om tecknet på förändringen. Ett sådant mått kan sedan göras mer raffinerat genom att inkludera förändringens storlek jämfört med naturliga variationer.

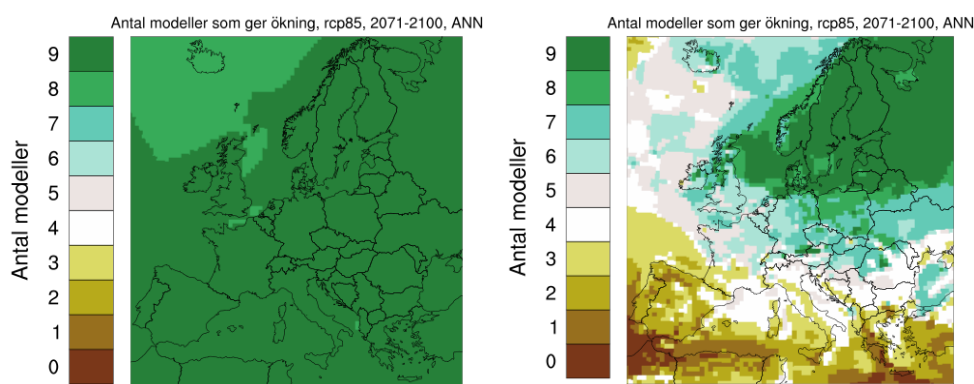


Fig. 2 Antal modeller som är överens om ökad temperatur (vänster) och nederbörd (höger) i slutet av seklet (2071-2100 jämfört med 1971-2000) enligt scenario RCP 8,5. Att det blir varmare råder det ingen tvekan om, det är alla modeller överens om. Nederbörden beräknas både minska och öka. I norra Europa är det en säker signal att nederbörden ökar. I södra Europa är det en säker signal att nederbörden minskar. I centrala Europa finns ett osäkert område där ungefär hälften av modellerna ger ökad nederbörd och hälften minskad^[8].

Klimatet varierar naturligt på en mängd olika tidsskalor, från skillnaden mellan dag och natt till skillnaden mellan istider och värmeperioder. Sådana variationer har alltid funnits och kommer att finnas även i ett framtida förändrat klimat. Det gör att det kan vara svårt att urskilja en förändring från de naturliga variationerna. En klimatmodell kan ge en tydlig förändring som ändå är liten jämfört med de naturliga variationerna. Om vi inte har en uppskattning av storleken på de naturliga variationerna, och därför inte kan beräkna signifikansen av förändringen, det vill säga att förändringen är stor jämfört med de naturliga variationerna, finns en risk att vi överdriver förändringarna. Även ovanliga händelser kan rymmas inom det intervall av förväntade variationer i ett stabilt klimat. En snöfattig vinter eller en extremt varm sommar måste inte vara ett tecken på att klimatet förändras, det kan vara naturliga, om än ovanliga, avvikelser.

För att kunna veta om en viss händelse går utanför det normala måste vi ha en bra beskrivning av det nuvarande klimatet. Här är långa observationsserier ovärderliga. I en 100 år lång serie kan vi se hur vanlig eller ovanlig en händelse är. Kanske inträffar den vart 10:e år eller bara vart 100 år. Det är omöjligt att beräkna från en serie som bara är 10 år lång. Ju längre desto bättre alltså, och i Sverige finns det flera serier som sträcker sig tillbaka till slutet av 1800-talet. I Stockholm och Uppsala finns temperaturserier som sträcker sig ända tillbaka till mitten av 1700-talet. Så långa serier finns det inte många i världen, men när det gäller att beskriva långsamma variationer i klimatet kan även de anses vara för korta. För att få information om klimatets variation ännu längre bak i tiden går det att rekonstruera temperatur och nederbörd från så kallade proxies. En klimatproxy är något som påverkas av klimatets variationer och därför kan säga något om klimatets variationer; det kan vara till exempel trädringar, droppstenar i grottor, bottensediment i sjöar och hav och isotoper i inlandsisar.

Stora klimatmodellensembler kan vara till nytta även för att uppskatta den naturliga variabiliteten. Om samma klimatmodell används för att simulera samma tidsperiod, men med lite olika startvärden, kommer varje simulering att ge lite olika resultat. En extrem väderhändelse kan vara så ovanlig att den inte inträffar i alla simuleringar. Om hela 1900-talet simuleras 100 gånger så finns det 10 000 simulerade år. Det ger ett statistiskt underlag som är så stort att det går att säga något om händelser som statistiskt sett förväntas inträffa en gång på flera hundra år, eller rent av 1 000. Denna typ av metod gör att det lättare går att säga när eller om den framtida klimatförändringen blir större än de naturliga variationerna, men också om hur den närmaste framtiden kan avvika från den förväntade trenden, och sannolikheten för att det ska bli så. Även om scenarierna för framtiden visar att trenden går mot att det blir varmare och blötare så kan de kommande 10-20 åren, på grund av naturliga variationer, ändå bli kallare och torrare än normalt.

Stora klimatmodellensembler kan också användas för det som i brist på svenskt namn kallas ”climate attribution studies”. Den svenska översättningen blir ungefär studier av i vilken mån en viss händelse kan tillskrivas klimatförändringen. Beror det här på klimatförändringen? är en vanlig fråga vid ovanliga väderhändelser. Utifrån en stor mängd klimatmodellensimuleringar går det att uppskatta sannolikheten för en viss händelse. En sådan analys kan gå bortom de 100-200 år av data som vi får från observationsserierna, och även uppskatta sannolikheten för även mer ovanliga händelser. På så sätt kan vi ta reda om en inträffad händelse hade varit möjlig även utan klimatförändringar, såväl som om hur sannolikheten för en inträffad händelse har förändrats på grund av klimatförändringen^[9]. Som ett exempel visar beräkningar att sannolikheten för värmeböljor likt den i Europa 2003 har fördubblats i och med den globala uppvärmningen^[10].

Kommunikation som ett sätt att hantera osäkerheter

Hur vi uppfattar osäkerheten i klimatscenerierna beror förstås också på hur de presenteras. Resultaten kan presenteras med fokus på osäkerheter eller med fokus på det som är säkert. Om informationen dessutom är anpassad till mottagaren och fokuserar på det som är relevant för denne så kommer den att upplevas som mer användbar. För klimatanpassning kan det ibland räcka med information om att ett visst klimat kommer att inträffa, även om vi inte vet exakt när. Om vi vill veta hur mycket temperaturen kommer att ha ökat med vid en viss tidpunkt, till exempel år 2065, så kommer denna temperaturökning att ha ett osäkerhetsintervall omkring sig. I vissa modeller och vissa utsläppsscenarioer går uppvärmning fort, i andra mindre fort (Fig. 3). Det gör att uppvärmningen under de kommande 45 åren blir olika stor. Om vi i stället frågar oss när en viss uppvärmning, till exempel två graders global uppvärmning, kommer att inträffa så förflyttas osäkerheten från temperatur till tid. Det är mycket troligt att vi når två graders uppvärmning inom detta sekel, även om vi inte vet exakt när. Det betyder att det är en uppvärmning som vi måste anpassa oss till eftersom den kommer att inträffa. I många fall är det tillräcklig information att vi med stor sannolikhet måste anpassa oss till en två grader varmare värld. På så sätt har vi förändrat ett osäkert budskap om temperaturen i mitten av seklet till ett säkert budskap om vilka temperaturer vi kommer att få i framtiden.

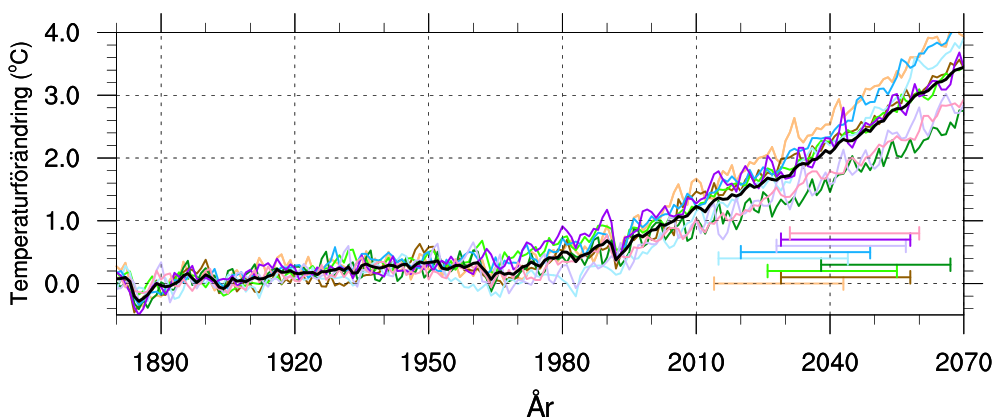


Fig. 3 Global temperaturökning jämfört med medelvärdet för 1881-1910 i nio olika globala klimatmodeller enligt utsläppsscenario RCP8,5. Att temperaturökningen når över 2°C jämfört med 1881-1910 är troligt även om det inträffar vid olika tidpunkter i olika modeller. Alla modeller passerar 2°C, men spridningen i tid är ungefär 20 år mellan den modell som först passerar 2°C och den som sist gör det. För ett enskilt år kan spridningen i temperatur mellan olika modeller vara uppåt 1,5°C.

Osäkerheter kan både beskrivas och hanteras på olika sätt

Hur osäkerheter uppfattas beror förstås också på hur de beskrivs. Samma uppskattning av framtida klimat kan korrekt beskrivas med tonvikt på bristerna i vår förståelse av klimatsystemet och svårigheterna med att göra scenarier för

framtida utsläpp av växthusgaser, eller med tonvikt på allt vi faktiskt vet om klimatsystemet och på det som modellerna är överens om. Det ska understrykas att det inte handlar om att vilseleda. Vi ska beskriva framtidens klimat på ett korrekt sätt utan att väja för osäkerheterna, men samtidigt vill vi att budskapet ska tas emot på ett bra sätt. Om vi har viktig information om klimatförändringen vill vi inte att den ska begravas i osäkerhet. Vi vill förmedla det vi vet, inte det vi inte vet. Vi vet till exempel att framtiden kommer att vara varmare än idag. Det är ett viktigt budskap även om vi inte vet exakt hur mycket varmare det blir.

För att förklara att vi kan ta beslut eller vidta åtgärder trots att vi inte är helt säkra på framtiden kan liknelser vara bra. Ibland är sannolikhet eller risk lättare att förstå och förhålla sig till. Vi köper lotter trots att vi vet att sannolikheten för vinst är liten, och vi köper försäkringar trots att risken att drabbas av olycka bedöms som liten. Vi tar många beslut baserat på sannolikheter och risker, men utan att veta utfallet.

Andra sätt att hantera osäkerhet

Även när vi beskriver framtiden på ett sätt som fokuserar på det som är säkert så finns osäkerheterna kvar. Sannolikheten för att något ska inträffa får då vägas mot risken för negativa konsekvenser och kostnaden för att undvika dessa. Om vi bygger ett kärnkraftverk vill vi till exempel inte att det ska översvämmas ens av det mest osannolika extrema skyfallen eller stormarna, och vi är beredda att betala ett högt pris för att undvika att exponeras eller skydda oss mot dem. En fotbollsplan däremot kan översvämmas med jämna mellanrum utan att det påverkar alltför negativt. Det känns inte heller motiverat med stora investeringar för att skydda fotbollsplanen mot händelser som med en relativt hög sannolikhet kan tänkas inträffa då och då. I dessa exempel är hantering av osäkerheten i klimatscenerierna ganska okomplicerad. För kärnkraftverket väljer vi troligen att säkra det även för de mest osannolika händelserna. För fotbollsplanen väljer vi kanske en nivå som motsvarar att den inte översvämmas mer än någon enstaka gång under en 10-års period i dagens klimat. Vi vet att det finns en ökad sannolikhet för översvämningar i framtiden och det kan räcka för att det ska vara motiverat med åtgärder. I många fall är verksamheter och anläggningar inte ens anpassade till dagens klimat. I dessa fall behöver inte osäkerheten om framtiden förhindra anpassningsåtgärder. En bra början är att anpassa sig till dagens klimat. Här kan redan upplevda händelser användas som exempel. Om vi minns en händelse som orsakade problem kan det motivera till åtgärder. Det kan också ge en uppfattning om vad vi ska dimensionera för. Samtidigt ska vi komma ihåg att vår kunskap om framtidens klimat kommer att förändras med tiden. Därför bör klimatanpassningsåtgärder genomföras på ett sådant sätt att de är flexibla och kan justeras efter hand. Vi vill inte att de åtgärder vi nu genomför för de kommande 50-100 åren redan om 20 år visar sig vara otillräckliga; eller för den delen överdrivna.

Det går att resonera på liknande sätt när det gäller utsläppsminskningar. Fortsatta utsläpp betyder fortsatt klimatförändring, även om vi inte vet exakt hur stor den blir. En fortsatt klimatförändring betyder ökad risk för negativa konsekvenser. Eftersom dessa konsekvenser är kostsamma så lönar sig att investera i utsläppsminskande åtgärder.

Tänk på det här när du pratar om klimatförändring^[11]

Börja med det du vet, inte det du inte vet

Tala om "risk" inte "osäkerhet"

Säg: "Risken för värmeböljor ökar i ett varmare klimat".

Säg inte: "Även om det finns mycket som är osäkert så är det troligt att värmeböljor blir vanligare i ett varmare klimat"

För klimatanpassning kan det räcka med att veta "att" inte "exakt när"

Säg: "Temperaturen kommer att nå två grader över förindustriell nivå. Det kommer troligen att ske omkring år 2065."

Säg inte: "År 2065 kommer temperaturen ha ökat med någonstans mellan 1,5 och 2,5 grader."

Var tydlig med vilket typ av osäkerhet du pratar om

Skilj på osäkerheterna i den vetenskapliga förståelsen, effekterna av ett förändrat klimat, samt de politiska beslut som krävs.

Berätta en berättelse

Det här ska inte tolkas som fiktion utan som ett sätt att sätta förändringen i ett sammanhang. Med liknelser blir det lättare att förstå effekterna av klimatförändringen.

Säg: "Minns du värmeböljan/skyfallet år X? I framtiden beräknas sådana händelser bli vanligare/extremare"

Lästips: The Uncertainty Handbook av Corner m.fl.^[11]

Varför kan vi inte veta mer?

Som visats finns det mycket vi vet om framtidens klimat. I många fall räcker den informationen långt, men ibland behöver vi gå in på detaljer, och ju mer detaljerad information vi vill ha desto större blir osäkerheterna. Det kan leda till viss frustration över att klimatscenerierna inte levererar den önskade informationen. Även om det går att hantera osäkerheterna så är det bra att veta var de kommer ifrån och varför vi aldrig helt kan bli av med dem; särskilt eftersom osäkerhet ibland förväxlas med okunskap. Det finns flera faktorer som gör att vi aldrig kan veta exakt hur framtidens klimat blir, faktorer som vars betydelse dessutom varierar med vilket tidsperspektiv vi anlägger^[12]. Vi ska här gå igenom de viktigaste av dem.

Naturliga variationer

I ett kort tidsperspektiv, upp till 20 år, kan det vara svårt att ens se att det finns en klimatförändring eftersom klimatet varierar naturligt även på tidsskalan 20 år. Att vi har en uppvärmningstrend betyder inte att varje år är varmare än det föregående. De kommande 5, 10 eller 20 åren kan uppföra sig på ett sätt som vi inte förväntar oss enligt klimatförändringstrenden. Hur tydlig förändringssignalen är beror på vilket klimatvariabel och vilket geografiskt område som studeras. Vissa variabler, som till exempel nederbörd, varierar mer vilket gör att det är svårare att se trenden. Variationerna blir också större när vi tittar på mindre geografiska områden. Därför är det lättare att se förändringen i den globala temperaturen än i temperaturen i Sverige (Fig. 4). På tidsskalan 10-20 år är den naturliga variabiliteten den nästan helt dominerande osäkerhetsfaktorn.

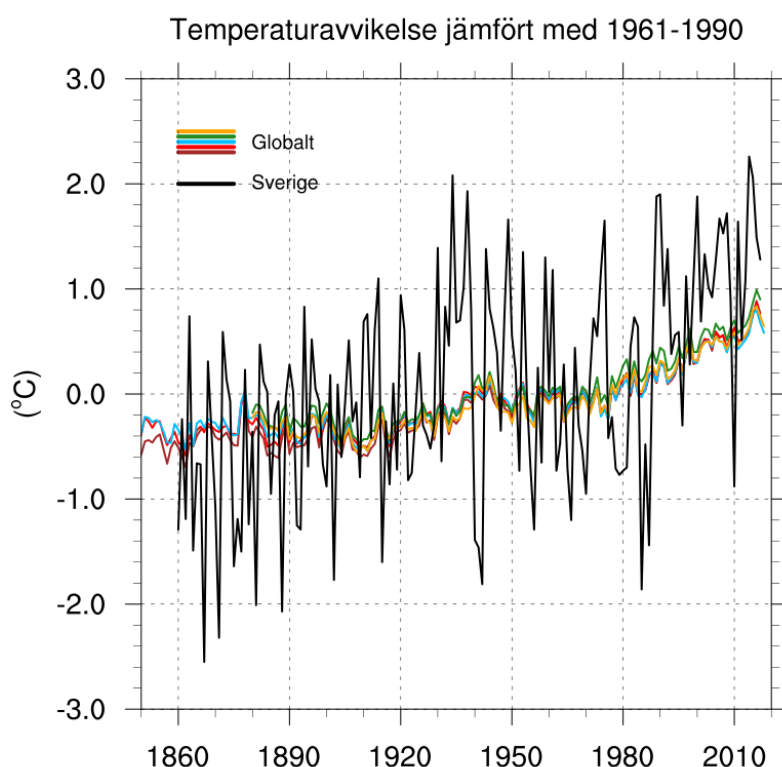


Fig. 4 Temperaturavvikelse jämfört med medelvärdet för perioden 1961-1990 för den globala årsmedeltemperaturen (färgade linjer) och årsmedeltemperaturen i Sverige (svart linje). Variationen mellan år är betydligt större i Sverige än globalt vilket gör att uppvärmningstrenden är svårare att uppfatta.

Klimatmodeller

Om vi går tillräckligt långt fram i tiden så kommer klimatförändringen bli så stor att den höjer sig över de naturliga variationerna (förutsatt att halten av växthusgaser kommer att fortsätta öka). Vi behöver då inte vara osäkra på om det finns en förändring, även om detta naturligtvis kommer att inträffa vid olika tidpunkter i olika områden och för olika variabler. Det som avgör vilket klimat vi

får enligt scenariot är i stället valet av klimatmodell. En klimatmodell är en tolkning, i form av ett datorprogram, av de naturlagar som vi vet styr klimatsystemet. Denna tolkning kan göras på olika sätt vilket gör att olika klimatmodeller ger delvis olika resultat. Klimatmodellerna har också varierande grad av komplexitet, vissa modeller beskriver till exempel kolcykeln, vegetation eller atmosfärskemi medan andra inte gör det. Även om alla modeller i grunden bygger på samma naturlagar så är de olika. Det simulerade klimatet beror alltså på valet av modell. Trots det går det inte att självklart säga vilken modell som är bäst. En modell kan förstås ha uppenbara brister, men i det flesta fall är det inte så enkelt. En modell kan vara bra på nederbörden i tropikerna och sämre på temperaturen i Europa. En annan modell kan vara bra på isutbredningen i Arktis men sämre på molnigheten. I det här sammanhanget ska vi också tänka på att det finns processer i klimatsystemet som vi inte känner till, eller åtminstone inte känner till hur de fungerar. Detta är förstås en ytterligare osäkerhetsfaktor, särskilt med tanke på att det inte ens är självklart hur de kända processerna ska beskrivas i modellerna.

Det simulerade klimatet beror som sagt på modellen och vi kan inte veta vilken modell som är bäst. Därför finns det ett värde i att använda flera modeller och modellensembler. Ett mer omfattande dataunderlag gör det möjligt att uppskatta osäkerheten och därmed också säkerheten i resultaten. Att modellerna fungerar på olika sätt måste inte innebära att de alltid ger olika resultat. I vissa avseenden kan modellerna vara överens vilket betyder att vi har en säker signal. Att beskriva osäkerheten betyder inte alltid att visa vad vi inte vet, det kan också visa hur säkra vi är på något. I takt med att den relativa betydelsen av naturlig variabilitet minskar när vi går längre in i framtiden så ökar den relativa betydelsen av valet av modell. En osäkerhet som på sätt och vis kan minskas genom att använda modellensembler.

En del av modellosäkerheten rör det som kallas klimatkänsligheten. Klimatkänsligheten är ett mått på hur känsligt klimatet är för förändringar i halten av växthusgaser. Det uttrycks vanligen i hur många grader jordens medeltemperatur skulle öka med om halten av koldioxid fördubblades. Jordens klimatkänslighet är inte känd, utan anges endast som ett troligt intervall. Senast uppskattad till $1,5^{\circ}\text{C} - 4,5^{\circ}\text{C}$ ^[13]. Även om vi säkert visste vad halten av växthusgaser blir i framtiden skulle vi alltså inte säkert säga hur stor uppvärmning det skulle leda till. Följaktligen är också klimatmodellerna olika känsliga för förändringar i växthusgashalten.

Framtidsscenarier

Det som avgör framtidens klimat på tidsskalor upp mot 100 år är till sist koncentrationerna av växthusgaser i atmosfären. Utsläppen av växthusgaser i framtiden beror på samhällsutvecklingen, faktorer som till exempel befolkningens mängd, teknikutveckling och politik. Med en större befolkning ökar utsläppen, men det kan balanseras av politiska beslut och energieffektivisering;

teknikutveckling och politik kan också påverka utsläppen åt båda håll. Det finns ingen naturlag som beskriver samhällsutvecklingen som kan användas för att beräkna framtida utsläpp av växthusgaser. Det beror på oss själva. För att ändå kunna säga något om hur framtidens klimat kan komma att bli används så kallade utsläppsscenarioer. Baserat på antaganden om framtidens samhällsutveckling kan framtidens utsläpp av växthusgaser uppskattas. Dessa framtida utsläpp kan sedan användas i en klimatmodell för att beräkna framtidens klimat. Frågan som klimatmodellen då svarar på är: om vi har dessa utsläpp hur blir då klimatet?

RCP-scenarier

Representative Concentration Pathways (RCP) beskriver hur koncentrationen av växthusgaser förändras med tiden. Det påverkar jordens balans och den så kallade strålningsdrivningen. Strålningsdrivningen är ett mått på hur växthuseffekten förstärks och mäts i W/m². Scenarier får sina namn från den strålningsdrivning som nås vid år 2100. En större siffra ger större klimatförändring. Här ges de viktigaste egenskaperna hos RCP-scenarierna^[14]. Det är bara enligt scenario RCP2,6 som det är sannolikt att den globala uppvärmningen underskrider +2°C jämfört med förindustriell tid^[15].

RCP 8,5 – fortsatt ökande utsläpp av koldioxid

Koldioxidutsläppen är tre gånger dagens vid år 2100.

Metanutsläppen ökar kraftigt.

Jordens befolkning ökar till 12 miljarder vilket leder till ökade anspråk på betes- och odlingsmark för jordbruksproduktion.

Teknikutvecklingen mot ökad energieffektivitet fortsätter, men långsamt.

Stort beroende av fossila bränslen.

Hög energiintensitet.

RCP 6,0 – koldioxidutsläppen ökar fram till 2060

Stort beroende av fossila bränslen.

Lägre energiintensitet än i RCP 8,5.

Arealen åkermark ökar, men betesmarkerna minskar.

Befolkningen ökar till strax under 10 miljarder.

Stabiliserade utsläpp av metan.

Utsläppen av koldioxid kulminerar 2060 på en nivå som är 75 procent högre än idag och minskar sedan till en nivå 25 procent över dagens.

RCP 4,5 - koldioxidutsläppen ökar fram till 2040

Lägre energiintensitet.

Omfattande skogsplanteringsprogram.

Lägre arealbehov för jordbruksproduktion, bland annat till följd av större skördar och förändrade konsumtionsmönster.

Befolkningsmängd: något under 9 miljarder.

Utsläppen av koldioxid ökar något och kulminerar omkring 2040.

RCP 2,6 (RCP3PD) – koldioxidutsläppen kulminerar omkring år 2020

Låg energiintensitet.

Minskad användning av olja.

Jordens befolkning ökar till 9 miljarder.

Ingen väsentlig förändring i arealen betesmark.

Ökning av arealen jordbruksmark på grund av bioenergiproduktion.

Utsläppen av metan minskar med 40 procent.

Eftersom dessa scenarier bygger på antaganden, och eftersom vi inte kan veta hur utsläppen faktiskt kommer att bli, så finns det flera olika scenarier. Dessa beskriver olika tänkbara utvecklingar, från en framtid med mycket låga utsläpp till en framtid med mycket höga utsläpp. Poängen med det är att på så sätt beskriva det intervall inom vilket framtidens klimat troligen kommer att infalla. Scenarierna kan också användas för att visa på effekten av utsläppsminskningar. Enkelt uttryckt består scenarierna av RCP:er (Representative Concentration Pathways) som beskriver utsläpp och koncentrationer av växthusgaser, samt SSP:er (Shared Socioeconomic Pathways) som beskriver det samhälle som ger upphov till vissa utsläpp, men också samhällets förmåga till klimatanpassning och utsläppsminskningar. RCP:er och SSP:er går alltså att kombinera på olika sätt. En RCP kan uppnås med olika SSP:er. Utsläppen av olika växthusgaser kan fördela sig på olika sätt i två olika SSP:er även om de i slutet av seklet ger samma strålningsdrivning (se faktaruta om RCP-scenarier och SSP-scenarier).

SSP-scenarier

Som ett komplement till RCP-scenarierna finns SSP:er (Shared Socioeconomic Pathways). Dessa beskriver mer ingående hur samhällsutvecklingen kan bli i framtiden. Utvecklingen har betydelse för förmågan till utsläppsminskningar och klimatanpassning. En SSP kan kombineras med olika RCP:er^[6].

SSP1: Hållbarhet – den gröna vägen (små utmaningar för utsläppsminskning och anpassning)

Världen förändras sakta men säkert mot ökad hållbarhet. Strävan mot att uppnå hållbarhetsmålen gör att ojämlikheten minskar både mellan och inom länder. Konsumtionen är inriktad på att vara resurssnål och energieffektiv.

SSP2: Medelvägen (mellanstora utmaningar för utsläppsminskning och anpassning)

Världen följer en väg som socialt, ekonomiskt och teknologiskt inte markant skiljer sig från den nuvarande. Utveckling och ekonomisk tillväxt sker ojämnt i olika delar av världen. Svårighet att uppnå hållbarhetsmålen.

SSP3: Regional rivalitet – en skumpig väg (stora utmaningar för utsläppsminskning och anpassning)

En värld präglad av nationalism med fokus på konkurrenskraft och nationell säkerhet. Länder fokuserar på att lösa energi- och matsäkerhet inom landet eller regionen. Den ekonomiska utvecklingen är svag. Ojämlikheten ökar med tiden.

SSP4: Ojämlikhet – en delad väg (små utmaningar för utsläppsminskning, stora utmaningar för anpassning)

Ojämlikheten ökar både inom och mellan länder. En klyfta uppstår mellan den internationella, välutbildade delen av arbetskraften och den lokala lågutbildade. En mer diversifierad energisektor satsar på både kolintensiv och förnybar energi.

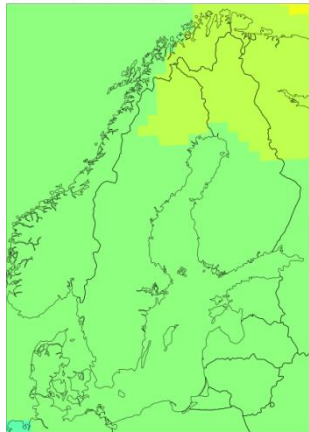
SSP5: Fossildriven utveckling – motorvägen (stora utmaningar för utsläppsminskning och anpassning)

En global ekonomi med fokus på snabb teknologisk utveckling baserad på fossila bränslen. Stora investeringar i hälsa och utbildning. En stark tro på att det går att med teknik hantera sociala och ekologiska system.

Klimatet i slutet av seklet beror till störst del på framtidens utsläpp av växthusgaser, något som vi kan göra olika antaganden om, men som vi inte kan veta hur det faktiskt blir. Även om naturliga variationer och valet av klimatmodell har en betydelse för beräkningar av framtida klimat, så är denna, när vi ser på förändringar i ett tidsperspektiv på mer än 20 år, liten jämfört med valet av utsläppsscenario. Det är förstås besvärligt att den största osäkerheten inte går att minska särskilt mycket (det är svårt att göra uppskattningar om samhällsutvecklingen 100 år fram i tiden), men det finns trots allt några lärdomar vi kan dra: Säkerheten hos klimatscenerierna begränsas i första hand inte av vår förståelse för klimatsystemet eller vår förmåga att beskriva dessa. Samt att valet av scenario, och därför också våra utsläppsbegränsningar (eller brist på sådana), påverkar klimatet.

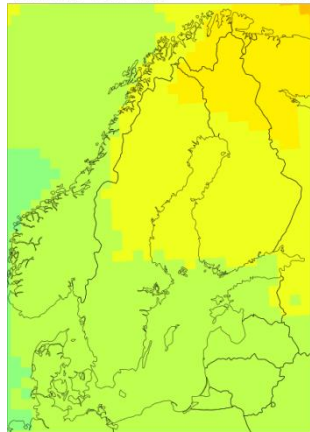
a) RCP 8,5 2011-2040

Mean 9 models, rcp85
2011-2040 - 1971-2000 ANN



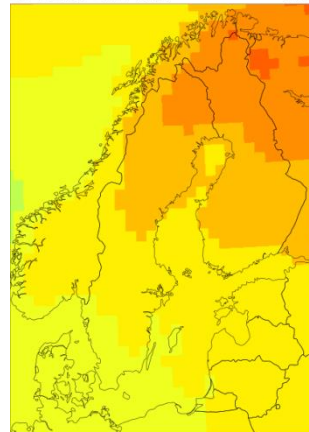
b) RCP 8,5 2041-2070

Mean 9 models, rcp85
2041-2070 - 1971-2000 ANN



c) RCP 8,5 2071-2100

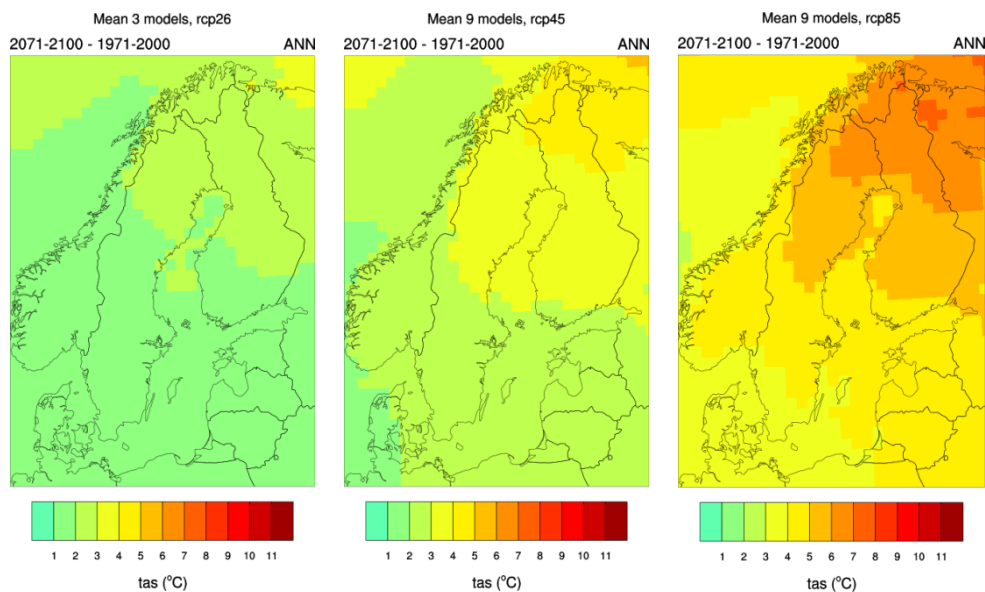
Mean 9 models, rcp85
2071-2100 - 1971-2000 ANN



d) RCP 2,6 2071-2100

e) RCP 4,5 2071-2100

f) RCP 8,5 2071-2100



Figur 5 Förändring i årsmedeltemperatur (°C) jämfört med 1971-2000 enligt RCP 8,5 vid a) 2011-2040, b) 2041-2070, c) 2071-2100. Förändring i årsmedeltemperatur 2071-2100 jämfört med 1971-2000 enligt d) RCP 2,6, e) RCP 4,5, f) RCP 8,5^[8].

Klimatsimuleringar med olika utsläppsscenarier visar också att det finns mycket vi vet om framtidens klimat. Klimatet förändras på samma sätt med alla utsläppsscenarier, oftast bara med olika hastighet. Figur 5 visar uppvärmningen i Sverige vid olika tidpunkter enligt utsläppsscenario RCP8,5 (övre raden), och uppvärmningen i slutet på seklet enligt olika utsläppsscenarier (nedre raden). Eftersom uppvärmningen går långsamt enligt RCP2,6 så når uppvärmningen i detta scenario vid slutet av seklet samma nivå som vid perioden 2011-2040 enligt RCP 8,5, där uppvärmningen går betydligt fortare (jämför figur 5a och 5d). I RCP 4,5 motsvarar uppvärmningen i slutet av seklet perioden 2041-2070 i RCP 8,5 (jämför figur 5b och 5e). Bortsett från hur lång tid det tar att nå en viss uppvärmning så är scenarierna snarlika. Oavsett framtida utsläpp kan vi alltså säga ungefär hur temperaturförändringen kommer att se ut. Därför är det relevant att titta på klimatet vid olika uppvärmningsnivåer; och dessutom möjligt att titta på uppvärmningsnivåer med resultat från olika scenarier. Klimatet vid samma uppvärmningsnivå är snarlikt enligt flera olika scenarier^[17]. Trots den stora osäkerheten om framtida samhällsutveckling kan vi således få säker information om framtidens klimat, vi vet bara inte när en viss uppvärmningsnivå inträffar, eller när förändringen planar ut.

Sammanfattning – att tänka på

Vi vet att klimatet förändrats och att det kommer att fortsätta förändras i framtiden så länge vi har utsläpp av växthusgaser. Exakt hur stor förändringen kommer att bli vet vi inte eftersom det beror på utsläppen av växthusgaser. Trots det kan vi med viss säkerhet säga något övergripande om hur klimatet beräknas förändras, men det är till exempel lättare att säga något säkert om temperaturen än om nederbörden, som varierar mer både i tid och rum. Ju mer i detalj vi går desto större blir osäkerheterna. Det är lättare att säga något om den globala temperaturen i slutet på seklet än på en viss plats vid en viss tidpunkt. Likaså är det lättare att säga hur temperaturen förändras än att säga vad effekten av den temperaturförändringen blir, eftersom varje steg i en sådan uppskattning medför en osäkerhet.

Det finns sätt att hantera de osäkerheter som är ofrånkomliga i klimatscenarier. En viktig del av det är att faktiskt försöka uppskatta hur stor osäkerheten är. Genom att titta på resultat från flera olika modeller och från flera olika scenarier kan vi få en uppfattning om vad som är säkert och vad som är osäkert. Om alla modeller ger liknande signaler är det till exempel en säker signal.

Hur resultaten presenteras och kommuniceras är också ett sätt att hantera osäkerheterna. Det går att fokusera på det som är säkert snarare än det som är osäkert. Till exempel att vi troligtvis når en viss uppvärmning även om vi inte vet exakt när. Att det finns ett visst mått av ovisshet behöver inte vara ett problem. I vissa fall kan det räcka med att det överhuvudtaget finns en risk för negativa konsekvenser för att klimatanpassningsåtgärder ska vara motiverade. I andra fall kan risken bortses från om den antas vara liten, få små konsekvenser eller inträffa sällan. Här får risker och konsekvenser vägas mot kostnader.

Referenser

¹ IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

² IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.

³ Allen, M.R., O.P. Dube, W. Solecki, F. Aragón-Durand, W. Cramer, S. Humphreys, M. Kainuma, J. Kala, N. Mahowald, Y. Mulugetta, R. Perez, M. Wairiu, and K. Zickfeld, 2018: Framing and Context. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press

⁴ IPCC, 2014: Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.

⁵ IPCC, 2014: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwicker and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

⁶ IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.

⁷ Oppenheimer, M., B.C. Glavovic, J. Hinkel, R. van de Wal, A.K. Magnan, A. Abd-Elgawad, R. Cai, M. Cifuentes-Jara, R.M. DeConto, T. Ghosh, J. Hay, F. Isla, B. Marzeion, B. Meysignac, and Z. Sebesvari, 2019: Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press

⁸ Strandberg, G. m.fl., 2015: CORDEX scenarios for Europe from the Rossby Centre regional climate model RCA4. SMHI Meteorology and Climatology Rep. 116, 84 pp., https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.90275!/Menu/general/extGroup/attachmentColHold/mainCol1/file/RMK_116.pdf.

⁹ Otto, F.E.L., Philip, S., Kew, S. et al. Attributing high-impact extreme events across timescales—a case study of four different types of events. *Climatic Change* 149, 399–412 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2258-3>

¹⁰ Seneviratne, S.I., N. Nicholls, D. Easterling, C.M. Goodess, S. Kanae, J. Kossin, Y. Luo, J. Marengo, K. McInnes, M. Rahimi, M. Reichstein, A. Sorteberg, C. Vera, and X. Zhang, 2012: Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 109-230.

- ¹¹ Corner, A., Lewandowsky, S., Phillips, M. and Roberts, O. (2015) *The Uncertainty Handbook*. Bristol: University of Bristol.
- ¹² Hawkins, E. and R. Sutton, 2009: The Potential to Narrow Uncertainty in Regional Climate Predictions. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 90, 1095–1108, <https://doi.org/10.1175/2009BAMS2607.1>
- ¹³ Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, L.V. Alexander, S.K. Allen, N.L. Bindoff, F.-M. Bréon, J.A. Church, U. Cubasch, S. Emori, P. Forster, P. Friedlingstein, N. Gillett, J.M. Gregory, D.L. Hartmann, E. Jansen, B. Kirtman, R. Knutti, K. Krishna Kumar, P. Lemke, J. Marotzke, V. Masson-Delmotte, G.A. Meehl, I.I. Mokhov, S. Piao, V. Ramaswamy, D. Randall, M. Rhein, M. Rojas, C. Sabine, D. Shindell, L.D. Talley, D.G. Vaughan and S.-P. Xie, 2013: Technical Summary. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- ¹⁴ van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M. et al. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109, 5 (2011). <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>
- ¹⁵ Sanderson B., Tebaldi, C., O'Neill, B., 2016: What would it take to achieve the Paris temperature targets?, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 7133–7142, doi:10.1002/2016GL069563.
- ¹⁶ Riahi, K. et al., 2017: The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153–168, doi:10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009
- ¹⁷ Barring L. and Strandberg, G.: Does the projected pathway to global warming targets matter? *Environ. Res. Lett.* 13, 024029, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9f7>, 2018.



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap

I samarbete med:

SMHI