

UPPDATERING AV DET KLIMATVETENSKAPLIGA KUNSKAPSLÄGET

Erik Kjellström, Reino Abrahamsson, Pelle Boberg, Eva Jernbäcker, Marie Karlberg, Julien Morel och Åsa Sjöström



Pärbild
En pojke står och tittar ut över en översvämmad väg.
Källa: Mostphotos

Förord

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) har fått i uppdrag av regeringen att i samråd med Naturvårdsverket och Statens energimyndighet utarbeta underlag om det klimatvetenskapliga kunskapsläget inför kontrollstation 2015 för de klimat- och energipolitiska målen. Underlaget omfattar en sammanställning och en analys av aktuell klimatforskning med relevans för miljökvalitetsmålet *Begränsad klimatpåverkan*, de klimat- och energipolitiska målen till 2020 och visionen att Sverige år 2050 har en hållbar och resurseffektiv energiförsörjning och inga nettoutsläpp av växthusgaser i atmosfären.

Arbetet har utförts under 2014 och bygger till stor del på de sammanställningar av klimatvetenskapen som getts ut av IPCC i deras femte utvärderingsrapport (AR5). Materialet har uppdaterats med en del andra studier från de senaste åren. I tillägg till den studerade litteraturen bygger en del av rapporten på nya regionala klimatscenarier framtagna vid Rossby Centre vid SMHI:s forskningsavdelning.

Sammanfattning

Det klimatvetenskapliga kunskapsläget har förstärkts ytterligare under senare år. IPCC:s utvärderingsrapporter utgör de mest omfattande synteserna som finns på området. Huvudbudskapen i den senaste utvärderingsrapporten (AR5) är i allt väsentligt i linje med föregående rapport, även om ny kunskap har tillkommit och tidigare kunskap fördjupats.

Uppvärmningen av klimatsystemet har fortsatt och människans påverkan är tydlig

Säkerheten i slutsatsen att människan påverkar klimatet har successivt stärkts i varje ny utvärderingsrapport från IPCC. Till de observerade förändringarna i klimatet hör att den lägre atmosfären och haven blivit varmare, nederbördsmönster ändrats, snötäckets utbredning på norra halvklotet liksom utbredningen av Arktis havsis har minskat. Som följd av uppvärmningen minskar också istäcket på Grönland och Antarktis samtidigt som många glaciärer smälter vilket bidrar till den stigande havsnivån. De ökade halterna av växthusgaser i atmosfären, främst koldioxid till följd av människans utsläpp, påverkar jordens strålningsbalans och är den främsta orsaken till den snabba uppvärmningen.

Vi står inför fortsatt kraftig klimatförändring med allvarliga konsekvenser

Hur stor den framtida klimatförändringen blir beror på graden av ändrad strålningsbalans samt på klimatsystemets respons. Av de klimatscenarier som presenteras i AR5 är det bara i scenariot med minst klimatpåverkan som ökningen av den globala medeltemperaturen sannolikt inte kommer att överstiga 2°C jämfört med förindustriella nivåer. I ett scenario med nuvarande politik kan temperaturöverskridandet bli över 4°C och havsytans medelnivå höjas med uppemot en meter, eller möjligen mer, till år 2100. Generellt förväntas nederbörden öka där det redan regnar mycket och minska där det är torrt. Förekomsten av extrema väderhändelser förväntas också öka. Följdefeffekterna inkluderar mer översvämningar och torka, och därigenom större risk för spridning av sjukdomar, brist på rent vatten och skördebortfall.

Klimatförändringar drabbar redan utsatta värst, men Sverige påverkas också negativt

Framtida klimatförändringar väntas innebära en rad negativa effekter för människor, samhällen och ekosystem. Dessa effekter blir mer kännbara vid högre grad av klimatpåverkan. IPCC slår fast att ytterligare uppvärmning ger en ökad sannolikhet för allvarliga, genomträngande och bestående effekter. Detta rör t.ex. hotade ekosystem i stora delar av världen där många arter kan komma att utrotas, kustnära samhällen som hotas av havsnivåhöjning och negativ påverkan på livsmedelsförsörjning. Även sekundära effekter som försvårande av fattigdomsbekämpning och ökad risk för skärpta konflikter i redan utsatta delar av världen pekas på som risker för samhället.

Sveriges klimat har blivit varmare och mer nederbördsrikt. Fortsatta förändringar är att vänta och även om den globala medeltemperaturökningen begränsas till under 2 °C väntas kraftiga förändringar som kan komma att påverka samhället och naturmiljön. Skyfall och kraftiga regn förväntas öka i intensitet vilket kan ge ökade problem med översvämningar. Översvämningar kan också komma att drabba låglänta kusttrakter i södra Sverige p.g.a. stigande havsnivåer. Uppvärmningen väntas få konsekvenser för jord- och skogsbruk och även för naturliga ekosystem, inte minst i fjällkedjan där trädgränsen förväntas flytta högre upp i terrängen.

Om vi agerar kraftfullt kan den globala temperaturökningen fortfarande begränsas till under 2 °C

Världens utsläpp fortsätter öka snabbt. Utsläppen av koldioxid mellan 1970 och 2010 överskred den sammanlagda mängden som släpptes ut före 1970. Den kraftiga ökningen av utsläppen mellan 2000 och 2010 har främst skett i tillväxtekonomier. Utsläppen bedöms fortsätta öka även i framtiden med dagens beslutade politik och styrmedel.

För att ”sannolikt” (med mer än 66 procents sannolikhet) begränsa temperaturökningen till under 2 °C år 2100 behöver de globala utsläppen nå sin kulmen inom en snar framtid, minska med 40 till 70 procent till år 2050 och till nära noll eller bli negativa år 2100. En så stor utsläppsreduktion kräver omfattande omställningar världen över i såväl industrialiserade som i snabbt växande ekonomier. Internationellt samarbete och verktyg för att främja utsläppsminskning är därför nödvändiga. För att begränsa effekterna och sårbarheten för de klimatförändringar som uppstår måste åtgärderna för utsläppsminskningar kompletteras med klimatanpassningsåtgärder.

Åtgärder för utsläppsminskning måste sättas in snart och kommer att krävas under mycket lång tid

På kort sikt behöver inlåsningar i koldioxidintensiv och energikrävande teknik och samhällsbyggnad undvikas genom att bygga hållbart från början. En sådan inriktning gör det också enklare att utveckla mer hållbara beteendemönster. Inriktningen är särskilt viktigt i de delar av världen där en stor mängd städer och energianläggningar nu håller på att byggas och expandera men också när tidigt industrialiserade länder nu genomför återinvesteringar i den befintliga bebyggelsen och infrastrukturen.

Eftersom energieffektivisering minskar behovet av att tillföra ytterligare energi i systemet visar IPCC:s scenariomodelleringar att omfattande investeringar behöver göras i energi-effektiviserande åtgärder i perioden innan 2030.

På lång sikt behöver energi- och resursanvändningen bli mycket mer effektiv än i dag, energitillförseln behöver nå nollutsläpp eller till och med negativa utsläpp och upptaget av koldioxid i skog och mark behöver öka. Ökad tillgång på bioenergi som producerats på ett hållbart sätt är viktigt för att få ner kostnaderna för omställningen. Försenas utsläppsminskningarna ökar risken för allvarliga klimatförändringar och kostnaderna för klimatpolitiken betydligt. IPCC-rapporten visar att ju längre världens länder väntar, desto mer behöver världen förlita sig på en omfattande användning av osäkra tekniker såsom bio-baserade energianläggningar med koldioxidfångning och lagring (bio-CCS) för att kunna åstadkomma negativa utsläpp (upptag av koldioxid från atmosfären) till år 2100.

Klimatåtgärder som en del av hållbar utveckling

Klimatåtgärderna kan i många fall leda till positiva synergier med andra samhällsmål t.ex. när åtgärderna även innebär att vi hushåller med energi och vatten, att utsläppen av luftföroreningar minskar, att det utvecklas ett hållbart jord- och skogsbruk, att energifattigdom minskar samt genom att ekosystemtjänster upprätthålls. Samtidigt kan klimatåtgärder även medföra risker för negativa sidoeffekter, t.ex. om användningen av bioenergi utvecklas i konflikt med livsmedelsproduktion och biodiversitet. IPCC-rapporten betonar därför vikten av att främja de åtgärder som skapar synergier med andra samhällsmål, inklusive anpassning till klimatförändringarna.

Innehållsförteckning

1	INTRODUKTION	8
1.1	Uppdraget.....	8
1.2	Relaterade uppdrag	8
1.3	Vägledande politiska mål	10
1.4	Rapportens struktur.....	12
2	KLIMATFÖRÄNDRING OCH KONSEKVENSER	13
2.1	Den naturvetenskapliga grunden.....	13
2.1.1	Observerade förändringar i klimatsystemet.....	13
2.1.2	Drivkrafter bakom klimatförändringar	15
2.1.3	Att förstå klimatsystemet och dess senaste förändring	17
2.1.4	Framtida globala och regionala klimatförändringar	19
2.1.5	Om risken för abrupt och irreversibel klimatförändring.....	22
2.2	Effekter av klimatförändringen.....	23
2.2.1	Observerade effekter, sårbarhet och anpassning i en komplex och föränderlig värld	24
2.2.2	Framtida risker och anpassningsmöjligheter	24
2.2.3	Hantering av framtida risker och att skapa resiliens.....	26
2.3	Vad säger AR5 om Europa?	26
3	KLIMATFÖRÄNDRING OCH KONSEKVENSER I SVERIGE	29
3.1	Det har blivit varmare och nederbörden har ökat i Sverige	29
3.2	Detaljerade regionala klimatscenarier för Sverige.....	30
3.2.1	Temperaturen stiger mer i framtiden	32
3.2.2	Mer nederbörd att vänta	35
3.2.3	Det blir inte blåsigare i framtiden	37
3.2.4	Kortare säsong med snö och is	37
3.2.5	Havsytan fortsätter stiga i södra delen av landet	37
3.3	Vad betyder +2°C global temperaturökning för Sveriges klimat?	39
3.4	Klimat effekter på samhället.....	39
4	DEN HISTORISKA TRENDEN FÖR UTSLÄPPEN AV VÄXTHUSGASER OCH DESS DRIVKRAFTER	41
5	MED KRAFTFULLA UTSLÄPPSMINSKNINGAR KAN TEMPERATURÖKNINGEN BEGRÄNSAS TILL UNDER 2°C	44
5.1	Utvecklingsbanor som behövs för att klara tvågradersmålet beskrivs på flera olika sätt	44
5.2	Miljö kvalitetsmålet Begränsad klimatpåverkan behöver inte revideras.....	48

5.3	De frivilliga åtagandena i Cancún-överenskommelsen är inte i överensstämmelse med att hålla den globala temperaturökningen under 2 °C.....	49
6	CENTRALA ÅTGÄRDER FÖR ATT KLARA TVÅGRADERSMÅLET FINNS I ENERGISYSTEMET OCH I ÖKAT KOLDIOXIDUPPTAG	50
6.1	Sammanfattning av åtgärder för att begränsa temperaturförändringen till under 2°C.....	51
6.2	På kort sikt behöver inlåsnings i koldioxidintensiva livsstilar och tekniker undvikas	53
6.3	På lång sikt behöver energitillförseln bli koldioxidsnål, upptaget av koldioxid öka och CCS-tekniken tillämpas i större skala.....	54
7	INVESTERINGAR, STYRMEDEL OCH MODELLANALYSER.....	56
7.1	Stora omfördelningar och vissa ökning av den totala investeringsnivån krävs	56
7.2	Relativt små sammanlagda kostnader för globala utsläppsminskningar	57
7.3	Nyttorna av utsläppsminskningar för hållbar utveckling ingår inte i kalkylen	57
7.4	Styrning, samarbete och flera olika typer av styrmedel behövs på alla nivåer för en tillräckligt omfattande klimatomställning.....	59
7.4.1	Internationellt samarbete är nödvändigt	59
7.4.2	Erfarenheterna från tillämpning av styrmedel ökar i världen	59
7.4.3	Bedömningar från andra studier	60
7.5	Resultat från klimatekonomiska utsläppsmodeller är osäkra och förenklar verkligheten på många olika sätt.....	61
8	REFERENSER	62

1 Introduktion

Det klimatvetenskapliga kunskapsläget utvecklas kontinuerligt både vad gäller den naturvetenskapliga förståelsen av klimatet och dess variabilitet och också vad gäller människans påverkan på klimatsystemet, liksom vad gäller våra möjligheter att minska denna påverkan, samt vad gäller hur vi kan anpassa oss till de förändringar vi inte kan undvika. Särskilt viktig för att sammanställa vetenskapen är FN:s klimatpanel IPCC, som under 2013 och 2014 har publicerat sin femte utvärderingsrapport (AR5), bestående av tre delrapporter och en syntesrapport.

Den här rapporten sammanfattar arbetet med det uppdrag som regeringen gav till SMHI i december 2013 (M2013/3203/K1) om uppdaterat underlag kring det naturvetenskapliga kunskapsläget inför kontrollstation 2015 för de klimat- och energipolitiska målen. I det här kapitlet redogör vi i korthet för hur regeringsuppdraget är formulerat och presenterar ett par andra uppdrag som varit av relevans för det här arbetet. Vi ger också en översiktlig genomgång av några viktiga politiska mål som finns för klimat- och energiområdet.

1.1 Uppdraget

Enligt regeringsuppdraget ska underlaget omfatta en sammanställning och en analys av aktuell klimatforskning med relevans för miljökvalitetsmålet *Begränsad klimatpåverkan*, de klimat- och energipolitiska målen till 2020 och visionen att Sverige år 2050 har en hållbar och resurseffektiv energiförsörjning och inga nettoutsläpp av växthusgaser i atmosfären. I uppdraget ingår att med hjälp av ny kunskap, däribland AR5, beskriva det aktuella klimatvetenskapliga kunskapsläget. Uppdraget inkluderar:

- Analys av globala modellresultat och scenarier samt en presentation av de viktigaste resultaten ifrån AR5:s tre delrapporter och syntesrapporten.
- Regionalisering av de globala modellresultaten utifrån de av IPCC använda scenarierna, inklusive en beskrivning av vad scenarierna kan innebära för klimatet och dess effekter på regional nivå och för Sverige på kort och längre sikt.
- En bedömning av sannolikheter för och konsekvenser av extrema och sällsynta händelser eller händelseförlopp med höga risker, inklusive tröskeleffekter i klimatsystemet.
- En diskussion kring hur sannolikheten förändrats för att man med ett visst mått av utsläppsminskningar globalt ska kunna nå tvågradersmålet jämfört med utgångspunkterna för ställningstagande rörande preciseringen av miljökvalitetsmålet *Begränsad klimatpåverkan* i propositionen *En sammanhållen klimat- och energipolitik - Klimat (prop. 2008/09:162)* samt om vilka sannolikheter som olika scenarier ger för att nå målet.
- En bedömning framförallt baserad på IPCC:s tredje delrapport (mitigation of climate change) av vilka åtgärder som kan behövas för att resultera i en rimlig sannolikhet att hålla global uppvärmning under två grader. Detta bör innehålla en redovisning av när och i vilken utsträckning sådana åtgärder bör ske och om detta skiljer sig ifrån tidigare bedömningar.

1.2 Relaterade uppdrag

Här nämns några andra uppdrag av relevans för arbetet med den här rapporten.

- *Kontrollstation 2015*
Naturvårdsverket och Energimyndigheten har på uppdrag av regeringen gemensamt utarbetat ett underlag till kontrollstation 2015 (Energimyndigheten, 2014). I rapporten analyseras möjligheterna att nå de av riksdagen beslutade

klimat- och energipolitiska målen (kapitel 1.3). Enligt utredningen kommer målen för andelen förnybar energianvändning och utsläpp av växthusgaser att nås utan styrmedelsförändringar. För energiintensitetsmålet, som uttrycks som tillförd energi i förhållande till BNP, är det svårare att bedöma om målet kommer att nås eller inte.

- *Uppdrag att utarbeta underlag till kontrollstation 2015 för anpassning till ett förändrat klimat*
Ett underlag skall utarbetas för att bedöma framstegen i arbetet med att anpassa Sverige till ett förändrat klimat och för att säkra att arbetet med anpassning fortskrider på ett ändamålsenligt sätt, för att de mest angelägna insatserna kan prioriteras och för att belysa hur tvärsektoriellt samarbete kan utvecklas. En bedömning ska göras av återstående behov av klimatanpassningsåtgärder. Uppdraget som leds av SMHI ska också ta hänsyn till EU-kommissionens klimatanpassningsstrategi. Som en del av uppdraget görs en genomgång av effekterna på olika samhällssektorer av klimatförändringarna i Sverige. Denna genomgång sammanfattas kortfattat i föreliggande rapport, men för en mer fullständig bild av den genomgången hänvisas till SMHI (2014a) som färdigställs i samband med att uppdraget ska redovisas, dvs. senast 31 december 2014.
- *Fördjupad utvärdering 2015*
Det svenska miljömålssystemet, som utgör grunden för Sveriges miljöpolitik, inbegriper en årlig uppföljning av miljömålen, liksom en regelbunden fördjupad utvärdering. Tidigare fördjupade utvärderingar har genomförts 2004, 2008 och 2012. Nästa fördjupade utvärdering kommer på regeringens uppdrag redovisas år 2015. Naturvårdsverket samordnar genomförandet av utvärderingen. Fördjupad utvärdering 2015 (FU15) ska ge utvärderingar av utvecklingen inom prioriterade samhällsområden inklusive analyser av prioriterade styrmedel och åtgärder, som del i bedömningar av resultat och effekter av genomförda insatser i förhållande till miljökvalitetsmålen (däribland *Begränsad klimatpåverkan*, se kapitel 1.3). Till centrala syften med FU15 hör att ge underlag till regeringens politik och för offentlig debatt.
- *Klimatfärdplan 2050*
En utredning kommer under 2015 lämna förslag till en strategi för hur regeringens långsiktiga vision att Sverige år 2050 inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser i atmosfären (se kapitel 1.3) ska uppnås. Utredningen kommer bland annat att beakta underlaget till en svensk färdplan som redovisats av Naturvårdsverket (2012).
Utredningen skall:
 - föreslå lämpliga etappmål för utsläppsutvecklingen för perioden 2030 till och med 2050,
 - lämna förslag på utformning av en effektiv styrning och uppföljning av politiken för att nå etappmålen och visionen,
 - analysera befintliga styrmedel och lämna förslag på förändrade eller nya kostnadseffektiva och långsiktigt verkande styrmedel, inklusive ekonomiska styrmedel och styrmedel för samhällsplanering och infrastruktur,
 - belysa rollen för svensk forskning och innovation inom klimatområdet i syfte att stärka Sverige som industrination, och

- lämna förslag på hur en klimafärdplan kan utformas för att den ska kunna fungera tillsammans med ett internationellt regelverk och styrinstrument på EU-nivå och internationell nivå.
- *De flexibla mekanismernas utveckling efter år 2015*
Statens energimyndighet har fått regeringens uppdrag att redovisa en analys av hur flexibla mekanismer i det internationella klimatsamarbetet borde och kan utformas och utvecklas från 2015 till 2030. Vidare ska rapporten föreslå hur Sverige kan och bör bidra till mekanismernas utveckling. Rapporten ska vara rapporterad till regeringskansliet den sista november år 2014.

1.3 Vägledande politiska mål

- *Klimatkonventionens målsättningar*
FN:s ramkonvention för klimaförändringar¹, antagen i Rio de Janeiro 1992, anger att klimaförändringarna ska stabiliseras på en nivå som innebär att människans påverkan på klimatsystemet inte blir farlig. Målet ska uppnås på ett sådant sätt och i en sådan takt att den biologiska mångfalden bevaras, livsmedelsproduktionen säkerställs och andra mål för hållbar utveckling inte äventyras.

Vidare har parterna under konventionen sedan 2010 kunnat enas om att det gemensamma målet ska vara att begränsa ökningen av den globala medeltemperaturen till under två grader jämfört med förindustriell nivå. Den målsättningen brukar benämnas tvågradersmålet. I fortsättningen använder vi oss av begreppet ”klarar tvågradersmålet” för att beskriva detta.
- *Miljökvalitetsmålet Begränsad klimatpåverkan*
Miljökvalitetsmålet *Begränsad klimatpåverkan* är ett av Sveriges sexton miljö-kvalitetsmål.

Den av riksdagen beslutade definitionen av *Begränsad klimatpåverkan* är att koncentrationen av växthusgaser i atmosfären, i enlighet med FN:s klimatkonvention (se ovan), ska stabiliseras på en nivå som innebär att människans påverkan på klimatsystemet inte blir farlig. Sverige har tillsammans med andra länder ett ansvar för att det globala målet kan uppnås.

Målet är konkretiserat i form av två preciseringar – ett temperaturmål och ett koncentrationsmål. Temperaturmålet stämmer överens med det mål som antagits under klimatkonventionen om att begränsa ökningen av den globala temperaturökningen till under två grader jämfört med förindustriell temperatur-nivå. Koncentrationsmålet härleds ur temperaturmålet. För att begränsa temperaturökningen till under två grader bör den sammanlagda koncentrationen i atmosfären av växthusgaserna på lång sikt stabiliseras på nivån högst 400 miljondelar (ppm) koldioxidekvivalenter (CO₂ekv). Härledningen från tvågradersmålet till ett koncentrationsmål baserades på IPCC:s fjärde utvärderingsrapport AR4 (IPCC, 2007) och Vetenskapliga rådets arbete 2007.
- *De klimat- och energipolitiska målen till 2020*
År 2009 beslutades genom propositionerna *En sammanhållen klimat- och energipolitik* (Regeringen, 2009a, b) ett antal klimat och energipolitiska mål som ska gälla för Sverige till år 2020. Dessa inkluderar:

¹ <http://www.government.se/sb/d/1427/a/15158>

- 40 procent minskning av klimatutsläppen,
- 50 procent förnybar energi,
- minst 10 procent förnybar energi i transportsektorn, och
- 20 procent effektivare energianvändning

Utöver de beslutade energi- och klimatpolitiska målen antogs tre handlingsplaner för klimat- och energiomställning; handlingsplan för förnybar energi, handlingsplan för fossiloberoende fordonsflotta år 2030 samt handlingsplan för energieffektivisering.

Det 40 procentiga klimatmålet gäller jämfört med 1990 och avser den så kallade icke handlande sektorn, det vill säga de sektorer som inte ingår EU:s utsläppshandelssystem (EU ETS). Utsläppsmålet gäller därmed till exempel transporter, bostäder, avfallsanläggningar, jord- och skogsbruk, vattenbruk samt delar av industrin.

För de verksamheter som omfattas av EU ETS bestäms minskningen av utsläppen gemensamt på EU-nivån inom ramen för handelssystemets regler. EU-länderna har enats om att minska utsläppen i handelssystemet med 21 procent mellan 2005 och 2020.

För att utsläppen ska vara 40 procent lägre till år 2020 jämfört med 1990 måste utsläppen av växthusgaser angivet i koldioxidekvivalenter minska med ca 20 miljoner ton. En tredjedel av dessa utsläppsminskningar, kan tillgodoräknas genom klimatinvesteringar i andra EU-länder och flexibla mekanismer.²

- *EU:s energi och klimatpolitiska ramverk till år 2030*

Den 23 oktober 2014 enades Europas regeringschefer om ett nytt europeiskt klimat- och energiramverk för år 2030. Ramverket inkluderar utsläppsminskningsmål om minst 40 procent inom EU jämfört med år 1990 års nivåer. Utsläppsminskningmålet ska uppfyllas gemensamt på EU-nivå på det sätt som är mest kostnadseffektivt och kommer att fördelas mellan den handlande respektive icke handlande sektorn, varav utsläppen ska minska med 43 procent inom EU ETS jämfört med år 2005 samt med 30 procent inom den icke handlande sektorn. Vidare inkluderar 2030-ramverket ett mål på EU-nivå för förnybar energi om minst 27 procent samt ett indikativt energieffektiviseringsmål på EU-nivå om 27 procent.

- *Visionen om nettonollutsläpp år 2050*

I propositionen *En sammanhållen klimat- och energipolitik - Klimat (Regeringen 2009a)* redovisades en vision att Sverige år 2050 har en hållbar och resurseffektiv energiförsörjning, utan nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären. Riksdagen ställde sig bakom denna bedömning i propositionen. Enligt propositionstexten bidrar Sverige genom att uppnå nettonollutsläpp med sin del av ansvaret för att begränsa de globala växthusgasutsläppen till hållbara nivåer. Arbetet pågår med att ta fram en färdplan för att nå visionen (se *Klimatfärdplan 2050* i kapitel 1.2). Arbetet knyter an till att alla industriländer vid FN:s klimatkonferens i Cancún år 2010 åtog sig att ta fram nationella strategier för att åstadkomma låga växthusgasutsläpp.

² <http://www.government.se/content/1/c6/12/29/38/77631d4b.pdf>

1.4 Rapportens struktur

Efter en inledande sammanfattning görs en beskrivning av regeringsuppdraget samt relevanta politiska mål på klimatområdet i Sverige (kapitel 1). Därefter görs en sammanfattning av IPCC:s två första delrapporter i AR5 som behandlar den naturvetenskapliga grunden och konsekvenserna av klimatförändringar (kapitel 2). I kapitlet ligger tonvikten på det globala perspektivet men en del ägnas mer specifikt åt Europa. Därefter görs i kapitel 3, baserat på SMHI:s regionala klimatscenarier, en närmare beskrivning av framtida klimatförändringar samt konsekvenser för svensk del. I kapitel 4 sammanfattas den del av tredje delrapporten i AR5 som handlar om historiska utsläpp och drivkrafter bakom dessa. I kapitel 5 diskuteras specifikt vad som krävs för att klara tvågradersmålet. Därefter tas i kapitel 6 upp vilka åtgärder som kan sättas in på kort respektive lång sikt. Avslutningsvis görs en genomgång av kostnader och eventuella vinster förknippade med olika åtgärder (kapitel 7).

2 Klimatförändring och konsekvenser

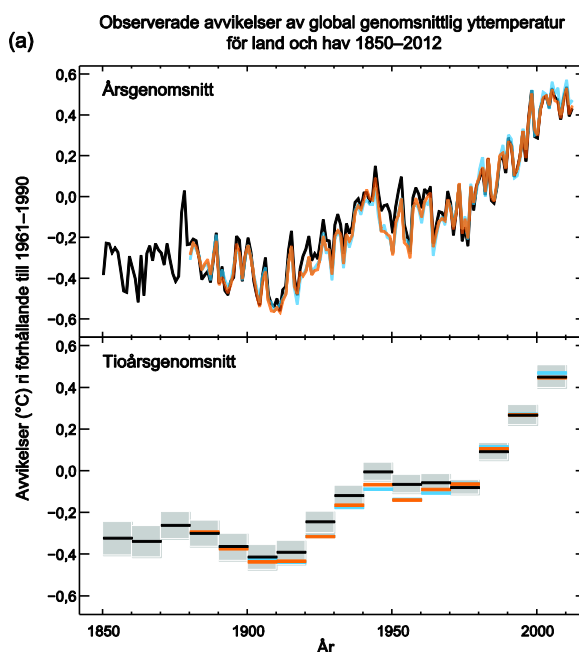
I det här kapitlet ger vi en presentation av de viktigaste resultaten från de två första delrapporterna till AR5. Den första behandlar den naturvetenskapliga grunden (IPCC, 2013a). Där beskrivs hur den globala uppvärmningen fortsätter och att klimatförändringen till största delen kan knytas till människans aktiviteter. Den andra delen handlar om konsekvenserna av klimatets förändring och vad som krävs för att anpassa samhällen till klimateffekter (IPCC, 2014a, b). Sist i kapitlet presenterar vi resultat specifikt för Europa ur de båda delrapporterna.

2.1 Den naturvetenskapliga grunden

I sammanställningen har vi valt att lyfta fram vissa delar av resultaten i AR5 och också i någon mån uppdaterat denna med hjälp av nyare forskning. Uppställningen följer i huvudsak den som finns i AR5:s sammanfattning för beslutsfattare med tillägget att vi i kapitel 2.1.5 separat tar upp tröskeleffekter som lyfts upp ur kapitel 12 i huvudrapporten.

2.1.1 Observerade förändringar i klimatsystemet

AR5 slår fast att den globala medeltemperaturen har ökat med 0,85 °C mellan 1880 och 2012 (Figur 1) och att de senaste tre decennierna har varit succesivt varmare vid jordytan än samtliga tidigare årtionden sedan 1850. För år 2013 och 2014, som inte var med i underlaget till AR5, visar globala sammanställningar på att dessa är mycket varma år (2013 det sjunde varmaste året sen 1850 tillsammans med 2006 och 2009³ och för januari-oktober är 2014 det näst varmaste). I AR5 diskuteras också naturlig variabilitet och skillnader mellan olika år eller årtionden. T.ex. lyfter man fram att perioden 1998-2012 sett en lägre grad av global uppvärmning (0,05 °C per årtionde) än motsvarande uppvärmning under den längre perioden 1951-2012 (0,12 °C per årtionde). Detta har benämnts som en ”paus” eller ”hiatus” i den globala uppvärmningen (se faktaruta s.14).



Figur 1. Observerade avvikelser för globala genomsnittliga ytemperaturer för land och hav från 1850 till 2012 från tre dataserier. Övre fältet: årsmedelvärden. Nedre fältet: tioårsgenomsnitt, samt med skuggning uppskattad osäkerhet för en av dataserierna (den i svart). Avvikelseerna är i förhållande till genomsnittet för 1961-1990. Översatt från IPCC (2013b).

³ <http://www.giss.nasa.gov/research/news/20140121/>

Faktaruta: Långsammare uppvärmning 1998-2012

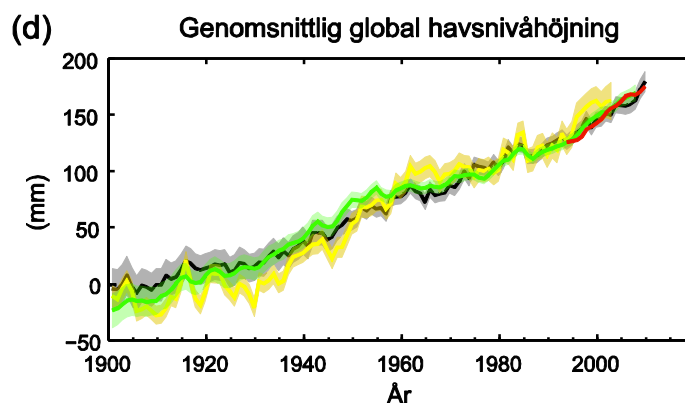
”Pausen” eller den långsammare uppvärmningen under 1998-2012 diskuterades i AR5. Senare studier belyser olika delar av det här fenomenet. Cowtan och Way (2014) visar att dålig täckningsgrad av observationer i Arktis har lett till en underskattning av ökningen i global medeltemperatur i ett av de mest använda globala dataseten (HadCRUT4). Efter att ha tagit hänsyn till ”hålen” i observationsnätet över Arktis ändras trenden över perioden 1997-2012 från 0,05 °C till 0,12 °C per årtionde vilket är densamma som trenden för 1951-2012. Trenden är dock fortfarande något mindre än motsvarande trend för perioden från 1980 (0,16 °C per årtionde) och det står klart att uppvärmningen i största delen av världen utanför Arktis varit lägre under 1998-2012.

Den globala medeltemperaturens variationer från ett år till nästa är i stor utsträckning relaterat till variationer i havets ytvattentemperatur. Särskilt variationer relaterade till s.k. El Niño- och La Niña-episoder (ENSO-händelser), där havsytans temperatur över stora områden i Stilla Havet påverkas, har stor betydelse. T.ex. var El Niño-åren 1983, 1998 och 2010 globalt sett varmare än åren närmast före och efter medan La Niña-åren 1985, 1996 och 2011 var kallare. Foster och Rahmstorf (2011) tar hänsyn till den här typen av känd variabilitet samt ytterligare faktorer som också påverkar den globala medeltemperaturen (kraftiga vulkanutbrott i tropikerna och variationer i solens instrålning). Deras resultat visar att den globala uppvärmningen inte avstannat i någon större utsträckning även om orsakssambanden ännu inte är helt utredda. Vidare visar Huber och Knutti (2014) att om observationerna korrigeras för ENSO-trenden samt variationer i solstrålning och vulkanutbrott ger CMIP5-modellerna en bättre överensstämmelse med dessa ”korrigerade” observationer.

Det är inte bara atmosfären som värms upp. Även andra delar av klimatsystemet visar på ett ökat värmeinnehåll. Det här gäller både den översta delen av havet nära havsytan men också djupare skikt. Balmaseda et al. (2014) visar att uppvärmningen av haven under senaste decenniet varit större än tidigare vilket är relaterat till variabilitet i vindsystemen som i sin tur påverkar havsströmmar och värmeutbyte mellan hav/atmosfär. England et al. (2014) pekar på att starkare passadvindar över delar av Stilla Havet lett till mer uppvärmning av kallt havsvatten vilket hållit tillbaka ökningen av den globala medeltemperaturen. Chen och Tung (2014) visar på en kraftig uppvärmning av djupare liggande skikt i Atlanten under det senaste decenniet vilket förknippas med variabilitet på lite längre tidsskalor (ett par decennier).

Efter AR5 har flera studier undersökt modellernas förmåga att fånga den långsammare uppvärmningen mer i detalj. Resultaten pekar på att den naturliga variabiliteten har en stor betydelse för att förklara en del av avvikelserna. T.ex. visar Meehl et al. (2014) att 10 av 262 CMIP5-körningar visade en långsammare uppvärmning under perioden och att de var i fas med den observerade negativa fasen av IPO (Interdecadal Pacific Oscillation) som är förknippad med att stora områden i Stilla Havet har låga ytvattentemperaturer. I linje med detta visar Doblas-Reyes et al. (2013) baserat på en serie kortare femårs-körningar, där de globala klimatmodellerna initialiserats (med observationers hjälp startat från tillstånd som ligger nära det observerade klimatet), att modellerna på ett bättre sätt kan beskriva utvecklingen under den senaste 15-årsperioden. Särskilt visar den studien på att de senaste årens lite mindre kraftiga uppvärmning av atmosfären och större värme-flöde ner i haven fångas på ett mer realistiskt sätt av modellerna. Förutom att de här resultaten bidrar till ökad förståelse av klimatets variabilitet är det också viktigt i perspektivet av att man vill kunna göra prognoser på klimatets utveckling under de närmaste åren och inte bara arbeta med scenarier som beskriver vad som kan hända längre in i framtiden.

Förutom att diskutera den globala uppvärmningen tar IPCC-rapporten också upp andra aspekter av hur klimatet har förändrats. Det här inkluderar minskning i istäcket på Grönland och Antarktis. För Antarktis pekar ett par senare studier baserade på nya och uppdaterade data (Helm et al., 2014 och Williams et al., 2014) på ökad avsmältning jämfört med vad som diskuteras i AR5 (se också kapitel 2.1.5). Andra ändringar i is och snö märks i form av minskade glaciärer och mindre utbredning av havsis i Arktis och av snötäcke under delar av året i många regioner. Vidare visar observationer att medel-nederbörden ökat över land på norra halvklotet under 1900-talet. Förändrade mönster för extrema väder- och klimathändelser har också observerats sedan omkring 1950. Det här rör sig t.ex. om minskning i antal och intensitet av kalla extremer och ökning i antal och intensitet av varma extremer. Antalet skyfall har sannolikt ökat i fler områden än där antalet minskat. Till följd av främst havens uppvärmning och glaciärernas avsmältning stiger den genomsnittliga havsnivån. Avsmältning av landisarna på Grönland och Antarktis och ett ändrat grundvattenuttag på kontinenterna bidrar också i mindre utsträckning till havsnivåhöjningen. Sett över perioden 1901–2010 har den genomsnittliga havsnivån stigit med 0,19 m. Mot slutet av tidsserien finns en ökning i ökningstakten och t.ex. under perioden 1993–2010 var medelhöjningen 3,2 mm/år (Figur 2).



Figur 2. Genomsnittlig global havsnivåhöjning i förhållande till genomsnittet för 1900-1905. Översatt från IPCC (2013b)

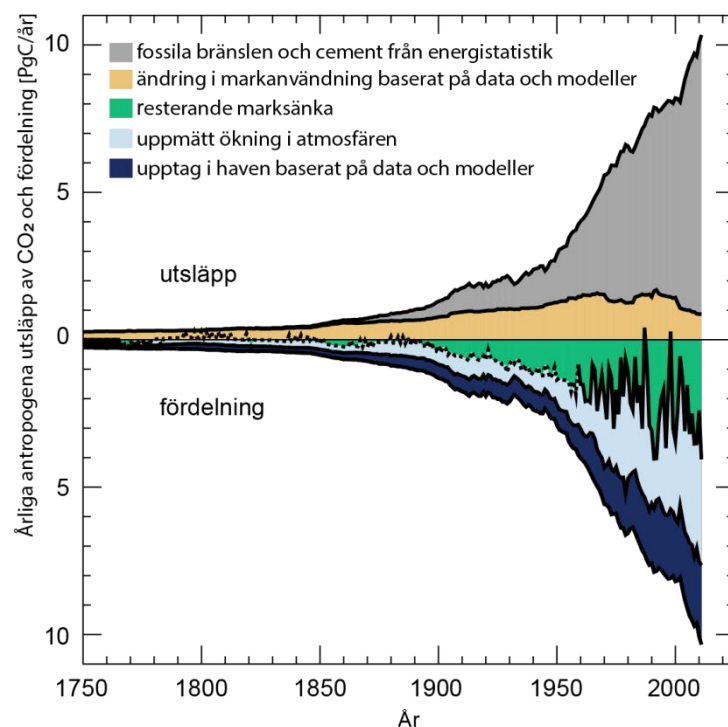
Samtidigt med observationer av ändringar i klimatet har också ändringar i exempelvis koncentrationen av koldioxid i atmosfären observerats. Idag är koncentrationerna av koldioxid och också metan och lustgas högre än vad de varit någon gång under de senaste 800 000 åren. Den kraftiga ökningen av koldioxid under de senaste decennierna är kopplad till förbränning av fossila bränslen. Figur 3 visar på att den extra koldioxid som tillförs atmosfären bara delvis stannar kvar där. En del av koldioxiden löses in i haven där den bidrar till en omfattande försurning⁴ och en ungefär lika stor del tas upp på land. Bilden illustrerar obalansen i kolets kretslopp där en allt större mängd kol tillförs hav, land och atmosfär sedan 1750.

2.1.2 Drivkrafter bakom klimatförändringar

Klimatsystemet påverkas av olika drivkrafter. Naturliga och av människan påverkade ämnen och processer kan ändra jordens energibalans och därigenom klimatet. Strålningsdrivning är ett begrepp som används för att kvantifiera hur stor påverkan är och i det här sammanhanget jämförs med förindustriella förhållanden (definierat som år 1750). Positiv strålningsdrivning handlar om ämnen och processer som leder till uppvärmning och negativ om sådant som leder till avkylning. Strålningsdrivning mäts i Watt per kvadratmeter ($W m^{-2}$) och beräknas vid toppen av atmosfären. I samband med AR5 har man valt att utgå från utsläppsbaserad strålningsdrivning till skillnad från koncentrationsdriven

⁴ pH-värdet i haven har sjunkit med 0,1 enheter sen 1750 vilket motsvarar en 26-procentig ökning av vätejonkoncentrationen.

som användes i AR4. Skillnaden handlar om att man vid en utsläppsbaserad strålningsdrivning tittar även på de direkta (snabba) effekter som följer av ett utsläpp. Släpper man exempelvis ut en viss växthusgas kan detta få konsekvenser även för andra växthusgaser och/eller processer i klimatsystemet. Tidigare tittade man istället på bidraget från en enskild växthusgas i taget. Det här får som konsekvens att t.ex. bidraget från metan till den totala strålningsdrivningen nu är mycket större än tidigare då metan påverkar förhållanden i stratosfären genom att öka mängden vattenånga och ändra ozonkoncentrationen där. Oavsett vilken av de båda metoderna som används blir den totala strålningsdrivningen dock densamma, det är bara fördelningen mellan olika bidrag som ändras. Det går alltså bra att jämföra den totala strålningsdrivningen i AR5 med den i AR4 eller IPCC:s tredje utvärderingsrapport (TAR, Third Assessment Report. IPCC, 2001). I AR5 slås t.ex. fast att strålningsdrivningen för 2011 är hela 43 procent högre än motsvarande siffra för 2005 från AR4. Den stora skillnaden beror dels på att den avkylande effekten av aerosoler tonats ner med 25 procent och dels på fortsatt snabb ökning av växthusgaskoncentrationerna i atmosfären under de sex åren.



Figur 3. Årliga mänskliga utsläpp av växthusgaser samt deras fördelning mellan atmosfär, mark och hav år 1750-2011

I jämförelse med 1750 var den totala strålningsdrivningen för 2011 $2,29 \text{ W m}^{-2}$ (IPCC, 2013a). Bakom den här siffran döljer sig både positiva bidrag (främst växthusgaser) och negativa bidrag (främst reflekterande aerosolpartiklar). Strålningsdrivningen från stratosfäriska vulkaniska aerosoler kan vara stor under ett par år efter ett utbrott. T.ex. diskuterar man i AR5 den serie av mindre vulkanutbrott som inträffade mellan 2008 och 2011 vilken orsakade en negativ strålningsdrivning om $-0,11 \text{ W m}^{-2}$. Bortsett från vulkanutbrottets inverkan så nämns också strålningsdrivning förorsakad av variationer i solaktiviteten med bidrag av upp emot $0,05 \text{ W m}^{-2}$. Det sammanlagda bidraget från naturliga processer (vulkaner och solaktivitet) är litet i förhållande till bidraget från av människan påverkade processer. I sammanhanget kan man nämna att ökningen av det positiva bidraget till strålningsdrivningen mellan 2011 och 2013⁵ varit nästan $0,08 \text{ W m}^{-2}$.

⁵ Siffror hämtade i november 2014 från NOAA <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>

Det här betyder alltså att ökningen av strålningsdrivning p.g.a. ökade utsläpp av växthusgaser på bara ett till ett par års sikt är lika stor som, eller t.o.m. större än, hela den naturliga variationen.

2.1.3 Att förstå klimatsystemet och dess senaste förändring

I AR5 slås fast att människans påverkan på klimatsystemet är tydlig. Det här kommer man fram till baserat på en kombination av stigande koncentrationer av växthusgaser i atmosfären, positiv strålningsdrivning, observerad uppvärmning samt förståelsen av klimatsystemet.

Ytterligare sex år av data som visar på den pågående klimatförändringen har kunnat analyseras i AR5 jämfört med AR4. Mycket av AR5 och tidigare sammanställningar bygger på resultat från globala klimatmodeller som körts i internationella samarbetsprojekt (CMIP, Climate Modelling Intercomparison Project) där CMIP3 låg till grund för AR4 och CMIP5 för AR5. En stor skillnad mellan CMIP3 och CMIP5 är att man i den senare har fler s.k. jordsystemmodeller. De här modellerna innehåller fler komponenter i klimatsystemet, t.ex. moduler som beskriver atmosfärens kemi, dynamisk vegetation eller biogeokemiska processer i haven. Med hjälp av dessa komponenter kan modellerna bättre svara på frågor kring hur klimatsystemet påverkas av en störning som exv. människans påverkan på atmosfärens koncentrationer av växthusgaser.

I AR5 slås fast att klimatmodellerna blivit bättre sedan tiden för AR4 och att de på ett bättre sätt kan återskapa mönster och trender än vad de kunde göra tidigare. Modellerna visar på en långsiktig uppvärmning under 1900-talet som i stort är konsistent med den observerade trenden. För kortare tidsperioder, som 10–15 år, är detta inte alltid fallet. I samband med att AR5 publicerades var det till exempel mycket diskussion kring perioden 1998–2012 som uppvisar en mindre uppvärmning än tidigare perioder (jfr. kapitel 2.1.1). Från de långa CMIP5-simuleringarna av klimatet från ca 1850 och fram till idag stod det klart att nästan alla⁶ globala klimatmodellerna överskattade temperaturökningen för den senaste 15-årsperioden. Detta förklaras i AR5 som en kombination av minskning i trenden för ökad strålningsdrivning och intern variabilitet med omfördelning av värme i havet samt i några modeller en överskattning av responsen på ökande utsläpp av växthusgaser och annan antropogen påverkan (se vidare faktaruta s.14).

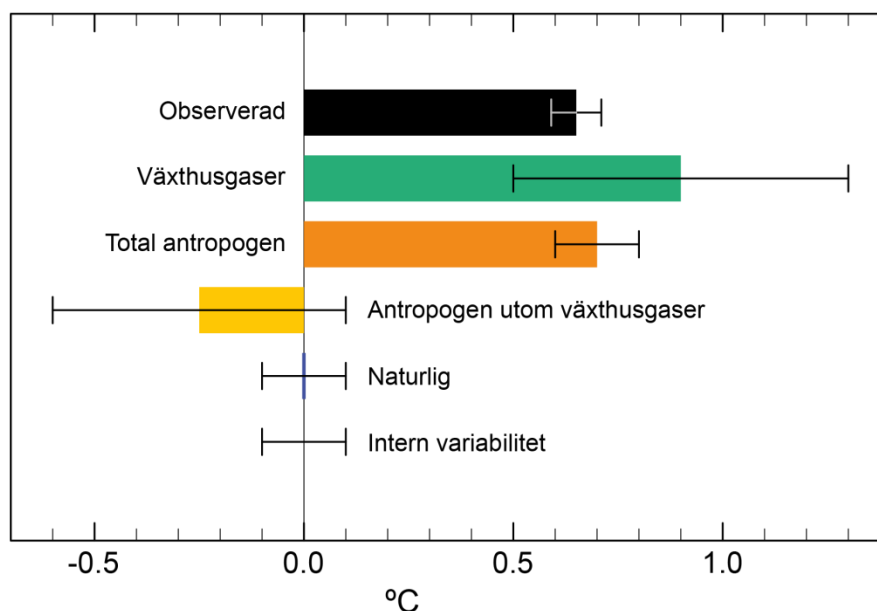
Man pekar också på andra förbättringar såsom bättre simulering av temperaturer på regional nivå, viss förbättring av regionala nederbördsmonster och bättre simulering av viktiga fenomen som t.ex. monsuner och ENSO än vid tiden för AR4. En del förbättringar i andra aspekter listas också, såsom bättre simulering av den minskande trenden i sommartida havsis i Arktis, bättre värmeinnehåll i haven och att storleken på de globala kolsänkorna ligger inom det observerade intervallet i de flesta jordsystemmodellerna. Fortfarande bedöms modellernas förmåga att återge och kvantifiera moln- och aerosolprocesser vara ett område där förbättringar fortfarande krävs trots att processerna är bättre beskrivna nu än för några år sedan.

I AR5 konstateras att studier baserade på observationer och modeller över temperaturförändringar, återkopplingsmekanismer och jordens energibudget ger stöd för att storleken på den globala uppvärmningen är ett svar på tidigare ändringar i strålningsdrivning. Återkopplingsmekanismer som berör förändrad mängd vattenånga i atmosfären och skillnad i uppvärmning mellan markyta och atmosfär bedöms vara positiva⁷ liksom nettoåterkopplingen förknippad med moln.

⁶ 111 av 114 simuleringar med CMIP5-modellerna (Technical Summary WGI, AR5).

⁷ Med ”positiv återkoppling” menas att en process förstärker responsen i systemet jämfört med störningen som ges av den ursprungliga klimatpåverkande processen. ”Negativ återkoppling” beskriver på motsvarande sätt en process som motverkar den initiala störningen.

Klimatkänsligheten är ett mått på hur klimatsystemet långsiktigt svarar på en ändring i strålningsdrivningen motsvarande en fördubbling av atmosfärens koldioxidkoncentration. I AR5 kom man fram till att klimatkänsligheten vid jämvikt (dvs. efter lång tid då klimatsystemet fått ställa in sig) *sannolikt*⁸ ligger i intervallet 1,5 till 4,5 °C. Den nedre gränsen är lägre än i AR4 men motsvarar det värde som angetts i tidigare sammanställningar som TAR. Den nya lägre gränsen i AR5 är en följd av förbättrad förståelse, längre tidsserier för observationer och nya uppskattningar av strålningsdrivningen.



Figur 4. Bedömda intervall och deras mittpunkt (staplar) för trend i uppvärmning under 1951-2010 från välblandade växthusgaser, annan antropogen påverkan (inkluderande avkylande effekt från aerosoler och effekten av ändrad markanvändning), total antropogen klimatpåverkan, naturlig klimatpåverkan och intern naturlig variabilitet som uppstår spontant inom klimatsystemet även utan extern klimatpåverkan. Den observerade temperaturändringen vid marken visas i svart med 5-95% konfidensintervall baserat på osäkerheten i observationerna. Den anknutna uppvärmningen (färgad) baseras på observationer i kombination med klimatmodellsimuleringar, för att kunna uppskatta bidraget av en individuell klimatpåverkande komponent till den observerade uppvärmningen. Bidraget från den totala antropogena klimatpåverkan kan uppskattas med mindre osäkerhet än de individuella bidragen från växthusgaser och från annan antropogen påverkan. Det beror på att de här två komponenterna delvis kompenserar varandra, vilket resulterar i en signal som är bättre begränsad av observationerna. Översatt från IPCC (2013a).

I AR5 diskuteras också ett par andra mått på klimatsystemets respons, t.ex. den transienta klimatkänsligheten som beskriver hur stor förändringen i temperatur är vid tidpunkten för koldioxidens fördubbling till skillnad från den förändring som fås först vid jämvikt vilket ges av intervallet här ovan. Den transienta uppvärmningen är mindre än jämviktsresponsen och ligger *sannolikt* i intervallet 1,0 till 2,5 °C. Slutligen diskuteras också klimatrespons för kumulativa koldioxidutsläpp vilket definieras som förändringen i

⁸ Kursiverade mått på sannolikhet i texten är tagna från bedömningarna i AR5 och följer den definition som ges där, dvs. praktiskt taget säkert 99–100 % sannolikhet, ytterst sannolikt 90–100 % sannolikhet, sannolikt 66–100 % sannolikhet, ungefär lika sannolikt som osannolikt 33–66 % sannolikhet, osannolikt 0–33 % sannolikhet, mycket osannolikt 0–10 % sannolikhet, praktiskt taget helt osannolikt 0–1 % sannolikhet. Andra termer (ytterst sannolikt 95–100 % sannolikhet, mer sannolikt än inte >50–100 % sannolikhet och ytterst osannolikt 0–5 % sannolikhet) kan också användas där så är lämpligt.

temperatur som funktion av hur mycket kol som släppts ut till atmosfären. Här anges ett intervall av 0,8 till 2,5 °C per 1 000 miljarder ton kol (GtC) som *sannolikt* (se vidare i kapitel 5.1, figur 22).

AR5 tar också upp frågan kring vad av den observerade klimatförändringen som kan knytas till människans påverkan på klimatsystemet och till vilken grad det kan göras. Säkrast är man på att den globala medeltemperaturen ökat till följd av ökade koncentrationer av växthusgaser i atmosfären sedan 1950. Detta säger man nu med 95 procents säkerhet vilket är en skärpning jämfört med de 90 procent man angav i AR4 som i sin tur var en skärpning gentemot de 66 procent som angavs i TAR. Hade det inte varit för förändringar i reflekterande och därmed avkylande aerosoler hade förändringarna varit ännu större (Figur 4). Andra ändringar i temperaturklimatet som kan knytas till mänsklig aktivitet rör den regionala ökningen av temperaturen över alla kontinenter samt det ökade värmeinnehållet i haven. Även temperaturextremer har *mycket sannolikt* påverkats av människan. Dessutom kan ändringar i vattnets globala kretslopp också knytas till människan med ändringar i storskaliga nederbördsmonster samt i frekvens och intensitet hos skyfall.

2.1.4 Framtida globala och regionala klimatförändringar

Resultaten för framtiden i AR5 baseras i stort på en ny uppsättning av scenarier, så kallade RCP:er (Representative Concentration Pathways). De här nya scenarierna användes för de globala klimatmodellsimuleringarna som utfördes inom ramen för CMIP5. RCP-scenarierna fokuserar på människans klimatpåverkan genom exempelvis utsläpp av koldioxid och metan eller bidrag till ändrade partikelkoncentrationer i atmosfären. Scenarierna inkluderar däremot inte förändringar av naturliga faktorer som solstrålning, vulkanutbrott eller naturliga utsläpp av exempelvis metan. Antalet möjliga scenarier inför framtiden är naturligtvis väldigt stort. I AR5 definierades en uppsättning av fyra RCP:er (Tabell 1). De kännetecknas av sin ungefärliga totala strålningsdrivning för 2100 i förhållande till 1750 där exv. 2,6 i RCP 2,6 betyder 2,6 W m⁻². Högre värden motsvarar en kraftigare klimatpåverkan och därigenom större klimatförändring. RCP-scenarierna är inte direkt jämförbara med tidigare generationers scenarier då de utgår från strålningsdrivning och inte koncentration men i stort kan man se att de olika scenarierna har motsvarigheter i tidigare generationers scenarier. Ett undantag är dock RCP2,6 som motsvarar ett scenario med mycket låg strålningsdrivning (bara strax över dagens nivå i slutet av seklet), den typen av scenarier har inte tidigare studerats i någon större utsträckning. I övrigt finns två stabiliseringsscenarioer⁹ (RCP4,5 och RCP6,0), och ett scenario med mycket höga växthusgasutsläpp (RCP8,5). Bland RCP:erna finns således ett antal möjliga utvecklingsbanor för klimatpolitiken under 2000-talet, jämfört med den politik utan åtgärder som redovisades i den särskilda rapporten om utsläppsscenarioer (SRES, 2000). SRES-scenarierna användes i IPCCs tredje och fjärde utvärderingsrapporter. I RCP6,0 och RCP8,5 har strålningsdrivningen inte nått sin kulmen vid 2100, för RCP2,6 har den kulminerat och till och med sjunkit till år 2100. RCP:erna bygger på en kombination av integrerade beräkningsmodeller¹⁰, enkla klimatmodeller, atmosfärskemi och modeller för kolets globala kretslopp.

⁹ Stabilisering betyder här att strålningsdrivningen stabiliseras fram till 2100 eller 2150, inte klimatet vilket fortsätter ändras under lång tid.

¹⁰ Integrerade beräkningsmodeller eller ”Integrated Assessment Models” (IAM) är en typ av numeriska optimeringsmodeller som integrerar de olika ingående systemen, t.ex. klimatet och energisektorn.

Till varje RCP finns ett stort antal olika möjliga utvecklingsvägar. De flesta av simuleringarna i CMIP5 och jordsystemmodellerna utfördes med fastställda koldioxidkoncentrationer (Tabell 1). För RCP8,5 har ytterligare simuleringar i CMIP5 och jordsystemmodeller utförts med nivåer av koldioxidutsläpp som tagits fram med hjälp av integrerade beräkningsmodeller. För alla RCP:er gjordes ytterligare beräkningar med uppdaterade atmosfärskemiska data och modeller (inklusive atmosfärskemi och klimatkomponenter för CMIP5) med hjälp av fastställda nivåer för utsläpp av kemiskt reaktiva gaser¹¹. Simuleringarna gör det möjligt att undersöka osäkerheter som hänger samman med återkopplingen från kolcykeln och atmosfärisk kemi.

Tabell 1. RCP-scenarier och fastställda växthusgaskoncentrationer som använts i CMIP5. Metan (CH₄) och lustgas (N₂O) är omräknade till CO₂-ekvivalenter. Ändring i global medeltemperatur vid två tidsperioder jämfört med 1986-2005 anges som medelvärde över CMIP5-modellerna och med 5-95% konfidensintervall. Baserad på sammanfattningen för beslutsfattare till IPCC (2013b).

Scenario	Växthusgaskoncentration		Tidsperiod	
	CO ₂ (ppm)	CO ₂ , CH ₄ och N ₂ O (ppm)	2046-2065 (°C)	2081-2100 (°C)
RCP2,6	421	475	1,0 (0,4-1,6)	1,0 (0,3-1,7)
RCP4,5	538	630	1,4 (0,9-2,0)	1,8 (1,1-2,6)
RCP6,0	670	800	1,3 (0,8-1,8)	2,2 (1,4-3,1)
RCP8,5	936	1 313	2,0 (1,4-2,6)	3,7 (2,6-4,8)

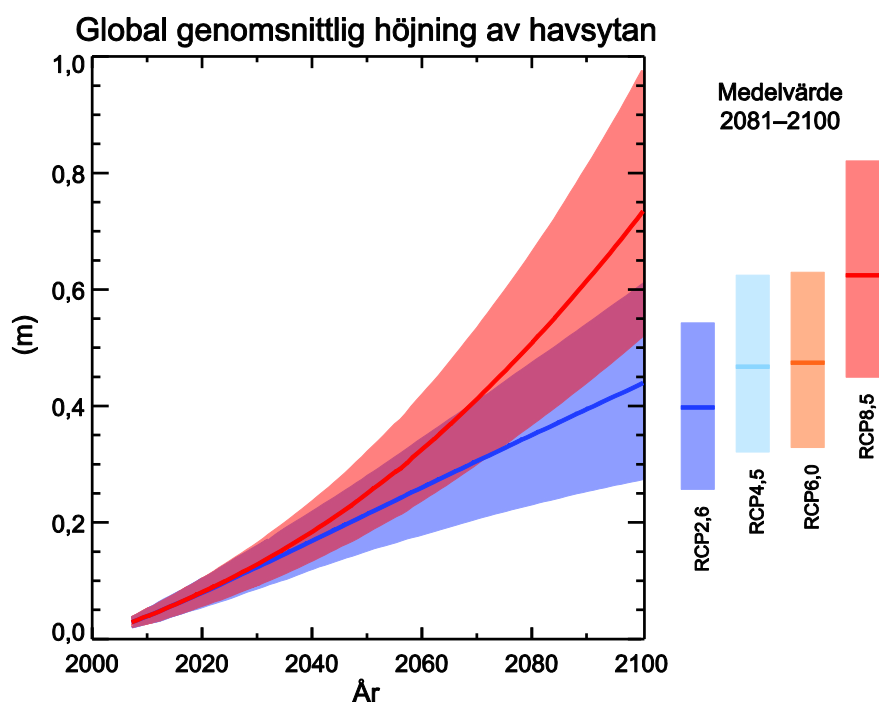
Klimatscenarierna visar på en fortsatt framtida uppvärmning och förändringar i alla delar av klimatsystemet till följd av fortsatt ökade växthusgaskoncentrationer. Under 2000-talet förväntas temperaturökningen *sannolikt* överstiga 1,5 °C jämfört med förindustriella förhållanden för samtliga scenarier utom RCP2,6. Det är *sannolikt* att temperaturökningen blir större än 2 °C i övriga scenarier. Samtidigt är det *osannolikt* att den blir större än 4 °C utom i RCP8,5 där det bedöms vara ungefär *lika sannolikt som osannolikt* med en ännu större temperaturökning. Förändringar jämfört med 1986–2005 för mitten och slutet av seklet i de fyra RCP:erna visas i Tabell 1 där intervallen anger *sannolik* ändring. För 2016-2035 är ökningen *sannolikt* i intervallet 0,3 till 0,7 °C baserat på RCP:erna. Till samtliga dessa läggs den redan inträffade uppvärmningen som fram till 1986-2005 är 0,61 °C vid jämförelse med förindustriella förhållanden. Stora regionala skillnader finns, med en i allmänhet större uppvärmning över kontinenterna än över haven och särskilt en mycket stor uppvärmning i Arktis. I tillägg till en generell ökning av temperaturen ändras också temperaturens variabilitet. Fler varma temperaturextremer är att vänta i många områden liksom ökad variabilitet. I andra områden, där kalla temperaturextremer blir mindre utpräglade, kan man istället få se en minskad variabilitet i temperaturklimatet (gäller exempelvis i Sverige under vintern, se vidare i kapitel 3.2.1).

De storskaliga temperaturändringarna påverkar den storskaliga cirkulationen i atmosfären. T.ex. pekar CMIP5-modellerna på att lågtrycksbanorna på södra halvklotet flyttar sig något närmare (i genomsnitt 1°) Sydpolen. På norra halvklotet visar modellerna på en generell minskning i frekvensen av lågtryck men i övrigt är bilden inte entydig.

¹¹ Metan (CH₄), lustgas (N₂O), fluorkolväten (HFC), kväveoxider (NO_x), kolmonoxid (CO) och flyktiga organiska ämnen (NMVOC)

Till följd av den framtida temperaturökningen intensifieras det hydrologiska kretsloppet ytterligare vilket t.ex. innebär ändringar i nederbörds klimatet med i allmänhet mer nederbörd i redan nederbördsrika regioner och mindre nederbörd i torra områden. Förändringar i nederbörds klimatet påverkas i hög grad av naturlig variabilitet och detta gäller särskilt på regional och lokal nivå. Även nederbördsextremer ändras med exempelvis fler och intensivare skyfall i de flesta tempererade landområden och i tropikerna. I studier som tillkommit efter AR5 pekas på att ökningen i skyfall möjligen underskattats av dagens globala och regionala klimatmodeller då dessa som regel inte har tillräckligt hög upplösning för att på ett tillräckligt bra sätt beskriva kraftiga regnskurar. I Kendon et al. (2014) visas att ökningen av de allra mest intensiva sommartida skyfallen över södra England är kraftigare i en mycket högupplöst regional modell (1,5 km beräkningsgrid), som kan beskriva regnskurar och konvektiva moln, jämfört med en modell med grövre upplösning (12 km beräkningsgrid) där de molnen hanteras på ett mer förenklat sätt.

Även förändringar i snö och is fortsätter i scenarierna. T.ex. visar de globala modellerna i CMIP5 på fortsatt minskning av havsisutbredningen i Arktis och i RCP8,5 visar många av modellerna att Arktis kan vara isfritt i september på sensomrarna redan före mitten av detta århundrade. Den globala glaciärvolymen fortsätter också att minska liksom utbredningen av permafrost på höga nordliga breddgrader. I tillägg till detta minskar också snötäcket utbredning.



Figur 5. Beräknad stigning av den globala genomsnittliga havsnivån fram till år 2100 (m) med perioden 1986-2005 som referens. Beräkningarna är gjorda med processbaserade modeller med två olika antaganden om den framtida effekten av utsläpp av växthusgaser (RCP 2,6 respektive RCP 8,5). Den beräknade sannolika (> 66 %) spridningen är markerad som ett skuggat område. Till höger visas sannolik spridning för perioden 2081-2100 för alla RCP-scenarier där heldragen linje avser medianvärdet. Översatt från IPCC (2013b).

Scenarierna visar även på fortsatt höjning av havsnivån och för år 2100 visar exempelvis högsta scenariot RCP8,5 en höjning på mellan 0,52 och 0,98 m i förhållande till 1986–2005 (Figur 5). Jämfört med AR4 är höjningarna i de nya scenarierna något högre då man inkluderat även landisarnas dynamiska förändringar. Vidare pekar man på att havsnivåhöjningen kommer att fortsätta i många århundraden efter år 2100 på grund av termisk

expansion i haven och fortsatt avsmältning av isarna på Grönland och Antarktis. I AR5 pekades på att den globala havsnivåhöjningen kan begränsas till 1 m fortfarande vid år 2300 givet låg strålningsdrivning motsvarande ett scenario som RCP2,6 med koldioxidkoncentrationer som på sikt håller sig under 500 ppm. För ett scenario som RCP8,5 med koldioxidkoncentrationer mellan 700 och 1 500 ppm kan höjningen år 2300 istället bli mellan 1 och 3 m. De nya observationerna av isavsmältning inte bara på Grönland men även på Antarktis (Helm et al., 2014 och Williams et al., 2014) indikerar att dessa höjningar kan möjligen bli högre än vad som diskuteras i AR5.

Projektionerna av framtida havsnivåhöjning baseras på processbaserade modeller. Andra, semiempiriska modellprojektioner som till en större grad förlitar sig på observationer av historisk havsnivåändring, har visat på ännu högre havsnivåhöjning. I AR5 drar man slutsatsen att det inom forskarvärlden inte råder enighet om dessa semiempiriska projektioner och deras tillförlitlighet.

2.1.5 Om risken för abrupt och irreversibel klimatförändring

I klimatsystemet finns ett antal processer och komponenter för vilka potentiella tröskel-effekter har identifierats. Med det menas att när klimatförändringen gör att en viss nivå, eller tröskel, passeras så kan det innebära att förändringen blir abrupt eller irreversibel. Enligt definitionen i AR5 så är en abrupt klimatförändring en storskalig förändring i klimatsystemet som sker under en tid av högst ett par decennier och som varar eller förväntas vara i minst ett par decennier. Förändringen skall också förorsaka märkbara störningar i samhället eller naturmiljön. Att förändringen är irreversibel innebär att klimatsystemet går in i ett nytt tillstånd utan att inom överskådlig tid kunna komma tillbaka till ursprungstillståndet igen. AR5 definierar störningar som irreversibla på en viss tidsskala om tiden för återhämtning enbart med hjälp av naturliga processer är signifikant längre än tiden det tar för systemet att nå den initiala störningen. Med den definitionen konstateras att de flesta förändringarna i systemets koldioxidkoncentrationer är irreversibla p.g.a. koldioxidens långa uppehållstid i systemet. I AR5 listas en rad andra fenomen som också förutsagts kunna ge upphov till abrupt och irreversibel klimatförändring (Collins et al., 2013). Här presenteras dessa i korthet tillsammans med AR5:s bedömning av hur sannolikt det är att någon av dem inträffar under innevarande århundrade.

- Kollaps av den meridionala (nord-sydliga) havscirkulationen i Atlanten (AMOC, Atlantic Meridional Ocean Circulation). Det här är exempel på en abrupt förändring där man inte vet om den är irreversibel eller ej. En kollaps skulle få till följd att transporten av värme mot Arktis i den Nordatlantiska driften¹² minskar vilket skulle kunna leda till en avkylning (eller mindre kraftig uppvärmning) av höga nordliga breddgrader (inklusive Skandinavien). Enligt AR5 är det *mycket osannolikt* att det kommer att ske en abrupt förändring i AMOC under 2000-talet även om scenarierna pekar på att det är *ytterst sannolikt* med en viss avstanning¹³ som alltså skulle kunna leda till en reducerad uppvärmning i delar av Nordatlanten.
- Kollaps av de stora inlandsisarna. Betraktas inte som abrupt i sammanhanget då processen är relativt långsam. Processen är irreversibel på tidskalor av tusentals år, har isen väl smält undan tar det alltså mycket lång tid att bygga upp den igen. AR5 bedömer det som *praktiskt taget helt osannolikt* att de stora isarna på

¹² Den Nordatlantiska driften är en fortsättning på Golfströmmen.

¹³ 20-30 % anges för RCP4,5 och 36-44 % för RCP8,5. Dessa siffror baseras på resultat från CMIP5-modellerna och finns alltså med i de scenarier som tas upp i kapitel 2.1.4 (och i 2.3 om Europa och i 3.2 om Sverige).

Grönland eller Västantarktis i stora delar helt skulle kunna smälta bort under 2000-talet. Däremot kan en avsmältning som påbörjas nu fortsätta under mycket lång tid och bidra till havsnivåhöjning under flera århundraden eller längre. Som påpekats tidigare (kapitel 2.1.1) har senare studier pekat på att avsmältningen av Västantarktis går snabbare än vad man visste vid tiden för AR5.

- Det bedöms som *ytterst sannolikt* att frigörande av metan från områden med permafrost eller från metanhydrater (metan i frusen form) kommer att öka under 2000-talet som följd av den av människan orsakade uppvärmningen. Samtidigt görs bedömningen att det är *mycket osannolikt* att detta sker i större omfattning under 2000-talet och processerna räknas därför inte som abrupta i AR5. Om det här kolet väl frigörs och läcker ut till atmosfären tar det mycket lång tid innan det kan inlagras igen. Processerna är irreversibla på tidsskalor av årtusenden.
- Om klimatet blir varmare och nederbördsmönster ändras finns en risk att skogar påverkas negativt med återkoppling på klimatet. Detta kan leda till att kol som är inlagrat i marken tillförs atmosfären vilket på så sätt bidrar till ytterligare ökad växthuseffekt. Påverkan på skogen kan ske både i tropiska regnskogar och i tempererade skogar. Det här är ett potentiellt abrupt fenomen som är reversibelt på tidsskalor av århundraden, vilket är den tid det tar för skog att växa till sig. Det bedöms som mindre troligt att den här typen av förändringar skulle inträffa i några större områden under 2000-talet.
- Att havsisen i Arktis försvinner under sommaren är en abrupt förändring. Det bedöms som *sannolikt* att Arktiska havsisen helt är borta under september månad redan innan mitten av århundradet vid scenarier med stor klimatpåverkan, som RCP8,5. CMIP5-modellerna pekar på att processen inte är irreversibel vilket alltså betyder att havs is på sommaren kan komma tillbaka igen om temperaturen går tillbaka.
- Långvariga perioder med torka eller ändringar i monsuncirkulationen är exempel på abrupta fenomen som båda är reversibla inom något år till något decennium. Hur ändringen i torrperioder eller monsuncirkulation simuleras av modellerna är osäkert både vad gäller varaktighet och frekvens.

2.2 Effekter av klimatförändringen

Det här kapitlet bygger på andra delen av AR5 (IPCC, 2014a, b) där det görs en bedömning av effekter, anpassning och sårbarhet till följd av klimatförändringarna. Uppställningen följer den som finns i IPCCs sammanfattning för beslutsfattare men sammanställningen är inte heltäckande och vi hänvisar till AR5 för en mer grundläggande redogörelse.

Det finns ett antal nyheter i rapporten. Bland annat har man valt att arbeta utifrån ett riskperspektiv som ett komplement till andra delar av AR5. Eftersom människor och samhällen värderar risk olika kan riskperspektivet utgöra ett stöd i beslutsfattande arbete som rör klimatförändringar. Den vetenskapliga litteraturen när det gäller klimateffekter, anpassning och sårbarhet växer mycket snabbt och det anges att antalet tillgängliga artiklar mer än fördubblats mellan 2005 och 2010. Förutom att det tillkommit fler studier, utvärderas också kumulativa påverkansfaktorer, d.v.s. att klimatförändringen förstärker andra miljö- och samhällsproblem, t.ex. fattigdom. En annan viktig aspekt som AR5 också har utvärderat är effekter som uppstår till följd av klimatrelaterade händelser, s.k. kaskad- eller dominoeffekter. Det kan röra sig om skador på infrastruktur som påverkar ekonomin i ett land, en region eller på ett globalt plan. AR5 framhåller också behovet av hållbar utveckling som en ledstjärna för klimatanpassningen. Hållbar utveckling kan bidra till motståndskraft i systemen, resiliens, vilket minskar risken för allvarliga konsekvenser.

2.2.1 Observerade effekter, sårbarhet och anpassning i en komplex och föränderlig värld

AR5 pekar på att klimatförändringar har påverkat såväl naturliga system som människans samhällen på alla kontinenter och i haven under de senaste årtiondena. Förändringarna som diskuteras rör bl.a. hydrologiska system som påverkas av ändrade nederbörds-mönster och krympande glaciärer i så gott som hela världen. Klimatförändringarna har också påverkat många arter som lever både på land, i sötvatten och i havet då de har förskjutit bl.a. geografiska utbredningsområden och säsongsbundna aktiviteter. Klimatförändringarna har också haft effekter på ett stort antal grödor i olika regioner. AR5 rapporterar att påverkan medfört fler negativa än positiva effekter. Positiva effekter har oftast observerats på högre breddgrader men det är oklart om balansen mellan effekter varit negativ eller positiv i de regionerna.

Andra observerade effekter som tas upp rör hälsa, med såväl ökad dödlighet på grund av ökad värme i vissa regioner som minskad dödlighet till följd av mindre kyla i andra. Samtidigt pekas på att lokala ändringar av temperatur och nederbörd påverkat vattenburna och vektorburna sjukdomar. Vidare lyfter man fram att effekter av senare års klimatrelaterade extremhändelser visar att många ekosystem och mänskliga system är sårbara och exponerade för den idag rådande klimatvariabiliteten. Det betyder alltså att redan vid dagens klimat finns en sårbarhet som i många fall kan bli större med ett ändrat klimat. Exempel på extremhändelser som lyfts i det här sammanhanget är värmeböljor, torka, översvämningar, cykloner, skogs- och gräsbränder m.m.

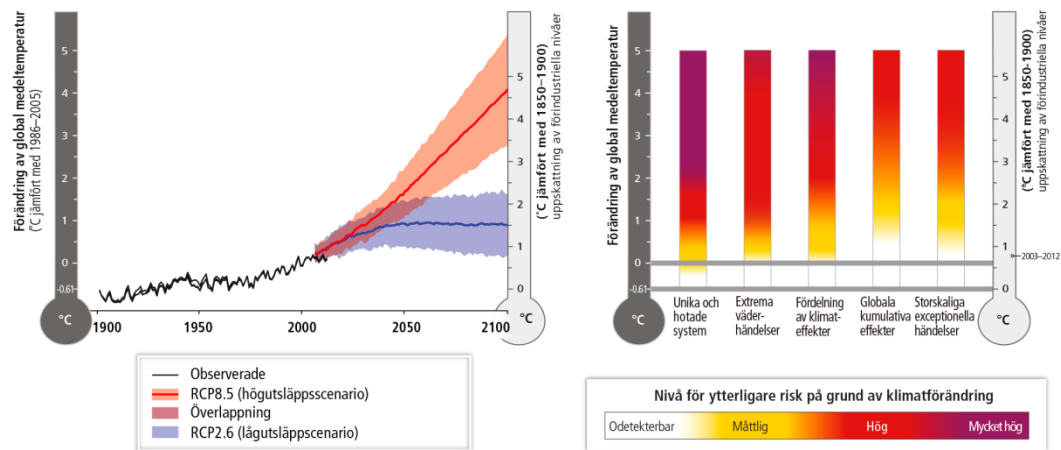
Anpassning till observerade och projicerade effekter av klimatförändringarna är på väg att bli en integrerad del av vissa planeringsprocesser. I takt med att erfarenheten av anpassning växer tas planering fram på olika nivåer i samhället i olika regioner. Anpassningsåtgärder skiljer sig åt i olika regioner då klimatförändringen för med sig olika effekter men också beroende på att förutsättningarna för anpassning skiljer sig åt. Vanliga anpassningsåtgärder är olika former av tekniska åtgärder som integreras i befintliga program för exv. vattenförvaltning. AR5 pekar på att anpassning hittills mest har handlat om stegvis anpassning men att nu börjar även flexibilitet och lärande att ges utrymme. Man pekar också på att anpassning i vissa fall kan generera större fördelar när det görs i samband med andra utvecklingsaktiviteter.

2.2.2 Framtida risker och anpassningsmöjligheter

Möjliga framtida klimatförändringar (se kapitel 2.1.4) väntas föra med sig en rad följder för människor, samhällen och ekosystem. AR4 pekade ut fem ”övergripande anledningar till oro”. I AR5 förstärks risker förknippade med dessa ytterligare när de bedömts utifrån kriterierna stor magnitud, hög sannolikhet, oåterkallelig påverkan, tidpunkt för påverkan, ihållande sårbarhet och exponering. Särskilt lyfter man fram s.k. nyckelrisker som handlar om potentiellt allvarliga effekter med stora faror eller hög sårbarhet hos exponerade samhällen och/eller system. Nyckelriskerna som tas upp och i olika grad förknippas med framtida klimatförändringar är:

- Risk för dödsfall, skador, ohälsa eller försämrade möjligheter till försörjning i låglänta kustområden och små öriken, orsakat av stormar, översvämningar och havsnivåhöjning.
- Risk för allvarlig ohälsa och störd försörjning för stora urbana befolkningar, orsakat av översvämningar i inlandet
- Risk för extremväder som leder till att infrastruktur och kritiska tjänster såsom elektricitet, vattenförsörjning, sjukvård och akuttjänster inte fungerar
- Risk för mortalitet och morbiditet under perioder av extrem hetta, speciellt för sårbara urbana befolkningar och för dem som arbetar utomhus i rurala områden.

- Risk för osäker livsmedelsförsörjning och för att livsmedelssystem upphör att fungera, orsakat av uppvärmning, torka, översvämning, variationer i nederbörd och extrem nederbörd, speciellt för fattiga befolkningar i urbana och rurala miljöer
- Risk för förlust av rural försörjning och inkomst på grund av otillräcklig tillgång till dricksvatten och till vatten för bevattning. Reducerad jordbruksproduktion.
- Risk för förlust av marina och kustekosystem, biodiversitet och de ekosystemtjänster och funktioner som de tillhandahåller för försörjning vid kusten, speciellt för fiskesamhällen i tropikerna och i Arktis.
- Risk för förlust av terrestra och akvatiska ekosystem i inlandet, biodiversitet och de ekosystemtjänster och funktioner som de tillhandahåller för försörjning



Figur 6. Globalt perspektiv på klimatrelaterade risker. Till höger visas risker associerade med anledningar till oro som avser ökande nivåer av klimatförändringar. Färgen indikerar ytterligare klimatförändringsrelaterad risk när en temperaturnivå har nåtts och sedan bibehålls eller överskrids. Icke detekterbar risk (vitt) indikerar att inga associerade effekter kan detekteras och hänföras till klimatförändringar. Måttlig risk (gult) indikerar att associerade effekter både är detekterbara och hänförliga till klimatförändringar med lägst konfidensgrad troligt, även när man tar hänsyn till andra specifika kriterier för nyckelrisker. Hög risk (rött) indikerar allvarliga och omfattande effekter, även när man tar hänsyn till andra specifika kriterier för nyckelrisker. Lila, som introduceras i AR5, visar att mycket hög risk indikeras av alla specifika kriterier för nyckelrisker. Som referens visas tidigare och projicerad global årsmedeltemperatur till vänster. Enligt den längsta tillgängliga dataserien över global temperatur är förändringen mellan medelvärdet för perioden 1850–1900 och AR5:s referensperiod (1986–2005) 0,61 °C (5–95 % konfidensintervall: 0,55 till 0,67 °C). Uppgiften används här som ett närmevärde för förändringen av den globala medeltemperaturen sedan förindustriell tid, här före 1750. Översatt från IPCC (2014c).

Många av riskerna är förknippade med redan idag pågående klimatförändring (se kapitel 2.2.1). Riskerna ökar vid ytterligare uppvärmning och då generellt mer ju kraftigare uppvärmningen blir (Figur 6). Vid ökning av globala medeltemperaturen med ytterligare 1 °C väntas t.ex. vissa unika ekosystem och kulturer drabbas av allvarliga konsekvenser och vid 2 °C pekas på att t.ex. korallreven och havsisen i Arktis utsätts för mycket höga risker. Jämfört med AR4 har begreppet ”mycket hög risk” tillkommit för unika och hotade system i AR5. Kopplingen mellan större klimatförändring och ökad risk innebär också att de övergripande riskerna kan minskas om klimatförändringen hålls vid en lägre nivå. Det innebär också att nödvändiga anpassningsåtgärder inte behöver bli så kostsamma. Det poängteras att i alla utvärderade scenarier för anpassning och utsläppsbegränsningar kvarstår vissa risker för negativa effekter.

2.2.3 Hantering av framtida risker och att skapa resiliens

Risker med klimatförändringar kan hanteras genom att minska klimatpåverkan och genom anpassning. Klimatanpassningen har ett lokalt fokus då effekterna av klimatförändringen är olika på olika ställen men också beroende på att olika samhälls anpassningsförmåga skiljer sig åt i olika länder och på olika platser. Åtgärder för att förbättra anpassningsarbetet tas upp i AR5. T.ex. nämns nationell samordning av lokala myndigheters anpassningsarbete samt vikten att få med den privata sektorn i anpassningsarbetet. Som ett första steg i anpassningsarbetet poängteras vikten av att reducera sårbarheten och exponeringen för nuvarande klimatvariationer. För att kunna göra ett bra anpassningsarbete krävs ett beslutsstöd som är anpassat till sammanhanget och målgruppen. En bättre beredskap och kunskap om vad klimatförändringen kan medföra kan bidra till bättre planering som minskar oönskade överraskningar. Hinder för anpassningsarbetet som tas upp är begränsade ekonomiska och mänskliga resurser men också begränsade verktyg för uppföljning och övervakning av åtgärderna. Andra hinder kan vara otillräckliga observationer, att forskning saknas eller att förväntningarna på resultaten är orealistiska. Det finns också en risk att felaktiga anpassningsåtgärder sätts in. Exempel på detta kan vara att man lägger för stor vikt vid kortsiktiga effekter. En konsekvens kan bli att insatta åtgärder skapar behov av ytterligare skyddsåtgärder i framtiden.

Världen hotas av flera stressfaktorer varav klimatförändring är en. Andra exempel är förändrad markanvändning, negativ påverkan på ekosystem, fattigdom mm. Resiliensen kan stärkas i samhällets system. Utsikterna för att stärka klimatresiliensen i samhällets system är nära förknippat med hur världen klarar av att begränsa klimatutsläppen (jfr. kap. 7.3). Graden av klimatförändring är viktig i det här sammanhanget liksom tidsperspektivet då ett långsammare förlopp ger större förutsättningar till anpassning. En fördröjning av utsläpps begränsande åtgärder kan reducera alternativen för klimatresiliens utvecklingsvägar i framtiden.

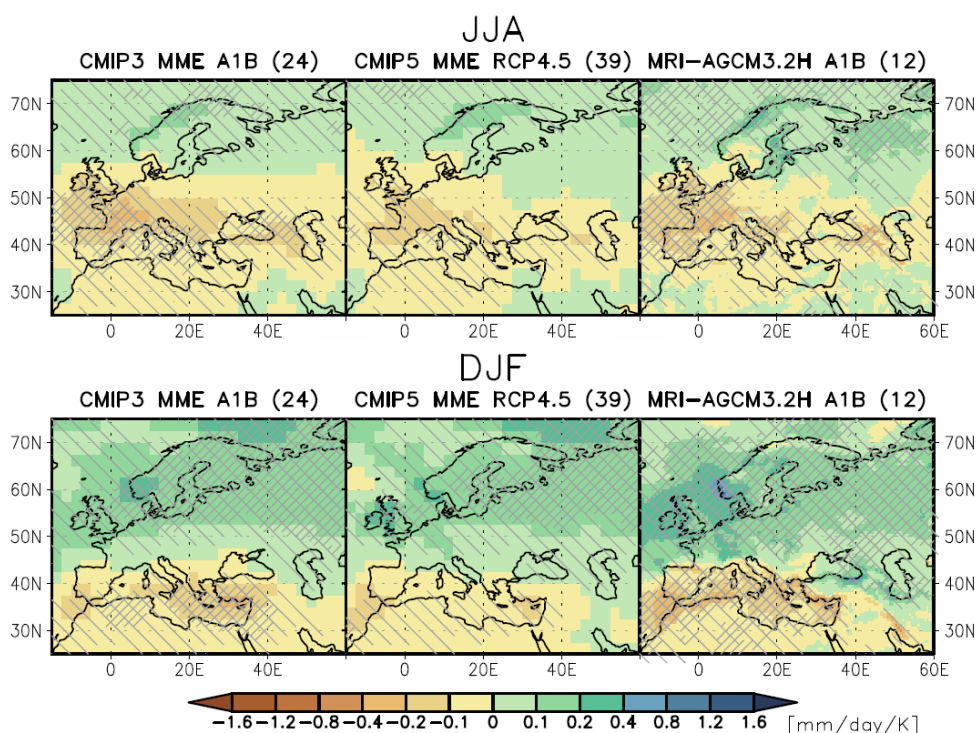
2.3 Vad säger AR5 om Europa?

Det här kapitlet bygger på delar av kapitel 14 i första delen av AR5 (Christensen et al., 2013) och andra delen av AR5 (IPCC, 2014b). En mer detaljerad beskrivning om förhållandena i Sverige följer i kapitel 3.

Det konstateras att förändringar i Europas klimat redan har observerats. T.ex. framgår att den observerade temperaturökningen i Europa under perioden 1981-2012 är större än ökningen i global medeltemperatur. Det bedöms också som *ytterst sannolikt* att antalet varma dagar och nätter ökat liksom att antalet kalla dagar och nätter minskat sedan 1950. Det har också visats att värmeböljor förstärkts då temperaturökningen lett till torrare jordar. Det finns också indikationer på att både intensitet och frekvens av extremnederbörd ökat under de senaste 40 åren, särskilt under vintern.

När det gäller scenarier för framtiden pekas i AR5 på förväntade temperaturökningar över hela Europa som är störst i norra och nordöstra Europa under vintern och i södra Europa under sommaren. De minsta förändringarna gäller för Brittiska öarna och delar av nordvästra Europa där närheten till Atlanten håller tillbaka temperaturökningen. Under vintern förväntas nederbörden öka i hela Europa utom i Medelhavsområdet men under sommaren är det bara i de nordligaste delarna av Europa där nederbörden ökar, i övrigt väntas en minskning i sydvästra och södra Europa och bara mindre förändringar däremellan (Figur 7). Scenarierna visar en märkbar ökning i höga temperaturextremer, torka och kraftig nederbörd. Samtidigt minskar låga temperaturextremer, särskilt i områden där dagens snö- och istäcke minskar. För vindklimatet, och då särskilt stormar, är det osäkert vad gäller framtida ändringar. Jämfört med AR4 bygger resultaten som sammanfattas i AR5 på mer högupplösta modeller som på ett bättre sätt representerar det observerade klimatet. Antalet scenarier är också större vilket gör resultaten mer robusta. Ännu mer högupplösta

regionala klimatscenarier har publicerats för Europa efter AR5 (t.ex. Vautard et al., 2013). Även de regionala scenarierna bekräftar och stärker mycket av tidigare resultat. T.ex. bidrar den högre upplösningen i modellerna till att de bättre representerar dygnsnederbörd. I tillägg visar de på en kraftigare ökning i nederbördsextremer jämfört med modeller med grövre upplösning (Jacob et al., 2013)¹⁴.



Figur 7. Kartor som visar nederbördsändringar i Europa och Medelhavsregionen för 2080–2099 jämfört med 1986–2005 i juni till augusti (överst) och december till februari (underst) i SRES A1B-scenariet baserat på 24 CMIP3-modeller (vänster), i RCP4,5-scenariet baserat på 39 CMIP5-modeller (mitten). De högra figurerna visar nederbördsändringen 2075–2099 jämfört med 1979–2003 i SRES A1B-scenariet med en 12 medlemmar stor ensemble med MRI-AGCM3.2-modellen som körts vid hög upplösning (60 km). Nederbördsändringarna är normaliserade med den globala medeltemperaturändringen i varje scenario. Streckade (kryssade) områden visar områden där mer än 66% (mer än 90%) av modellerna (eller ensemblemedlemmarna) har samma tecken av förändringen som medelvärdet.

Regionala och lokala ändringar i havsnivå påverkas av en rad faktorer. Nytt i AR5 är att man tar hänsyn till det ändrade gravitationsfält som avsmältningen av stora ismassor orsakar. Detta innebär t.ex. att avsmältning av Grönlandsisen gör att havsnivån nära Grönland inte stiger utan istället lokalt sjunker. Längre bort från den smältande isen blir höjningen istället något högre. Förutom global havsnivåhöjning och lokala/regionala gravitationseffekter spelar också förändrade vindmönster och/eller ändringar i temperatur- och salthaltförhållanden en roll för den regionala ändringen i havsnivå. Sammantaget betyder det här att den totala ändringen under 2000-talet t.o.m. kan vara negativ, alltså med sjunkande havsnivå, i en del områden. Enligt de globala CMIP5-modellerna är ändringen av havsnivå i området kring Nordsjön dock ungefär lika stor som det globala medelvärdet (Church et al. 2013).

¹⁴ De regionala klimatmodeller som avses här har fortfarande relativt grov upplösning jämfört med de allra mest högupplösta modellerna som nämns i kapitel 2.1.4 vilket innebär att en ännu kraftigare ökning i nederbördsextremer är möjlig.

De observerade effekterna av klimatförändringarna inkluderar förändringar i utbredning och förekomst av däggdjur, fiskar och växter samt stagnerande veteskördar i vissa regioner. Klimatförändringarna har påverkat både människors hälsa (värmeböljor) och djurhälsa (smittsamma sjukdomar). Extrema väderhändelser har redan idag tydliga ekonomiska effekter i Europa, och påverkar också sociala faktorer och människors hälsa negativt. Vissa länder har förbättrat sitt översvämningsskydd efter stora översvämningshändelser medan förberedelser för att hantera värmeböljor och bränder inte tycks ha kommit lika långt.

Det är mycket troligt att klimatförändringarna kommer att öka frekvensen och intensiteten av värmeböljor, speciellt i Sydeuropa. Negativa effekter av dessa kommer främst att påverka hälsa, jordbruk, skogsbruk, produktion och användning av energi, transporter, turism, produktivitet och bebyggd miljö. Klimatförändringarna förväntas förhindra ekonomisk aktivitet i större utsträckning i södra Europa än i norra. I södra Europa är många av de sektorer som kommer att drabbas hårt ekonomiskt viktiga, som t.ex. turism och jordbruk.

Havsnivåhöjningar och ökning av kraftig nederbörd bedöms öka risken för översvämningar vid kusten och kring vattendrag, och utan anpassningsåtgärder kommer även översvämningsskadorna att öka. Anpassning kan förhindra de flesta skadorna.

Klimatförändringarna beräknas påverka transportsektorn genom varma och kalla väderextremer. Vissa fördelar kan finnas, som t.ex. minskade kostnader för vägunderhåll under vintern samtidigt som underhållskostnader för järnvägar kan komma att öka p.g.a. ökad värme på sommaren. Framtida energiproduktion kan också påverkas, med en minskning av vattenkraften i alla områden utom Skandinavien. Vindenergiproduktionen tros inte påverkas före 2050. Även om värmebehovet kommer att minska så ökar kylbehovet. Turismen beräknas minska i Sydeuropa och öka i norra och centrala Europa efter 2050. Innan dess förväntas inga större effekter.

Spannmålsskördarna i norra Europa kommer troligen att öka, medan vi kommer att få se en minskning i söder. Säsongen för skadedjur och växtsjukdomar kommer att förlängas i norr. Värme stress kan påverka mjölkproduktionen i Sydeuropa, och klimatförändringarna har redan bidragit till en spridning av vektorburna sjukdomar i Europa. Bevattningsbehovet kommer att öka, men detta kan bara delvis kompenseras med bevattning. Vattentillgången tros minska i stora delar av Europa. Skogsproduktionen i norra Europa kommer att öka, även om skador ifrån sjukdomar kommer att öka, liksom risken för skogsbränder i södra Europa.

Det är troligt att klimatförändringarna kommer att påverka människors hälsa i Europa. Värmerelaterade dödsfall och skador kommer troligen att öka, speciellt i södra Europa. Distributionen och säsongsmönstren hos vissa mänskliga infektioner kan ändras, och nya sjukdomar kan komma att introduceras. Europas kulturarv, inklusive byggnader, landskap och arkeologiska platser hotas av havsnivåhöjningar.

Observerade klimatförändringar påverkar både flora och fauna, inklusive skadedjur och sjukdomar. Det är mycket troligt att förändringar i habitat och arter kommer att ske, med lokal utrotning som följd. Alpina habitat kommer troligen att reduceras kraftigt, och våtmarker i kustområden kan försvinna eller flyttas. Invasiva arter kan sprida sig.

I AR5 tas också upp att Europas kapacitet till anpassning är hög jämfört med andra regioner, men att det inom regionen finns viktiga skillnader i hur stora konsekvenserna blir och vilken kapacitet man har att möta dem. En europeisk klimatanpassningsstrategi finns på plats, liksom många nationella strategier, och planering för anpassning integreras ibland i planer för kust- och vattenhantering, och för katastrofreducering. Man pekar också på att klimatanpassningsåtgärder för t.ex. byggnader och översvämningsskydd kommer att medföra extra kostnader jämfört med om klimatet inte förändras.

3 Klimatförändring och konsekvenser i Sverige

I det här kapitlet beskrivs vad som kan komma att hända med Sveriges klimat som en följd av fortsatt global uppvärmning. Först ges en kortfattad beskrivning av den pågående klimatförändringen i Sverige i kapitel 3.1. I kapitel 3.2 går vi igenom vilka de huvudsakliga källorna till osäkerhet är när det gäller framtida klimatförändring i ett regionalt perspektiv. I kapitel 3.3 presenterar vi den senaste generationens regionala klimatscenarier framtagna vid Rosby Centre och vad dessa säger om framtida klimatförändring i Sverige. Vi sätter också de nya scenarierna i relation till tidigare regionala klimatscenarier för att se om budskapet har ändrats. I kapitlet redogörs för vad scenarierna visar för olika tidsperioder och vilka skillnaderna är mellan scenarier med olika grad av klimatpåverkan. I kapitel 3.4 presenteras resultat från tidigare regionala klimatscenarier där man specifikt undersökt hur klimatet i Europa kan se ut när den globala medeltemperaturen når 2 °C över den förindustriella nivån. Resultaten i den delen kan alltså i någon mån svara på frågan hur klimatet skulle se ut om tvågradersmålet klaras med minsta marginal. I kapitel 3.5 tar vi kortfattat upp vilka effekter som de simulerade klimatförändringarna kan leda till, både på naturmiljö och också samhälle.

3.1 Det har blivit varmare och nederbörden har ökat i Sverige

SMHI har sammanställt en rad klimatindikatorer för att löpande kunna följa upp klimatets variabilitet och sätta det i relation till en mer långsiktig klimatförändring.¹⁵ Klimatindikatorerna bygger på observationer av bland annat temperatur och nederbörd där en del observationsstationer varit igång mer än 150 år. Baserat på dessa indikatorer har vi här jämfört de senaste 23 åren (1991-2013) med den nuvarande internationella referensperioden 1961-1990 (Tabell 2). För temperatur görs också en jämförelse med klimatet 100 år tidigare (1861-1890). Det är tydligt att de senaste två decennierna är varmare och mer nederbördsrika än perioden 1961-1990 och att den perioden i sin tur är varmare än motsvarande 30-årsperiod 100 år tidigare. Jämfört med ändringen i global medeltemperatur (se kapitel 2.1.1) är förändringen i Sverige ungefär dubbelt så stor. Det finns andra varma och nederbördsrika perioder i Sverige under 1900-talet men inga som varit så varma eller nederbördsrika under så lång tid som de senaste 23 åren. Temperaturändringen i Sverige har varit störst under vinter och vår. Nederbörden har ökat för alla säsonger utom hösten och särskilt mycket under sommaren.

Tabell 2. Ändring i Sveriges medeltemperatur (°C) och medelnederbörd (%) för perioden 1991-2013 jämfört med 1961-1990 och 1861-1890 baserat på SMHIs observationer.

	År	Vinter	Vår	Sommar	Höst
Temperaturändring jämfört med 1961-1990	0,9	1,5	1	0,7	0,5
Temperaturändring jämfört med 1861-1890	1,6	1,6	2,3	1,1	1,3
Nederbördsändring jämfört med 1961-1990 (%)	8	9	6	17	-2
Nederbördsändring jämfört med 1961-1990 (mm)	52	12	7	35	-4

¹⁵ <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatindikatorer-1.7050>

3.2 Detaljerade regionala klimatscenarier för Sverige

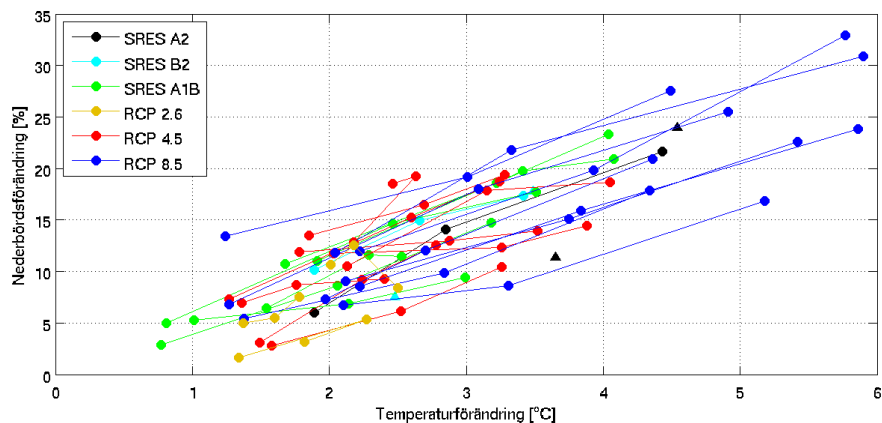
Redan i AR4 pekade man på behovet av detaljerad klimatinformation på regional skala. För att möta detta togs ett internationellt initiativ för att koordinera verksamheten med nedskalning av globala klimatscenarier till den regionala skalan (CORDEX, Coordinated Regional Downscaling Experiment, Jones et al., 2009). CORDEX har inneburit att ett stort antal regionala klimatscenarier nu tagits fram för de flesta befolkade områden i världen inklusive Europa. CORDEX-scenarierna tar sin utgångspunkt i de nya globala klimatscenarier som ligger bakom mycket av IPCC:s femte syntesrapport AR5.

För att svara på frågan om hur Sveriges klimat kan komma att ändras i framtiden måste man hantera frågor om hur stor klimatpåverkan kommer att vara och hur klimatsystemet kommer att svara på detta men också hantera frågor som rör den naturliga variabiliteten i klimatsystemet vilken har en stor inverkan på det regionala klimatet. Olika källor till osäkerhet har olika betydelse beroende på vilket tidsperspektiv som studeras. Under de närmaste decennierna, är skillnaden mellan RCP:erna liten och klimatförändringen fortfarande relativt måttlig vilket gör att den naturliga variabiliteten står för mycket av den totala osäkerheten. Detta gäller särskilt i ett regionalt perspektiv (Hawkins & Sutton, 2009). Längre fram mot slutet av seklet ökar osäkerheterna som är förknippade med graden av klimatpåverkan och klimatsystemets respons. Ett sätt att hantera alla de här osäkerheterna är att studera stora s.k. ensembler bestående av många klimatmodellkörningar där olika utsläppsscenario, klimatmodeller och starttillstånd använts.

Rosby Centre vid SMHI har tagit fram en ensemble med den regionala klimatmodellen RCA4 som körts ett stort antal gånger för två olika scenarier, RCP8,5 och RCP4,5 (Strandberg et al., 2014). För båda scenarierna finns nio olika körningar för Europa vid 50 km horisontell upplösning där skillnaden är att man använt data från olika globala klimatmodeller för att driva RCA4. I tillägg till dessa finns också tre RCP2,6-scenarier samt ett mindre antal körningar med högre horisontell upplösning (12,5 km). Ett omfattande kartmaterial som visar resultat från Rosby Centres klimatscenarier finns på SMHI:s hemsida där man också direkt kan ladda ner data¹⁶. Kartmaterialet är indelat så att man kan studera antingen hela Europa eller Sverige och dessutom fokusera på enskilda län, distrikt eller avrinningsområden i Sverige.

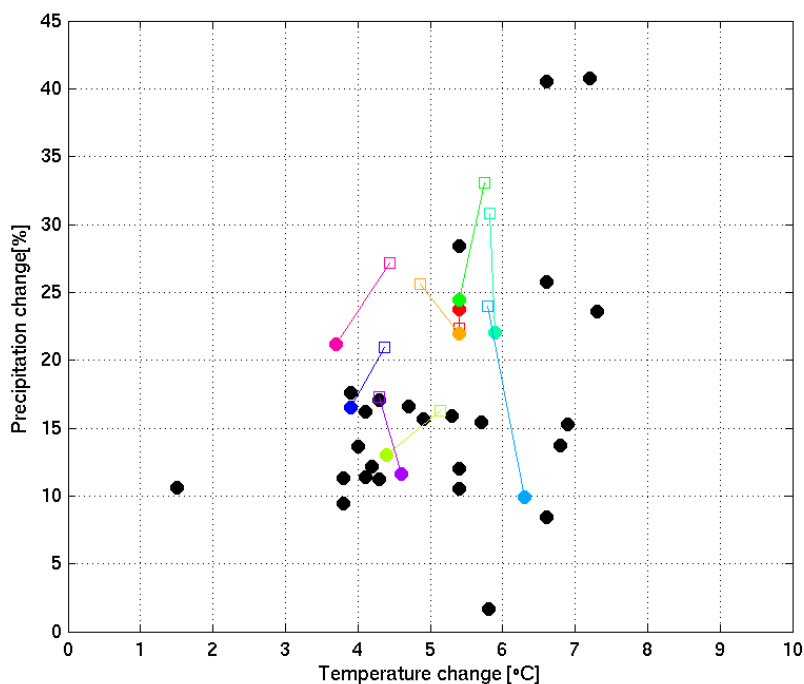
Innan vi går in i detalj på resultaten gör vi en översiktlig jämförelse av hur dessa nya CORDEX-scenarier förhåller sig dels till äldre scenarier som använts i tidigare sammanhang (exv. Klimat- och sårbarhetsutredningen, SOU, 2007) och dels till de globala CMIP5-modellerna. Figur 8 visar tydligt på att både nya och äldre scenarier ger en ökning av temperatur och nederbörd för Sverige och att ökningen generellt blir större med tiden. För senare delen av 2000-talet finns stora skillnader mellan olika scenarier men detta styrs inte av om scenarierna är av äldre eller senare datum. Istället är det grad av klimatpåverkan som är viktigt i sammanhanget. T.ex. ger RCP8,5 för Sverige i slutet av seklet större förändring (4 - 6 °C) än RCP2,6 (1,5 - 2,5 °C), RCP4,5 (2,5 - 4 °C) eller SRESA1B (2,5 - 4 °C). Vi kan också se att det inom varje utsläppsscenario finns olika grad av klimatförändring vilket bl.a. styrs av den globala modellens klimatkänslighet och hur den simulerar ändringar det regionala klimatet. Det senare är starkt knutet till den storskaliga cirkulationen i atmosfären (och haven). Den här jämförelsen visar alltså att även äldre scenarier kan användas för att studera klimatförändringen i Sverige och/eller de effekter den för med sig. Det framgår också att spridningen mellan minsta och största klimatpåverkan, och därmed klimatförändring, är större i de nyare RCP-scenarierna. Det beror på att RCP2,6 och RCP8,5 täcker upp ett större intervall när det gäller klimatpåverkan än vad som använts för att ta fram tidigare regionala klimatscenarier.

¹⁶ <http://www.smhi.se/klimatdata/Framtidens-klimat/Klimatscenarier/2.2252/2.2264#area=eur&dnr=0&sc=rcp85&seas=ar&var=t>



Figur 8. Simulerad förändring i årsmedeltemperatur och nederbörd för Sverige i olika generationer av regionala klimatscenarier från Rossby Centre. För de flesta scenarierna finns tre värden (sambandna av en linje) som representerar förändring från 1961-1990 till 2011-2040, 2041-2070 och 2071-2100. För de allra äldsta scenarierna finns bara perioden 2071-2100 (markerade med trianglar).

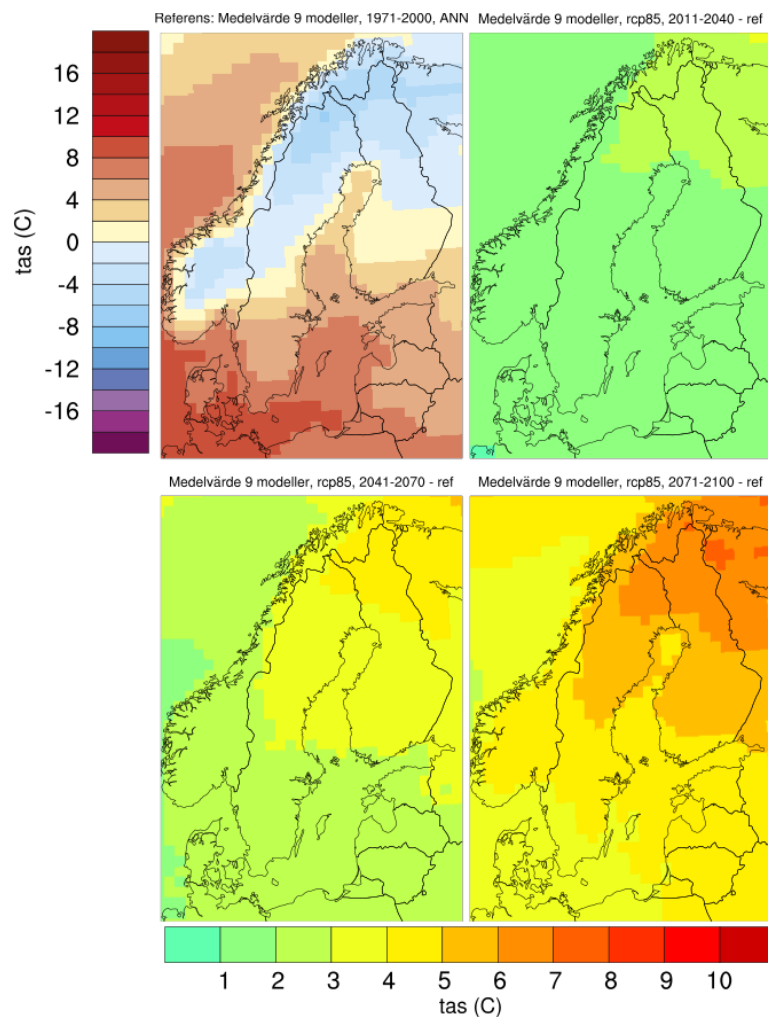
Figur 9 visar hur de regionala scenarierna jämför sig dels mot de globala modeller som drivit RCA4 och dels mot andra CMIP5-modeller för RCP8,5. Ökningen av temperatur ligger mellan 4 och 6 °C och i nederbörd mellan 15 och 35 procent i RCA4. Det framgår att den regionala klimatmodellen i någon mån ändrar resultaten jämfört med de globala modellerna som skalats ner. Särskilt gäller detta nederbörden där RCA4 tenderar att ge en något större ökning av nederbörden i ett framtida varmare klimat än vad de underliggande globala klimatmodellerna gör (i åtta fall av nio). Både för temperatur och nederbörd kan vi konstatera att det finns enstaka globala modeller som har antingen större eller mindre respons än de som valts ut för nedskalning på SMHI men att SMHIs ensemble ändå är representativ för den större CMIP5-ensemblen.



Figur 9. Beräknade förändringar i årsmedeltemperatur och årsnederbörd för Sverige för perioden 2071-2100 vid scenariot RCP8,5 jämfört med 1961-1990. De fyllda cirkelarna representerar globala klimatmodeller från CMIP5. Färgade symboler visar de globala klimatscenarier som skalats ner med RCA4 (öppen kvadrat).

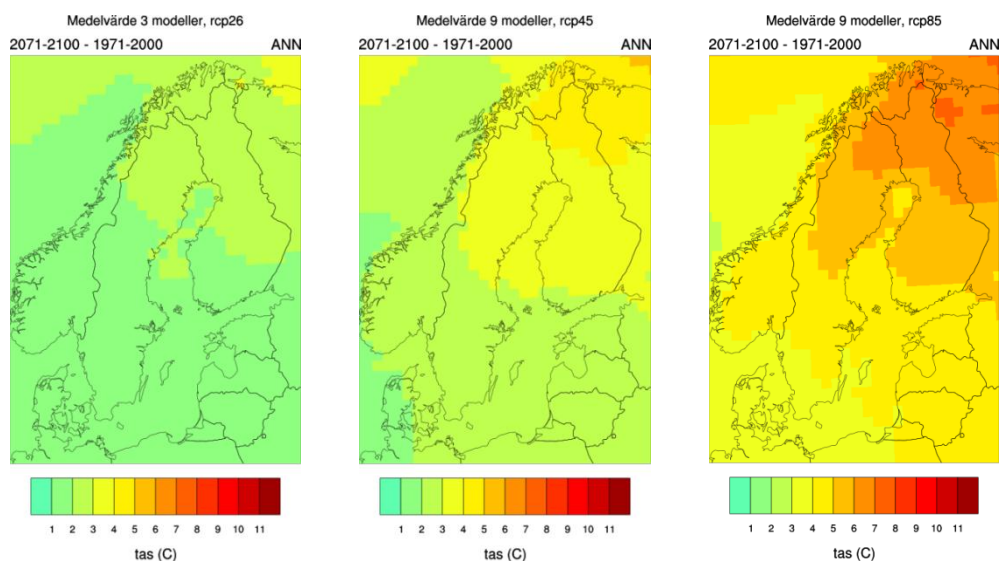
3.2.1 Temperaturen stiger mer i framtiden

Det framgår tydligt av Figur 9 att klimatförändringen sker gradvis. I Figur 10 visas hur temperaturen ändras över delar av Skandinavien och Baltikum i RCP8,5 för tre tidsperioder under seklet: nära framtid (2011-2040), mitten av seklet (2041-2070) och slutet av seklet (2071-2100). Skillnaderna mellan de tre tidsperioderna är påfallande vad gäller storleken på signalen samtidigt som det geografiska mönstret med den relativt sett största förändringen längst i norr är likartat för alla tre perioderna.



Figur 10: Beräknad årsmedeltemperatur ($^{\circ}\text{C}$) för 1971-2000 (längst upp till vänster) och förändring i temperatur ($^{\circ}\text{C}$) för tre framtida perioder 2011-2040; 2041-2070; 2071-2100 för RCP8,5. Samtliga kartor visar ett medelvärde baserat på nio regionala klimatscenarier där olika globala klimatmodeller skalats ner för Europa.

Kartorna i Figur 11 är snarlika de som visas i Figur 10. Skillnaden är att i Figur 11 visar kartorna tre olika scenarier vid slutet av seklet istället för ett och samma scenario vid olika perioder. Ett tydligt budskap är att valet av scenario spelar mycket stor roll och att det går att åstadkomma en relativt sett mindre klimatförändring givet att klimatpåverkan begränsas (RCP2,6). Men även i det lindrigaste scenariot RCP2,6 kan årsmedeltemperaturen i slutet av seklet alltså komma att vara upp emot 3°C högre än i perioden 1961-1990 allra längst i norr där förändringen är som störst. I de andra scenarierna är skillnaderna mycket större och i RCP8,5 kan de uppgå till närmare 7°C .



Figur 11: Beräknad förändring av årsmedeltemperaturen ($^{\circ}\text{C}$) för perioden 2071-2100 jämfört med 1971-2000. Kartorna representerar medelvärden av tre (RCP2,6) respektive nio (RCP4,5 och RCP8,5) olika regionala klimatscenarier där RCA4 drivits av olika globala klimatmodeller.

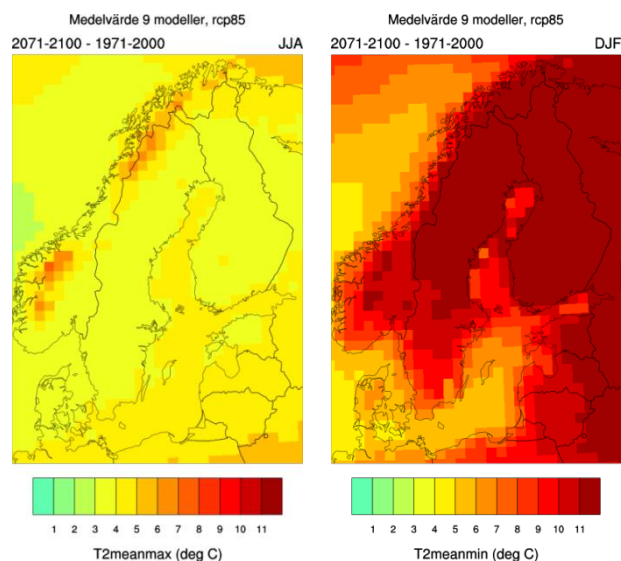
Tabell 3 visar en sammanställning av resultaten från de nio regionala klimatscenarierna där temperaturförändringen för års- och säsongmedeltemperaturer visas för Sverige som helhet. Tabellen visar förändringen på kort, medellång och lång sikt i RCP4,5 och RCP8,5. Det framgår tydligt att på kort sikt skiljer sig de två scenarierna endast marginellt. Senare under seklet är skillnaderna påfallande. I tabellen anges inte bara medelvärdet över de nio simuleringarna utan också minsta respektive högsta värde. Den här spridningen kan betraktas som ett grovt mått på osäkerheten.

Tabell 3. Beräknad förändring i Sveriges medeltemperatur jämfört med 1961-1990. Värden som anges är medelvärde samt inom parentes minsta och största värde från de nio scenarierna.

		2011-2040	2041-2070	2071-2100
År	RCP4,5	1,7 (1,3-2,2)	2,6 (1,8-3,3)	3,2 (2,4-4,0)
	RCP8,5	1,8 (1,2-2,2)	3,3 (2,7-3,9)	5,1 (4,3-6,0)
Vinter	RCP4,5	2,2 (1,5-4,3)	3,4 (2,1-4,4)	4,1 (3,0-5,9)
	RCP8,5	2,3 (1,3-2,9)	4,3 (3,1-5,5)	6,5 (4,7-7,8)
Vår	RCP4,5	1,7 (1,1-2,1)	2,8 (1,8-3,5)	3,3 (2,3-3,8)
	RCP8,5	1,8 (1,1-2,4)	3,3 (2,6-3,7)	5,1 (4,4-5,8)
Sommar	RCP4,5	1,3 (0,9-1,9)	2,0 (1,3-2,7)	2,5 (1,4-3,7)
	RCP8,5	1,4 (0,6-2,1)	2,5 (1,6-3,4)	4,1 (2,8-5,3)
Höst	RCP4,5	1,7 (1,2-2,3)	2,4 (1,8-3,0)	3,0 (2,3-3,6)
	RCP8,5	1,8 (0,8-2,4)	3,1 (2,4-3,9)	4,8 (3,6-6,0)

Med uppvärmningen flyttar temperaturzonerna norrut. Varje grads höjning av medeltemperaturen motsvarar ett nord-sydligt avstånd inom Sverige på ca 15 mil. En uppvärmning på 3-4 $^{\circ}\text{C}$ innebär också att trädgränsen förflyttas ca 500 meter i höjdd. Temperaturen beräknas öka under alla årstider, men mest i norra Sverige på vintern. För RCP2,6 handlar det om uppemot 4 $^{\circ}\text{C}$ temperaturökning längst i norr och i RCP8,5 uppemot 10 $^{\circ}\text{C}$ för 2071-2100 jämfört med 1971-2000. Motsvarande värden för 2041-2070 är 3 $^{\circ}\text{C}$ i RCP2,6 och 6 $^{\circ}\text{C}$ i RCP8,5. Vintern är också den årstid då variationen mellan enskilda år är som störst. Det betyder att man även i framtiden kommer att uppleva vintrar som både är betydligt varmare och kallare än medelklimatet men med en väsentligt högre lägstanivå än idag.

Utöver medeltemperaturen förväntas frekvensen av antalet dagar med temperaturer i vissa intervall, samt storleken på extremerna, ändras. Särskilt markant är den stora ändringen i kalla extremer under vintern. I ett varmare klimat blir det mer ovanligt med mycket kalla vinterdagar och den lägsta dygnsmedeltemperaturen kan på vintern vara 5-15 °C högre i slutet av seklet (2071-2100) än i perioden 1971-2000, beroende på scenario (Figur 12). Motsvarande ökning för 2041-2070 handlar om 5-10 °C. Den lägsta dygnsmedeltemperaturen beräknas öka även under andra årstider men inte lika mycket som på vintern. Scenarierna visar också att sommarens högsta dygnsmedeltemperatur ökar i Sverige och i slutet av seklet (2071-2100) kan den vara 2-6 °C högre än i perioden 1971-2000, beroende på scenario. Vid mitten av seklet (2041-2070) rör det sig om 1-3 °C.



Figur 12: Beräknad förändring av årets högsta (vänster) och lägsta (höger) dygnsmedeltemperatur (°C) för perioden 2071-2100 jämfört med 1971-2000 som ett medelvärde av nio klimatsimuleringar alla under RCP8,5.

Scenarierna visar tydligt att de största framtida förändringarna i temperatur inte är att vänta under sommaren. Trots detta kan det bli mer vanligt med utpräglade värmeböljor i Sverige i framtiden. Extremt varma tillfällen som hittills inträffat vart tjugonde år i genomsnitt, kan inträffa så ofta som vart tredje till vart femte år i slutet av århundradet. Temperaturer på 40 °C kan bli aktuella vart tjugonde år i södra Sverige.

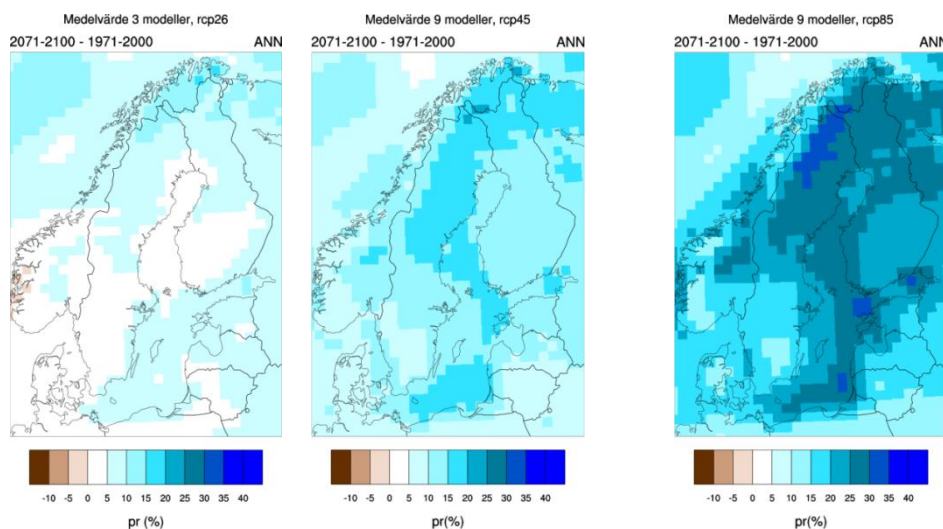
Andra förändringar som är förknippade med ändringar i temperaturklimatet handlar om att vegetationsperioden, dvs. antalet dagar då dygnets medeltemperatur under en sammanhängande period är över 5 °C, förväntas bli längre. I slutet av seklet (2071-2100) kommer vegetationsperioden att vara 30-100 dagar längre än under perioden 1971-2000, beroende på scenario. Förändringen är större i södra Sverige och mindre i norra Sverige. Vid mitten av seklet (2041-2070) handlar det om ett par veckors förlängning i norr till drygt en månad i söder i RCP2,6. I RCP8,5 är motsvarande ändring 1-2 månader. Vegetationsperioden blir ungefär lika mycket längre på våren som på hösten. Vidare förväntas årets sista dag med vårfröst infalla tidigare på året i slutet av seklet (2071-2100) med så mycket som 10-40 dagar, beroende på scenario. Förändringen beräknas vara större i delar av södra Sverige, och mindre i fjällkedjan.

Ytterligare ett exempel på temperaturändringar rör dagar med nollgenomgångar, dvs. då temperaturen varit både över och under 0 °C under samma dygn. I dagens klimat förekommer detta under höst, vinter och vår i stora delar av landet. I slutet av seklet (2071-2100) förväntas antalet dagar med nollgenomgångar generellt minska med uppemot en

månad eller mer jämfört med 1971-2000, beroende på scenario. I mitten av seklet (2041-2070) handlar det om uppemot en månad. Förändringen är emellertid komplex. I norra Sverige beräknas antalet dagar med nollgenomgångar istället att öka på vintern. Där är det idag kallt och få vinterdagar har nollgenomgångar. I takt med att temperaturen ökar så närmar sig vintertemperaturerna noll vilket ger fler dagar med nollgenomgångar. I södra Sverige är vintertemperaturerna redan idag nära noll; varmare klimat betyder där färre dagar med nollgenomgångar.

3.2.2 Mer nederbörd att vänta

Nederbörden i Sverige förväntas öka och i slutet av seklet (2071-2100) kan årsnederbörden lokalt vara uppemot 15, 25 eller 40 procent högre än i perioden 1971-2000 enligt scenarierna RCP2,6, RCP4,5 och RCP8,5 (Figur 13). Redan i mitten av seklet (2041-2070) visar RCP8,5 på ökning i nederbörd med uppemot 20 procent i stora delar av landet. Ökningar simuleras för alla årstider, men mest i norra Sverige och mest på vintern. På sommaren i södra Sverige är ökningen betydligt mindre och ungefär hälften av klimatmodellsimuleringarna visar t.o.m. minskande nederbörd för delar av Sydsverige. Nederbörden uppvisar mycket stor variabilitet på olika tidsskalor vilket gör att spannet för möjliga utvecklingar i framtiden blir brett och osäkerheten är generellt större än för temperatur. För alla årstider finns det enskilda klimatmodellsimuleringar som inte ger någon eller bara en liten nederbördsökning vid slutet av seklet.



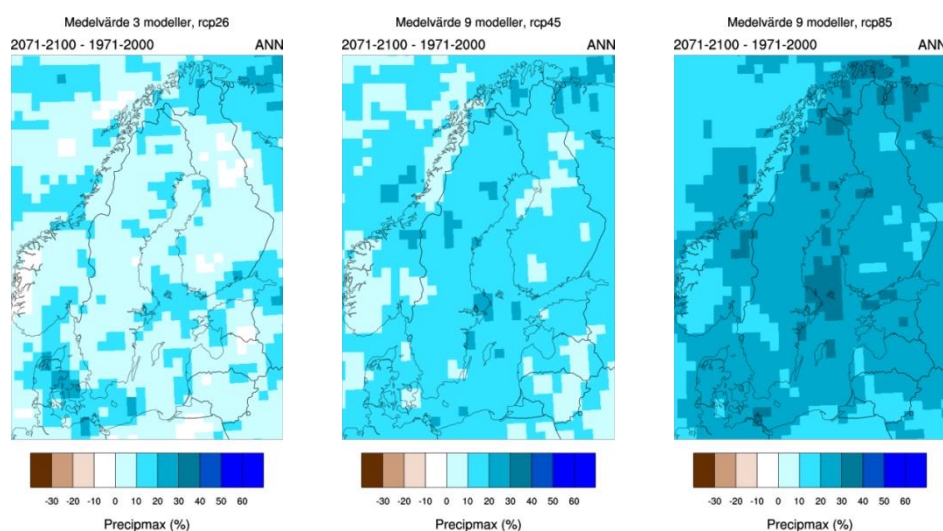
Figur 13: Beräknad förändring av årsnederbörd (procent) för perioden 2071-2100 jämfört med 1971-2000. Kartorna representerar medelvärden av tre (RCP2,6) respektive nio (RCP4,5 och RCP8,5) olika regionala klimatscenarier där RCA4 drivits av olika globala klimatmodeller.

Tabell 4 visar en sammanställning av resultaten från de nio regionala klimatscenierna där förändringen för års- och säsongsnederbörd visas för Sverige som helhet. Tabellen visar förändringen på kort, medellång och lång sikt i två olika scenarier. Det framgår tydligt att på kort sikt spelar skilljer sig de två scenarierna endast marginellt. På medellång sikt är skillnaderna något större för att i slutet av seklet vara påfallande. I tabellen anges inte bara medelvärdet över de nio simuleringarna utan också minsta respektive högsta värde. Den här spridningen kan betraktas som ett grovt mått på osäkerheten. Vi noterar också att den observerade ökningen av nederbörd (kapitel 3.1) är ungefär lika stor som den för perioden 2011-2040.

Tabell 4. Beräknad förändring i Sveriges nederbörd jämfört med 1961-1990 (procent). Värden som anges är medelvärde samt inom parentes minsta och största värde från de nio scenarierna.

		2011-2040	2041-2070	2071-2100
År	RCP4,5	9 (3-14)	13 (9-19)	15 (10-19)
	RCP8,5	9 (5-13)	16 (9-22)	24 (17-33)
Vinter	RCP4,5	9 (-1 - 21)	12 (6-22)	16 (11-24)
	RCP8,5	8 (0-16)	17 (8-29)	28 (20-39)
Vår	RCP4,5	10 (5-17)	17 (6-26)	21 (14-27)
	RCP8,5	12 (7-15)	21 (15-25)	30 (18-27)
Sommar	RCP4,5	11 (0-18)	14 (3-29)	14 (4-24)
	RCP8,5	11 (3-19)	15 (2-30)	21 (5-36)
Höst	RCP4,5	7 (-2 - 14)	10 (1-16)	11 (3-22)
	RCP8,5	7 (0-10)	12 (5-19)	21 (13-36)

Ökningen av nederbörd finns på flera olika tidsskalor och i slutet av seklet (2071-2100) kommer t.ex. de största nederbördsmängderna under en vecka eller ett dygn att vara upp emot 30 procent större än under perioden 1971-2000 beroende scenario (Figur 14 för största dygnsnederbörd). Fram till mitten av seklet (2041-2070) är ändringarna 10-20 procent över stora delar av landet. Största dygnsnederbörden beräknas öka under alla årstider och ungefär lika mycket i hela landet medan största sjudygnsnederbörden ökar främst i norra Sverige.



Figur 14. Beräknad förändring av största dygnsnederbörd (procent) för perioden 2071-2100 jämfört med 1971-2000. Kartorna representerar medelvärden av tre (RCP2,6) respektive nio (RCP4,5 och RCP8,5) regionala scenarier där RCA4 drivits av olika globala klimatmodeller.

Det framgår också att antalet dagar med kraftig nederbörd förväntas bli fler och att kraftiga regn och skyfall kommer att inträffa oftare och med ökad intensitet. Intensiteten hos de kraftigaste regnen under sommaren beräknas generellt öka med 10-15 procent i Sverige fram mot slutet av seklet (2071-2100). Spridningen mellan olika scenarier är dock mycket stor (från oförändrad regnintensitet till en ökning med mer än 40 procent). Regnintensiteten för så kallade 10-årsregn, som i genomsnitt återkommer vart tionde år, beräknas öka med omkring 10 procent fram till slutet av seklet och i linje med detta förväntas återkomsttiden för ett 20-årsregn i Sverige minska under sommaren till 6-10 år och för vintern ända ner till 2-4 år. Vi påminner dock om osäkerheten som beskrivs i kap 2.1.4 som hänger samman med den förenklade beskrivningen av konvektiv nederbörd i klimatmodellerna. Regionala klimatmodeller med väsentligt högre upplösning än de som diskuteras här skulle därför möjligen ge en mer utpräglad förändring.

Frekvensen av nederbördsstillfällen, dvs. hur ofta det regnar eller snöar, kan också komma att ändras. Vidare minskar antalet snöfall under ett år generellt på bekostnad av antalet regntillfällen när det blir varmare. Klimatscenerierna pekar på att årets längsta torrperiod, dvs. period utan nederbörd, inte kommer att ändras. Men, förändringen är nära noll och det finns enstaka simuleringar som ger längre eller kortare torrperiod, men alla dessa förändringar är små. Trots att ändringarna i torrperioder är små kan torra bli vanligare eftersom vattentillgången förändras. Klimatscenerierna pekar på minskad vattentillgång i stora delar av södra Sverige. Detta är ett resultat av relativt begränsad ökning (i något scenario t.o.m. minskning) i nederbörd, i kombination med ökad temperatur vilket leder till mer avdunstning. Den minskade vattentillgången beror också på att växterna kommer att förbruka mer, eftersom växtsäsongen förlängs i ett varmare klimat.

3.2.3 Det blir inte blåsigare i framtiden

Som nämnts tidigare (kap. 2.1.4 och 2.2.4) är det svårt att från scenerierna dra slutsatser om ändringar i frekvens eller intensitet i stormar som överstiger den variabilitet som finns naturligt i systemet. Detta gäller särskilt för den Nordatlantiska regionen. Det här betyder att det för Sveriges del även i framtiden kommer att finnas mer eller mindre stormrika år eller årtionden och att detta troligen inte kommer att skilja sig väsentligt från hur det förhåller sig redan i dagens klimat. De regionala klimatscenerierna bekräftar den bilden med generellt små ändringar i vind-klimat. T.ex. förväntas den maximala byvinden vara lika stor i slutet av seklet som under perioden 1971-2000, oberoende av vilket scenario som används. Enskilda klimatmodell-simuleringar ger förstå skillnader mot perioden 1971-2000, men skillnaderna är inom intervallet ± 2 m/s vilket får anses vara litet. Regionala klimatscenerier visar dock att vindhastigheterna kan komma att öka något över områden som idag är is- och snötäckta men i ett framtida varmare klimat inte är det (Kjellström et al., 2011). Det här gäller särskilt delar av Östersjön, Bottenviken och Bottenhavet men även havsområdena norr om Skandinavien. I det fallet är det inte främst höga vindhastigheter som det handlar om utan om att det blir mindre vanligt med helt vindstilla dagar eller att vindhastigheterna ökar något för dagar som idag har låga vindhastigheter. De här förändringarna hänger samman med förändringar i atmosfärens stabilitetsförhållanden.

3.2.4 Kortare säsong med snö och is

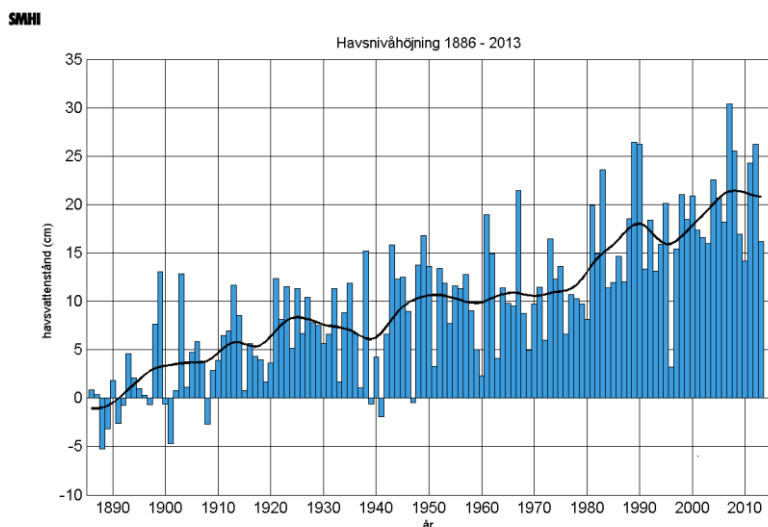
Temperaturökningen väntas leda till kortare säsong med snö, och i de södra delarna av landet kommer det troligtvis att bli ovanligt med något varaktigt snötäcke över huvud taget. Generellt väntas också en minskning i total snömängd även om nederbörden ökar (Kjellström et al., 2005). Trots detta kommer kraftiga snöfall och stora snödjup kunna finnas även i framtiden vid tillräckligt kalla förhållanden.

Enligt scenerierna kommer isvinterns längd att förkortas ytterligare och isens geografiska utbredning kommer att minska. Inget av scenerierna indikerar dock att havsisen helt kommer att försvinna från hela Östersjön under nuvarande sekel. Det framgår också att variationerna från år till år kommer att vara fortsatt stora vilket innebär att isvintrar kommer att finnas även i ett framtida klimat, även om de blir färre och mindre stränga än i dagens klimat. På motsvarande sätt förväntas ändringar i isvinterns längd med senare isläggning på hösten och tidigare islossning på våren.

3.2.5 Havsytan fortsätter stiga i södra delen av landet

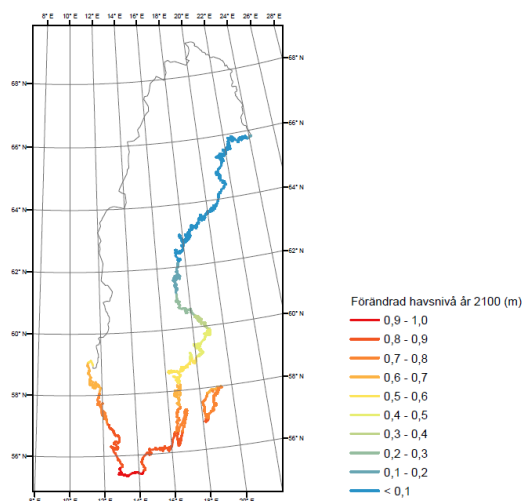
På nationell nivå påverkar landhöjning eller landsänkning de lokala effekterna av stigande världshav. Landhöjningen gör att den lokala havsnivåhöjningen blir lägre i de mellersta och norra delarna av Sverige, medan exempelvis Skåne inte kan dra fördel av denna

effekt. Om de långa svenska mätserierna för vattenstånd korrigeras för landhöjningen framgår en förändring om lite drygt 20 cm sedan slutet av 1800-talet (Figur 15) vilket ligger nära det globala medelvärdet 19 cm för 1901-2010 (se kapitel 2.1.1).



Figur 15: Havsvattenståndets förändring i centimeter för 14 mätstationer sedan 1886. Diagrammet är korrigerat för landhöjningen. Den svarta kurvan visar ett utjämnat förlopp.¹⁷

Som diskuterats i kapitel 2.3 påverkas framtida regionala ändringar inte bara av den globala havsnivåhöjningen utan en rad andra faktorer spelar in. Då inte heller vindklimatet ändras signifikant enligt de regionala scenarierna (se kapitel 3.2.3) betyder det att förhållandena för Sveriges del speglar havsnivåhöjningen i Nordsjön (vilken följer den globala) korrigerad för lokal landhöjning. I AR5 presenteras 98 cm som en övre gräns för havsnivåhöjning fram till år 2100 baserat på processbaserade modeller (se kapitel 2.1.4). Nettoeffekten av en storskalig havsnivåhöjning av 1 meter under 100 år minus landhöjning längs Sveriges kuster visas i Figur 16.



Figur 16: Nettoeffekt av havsnivåhöjning minus landhöjning längs Sveriges kuster vid en global havsnivåhöjning av 1 meter under 100 år. Baserad på Lantmäteriets landhöjningsmodell NKG2005LU.

¹⁷ Källa: <http://www.smhi.se/klimatdata/oceanografi/havsvattenstand/klimatindikator-havsvattenstand-1.2260>

3.3 Vad betyder +2°C global temperaturökning för Sveriges klimat?

Tvågradersmålet, som syftar till att begränsa ökningen av den globala medeltemperaturen till under 2 °C jämfört med förindustriell nivå, handlar om global medeltemperatur och säger inte direkt någonting om vad som händer med klimatet i Europa eller Sverige. Inom det pågående EU-projektet IMPACT2C (inom EU:s sjunde ramprogram) studerar man just detta.

Resultaten från IMPACT2C visar att temperaturförändringen i nordligaste Sverige under vintern kan komma att överskrida 3 °C när globala medeltemperaturen ökat med 2 °C (Vautard et al., 2014). Jämför man istället med slutet av 1900-talet handlar det om ytterligare ca 2,5 °C (1971-2000 är redan ca en halv grad varmare än förindustriella förhållanden) medan de södra delarna av landet får en ökning av mellan 1,5 och 2 °C. Under sommaren visar scenarierna en mindre ökning och det är bara i de nordligaste delarna av landet som den är större än 1,5 °C. Om man istället betraktar extremvärden¹⁸ är förändringarna större. På vintern ökar temperaturen för de allra kallaste dagarna generellt med över 3 °C i hela landet och med så mycket som över 5 °C i delar av Norrland. Under sommaren är ökningen av motsvarande förändringar för de allra varmaste dagarna uppemot 3 °C i sydligaste delarna av landet men mer måttliga i norr. Motsvarande förändringar i nederbörds-klimatet handlar om att vinterns totala nederbörd ökar med 10-20 procent under vintern och att nederbörden under de nederbördsrikaste dagarna ökar med uppemot 10 procent. Under sommaren ger scenarierna inga förändringar i säsongsnederbörd för södra Sverige men i norr pekar de på uppemot 10-15 procent ökning. Samtidigt ökar extremnederbörden i hela landet med uppemot 10-20 procent.

3.4 Klimateffekter på samhället

Dagens samhälle är anpassat och uppbyggt efter ett visst klimat. Men med de klimatförändringar vi ser redan idag, och de som är att förvänta, ändras förutsättningarna. Informationen i detta kapitel har, där inget annat angivits, tagits fram av ansvarig myndighet. En uppdaterad sammanställning av kunskapen om nuvarande och framtida risker och konsekvenser för samhället av förändrat klimat har gjorts inom SMHI:s regeringsuppdrag "Underlag till kontrollstation 2015 för anpassning till ett förändrat klimat" (se kapitel 1.2). Sammanställningen av det uppdraget rapporteras i SMHI (2014). Den rapporten har gjorts i samarbete med berörda myndigheter och bygger därför primärt på kunskapsläget på myndighetsnivå. Här presenteras en kort sammanfattning av den rapporten med tonvikt på framträdande effekter.

Bilden som framträder är att klimatförändringarna påverkar hela samhället. Klimat-scenarier visar att översvämningsriskerna kring sjöar och längs vattendrag ökar, vilket kan påverka bebyggelse och infrastruktur. Risken för ras och skred tros också öka, främst i landets västra och sydvästra delar samt områden längs östra kusten, på grund av ökade nederbörds-mängder. Erosion längs vattendrag, sjöar och kuster kan komma att öka i delar av landet, till följd av ökad nederbörd och avrinning samt höjda havsnivåer.

Både produktion och efterfrågan på energiförsörjningen påverkas av väder och klimat. Klimatförändringarna medför inga nya hot utan vissa förstärks, då väderrelaterade extrema händelser riskerar att komma oftare eller med större styrka.

Tillgång och kvalitet på dricksvatten kommer att påverkas av förändrade nederbörds-mönster, skyfall, ökad spridning av föroreningar samt ökade mikrobiologiska risker. Det blir mer vatten främst i västra och norra delarna av Sverige, men sämre tillgång i sydöst.

¹⁸ Här är extremer definierade i termer av återkomsttider och analysen är gjord baserad på 20-års återkomsttid (alltså en dag med förhållanden som är så ovanliga att de statistiskt sett inträffar en gång på 20 år).

Kulturhistoriskt värdefull bebyggelse är i många fall särskilt sårbar för klimatförändringar då den ofta är gammal och lokaliserad till känsliga områden. I kustnära områden finns ett stort antal miljöer och äldre städer av stor kulturhistorisk betydelse. Dessa områden och bebyggelser kommer att påverkas av bland annat stigande havsnivåer.

Förutsättningarna för jordbruket förbättras i huvudsak med klimatförändringarna. Längre växtsäsonger ger ökade skördar och möjlighet att förnya grödor. Samtidigt kommer fler skadegörare och ogräs in och nya behov av bevattning och dränering kan uppstå på grund av de ändrade nederbördsmönstren. Minskat utbud av livsmedel på världsmarknaden, beroende på hur stora klimatförändringarna blir, kan innebära ökad efterfrågan på svenska livsmedel.

Även djurhållningen står inför stora utmaningar. Å ena sidan kan djuren gå ute under en längre del av året och möjligheterna att vara självförsörjande med foder ökar. Men det varmare klimatet medför också risken för att nya djursjukdomar som tidigare endast funnits längre söderut ska få fäste i landet.

Konsekvenserna för den svenska skogen och skogsbruket kommer att bli betydande. Ökad tillväxt ger större virkesproduktion, men ökad frekvens och omfattning av skador från främst insekter, svampar och storm samt blötare skogsmark kan föra med sig stora kostnader. Stora regionala skillnader i utbudet av kommersiellt virke kan påverka svensk skogsindustri.

Förändrade förutsättningar är också att vänta för fiskbestånden, bland annat genom ökad temperatur, minskad salthalt och andra klimatfaktorer som påverkar artsammansättning, födoval och tillväxthastighet av fisk. Nya fiskarter i svenska vatten kan föra med sig nya smittor och konkurrera ut befintliga arter i känsliga ekosystem.

Rennäringen i Sverige kommer att allvarligt påverkas av klimatförändringarna, bland annat därför att medeltemperaturen ökar snabbt i norr. Snö- och isförhållandena vintertid blir besvärligare för rennäringen.

Varmare somrar och minskad konkurrenskraft i t.ex. Medelhavsregionen kan ge ökade möjligheter för turism i Sverige. Däremot kan en försämrad tillgång och kvalitet på vatten verka i motsatt riktning. Vintrarna i fjällen kan komma att bli fattigare på snö vilket kan påverka vinterturismen.

Människors och djurs hälsa kan påverkas direkt av extrema väderhändelser som värmeböljor och översvämningar. Ett varmare klimat ger även upphov till förändrade smittspridningsmönster och nya sjukdomar kan nå Sverige. Förändringar i miljön (luft, vatten och mark) orsakade av klimatförändringar kan också påverka hälsotillståndet för djur och människor.

Infrastruktur och kommunikationer kan komma att drabbas av ökade översvämningar och av skador orsakade av ras, skred och ökad stormfällning av träd. En positiv effekt av varmare vintrar kan vara att vinterunderhållet kan minskas.

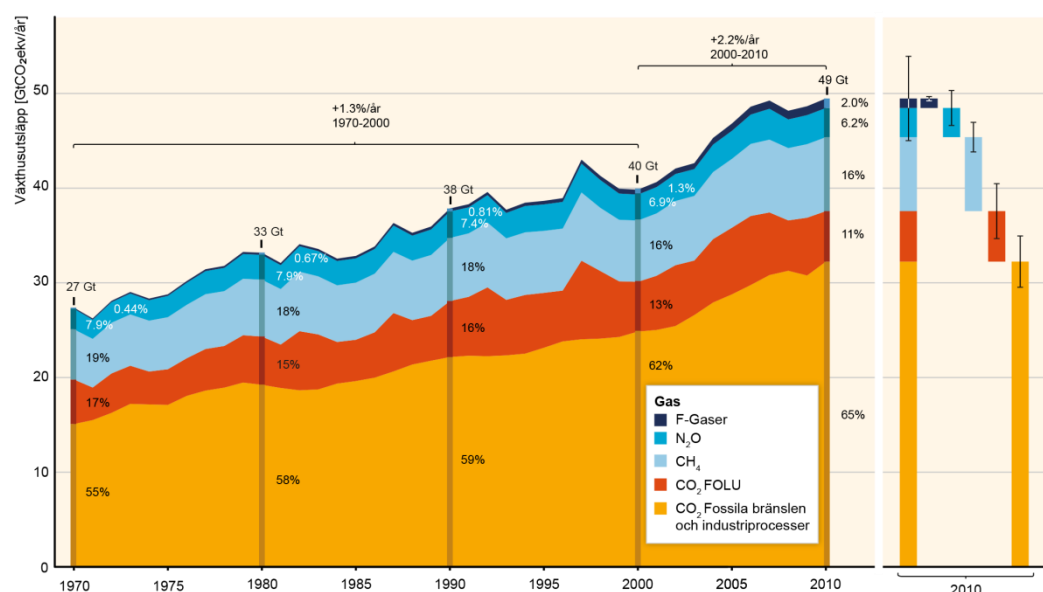
Klimatförändringarna förväntas leda till förändringar för den biologiska mångfalden och ekosystemen och påverkar förmågan att nå flera av Sveriges miljömål. När klimatet blir varmare flyttar klimatzoner och vegetationszoner norrut. Påverkan sker på växter och djurs reproduktion, fördelning och storlek hos populationer samt förekomst av skadeorganismer. Ovanliga arter kan försvinna medan nya arter kan etablera sig. Fjällområdena är särskilt känsliga för klimatförändringarna, och kalfjällsområdena i Sverige förväntas minska kraftigt när trädgränsen höjs.

4 Den historiska trenden för utsläppen av växthusgaser och dess drivkrafter

Detta kapitel bygger på bidrag från arbetsgrupp III till AR5 (IPCC, 2014d).

Hälften av alla antropogena utsläpp av växthusgaser sedan 1750 har skett under de senaste 40 åren. De årliga utsläppen har ökat sedan 1970 med den största ökningstakten efter år 2000, trots att allt fler styrmedel för att minska utsläppen har införts. Utsläppen har ökat från ca 27 miljarder ton CO₂ekv år 1979 till ca 49,5 (±4,5) miljarder ton år 2010. Under perioden 2000 till 2010 var ökningen 1 miljard ton CO₂ekv per år (2,2 procent) jämfört med 0,4 miljarder ton (1,3 procent) per år från 1970 till 2000. Den ekonomiska recessionen 2007/2008 minskade utsläppen endast temporärt.

Koldioxidutsläppen bidrog med 76 procent av de antropogena växthusgasutsläppen år 2010. Metan bidrog med 16 procent, lustgas med 6 procent och fluorerade gaser med ca 2 procent (Figur 17).

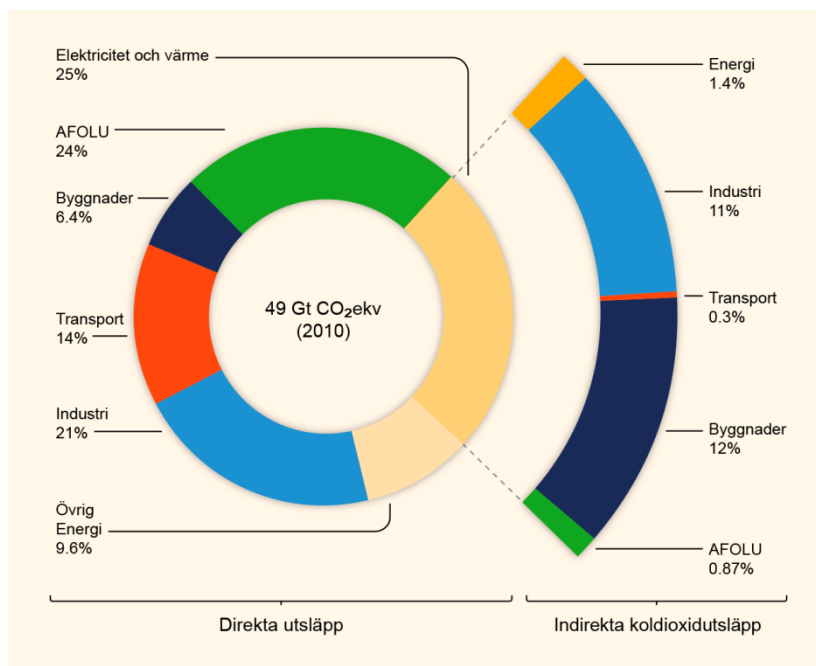


Figur 17. Totala årliga antropogena utsläpp av växthusgaser i världen, 1970-2010. I diagrammet är utsläppen fördelade per gas samt för CO₂ uppdelat på förbränning av fossila bränslen och industriprocesser respektive på skogsbruk och annan markanvändning (FOLU). På höger sida av figuren är utsläppen år 2010 nedbrutna per komponent med osäkerheten redovisad med osäkerhetsstapel. Icke-koldioxidutsläpp är omräknade till CO₂ekv baserat på GWP100-värden från IPCC:s andra utvärderingsrapport (IPCC, 1996). Översatt från IPCC (2014e).

Räknat med de allra senaste GWP¹⁹-värdena i AR5 ökar metans växthuseffekt med ca 13 procent jämfört med internationellt överenskommen inventeringsmetodik och ovan angivna globala utsläppsberäkningar. Räknat med GWP enligt AR5 blir de globala utsläppen istället 52 miljarder ton CO₂ekv år 2010. Andelen från utsläpp av metan ökar till 20 procent och bidragen från koldioxid respektive lustgas minskar till 73 procent respektive 5 procent. Olika gasers bidrag till antropogen växthuseffekt är känsligt för jämförelsemått och tidshorisont men har marginell betydelse sett till den långsiktiga globala trenden.

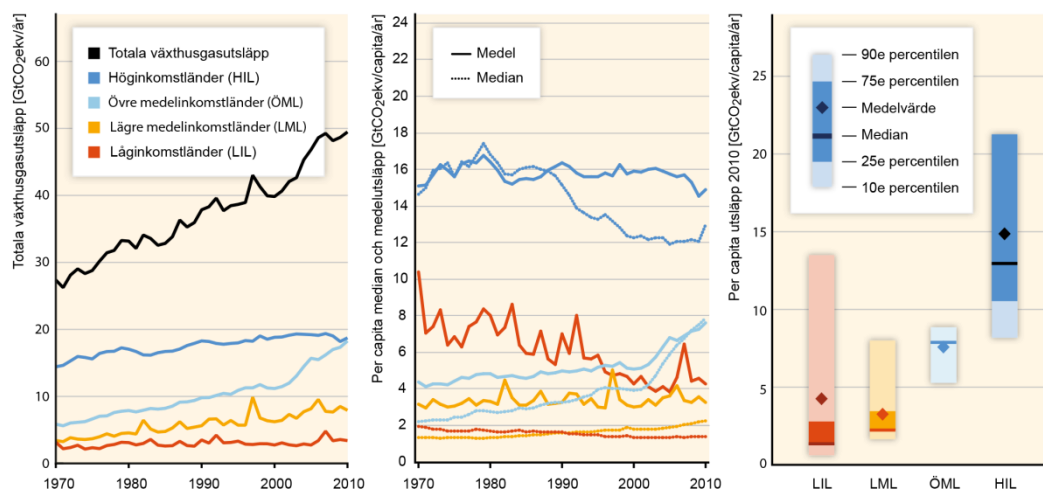
Koldioxidutsläppen från mänsklig verksamhet har kumulativt (sammanlagt över hela tidsperioden) uppgått till 2 000 (±310) miljarder ton från år 1750 till 2010. Knappt hälften av utsläppen sedan år 1750 finns idag kvar i atmosfären. Resterande utsläpp har tagits upp och lagrats i haven och havsbotten samt i skog och mark (jfr. Figur 3).

¹⁹ GWP (Global Warming Potential) är ett mått på hur stor uppvärmningspotential ett ämne har relativt den för koldioxid över en viss tidsperiod, exv. 100 år (GWP100).



Figur 18 Totala antropogena utsläpp av växthusgaser år 2010 fördelat på de ekonomiska sektorerna el- och fjärrvärmeproduktion, jord- och skogsbruk, byggnader, transporter, industri och övriga energirelaterade utsläpp. Hela cirkeln visar andelen av de direkta utsläppen och den utskurna delen av cirkeln visar hur utsläppen från el- och fjärrvärmeproduktion fördelas på slutlig användning i sektorerna energitillförsel, industri, transporter, byggnader samt jord- och skogsbruk (AFOLU). Utsläpp i AFOLU inkluderar utsläpp från svedjebränning, torvbränning och förmultning. Översatt från IPCC (2014e).

Dagens utsläpp kommer främst från energitillförsel, industrisektorn, AFOLU (jordbruk, skogsbruk och annan markanvändning) samt från transporter (Figur 18). Den kraftiga ökningen av utsläppen sedan år 2000 har främst skett från energitillförsel och industrin i övre medelinkomstländer.

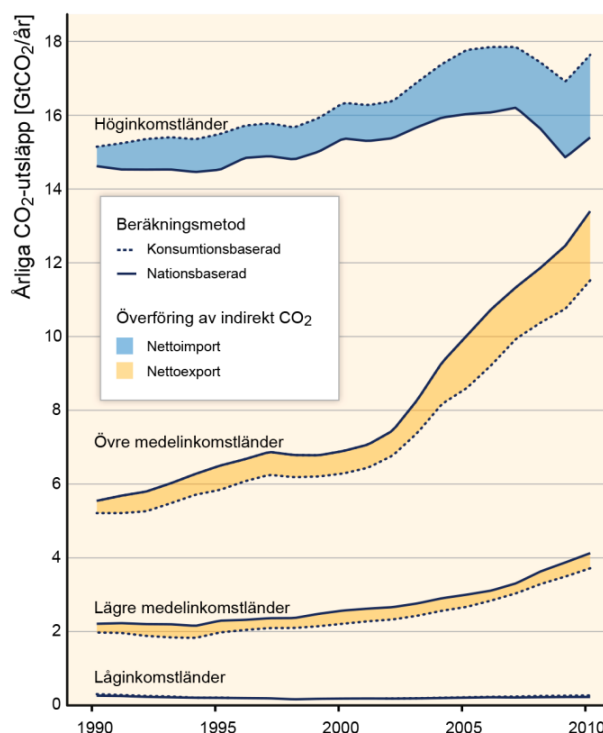


Figur 19 Historisk utveckling av länders växthusgasutsläpp indelat efter inkomstgrupp. Vänsterdiagrammet visar totala utsläpp från 1970 till 2010 (miljarder ton CO₂ekv/år). Mittendiagrammet visar utvecklingen av årliga per capita utsläpp som medel- och medianvärden (ton CO₂ekv/cap). Högerdiagrammet visar fördelningen av ländernas per capita utsläpp år 2010 inom varje inkomstgrupp (ton CO₂ekv/cap). Fördelning i inkomstgrupp enligt Världsbankens klassificering. Översatt från IPCC (2014d)

Per capita-utsläppen är ojämnt fördelade globalt. Låginkomstländernas per capita-utsläpp är som medianvärde 1,4 ton CO₂ekv vilket är nio gånger lägre än för höginkomstländer. Men det är stora skillnader mellan länder inom respektive inkomstgrupp, särskilt i gruppen med lägst inkomst, där medelvärdet är fyra gånger högre än medianvärdet för ländernas utsläpp per capita (Figur 19). Det är också stor skillnad i trenden för utsläppsutvecklingen. Globalt har utsläppen legat på ca 7 ton CO₂ekv per capita de senaste 40 åren. Grupperna med lägst och högst inkomster har följt den globala genomsnittstrenden, men den övre medelinkomstgruppen har haft kraftigt ökade utsläpp per invånare. Det är främst de växande ekonomierna i Asien som står för ökningen.

Utsläpp från jordbruk och annan markanvändning är största utsläppskällan i låginkomstländer. I höginkomstländer är det energitillförsel och industriaktiviteter. Den stora ökningen av utsläppen i kraftigt växande ekonomier har skett i sektorerna energitillförsel, industri och transporter.

En växande andel av de globala utsläppen härrör från tillverkning av produkter som handlas över nationsgränserna. En allt större del av världens utsläpp sker från produktion i medelinkomstländer som exporteras till höginkomstländer. Sett till geografiska gränser sker mer än hälften av världens utsläpp i icke-Annex 1-länder²⁰ men per capita-utsläppen är betydligt högre i Annex 1-länderna (Figur 20).



Figur 20 Totala koldioxidutsläpp (miljarder ton per år) från förbränning av fossila bränslen fördelat på länders inkomstgrupper. Heldragen linje visar utsläpp inom ländernas gränser och punktlinjer visar utsläppens fördelning sett till var konsumtionen sker. De skuggade områdena visar nettoutbytet för utsläppen av handeln mellan länder i olika inkomstgrupper. Blå skuggning för länder med höga inkomster visar att dessa länder är nettoimportörer av indirekta koldioxidutsläpp från handelsutbytet. Gul skuggning visar det omvända, att medelinkomstländer har nettoutsläpp i landet från produktion som exporteras till andra länder. Översatt från IPCC (2014d).

²⁰ För en lista av Annex 1-länder se http://unfccc.int/parties_and_observers/parties/annex_i/items/2774.php

Oavsett från vilket perspektiv vi ser på utsläppen så sker 70 procent av dessa från förbränning och industriprocesser i tio länder. Ungefär lika många länder står för samma andel av konsumtionsbaserade koldioxidutsläpp och av den samlade mängden koldioxidutsläpp från år 1750.

Tillväxt i ekonomi och befolkning är de två huvudsakliga drivkrafterna bakom de ökade utsläppen av fossilt koldioxid. Bidraget från befolkningsökningen har i stort varit likvärdigt sedan 1970, men bidraget från ekonomisk tillväxt har ökat kraftigt sedan millennieskiftet. Efter år 2000 har drivkrafterna varit betydligt större än förbättrad energieffektivitet. Ökad andel kol i världens bränslemix jämfört med andra energiråvaror har vänt tidigare trend med minskad koldioxidintensitet i världens energitillförsel till en ökning.

Tillgången till kol samt icke-konventionella olje- och gasresurser är stora och en minskad koldioxidintensitet i energimixen kommer inte att ske spontant på grund av brist på fossil energi. Utan särskilda insatser för att minska växthusgasutsläppen, väntas de grundläggande drivkrafterna för ökande utsläpp dominera trots förväntningar om signifikant teknikutveckling och effektiviseringar i energitillförsel och energianvändning. Om utsläppen följer en referensbana med dagens politiska beslut väntas koncentrationen av växthusgaser i atmosfären överskrida 450 ppm CO₂ekv till år 2030 och nå 750-1300 ppm till 2100, vilket kan jämföras med att koncentrationen var ca 400 ppm år 2010.

5 Med kraftfulla utsläppsminskningar kan temperaturökningen begränsas till under 2°C

Här diskuteras sannolikheten för att man med omfattande utsläppsminskningar ska kunna begränsa den globala temperaturökningen till under 2 °C jämfört med förindustriell nivå (tvågradersmålet) samt vilka sannolikheterna är för detta i olika scenarier. Diskussionen utgör utgångspunkt för bedömning om preciseringen rörande koncentrationsmålet i miljö kvalitetsmålet *Begränsad klimatpåverkan* (se kapitel 1.3) behöver justeras, vilket är en av frågorna i uppdraget. Genomgången baseras på arbetsgrupp III till AR5 (IPCC, 2014d).

5.1 Utvecklingsbanor som behövs för att klara tvågradersmålet beskrivs på flera olika sätt

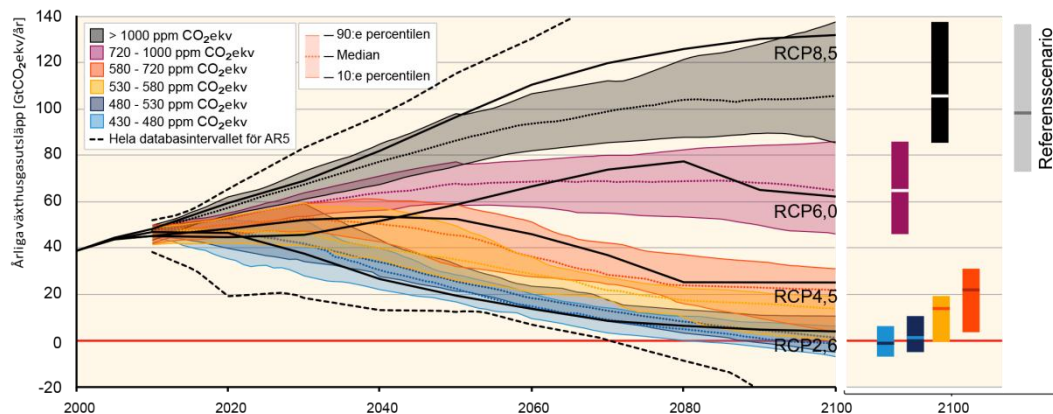
Sammanställningen av modellerade referensbanor för framtida utsläppsutveckling i AR5 bygger på en analys av den historiska trendutvecklingen och pekar i riktning mot en uppvärmning på 3,7–4,8 °C till seklets slut om inga ytterligare utsläppsbegränsningar genomförs förutom de redan beslutade. Nedan redovisas tre metoder för att beskriva hur tvågradersmålet kan klaras med en viss grad av sannolikhet. Att målet *sannolikt* klaras betyder enligt definitionen i AR5 att utsläppen med mer än 66 procent sannolikhet²¹ kan begränsas till under 2 °C. Bland AR5:s scenarier finns inget som med 100 procents sannolikhet säkerställer att temperaturökningen inte kan komma att överstiga 2 °C år 2100. De tre metoderna tar sin utgångspunkt i utsläppsminskningar, atmosfäriska koncentrationer, respektive totalt utsläppsutrymme.

Utsläppsbanor

Ett första sätt att beskriva utvecklingsbanor som klarar tvågradersmålet utgår från utsläppsminskningar som med en tillräcklig grad av sannolikhet kan begränsa koncentrationen av växthusgaser i atmosfären. Dessa utsläppsbanor innebär att utsläppen behöver kulminera inom en snar framtid, minska med mellan 40 och 70 procent till år 2050 (jämfört med år 2010) och med 80 till 120 procent till 2100. Många scenarier innebär alltså att utsläppen behöver vara negativa vid seklets slut för att sannolikt klara

²¹ Här följs AR5 med kursivering av de sannolikheter som angivits där. Se vidare fotnot på sid 18.

tvågradersmålet. Förseñas insatserna för utsläppsminskningar till framemot 2030 ökar kostnaderna betydligt och utmaningen blir än större samtidigt som sannolikheten för att tvågradersmålet nås minskar. Scenarier som klarar tvågradersmålet illustreras i Figur 21 av utsläppsbånar i ljusblått intervall som överensstämmer med RCP2,6-banorna som presenteras i kapitel 2.1.4. Med utsläppsnivåer över 55 miljarder ton CO₂ekv år 2030, är det för många modeller inte möjligt att klara tvågradersmålet.



Figur 21 Utvecklingsvägar för globala utsläpp av växthusgaser (GtCO₂ekv/år) i referens- och utsläppsminskningsscenarioer för olika haltnivåer på längre sikt. Översatt från IPCC (2014e).

Koncentrationsbanor

Ett annat sätt att beskriva vad som krävs för att begränsa temperaturökningen är att relatera tvågradersmålet till koncentrationen av växthusgaser i atmosfären. En huvudsats i AR5 är att utsläppsreduktioner under detta sekel som håller koncentrationen av växthusgaser på ca 450 ppm CO₂ekv till år 2100 kan begränsa den globala temperaturökningen under 2 °C under detta sekel. Majoriteten av utsläppsbegränsande scenarier som stabiliserar koncentrationen mellan 430 och 480 ppm CO₂ekv till år 2100 kan sannolikt klara tvågradersmålet (se Tabell 5). Dessa scenarier karaktäriseras av att koncentrationen under seklet som mest uppgår till 515 ppm CO₂ekv.

För många av de scenarier som begränsar koncentrationen mellan 430 och 480 ppm CO₂ekv till år 2100 kulminerar växthusgaskoncentrationen under det här århundradet och sjunker mot år 2100. Sådana överskridanden (engelska overshoot) betyder att mindre omfattande utsläppsreduktioner behöver genomföras i närtid. Men denna utsläppsutveckling måste kompenseras med mer omfattande utsläppsminskningar längre fram i tiden. Den stora majoriteten av scenarier med ett överskridande på mer än 35-50 ppm CO₂ekv inkluderar tekniker som avlägsnar koldioxid från atmosfären i en sådan utsträckning att de globala koldioxidutsläppen blir negativa år 2100.

Tabell 5 beskriver sannolikhetsintervall för vilka koncentrationer av växthusgaser i atmosfären som kan hålla den globala temperaturökningen under 1,5 °C, 2 °C, 3 °C respektive 4°C. Även om koncentrationen av växthusgaser i atmosfären kan begränsas till 430-480 ppm CO₂ekv år 2100 så är det mindre än 50 procent sannolikhet att begränsa temperaturökningen till under 1,5 °C men minst 66 procent sannolikhet att hålla den under 2 °C. Skulle utsläppen bli större och växthusgaskoncentrationen ligga mellan 480 och 530 ppm CO₂ekv är sannolikheten att klara tvågradersmålet till år 2100 minst 50 procent om koncentrationen under detta sekel inte överskrider 530 ppm. Om det sker ett överskridande av 530 ppm innan koncentrationen minskar till under 530 ppm till år 2100 minskar sannolikheten att klara tvågradersmålet till 33-66 procent.

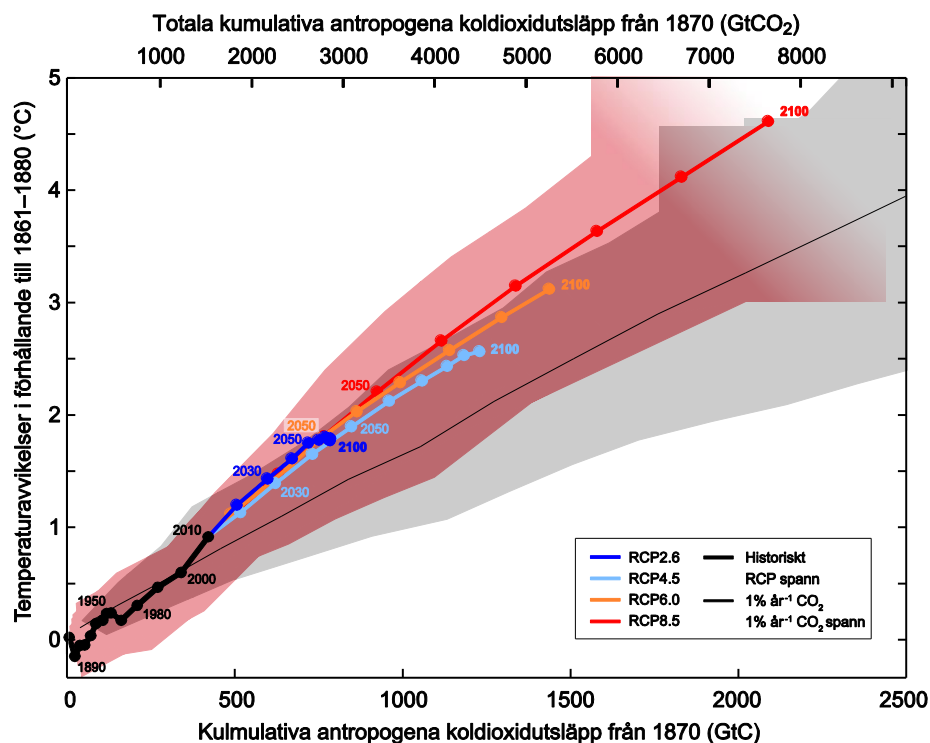
Endast ett begränsat antal studier har undersökt banor som kan hålla koncentrationen under 430 ppm CO₂ekv. När koncentrationen av växthusgaser begränsas till under denna nivå är det minst 50 procent sannolikhet att den globala temperaturhöjningen kan hållas under 1,5 °C.

Tabell 5 - Tabellen visar relationen mellan koncentrationen växthusgaser i atmosfären, kvarstående kumulativt utsläppsutrymme, förändring av framtida utsläpp och resulterande global genomsnittlig temperaturökning jämfört med förindustriell nivå. För alla parametrar visas den 10: e till 90: e percentilen. Översatt från IPCC (2014e)

CO ₂ ekvår 2100 koncentrations- intervall	Under- kategorier	Relativ position för RCPerna	Kumulativa CO ₂ -utsläpp (GtCO ₂)		Ändring i CO ₂ ekv-utsläpp jämfört med 2010 (%)		Temperaturändring (relativt 1850-1900)					
			2011-2050	2011-2100	2050	2100	Temperatur- ändring 2100 (°C)	Sannolikhet att stanna under en temperaturnivå under 2000-talet				
								1,5°C	2,0°C	3,0°C	4,0°C	
< 430	Endast ett begränsat antal modellstudier har studerat nivåer under 430 ppm CO ₂ ekv											
450 (430-480)	Hela intervallet	RCP2,6	550-1300	630-1180	-72 till -41	-118 till -78	1,5-1,7 (1,0-2,8)	<i>mer osannolikt än sannolikt</i>	<i>sannolikt</i>	<i>sannolikt</i>	<i>sannolikt</i>	
500 (480-530)	Överskrider ej 530 ppm CO ₂ ekv		860-1180	960-1430	-57 till -42	-107 till -73	1,7-1,9 (1,2- 2,9)	<i>osannolikt</i>	<i>mer sannolikt än osannolikt</i>			
	Överskrider 530 ppm CO ₂ ekv		1130-1530	990-1550	-55 till -25	-114 till -90	1,8-2,0 (1,2- 3,3)		<i>ungefär lika sannolikt som osannolikt</i>			
550 (530-580)	Överskrider ej 580 ppm CO ₂ ekv		1070-1460	1240-2240	-47 till -19	-81 till -59	2,0-2,2 (1,4-3,6)		<i>osannolikt</i>			<i>mer osannolikt än sannolikt</i>
	Överskrider 580 ppm CO ₂ ekv		1420-1750	1170-2100	-16 till -7	-183 till -86	2,1-2,3 (1,4-3,6)					
(580-650)	Hela intervallet	RCP4,5	1260-1640	1870-2440	-38 till 24	-134 till -50	2,3-2,6 (1,5-4,2)		<i>osannolikt</i>			<i>osannolikt</i>
(650-720)	Hela intervallet		1310-1750	2570-3340	-11 till 17	-54 till -21	2,6-2,9 (1,8- 4,5)					<i>mer sannolikt än osannolikt</i>
(720-1000)	Hela intervallet	RCP6,0	1570-1940	3620-4990	18 till 54	-7 till 72	3,1-3,7 (2,1- 5,8)		<i>osannolikt</i>	<i>mer osannolikt än sannolikt</i>		
>1000	Hela intervallet	RCP8,5	1840-2310	5350-7010	52 till 95	74-178	4,1-4,8 (2,8-7,8)	<i>osannolikt</i>	<i>osannolikt</i>	<i>mer osannolikt än sannolikt</i>		

Koldioxidbudget

Ett tredje sätt att beskriva hur klimatförändringen kan begränsas till under 2 °C temperaturhöjning är att belysa det utsläppsutrymme (den ”koldioxidbudget”) som finns för resten av detta sekel (2011 till 2100). Detta sätt att belysa frågan är nytt i AR5 jämfört med AR4.



Figur 22 - Global ökning av medeltemperaturen som ett resultat av kumulativa globala koldioxidutsläpp från flera olika bevislinjer. Multi-modellresultat från en hierarki av klimat-kolcykelmodeller för varje RCP fram till 2100 visas med färgade linjer och tioårsgenomsnitt (prickar). Vissa tioårsgenomsnitt anges med siffror för tydlighets skull (t.ex. anger 2050 årtiondet 2041–2050). Modellresultat under den historiska perioden (1860–2010) anges i svart. Det färgade partiet illustrerar multimodellspridningen över de fyra RCP-scenarierna och avtar med minskande antal tillgängliga modeller i RCP8,5. Multimodellgenomsnittet och intervallen som simulerats av CMIP5-modellerna som drivs av en koldioxidökning på 1 % per år (simuleringar med 1 % höjning av koldioxiden per år), visas med den tunna svarta linjen och det gråfärgade fältet. Vid en viss mängd kumulativa koldioxidutsläpp ger koldioxidökningen på 1 % per år lägre uppvärmning än i RCP:erna som inkluderar även andra drivkrafter än koldioxid. Alla värden anges i förhållande till basperioden 1861–1880. Tioårsgenomsnitten är förbundna med raka linjer. Översatt från IPCC (2013b).

Det är kumulativa utsläpp av koldioxid från förindustriell tid till år 2100 som huvudsakligen bestämmer den globala medeltemperaturen i slutet av detta sekel och på längre sikt. Orsaken är att de koldioxidutsläpp som inte tas upp i biomassa och haven stannar kvar i atmosfären för många hundra till tusentals år. Därför är det de totala utsläppen av koldioxid för resten av detta sekel som avgör om den globala medeltemperaturen ska kunna begränsas till under 2 °C.

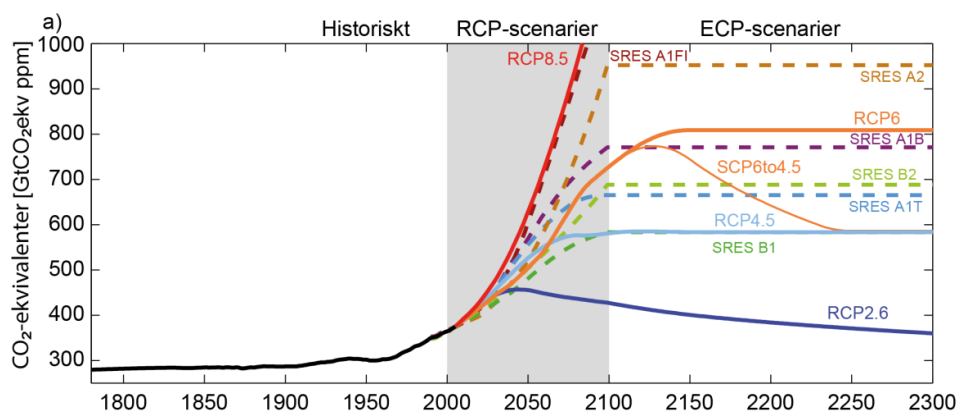
Figur 22 visar på det nära linjära sambandet mellan global temperaturökning och kumulativa koldioxidutsläpp. AR5 slår fast att för att sannolikt klara tvågradersmålet måste utsläppen begränsas till ca 3 700 miljarder ton koldioxid under perioden 1870-2100. Lite drygt hälften av koldioxidbudgeten är redan utnyttjad vilket ger att högst 1 800

miljarder ton koldioxid kan användas under perioden 2012-2100. Detta kan jämföras med de cirka 3 000 miljarder ton koldioxid som finns kvar i marken världen över²². Räkna man även med andra växthusgaser än koldioxid så är det bara en tredjedel av budgeten, dvs. 1 000 miljarder ton CO₂ekv, kvar vilket motsvarar ungefär 20 år av dagens utsläpp.

5.2 Miljökvalitetsmålet Begränsad klimatpåverkan behöver inte revideras

Bedömningarna av hur koncentrationen av växthusgaser i atmosfären förhåller sig till den globala temperaturökningen har till viss del justerats i AR5, men de övergripande slutsatserna avviker inte på något avgörande sätt från huvudslutsatserna i AR4. I allt väsentligt befäster AR5 huvudbudskapen från AR4. Att forskningen på många områden har varit omfattande efter AR4 gör att slutsatserna i AR5 baseras på en förstärkt kunskapsbas.

Som vi har redovisat i kapitel 1.3, så har innebörden av miljökvalitetsmålet *Begränsad klimatpåverkan* preciserats med dels ett temperaturmål och dels ett koncentrationsmål. Koncentrationsmålet, som härleds ur temperaturmålet, innebär att Sveriges klimatpolitik utformas så att den bidrar till att koncentrationen av växthusgaser i atmosfären på lång sikt stabiliseras på nivån högst 400 ppm CO₂ekv. Detta baserades på bedömningar av Vetenskapliga rådet för klimatfrågor²³. I Vetenskapliga rådets rapport definieras ”på lång sikt” till år 2150, vid vilken en koncentration på 400 ppm (baserat på forskningsresultaten vid tiden för AR4) ansågs vara en övre gräns för att tvågradersmålet sannolikt (>66 procent) klaras.



Figur 23 Koncentrationer av växthusgaser (CO₂-ekvivalenter) för de fyra RCP-scenarierna med förlängningar som sammanfattas i IPCC AR5 (samt några av SRES-scenarierna). Banan för RCP2,6 tillåter att koncentrationen överskrider 450 ppm till år 2050, om den därefter sänks till ca 450 ppm år 2100. Därefter minskar koncentrationen gradvis till under 400 ppm. Översatt från IPCC (2013a).

Scenarierna som presenteras i AR5 är något annorlunda utformade och presenterade än scenarierna i AR4. Bland annat har AR5 i princip tidsperspektivet till år 2100 för koncentrationen av växthusgaser, snarare än ”långsiktig stabiliseringsnivå”. I Figur 23 framgår hur koncentrationen av växthusgaser i RCP2,6 utvecklas (i princip den bana för vilken tvågradersmålet sannolikt klaras), inklusive dess förlängning efter år 2100 (ECP, Extended Concentration Pathways). Scenariot RCP2,6 innebär att koncentrationen av växthusgaser i atmosfären successivt minskar efter 2100 och därefter till 2150. Det krävs således nollutsläpp eller negativa utsläpp vid seklets slut och till 2150. Som framgår av figuren ligger RCP2,6-banan år 2150 – årtalet för ”på lång sikt” som koncentrationspreciseringen baseras på - kring 400 ppm CO₂ekv. Längre fram i tiden (modelleringar har

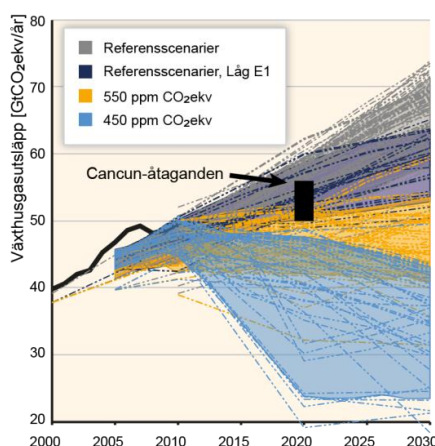
²² <http://carbontracker.org/wp-content/uploads/2014/08/Carbon-budget-checklist-FINAL-1.pdf>

²³ Vetenskapligt underlag för klimatpolitiken, Rapport från Vetenskapliga rådet för klimatfrågor, Miljöförberedningens rapport 2007:03.

gjorts fram till år 2300) är nivån lägre än 400 ppm. Andra referensår än 2150 kan naturligtvis vara basen för en precisering av miljökvalitetmålet med växthusgas-koncentration men med år 2150 som fortsatt definition av ”på lång sikt” kan 400 ppm fortsatt användas som riktmärke för *sannolik* uppfyllnad av tvågradersmålet. En enskild precisering, i form av en stabiliseringsnivå år 2150 (som härleds ur temperaturmålet) kan svårigen fånga hela bilden av vad temperaturmålet innebär. Andra utgångspunkter, t.ex. kumulativa utsläpp, tidpunkt för kulminering, minskningstakt efter kulminering, o.s.v., kan komplettera bilden. Det kan tilläggas att den grad av sannolikhet för att klara tvågradersmålet är avhängigt politiska överväganden.

5.3 De frivilliga åtagandena i Cancún-överenskommelsen är inte i överensstämmelse med att hålla den globala temperaturökningen under 2 °C

Eftersom klimatförändring är ett globalt problem som orsakas av utsläpp oavsett var de sker i världen så är bördefördelning och ökat internationellt samarbete nödvändigt. Köpenhamnsöverenskommelsen år 2009 slog fast att den av människan påverkade klimatförändringen ska begränsas till en temperaturökning under 2 °C. Efter klimatförhandlingarna i Cancún 2010 har varje land kommunicerat sina åtaganden för att minska utsläppen av växthusgaser till år 2020. Figur 24 visar vad utfästelserna om utsläppsminskningar efter Cancún-överenskommelsen kan medföra i form av utsläppsbegränsningar till 2020 och hur den utsläppsnivån förhåller sig till utsläppsbanor och temperaturutveckling till år 2100. Diagrammet antyder att åtagandena är i överensstämmelse med utsläppsbanor som kan stabilisera koncentrationerna till drygt 550 ppm CO₂ekv år 2100 och sannolikt hålla temperaturökningen till under 3 °C grader. Det finns ännu inte något globalt bindande avtal förutom Kyotoprotokollet som binder länderna till deras åtaganden. Inom klimatförhandlingarna pågår förhandlingar om ett globalt klimatavtal som skall gälla efter år 2020. Eftersom tvågradersmålet kräver att koncentrationerna begränsas till ca 450ppm år 2100 så innebär det att löftena om utsläppsminskning inte är förenliga med att klara tvågradersmålet. Då det är minskning av de kumulativa utsläppen av växthusgaser till atmosfären som är det centrala behöver ett internationellt klimatavtal omfatta samtliga länder och innefatta krav på åtgärder för utsläppsreduktion för länder med betydande utsläpp. Givet modelluppskattningar som anger att vid utsläppsnivåer över 55 miljarder ton CO₂ekv år 2030 är det inte möjligt att hålla koncentrationen under 480 ppm år 2100 pekar detta på vikten av att ett avtal måste omfatta samtliga stora utsläppsnationer samt ge tydliga incitament för omställning innan år 2030.



Figur 24. Jämförelse mellan utsläppsbanor som klarar olika utsläppskoncentrationer år 2100 och Cancún-löften till år 2020. Översatt från IPCC (2014d).

Faktaruta: Internationell ansvarsfördelning för utsläpps begränsningar och Europeiska klimat- och energimål till 2030 och 2050

Hur stor del av de nödvändiga utsläpps begränsningarna som tidigt industrialiserade regioner (bl.a. Europa), som historiskt stått för majoriteten av växthusgasutsläppen, ska ta ansvar för är ingen fråga som det vetenskapliga kunskapsläget kan ge svar på. Ansvarsfördelningen handlar om politiska värderingar, om rättvisa, ansvar, rätt till utveckling, kostnadseffektivitet och förmåga. Den grundläggande principen i klimatkonventionen – att parterna har ett gemensamt men differentierat ansvar att bidra till att begränsa klimatförändringarna – har i klimatkonventionen sammanfattats med att de industrialiserade länderna ska ta ansvar för att leda arbetet med att minska utsläppen. För att kunna begränsa temperaturökningen till under 2 °C krävs omfattande utsläpps begränsningar till 2050 i både tidigt industrialiserade länder och snabbt växande ekonomier då de senare står för mer än hälften av dagens utsläpp och för de senaste årens utsläppsökning. Därför är det viktigt att alla länder medverkar i arbetet för utsläppsminskningar.

Vid FN:s klimatkonferens i Cancún år 2010 åtog sig alla industriländer att ta fram nationella långsiktiga strategier för att åstadkomma låga växthusgasutsläpp. Europeiska rådet stödde 2009* ett EU-mål att minska utsläppen med 80–95 procent till 2050 jämfört med 1990 års nivåer, inom ramen för de minskningar som enligt IPCC är nödvändiga från de utvecklade länderna. Europeiska kommissionen presenterade sedan ett meddelande om en ”Roadmap for moving to a competitive low carbon economy 2050” med låga växthusgasutsläpp. Färdplanen beskriver en utsläppsbana som minskar unionens växthusgasutsläpp med 80 procent till 2050 och analysen indikerade att EU:s inhemska utsläpp borde reduceras med 40 till 44 procent till år 2030 jämfört med 1990. Vid Europeiska rådets möte i slutet av oktober 2014 så fattades EU:s regeringschefer beslut om kommande EU-ramverk efter 2020 som ska gälla till år 2030, vilket inkluderade utsläppsminskingsmål om minst 40 procent inom EU samt EU-bindande mål om förnybar energi om minst 27 procent och indikativt energieffektiviseringsmål om 27 procent på EU-nivå.

En metastudie som sammanfattar resultat från tillämpningar av olika fördelningsprinciper för att fördela ansvaret för utsläppsminskningar mellan olika regioner, visar att EU:s ansvar borde ligga i intervallet 35–85 procents minskning av utsläppen till 2030 jämfört med unionens utsläpp 1990. Fördelningsstudierna utgår i huvudsak från globala utsläppsminskingsbanor som med minst 66 procents sannolikhet leder till att en global ökning av medeltemperaturen på 2 °C kan underskridas. Samtidigt bör man också notera att EU bara är en av flera globala aktörer och att det är de kollektiva utsläppen som behöver minska.

* *Europeiska rådet, 29/30 Oktober 2009.*

6 Centrala åtgärder för att klara tvågradersmålet finns i energisystemet och i ökat koldioxidupptag

Detta kapitel sammanfattar kortfattat bedömningar och slutsatser om åtgärder som kan krävas för att världens utsläpp ska kunna minska i en sådan omfattning och tid, att det finns en möjlighet att klimatpåverkan kan begränsas till under 2 °C global medeltemperaturhöjning, jämfört med den förindustriella nivån. Slutsatserna är främst hämtade från AR5 (IPCC, 2014d, e). Några referenser till andra studier, dessa är främst hämtade från IEA (International Energy Agency, 2013a, b, 2014a-d).

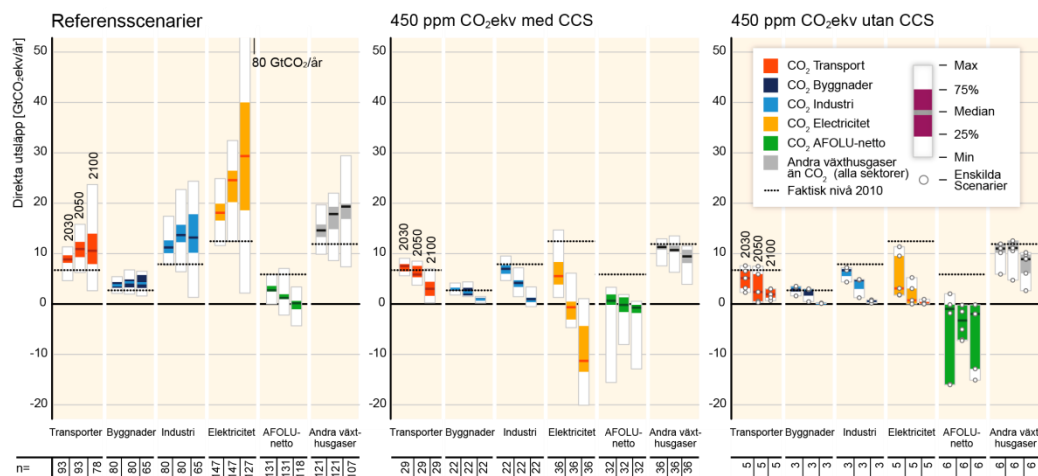
IPCC:s slutsatser om åtgärder för att minska utsläppen av växthusgaser och begränsa framtida temperaturökningar pekar på vilka huvudsakliga omställningar som behöver ske. Men sällan i detalj om när i tiden åtgärderna behöver genomföras. För vissa nyckelåtgärder drar dock både IPCC och IEA slutsatser om när i tiden saker behöver ske. Dessa redovisas i kapitel 6.2 och 6.3.

6.1 Sammanfattning av åtgärder för att begränsa temperaturförändringen till under 2°C

Förutom IPCC:s utvärderingar har även IEA tagit fram scenarier över omställningar av energisystemet och åtgärder för att begränsa koldioxidutsläppen (IEA, 2013a, b, 2014a, b, c). IPCC och IEA är i det mesta överens om vad som är viktiga åtgärder för att hålla koncentrationen av växthusgaser i atmosfären till ca 450 ppm CO₂ekv till år 2100.

Energittillförsel: Införande av fossilfria och koldioxidneutrala tillförseltekniker (förnybar energi, kärnkraft samt koldioxidavskiljning och lagring (CCS)) är nyckelkomponenter i globala utsläppsminskningsscenarier. Energittillförseln behöver nå nära noll utsläpp till 2100. För att nå dit är energieffektivisering centralt. Dessutom att minska förlusterna av energi i produktion (kraftvärmeverk) och distribution. Naturgas kan tillfälligt vara en brygga mot installation av mer koldioxidsnåla tekniker på längre sikt men IEA:s analyser pekar på att det i så fall enbart gäller över en tioårsperiod för att inte riskera inläsnings-effekter i fossilberoende strukturer (IEA, 2014b, c). I de flesta av scenarierna där koldioxidkoncentrationen stabiliseras på relativt låga nivåer (430-530 ppm CO₂ekv) ökar andelen el- och värmeproduktion från koldioxidsnål teknik från ca 15 procent 2010 till ca 80 procent 2050 samt till nästan 100 procent 2100

Elproduktion: Eftersom eltillförselsanläggningar vanligtvis har en livslängd på 30-40 år och naturgasinfrastrukturer på 25-50 år så är även energieffektiviseringar en mycket viktig del för att nå en rimlig storlek på eltillförselbehovet och undvika inläsningar i utsläppsintensiva tekniker såsom kolkraft eller gaskombi. Biobaserad elproduktion med koldioxidinfångning och lagring karakteriserar scenarier som klarar tvågradersmålet (Figur 25).



Figur 25 Utsläpp av CO₂ fördelat per sektor och utsläpp av övriga växthusgaser från alla sektorer för referensscenario (BAU) samt för tvågraders-scenarier (450 ppm år 2100). Staplarna visar utsläppsintervall år 2030, 2050 och 2100. Horisontella strecklinjer visar 2010 års nivåer. Vänsterdiagram visar referensscenariot; diagrammet i mitten utsläpp i scenarier som klarar tvågradersmålet med användning av CCS teknik; högerdiagram visar utsläpp i scenarier som klarar tvågradersmålet utan CCS teknik. I referensscenariot driver energianvändningen i byggnader och industrin utsläppsnivån från elproduktion. Siffrorna nedtill i diagrammet är antalet scenarier för respektive sammanställning. Notera det låga antal 450 ppm scenarioanalyser utan CCS teknik. Många modeller kan inte klara att hålla ner koncentrationen av växthusgaser till 450 ppm till 2100 utan att inkludera användning av CCS tekniken. Översatt från IPCC (2014e).

Transport: I scenarierna minskar inte utsläppen från transporter lika mycket som i andra energisektorer. Trots att fordonens energieffektivitet antas öka betydligt i framtiden och delvis elektrifieras förväntas ökad transportefterfrågan motverka minskade utsläpp till år 2050. Tvågradersscenarierna (430-480 ppm CO₂ekv år 2100, jfr. Tabell 5) bygger på antaganden som innebär att åtgärder som minskar utsläppen från transporter globalt är kostsammare att genomföra jämfört med åtgärder inom elproduktion, byggnadsuppvärmning och industriutsläpp. Internationella transporter bedöms som särskilt svåra att åtgärda i scenarierna. Transporternas andel av de samlade utsläppen ökar därmed i lågutsläppsscenarierna. Centrala omställningar i transportsektorn är bränsleskifte till biodrivmedel, vätgas och elektrifiering i kombination med energieffektivare bilar (t.ex. effektiva motorer, fordonsdesign, effektivare tillbehörsutrustning, lättare material), ökad andel kollektiva persontransporter och godstransporter på järnväg. Minskning av transportvolymerna är viktigt för att undvika inlåsningar i koldioxidintensiva transportinfrastrukturer eftersom transport- och stadsinfrastrukturer har livslängder på över 50-100 år samtidigt som omfattningen av koldioxidsnåla drivmedel bedöms vara begränsad till 2030.

Byggnader: Till följd av byggnaders långa livslängd finns betydande risk för inlåsnings-effekter i ineffektiv energianvändning. Nära-nollenergibygnader har stor potential, där investeringarna generellt sett har kort återbetalningstid jämfört med byggnadens livslängd. Dock har byggandet av dessa varit begränsat. I de snabbt utvecklade länderna beräknas den mesta nybyggnationen ske medan Europa, Ryssland och Nordamerika står inför stora renoveringsbehov av existerande byggnader. Nyckelåtgärder är energi-effektiviseringar, beteendeförändringar som kan minska energianvändningen, ersättning av fossila bränslen med förnybar el, installation av alternativa tekniker såsom fjärrkyla, fjärrvärme och biobränslen för uppvärmning i kombination med att bygga lågenergihus och bidra till minskad energiefterfrågan genom energieffektiva AC/värmepumpar, apparater och smarta elnät (IEA, 2014a, c).

Industri: Enbart en uppgradering till redan tillgänglig bästa teknik för processer, maskiner och apparater i industrin kan minska energintensiteten med 25 procent. Fortsatt teknikutveckling bedöms kunna leda till ytterligare 20 procents förbättring. Höga investeringskostnader och brist på information är de främsta hindren för att energieffektiviserande åtgärder genomförs i industrin. Nyckelfaktorer för att minska industrins koldioxidutsläpp är utveckling och tillämpning av koldioxidinfångning och lagring (CCS) för processutsläpp (t.ex. järn- och stål, cement), bättre avfallshantering/kretslopp och ersättning av fossila bränslen med el och bioenergi. På längre sikt kan en omställning till nya industriprocesser och produktutveckling (t.ex. alternativ till cement) bidra med betydande utsläppsminskningar. Många av de lågutsläppsscenarioer som IPCC AR5 baseras på förlitar sig till stor del på att CCS och biobaserad CCS kan bli en lönsam teknik bortom 2050 (Figur 25).

Icke koldioxidgaser såsom metan från djurhållning och risodling, lustgas från växtodling och fluorerade växthusgaser, bedöms i modellerna ha höga åtgärdskostnader och finns kvar i ökad andel i lågutsläppsscenarierna. Åtgärder är t.ex. att sluta deponera organiskt avfall, samla in metan från avloppsanläggningar och deponier, röta stallgödsel till biogas, minska lustgasutsläppen från industriproduktion samt ersätta fluorerade gaser med alternativa ämnen och tillämpning av tekniska lösningar (exv. fjärrkyla).

Jordbruk, skogsbruk: Många modellanalyser bygger på antaganden om att mycket kostnadseffektiva åtgärder finns tillgängliga som kan öka nettoupptaget av kol. I skogsbruket är nybeskogning, hållbart skogsbruk och undvikande av avskogning de mest kostnadseffektiva åtgärderna men med stora skillnader i deras inbördes betydelse mellan världens olika regioner. Förutom kostnadseffektiva globala åtgärder i jordbruket i form av förstärkt upptag av koldioxid i åkermark och betesmark samt restaurering av organiska jordar för att minska koldioxidavgången är ökad produktivitet i jord- och skogsbruk viktigt om världen ska kunna försörja en växande befolkning och inte tära på jordens

ekosystem ytterligare. Genom restaurering av utarmade jordbruksmarker kan matproduktionen öka. Ändrad livsstil och beteendeförändringar i form av ändrad mathållning (mindre kött, mer vegetabilier och baljväxter) och bättre mathantering (mindre avfall) har stor potential att bidra till minskad växthusgasintensitet i livsmedelsproduktionen.

6.2 På kort sikt behöver inlåsningar i koldioxidintensiva livsstilar och tekniker undvikas

Ju längre det dröjer med att reducera utsläppen desto större årliga utsläppsminskningar kommer att krävas i framtiden. Det finns också trögheter och tröskleffekter i klimatsystemet som talar för att minska utsläppen så tidigt som möjligt och i så stor utsträckning som möjligt. Dessutom kan samhället låsas in i koldioxidkrävande strukturer om vi väntar med att agera. Arbetet med att begränsa klimatproblemet kommer att behöva bedrivas under lång tid framöver men utvecklingen under de närmaste åren har en avgörande betydelse för vår möjlighet att klara tvågradersmålet.

Dagens globala utsläpp av växthusgaser domineras av utsläpp från energisystemet (tillförsel av el, värme samt drivmedel för transporter) och koldioxidavgång från ändrad markanvändning. Åtgärder i alla dessa sektorer är därför avgörande för att utsläppen ska kunna begränsas i tillräcklig omfattning.

Viktigt i närtid är också att investeringar i långlivade infrastrukturer görs i klimatvänlig riktning. Både AR5 och IEA (2013b, 2014a, b, c) är tydliga om risken för inlåsnings-effekter i fossilbaserad elproduktion. De kommande 20 åren kommer att vara kritiska eftersom mycket stora investeringar behöver ske i infrastruktur i städer och på landsbygd och i världens energisystem. En del av de befintliga ineffektiva kolbaserade kraftverken behöver dessutom fasas ut och på lång sikt ersättas med fossilfri produktion, eller fossilbaserad produktion försedd med CCS.

Många nya städer och stadsdelar kommer att byggas i icke-OECD länder under de kommande 20 åren. Att planera dessa nya städer och deras transportsystem resurseffektivt kan undvika inlåsningar i koldioxidintensiva livsstilar. Tät bebyggelse sparar dessutom jordbruksmark, ökar arealen skogsmark och tillgången till bioenergi. I närtid är också renoveringsbehovet stort för byggnader i utvecklade länder. Denna renovering behöver få en energieffektiv utformning och omfatta installation av alternativa tekniker såsom fjärrkyla, fjärrvärme, värmepumpar och biobränslen för uppvärmning samt energieffektiva apparater och smarta elnät.

Värdet av energieffektiviseringsåtgärder lyfts på liknande sätt som i bostadssektorn upp inom samtliga användarsektorer. Effektivisering är en avgörande åtgärd för att undvika låsningar i koldioxidintensiva tekniker. Även IEA håller fram sådana åtgärder och brukar beskriva energieffektivisering som ”the first fuel” dvs. att energieffektiviseringsåtgärder innebär att man undviker att behöva tillföra ytterligare energi i systemet (IEA, 2014d). Beteende, livsstil och kulturella normer har ett stort inflytande på energianvändning och tillhörande utsläpp. Stor energibesparingspotential bedöms finnas inom transportsektorn, byggnadssektorn, avfallssektorn och inom hållbar konsumtion.

IEA lyfter särskilt fram att energieffektiviseringsåtgärder behöver genomföras i närtid (fram till år 2020) i byggnader, industri och transportsektorn. I samma tidsperiod behöver också effektiviseringar och minskad användning av ineffektiva kolbaserade kraftverk ske. Dessa åtgärder bidrar också till bättre luftkvalitet och hälsovinster (IEA, 2013b).

6.3 På lång sikt behöver energitillförseln bli koldioxidsnål, upptaget av koldioxid öka och CCS-tekniken tillämpas i större skala

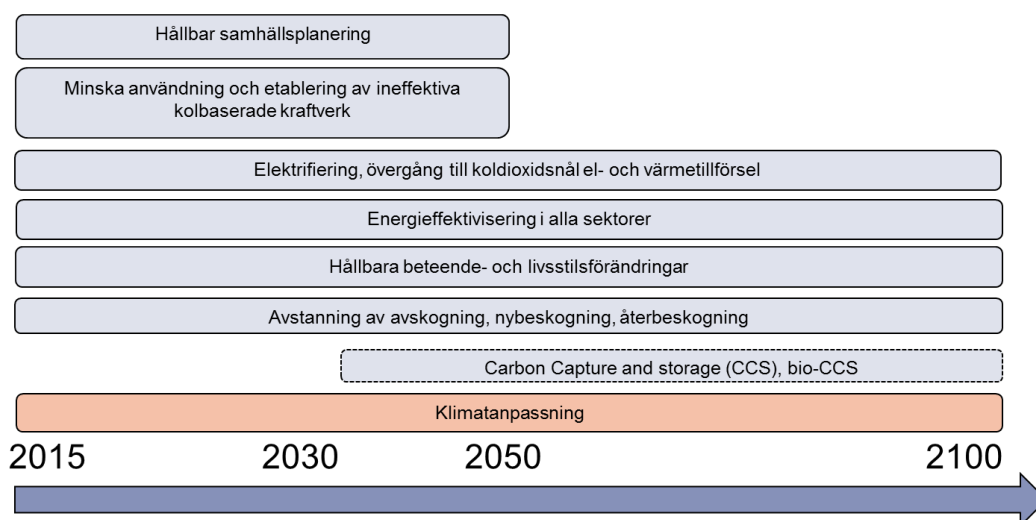
Det är endast ett fåtal av scenarierna som klarar tvågradersmålet utan användning av koldioxidinfångning och lagring (CCS) av koldioxid. Flertalet förlitar sig på stora negativa utsläpp i elsektorn bortom 2050 vilket bygger på omfattande etablering av biobaserad elproduktion med CCS (BECCS).

I många delar av världen kan åtgärder som minskar avgången av koldioxid från markanvändning och ökar upptaget i skog och mark enligt IPCC vara mycket kostnads-effektivt. Det är främst beskogning, minskad avskogning och hållbart skogsbruk som pekas ut. Nybeskogning som ger signifikant upptag bortom 2050 är ett viktigt element i många scenarier som klarar tvågradersmålet. Att bidra med bioenergi som råvara är dessutom centralt för BECCS. På jordbruksmark handlar det om ökat kolinbinding i åker- och betesmark samt restaurering och återvätning av tidigare dränerade organiska jordar.

Tekniker för Carbon Dioxide Removal (CDR) och Solar Radiation Management (SRM) bedöms däremot som mycket osäkra på grund av svårigheter med genomförbarhet då det kräver politisk legitimitet, internationella överenskommelser och styrning. Även kostnader samt negativa sidoeffekter bl.a. miljöpåverkan talar emot många tekniker. Inga SRM-åtgärder och endast BECCS och avskogning av CDR-åtgärder ingår i utsläpps-scenarierna.

Ändrade konsumtionsmönster kan ge ett betydande utsläppsreducerande bidrag och AR5 lyfter fram samhällsplanering (t.ex. transportsnål planering) som underlättar resurs-effektivt beteende som viktigt.

I Figur 26 ges en översiktlig bild av åtgärder som är kritiska för att minska utsläppen av växthusgaser i sådan takt att tvågradersmålet kan nås (bilden bygger på slutsatser från IPCC:s utvärderingar men också från IEA och ger en ungefärlig framställning över vad som bedöms behöver ske). AR5 betonar vikten av klimatanpassningsåtgärder behöver genomföras tillsammans med, eller vid sidan av åtgärder för utsläppsminskning varför denna ligger som genomgående åtgärd i figuren.



Figur 26– Kritiska åtgärder samt när i tiden de måste ske.

Betydelsefulla åtgärder för att Sverige ska nå visionen om inga nettoutsläpp av växthusgaser

Naturvårdsverket lämnade 2012 tillsammans med Energimyndigheten och andra sektorsmyndigheter ett underlag till en svensk färdplan för att uppnå visionen om ett hållbart energisystem utan några nettoutsläpp av växthusgaser 2050 (se kapitel 1.2). Den nu pågående statliga utredningen om en klimatfärdplan 2030/2050 och en kommande energikommission kan förväntas vidareutveckla detta underlag samt hur energisystemet kan anpassas till förändrat klimat. Några utmaningar för Sverige är tydliga.

Sverige har låg andel fossil energi i energimixen men har samtidigt en hög energi-användning per person i en internationell jämförelse. Drivkrafter för det senare är att landet har en relativt hög andel energiintensiv basindustri (massa och papper, järn och stål, kemi), ett relativt kallt klimat och ett glest befolkat land med långa avstånd mellan städer som bidrar till transportefterfrågan. Energieffektivisering i samtliga sektorer, beteende-förändringar samt bättre utnyttjande av restenergi är viktiga förändringar. Sverige har redan en stor andel fossilfri el och men det finns ytterligare potential att nyttja mer skogsrestprodukter och öka vindkraftproduktionen.

I Sverige är andelen fossil energi mindre än 25 procent i de flesta samhällssektorer, förutom transportsektorn. Utredningen Fossilfrihet på väg (SOU, 2013) föreslår insatser för hållbar stadsutveckling, hållbar infrastruktur, beteendeförändringar, främjande av tillförsel av biodrivmedel och ökad andel bränsleeffektiva och mer miljövänliga fordon.

Sverige har stora processutsläpp från järn- och stålindustri och cementindustri. Teknik behöver utvecklas för att minska dessa utsläpp. En utveckling mot ökad resurshushållning och mindre koldioxidintensiva materialval på lång sikt kan bidra till att behovet av primärstålproduktion och cement blir lägre.

Drygt hälften av Sveriges mark utgörs av skog. Sverige har lyckats kombinera hållbar skogshantering med uttag av biobränsle. Vad IPCC framför om främjande av hållbart skogsbruk, beskogning och nettoupptag av koldioxid är signifikanta åtgärder också för Sverige.

Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU, 2007) pekar på vikten av att klimatanpassa infrastrukturer på samtliga nivåer i samhället och inom alla sektorer. Klimatförändringarna har påverkan på elproduktion, t.ex. i form av ökad nederbörd som ger ökad vattenkraftproduktion samtidigt som risken för översvämningar innebär påfrestningar. Ett förändrat klimat har inverkan på framtida investeringar i energitillförselteknik.

Då klimatproblemet är ett globalt problem är internationellt samarbete mycket viktigt. Det är viktigt att delta i internationellt samarbete och mekanismer som kan främja hållbar utveckling och lägre globala utsläpp för att bidra till att klara tvågradersmålet. Ur ett konsumtionsperspektiv har Sveriges koldioxidavtryck ökat (dvs. att koldioxidutsläpp för att producera all konsumtion av varor och tjänster för svenskarna har ökat)²⁴. Därför är det viktigt med beteende- och livsstilsförändringar som minskar energianvändningen och gör konsumtionen mer hållbar.

²⁴ <http://www.naturvardsverket.se/978-91-620-6483-9>

7 Investeringar, styrmedel och modellanalyser

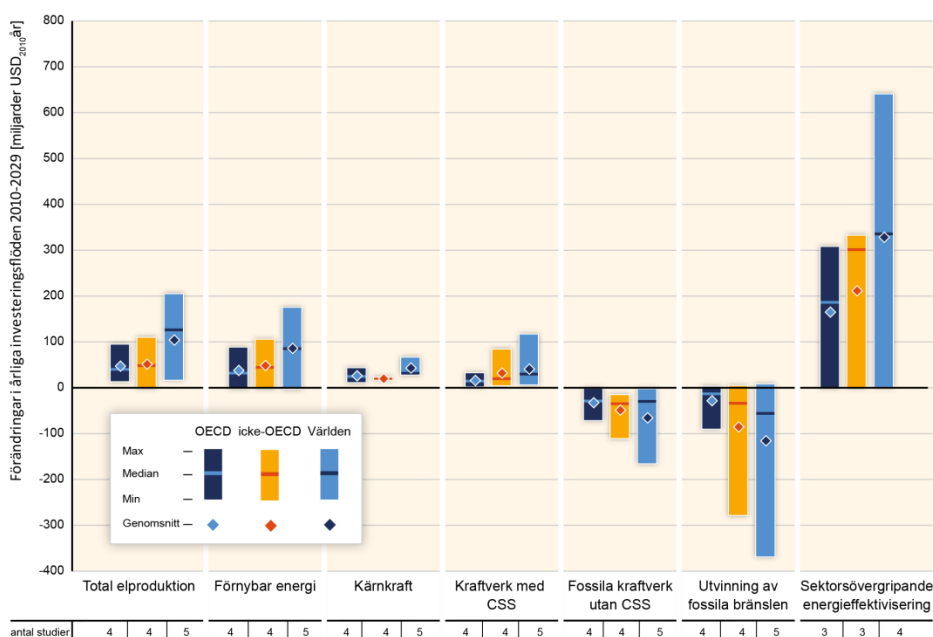
Tredje arbetsgruppens utvärdering i AR5 (IPCC, 2014d) behandlar inte bara åtgärder som forskningen bedömer kan krävas för att begränsa utsläppen utan omfattar även på vilket sätt åtgärderna skulle kunna komma till stånd (styrmedel och styrningsprocesser) och vilka investeringar, kostnader och intäkter som åtgärderna och omställningen i stort kan vara förknippade med. Här nedan redogörs kortfattat för dessa resultat, kompletterat med redovisningar av resultat från några andra större studier som också tagits fram under 2014.

7.1 Stora omfördelningar och vissa ökningar av den totala investeringsnivån krävs

Omvandlingen till en ekonomi med låga utsläpp kräver investeringskapital och nya investeringsmönster. Scenarier som ger en möjlighet att klara tvågradersmålet innehåller betydande skiften i investeringsflödena de kommande 20 åren jämfört med ”business-as-usual”-scenarier.

De befintliga investeringarna i energisystemet utgör redan 1 200 miljarder dollar årligen enligt AR5 och 1 700 miljarder dollar²⁵ enligt IEA (2014a), varav 1 100 miljarder går till fossil energi, 250 miljarder till förnybar energi och 130 miljarder till energi-effektivisering.

IPCC beräknar att de årliga investeringarna i konventionell fossilbränsleteknologi för elproduktion minskar med 100 miljarder dollar årligen och investeringar i ”low carbon”-teknik ökar med 100 miljarder dollar till år 2029 jämfört med 2010. På användarsidan ökar investeringar i energieffektiviseringar i transportsektorn, i byggnader och i industrin med 300-350 miljarder dollar (Figur 27).



Figur 27 - Förändringar i årliga investeringsflöden till 2029 jämfört med genomsnittet för referensscenariot som kännetecknar de utsläppsscenarier som stabiliserar koncentrationen av växthusgaser i atmosfären till 430–530 ppm CO₂ekv år 2100. Resultatet baseras på ett begränsat antal studier. Staplarna indikerar uppskattade värden från minimum till maximum. De horisontella linjerna indikerar medianvärden. Siffrorna i nedre raden är antalet studier som ingått i utvärderingen. (Översatt från IPCC, 2014e)

²⁵ Angivet i USD

Även om metodiken inte är helt jämförbar mellan IPCC och IEA så är siffrorna i stort ändå i samma storleksordning. IEA beräknar i sina 450 ppm-scenarier att investeringarna ökar för att 2035 nå 2 550 miljarder dollar per år. (IEA, 2014a). Ökningen beror framförallt på att investeringarna i energieffektiviseringsåtgärder respektive energitillförsel ökar med ca 400 miljarder dollar årligen. Det kan noteras att de ackumulerade investeringarna inte skiljer sig avsevärt från varandra i ett scenario som utgår från dagens planerade och implementerade policier från början av 2014²⁶ och 450 ppm-scenariot utan det som skiljer är snarare vad som investeras i. Nästan två tredjedelar av investeringen sker i tillväxtekonomier. Åldrande infrastruktur och klimatpolitik skapar även stora återinvesteringsbehov i OECD-länder.

Att fördröja dessa investeringar ökar kostnaderna på medellång och lång sikt.

7.2 Relativt små sammanlagda kostnader för globala utsläppsminskningar

I AR5 redovisas beräknade konsumtionsförluster som konsekvens av de klimatinvesteringar som ingår i utsläppsminskningsscenarierna. Vinster som kan följa av att investeringarna minskar klimatförändringens effekter samt ger mervärden och kvalitativa nyttor ingår inte i dessa beräkningar, se nedan.

I AR5 redovisas en summering av resultat från ett stort antal klimatekonomiska modelleringar. Resultaten härrör främst från teknikrika energioptimeringsmodeller eller IAM-modeller (Integrated Assessment Models) men bland resultaten finns också analyser med olika typer av makroekonomiska (top-down) modeller samt hybrider mellan dessa två modelltyper.

Under dessa förutsättningar beräknas de samlade systemkostnaderna för en omställning till växthusgaskoncentrationer mellan 430-480 ppm CO₂ekv motsvara konsumtionsförluster motsvarande mellan 1-3 procent av globala BNP år 2030 respektive 2-12 procent år 2050. Det handlar om en relativt liten påverkan på en global BNP-utveckling som i referensscenarierna antas växa med mellan 300 procent till över 900 procent under det här århundradet.

BNP-påverkan och investeringsbehov skiljer dock åt mellan olika regioner i världen enligt modellresultaten. De största investeringarna relativt det ekonomiska utgångsläget krävs i tillväxtekonomier och i världens fattigaste länder. Dessa länder blir ”förlorare” enligt modellresultaten om inte andra rikare länder bidrar med kapital till att genomföra utsläppsminskningar. Diskussionen om rättvisa i UNFCCC-förhandlingarna och i klimatkonventionens principer om ”common but differentiated responsibilities” och omfördelning av åtaganden mellan olika länder utifrån olika typer av fördelningsprinciper är tätt sammanlänkad med den här typen av modellresultat.

De modelleringar som AR5 refererar utgår i de flesta fall från att det i grundläget finns ett referensscenario där ekonomin antas utvecklas på ett optimalt sätt (ett ”business-as-usual”-scenario) utan ineffektiviteter. Analysen av de tillkommande klimatåtgärderna syftar till att förändra utvecklingen relativt detta scenario. Det betyder att utsläppsminskande åtgärder i de flesta klimatekonomiska modeller alltid enbart leder till kostnader.

7.3 Nyttorna av utsläppsminskningar för hållbar utveckling ingår inte i kalkylen

AR5 lyfter i en rad kvalitativa resonemang, upp de potentiella vinsterna med att maximera nyttor samt minimera de negativa sidoeffekter som följer utsläppsminskningar.

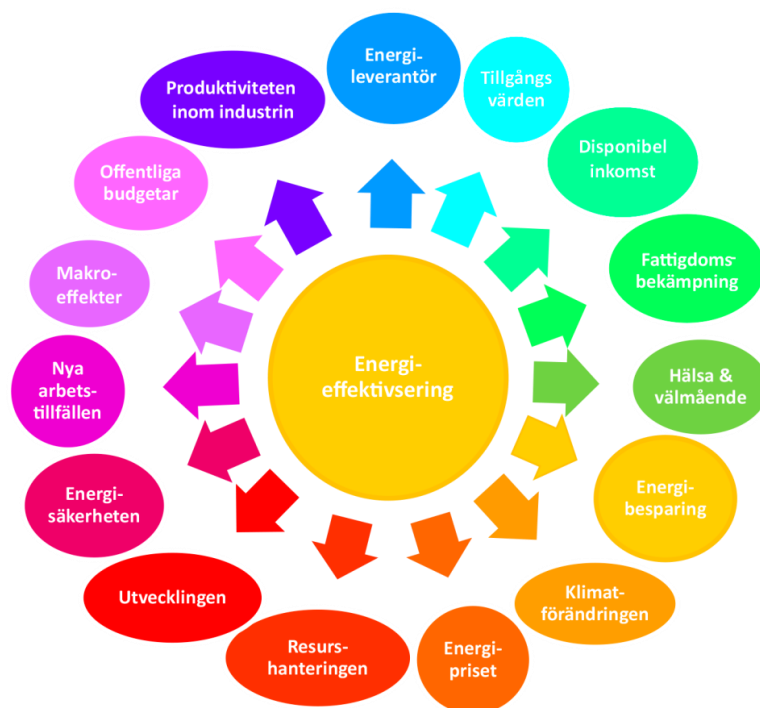
²⁶ Det så kallade ”new policy scenario”

Detta görs i betydligt högre utsträckning jämfört med tidigare IPCC-rapporter. Slutsatsen är att det ligger stora möjligheter i att uppnå synergier mellan utsläppsminskande åtgärder och andra samhällsmål. Genom att utsläppsminskande åtgärder integreras i ett vidare ramverk om hållbar utveckling kan därför större vinster utnyttjas. Dessa mervärden är däremot inte väl kvantifierade.

Värdet av en integrerad ”multimålsanalys” lyfts till exempel fram i alla sektorsgenomgångar i rapporten från arbetsgrupp tre och en återkommande bedömning är att det går att hitta åtgärder och strategier som är gynnsamma utifrån flera olika samhällsmål samtidigt. Exempel på positiva mervärden inkluderar bevarandet av biologisk mångfald, bättre vattentillgång och livsmedelssäkerhet, minskade inkomstklyftor och minskad fattigdom, ett mer effektivt skattesystem, ökad sysselsättning, bättre luftkvalitet, bättre energisäkerhet och ökad resiliens (motståndskraft) mot klimatförändringseffekter (jfr. kapitel 2.2.3), förbättrad hälsa, minskad stadsutbredning och en mer hållbar tillväxt i utvecklingsländer.

AR5 lyfter fram energieffektivisering som en nyckelåtgärd med många mervärden. Det gör även IEA som tagit fram en specialrapport i ämnet, se Figur 28 (IEA, 2014d). Genom att hushålla med energi kan en större mängd energitjänster erhållas per enhet energitillförsel. Detta frigör energi som antingen kan sparas helt eller kan användas till andra ändamål. Energieffektivisering bidrar också till andra mervärden såsom minskad miljöpåverkan, bättre resurseffektivitet, minskad hälsopåverkan, bättre hushållsekonomi och hållbar utveckling. Ju tidigare och mer omfattande energieffektivisering (i synnerhet inom elsektorn, slutanvändarledet, byggnadssektorn och transportsektorn), desto lättare att åstadkomma fossilfri energitillförsel (IEA, 2014d).

Fördelar med Energieffektivisering



Figur 28 Olika mervärden som följer med energieffektivisering. Översatt av Energimyndigheten
Källa: IEA (2014) *Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency* © OECD/IEA

Rapporten från New Climate Economy (NCE, 2014) belyser också att tillväxtens kvalitet har stor betydelse. Många åtgärder som sänker utsläppen växthusgaser till mycket låga nivåer medför samtidigt till minskad fattigdom, ökad energisäkerhet, renare luft, mindre trafikstockningar, högre livskvalitet, ökad miljövård och ökad resiliens.

7.4 Styrning, samarbete och flera olika typer av styrmedel behövs på alla nivåer för en tillräckligt omfattande klimatomställning

AR5 sammanfattar det vetenskapliga kunskapsläget beträffande styrning och styrmedel men ger inga uttalade rekommendationer om hur denna styrning kan behöva utvecklas och vilka styrmedel som är att föredra framför andra.

En huvudslutsats från AR5:s syntesrapport är att utsläppsminskande strategier kan vinna på om de ingår i en strategi som samtidigt syftar till anpassning till ett förändrat klimat och till att uppnå andra samhällsmål.

En övergripande slutsats från AR5 är också att det kommer krävas flera olika typer av styrmedel på flera olika nivåer (internationellt, regionalt, nationellt och lokalt) för att åstadkomma en effektiv omställning. Styrmedel för att stödja teknisk utveckling, marknadsintroduktion och spridning av tekniker kan komplettera och höja effekten av styrmedel som mer direkt ger incitament till åtgärder.

7.4.1 Internationellt samarbete är nödvändigt

Internationellt samarbete är nödvändigt för att signifikant minska effekterna av klimatförändringar och möjliggöra för innovativa och kostnadseffektiva lösningar på aggregerad nivå även om lokala åtgärder och lokalt agerande kan vara motiverade av de mervinster de kan ge upphov till.

Under senare år har det institutionella landskapet och det internationella samarbetet kring klimatfrågan blivit mer diversifierat. IPCC betonar dock att FN:s klimatkonvention (UNFCCC) kvarstår som det centrala internationella forumet för internationellt klimatsamarbete.

Samtidigt noteras att sedan klimatmötet i Köpenhamn och Cancunöverenskommelsen (där parter under klimatkonventionen lade fram utsläppsminskningssåtaganden till år 2020) har den tidigare mer centraliserade, top-down, styrningen som kommit av Kyoto-protokollet övergått till en mer bottom-up relaterad process med decentraliserade men koordinerade nationella mål och styrmedel.

Utanför UNFCCC har nya initiativ tillkommit och andra existerande forum har blivit viktigare. Dessa initiativ kan ses som parallella processer för att öka takten på åtgärderna inom klimatområdet (men även inom andra policyområden såsom hållbar utveckling, handel och energi).

Internationellt klimatsamarbete kan även ha en roll för att stimulera finansiering, ge finansiella incitament och regelverk för att främja teknisk utveckling samt skapa förutsättningar för ökad involvering av den privata sektorn. Deltagande i internationellt samarbete kan främjas genom finansiellt samarbete, marknadsbaserade mekanismer, tekniköverföring och handelsrelaterade åtgärder. Länknings mellan regioners styrmedelssystem kan skapa potentiella fördelar i form av lägre åtgärds kostnader, minskad risk för utsläppsläckage och en högre likviditet.

7.4.2 Erfarenheterna från tillämpning av styrmedel ökar i världen

Det har blivit ett ökat fokus i världen att utforma strategier som bidrar till flera mål samtidigt, för att öka positiva och minska negativa sidoeffekter.

I princip kan styrmedel som innebär att ett pris sätts på utsläpp av koldioxid leda till att åtgärder genomförs på ett kostnadseffektivt sätt men resultaten hittills har varit av varierande framgång. Effekterna på kort sikt av de system för handel med utsläppsrätter som införts har varit begränsade på grund av att taken i systemen satts högt. Erfarenheterna av en skattebaserad styrning i kombination med andra styrmedel har varit positiv i några länder.

Regleringar och informativa styrmedel t.ex. i form av energikrav och prestandainformation är ofta miljömässigt effektiva. Information i form av t.ex. energimärkning hjälper konsumenter att göra mer kunskapsbaserade val.

Sektorsspecifika styrmedel har hittills använts mer än sektorsövergripande styrmedel. Sådana styrmedel kan vara bättre lämpade att överbrygga särskilda barriärer och marknadsmisslyckanden i sektorn jämfört med sektorsövergripande styrmedel. Ett ökande antal styrmedel inklusive olika subventionssystem har införts och drivit på den snabba introduktionen av förnybar elproduktion under senare år.

I AR5:s syntesrapport konstateras att om världens länder samtidigt också minskade de subventioner som finns för fossil energi i världen så skulle det vara möjligt att åstadkomma ytterligare utsläppsminskningar. Hur stora beror på sociala och ekonomiska förutsättningar.

7.4.3 Bedömningar från andra studier

Både The Global Commission on the Economy and Climate (NCE, 2014) och IEA (2014b) ger tydligare (och ganska samstämmiga) rekommendationer kring framtida styrmedelsutveckling jämfört med de slutsatser som förs fram i IPCC-rapporten. Dessa rekommendationer går inte på tvärs med slutsatserna i IPCC-rapporten, skillnaden är snarare att dessa organisationer, i motsats till IPCC, har mandat att ge rekommendationer. Från rapporten för The Global Commission on the Economy and Climate kan följande huvudslutsatser och rekommendationer lyftas fram:

För att öka drivkrafterna för resurseffektivisering behöver det sättas ett pris på utsläpp av koldioxid och subventioner på fossila bränslen fasas ut. Fossilbränslesubventionerna är i dag större än de bidrag som ges till förnybara energislag. Intäkterna från prissättning på koldioxid bör användas i en skattereform och kompensera de grupper som påverkas särskilt negativt av höjda kostnader. Produktlagstiftning som t.ex. prestandakrav på bilar och olika apparater behövs som kompletterande styrmedel.

Investeringar i infrastruktur understödjer ekonomisk tillväxt. Mindre koldioxidintensiv infrastruktur är väsentlig för en koldioxidsnål utveckling, men många ekonomier runt om i världen klarar inte att mobilisera tillräckligt med kapital för investeringarna. Det finns dock tillräckligt med kapital i den globala ekonomin, men det saknas offentliga medel i många länder och privata kapitalägare ser infrastrukturinvesteringar som högriskinvesteringar. Finansiella innovationer som gröna obligationer, olika riskdelningsinstrument och olika finansiella produkter som anpassar risktagandet kan sänka kostnaderna för finansiering med ända upp till 20 procent för fossilfri elproduktion. Utvecklingsbankernas roll i sammanhanget behöver utvecklas.

Innovation behöver stimuleras ytterligare. Framsteg kan förändra marknader och sänka resursförbrukningen dramatiskt. Men det sker inte per automatik. För utvecklingen krävs tydliga mål och styrmedel inklusive sådana som överbryggat marknadshinder av olika slag och välriktade offentliga medel. De globala offentliga medlen till innovation på området behöver tredubblas i energisektorn fram mot mitten av 2020-talet, jämfört med dagens nivåer.

Det är viktigt med konsekventa, trovärdiga och långsiktiga ramverk för omställningen. Det kan i sig skapa marknadsförväntningar och bidra till förändring och investeringar. Osäkerhet om spelregler och mål skapar istället den omvända situationen och ökar kostnaderna för omställningen. Det kan också leda till att investeringar blir mindre värda på sikt och behöver skrotas i förväg när utvecklingen mot en koldioxidsnål ekonomi på sikt tar fart.

7.5 Resultat från climatekonomiska utsläppsmodeller är osäkra och förenklar verkligheten på många olika sätt

Insatser för att begränsa klimatförändringarna kommer att behöva spänna över hela det innevarande seklet. Framtidsstudier och scenarioanalyser med ett så långt tidsperspektiv är alltid behäftade med mycket stora osäkerheter. Den långsiktiga socioekonomiska och tekniska utvecklingen går inte att i detalj förutse.

I AR5 redovisas en summering av resultat från ett stort antal climatekonomiska scenario-modelleringar. Resultaten från de scenarier där utsläppen minskar mest härrör främst från tekniska optimeringsmodeller av bl.a. energisystemet, sk. bottom-up modeller eller IAM-modeller (Integrated Assessment Models).

Modelleringarna förenklar verkligheten på många olika sätt. De förutsätter i de flesta fall att utsläppsminskande åtgärder kan genomföras snabbt i alla delar av världen. Alla nyckeltekniker för en omställning finns tillgängliga i energisystemmodellerna (fast antaganden kan variera på olika sätt), och kostnaderna för dessa antas sjunka successivt till följd av antagna s.k. läreffekter. Även övriga delar av styrningen av omställningen fungerar utan hinder. I modellerna simuleras detta med att ett enhetligt koldioxidpris införs i hela världen och genom att marknaderna förutsätts agera ”perfekt” utifrån detta pris.

I bidraget från arbetsgrupp III till AR5 framförs att trots den nya kunskap som tillkommit om utsläppsbanor under senare år så finns det en mängd områden där ytterligare forskning behövs. Framtida forskningsbehov inkluderar mer kunskap om socioekonomiska och teknologiska faktorer som kan vara av betydelse för att utforska en bredare uppsättning av scenarier. Andra områden är effekter av klimatförändringar i referensscenarierna, åtgärdsscenarier som samtidigt uppnår utsläppsminskningar och anpassar samhället till klimatförändringarna, markanvändning och energifrågor samt modellernas hantering av energieffektiviseringar och beteendeförändringar i energi-användarsektorerna.

Rapporten ”Better growth-better climate” från The Global Commission on the Economy and Climate (NCE, 2014) behandlar utvecklingen fram mot 2030 men i ljuset av vad som behöver åstadkommas globalt och i alla länder även på längre sikt för att klara tvågradersmålet. Utgångspunkten i rapporten är att nästan alla av världens länder i dag har ekonomiska problem och svårigheter på olika sätt. Det finns fattigdom, brist på arbete och dåliga levnadsförhållanden; i framförallt världens fattiga länder men också bland delar av befolkningen i länder där den ekonomiska utvecklingsnivån är högre. Slutsatserna är att världens ekonomier på olika sätt behöver utvecklas och i den utvecklingen inkludera klimatutmaning, och att det går att möta dessa utmaningar samtidigt.

Den typ av modellanalys som redovisas i AR5 diskuteras med slutsatsen att:

- Många modellbaserade analyser inte tar hänsyn till att det kan finnas flerfaldiga vinster med klimatåtgärder.
- Modellerna tar inte hänsyn till att utvecklingen är dynamisk och ekonomier i verkligheter har olika typer av ineffektiviteter.
- Många av de målkonflikter som uppfattas finnas på kort och medellång sikt mellan klimatåtgärder och ekonomisk tillväxt bygger på en övertolkning av modellresultat som försvinner om analysen görs mot bakgrund av att samhällsförändringen är dynamisk, att det finns ineffektiviteter i ekonomin i utgångsläget och genom att värdet av samtidiga mervärden av omställningen vägs in i analysen.

Skillnaderna i modellresultat beror också på hur osäkerheterna rörande klimatkänsligheten och kolcykelbalansen hanterats.

8 Referenser

- Balmaseda, M.A., K.E. Trenberth, & E. Källén, 2013. "Distinctive climate signals in reanalysis of global ocean heat content", *Geophysical Research Letters*, vol. 40, pp. 1754-1759.
- Chen, X & Tung, K.K., 2014. Varying planetary heat sink led to global-warming slowdown and acceleration, *Science* 345 (6199): 897-903.
- Christensen, J.H., K. Krishna Kumar, E. Aldrian, S.-I. An, I.F.A. Cavalcanti, M. de Castro, W. Dong, P. Goswami, A. Hall, J.K. Kanyanga, A. Kitoh, J. Kossin, N.-C. Lau, J. Renwick, D.B. Stephenson, S.-P. Xie & T. Zhou, 2013. Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change. 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 & P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom & New York, NY, USA.
- Church, J.A., P.U. Clark, A. Cazenave, J.M. Gregory, S. Jevrejeva, A. Levermann, M.A. Merrifield, G.A. Milne, R.S. Nerem, P.D. Nunn, A.J. Payne, W.T. Pfeffer, D. Stammer & A.S. Unnikrishnan, 2013. Sea Level Change. 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 & New York, NY, USA.
- Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster, J.-L. Dufresne, T. Fichefet, P. Friedlingstein, X. Gao, W.J. Gutowski, T. Johns, G. Krinner, M. Shongwe, C. Tebaldi, A.J. Weaver & M. Wehner, 2013. Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Cowan, K. & Way, R. G., 2014, Coverage bias in the HadCRUT4 temperature series and its impact on recent temperature trends. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 140: 1935–1944. doi: 10.1002/qj.2297
- Déqué, M., Somot, S., SanchezGomez, E., Goodess, C.M., Jacob, D., Lenderink, G. & Christensen, O.B. 2012 The spread amongst ENSEMBLES regional scenarios: regional climate models, driving general circulation models and interannual variability *Clim. Dyn.* 38, 951–964
- Doblas-Reyes, F. J. et al. 2013. Initialized near-term regional climate change prediction. *Nat. Commun.* 4:1715 doi: 10.1038/ncomms2704.
- Energimyndigheten, 2014. Underlag till kontrollstation 2015. Analys av möjligheterna att nå de av riksdagen beslutade klimat- och energipolitiska målen till år 2020. ER 2014:17
- England, M.H., S. McGregor, P. Spence, G.A. Meehl, A. Timmermann, W. Cai, A.S. Gupta, M.J. McPhaden, A. Purich, & A. Santoso, 2014. "Recent intensification of wind-driven circulation in the Pacific and the ongoing warming hiatus", *Nature Climate change*, vol. 4, pp. 222-227.
- Foster, G. & Rahmstorf, S., 2011. *Environ. Res. Lett.* 6 044022 doi:10.1088/1748-9326/
- Helm, V., Humbert, A. & Miller, H., 2014. Elevation and elevation change of Greenland and Antarctica derived from CryoSat-2. *The Cryosphere*, 8, 1539–1559, doi:10.5194/tc-8-1539-2014
- Hawkins, E. & Sutton, R., 2009. The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions. *Bull Am Meteorol Soc* 90, 1095–1107.
- Huber, M. B. & Knutti, R., 2014. Natural variability, radiative forcing and climate response in the recent hiatus reconciled, *Nature Geoscience*, doi: 10.1038/NCEO2228
- IEA (International Energy Agency), 2013a, *World Energy Outlook 2013*, OECD/IEA, Paris.
- IEA (International Energy Agency), 2013b. *World Energy Special Report 2013 - Redrawing the Energy and Climate Roadmap*, OECD/IEA, Paris.

IEA (International Energy Agency), 2014a. World Energy Investment Outlook- Special Report, OECD/IEA, Paris.

IEA (International Energy Agency), 2014b. World Energy Outlook 2014, OECD/IEA, Paris.

IEA (International Energy Agency), 2014c. Energy Technology Perspectives 2014- Harnessing Electricity's Potential, OECD/IEA, Paris.

IEA (International Energy Agency), 2014d. Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency, OECD/IEA, Paris.

IPCC, 1996. Climate Change 1995: The Science of Climate Change, Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T.; Meira Filho, L.G.; Callander, B.A.; Harris, N.; Kattenberg, A., & Maskell, K., eds.], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY USA, 588 pp.

IPCC, 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, & C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.

IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996pp.

IPCC, 2013a. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the IPCC 5th Assessment Report. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

IPCC, 2013b: 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.

IPCC, 2014a. 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, & L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.

IPCC, 2014b. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, 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, & L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 688.

IPCC, 2014c. 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.

IPCC, 2014d. 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. Zwickel & J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- IPCC, 2014e. 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. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, 2014f. Climate Change 2014: Synthesis Report 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. Zwickel & J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jones, C., F. Giorgi, & G. Asrar, 2011. The coordinated regional downscaling experiment: CORDEX. an international downscaling link to CMIP5. CLIVAR exchanges, 16, 34-40.
- Kjellström, E., Bärring, L., Gollvik, S., Hansson, U., Jones, C., Samuelsson, P., Rummukainen, M., Ullerstig, A., Willén U. & Wyser, K., 2005. A 140-year simulation of European climate with the new version of the Rossby Centre regional atmospheric climate model (RCA3). Reports Meteorology and Climatology, 108, SMHI, SE-60176 Norrköping, Sweden, 54 pp.
- Kjellström, E., Nikulin, G., Hansson, U., Strandberg, G. & Ullerstig, A., 2011. 21st century changes in the European climate: uncertainties derived from an ensemble of regional climate model simulations. Tellus, 63A(1), 24-40. DOI: 10.1111/j.1600-0870.2010.00475.x
- Kjellström, E., Thejll, P., Rummukainen, M., Christensen, J. H., Boberg, F., Christensen, O. B. & Fox Maule, C. 2013. Emerging regional climate change signals for Europe under varying Largescale circulation conditions. Clim. Res., 56, 103–19.
- Meehl, G. A., Teng, H. & Arblaster, J. M., 2014. Climate model simulations of the observed early-2000s hiatus of global warming. Nature Climate Change 4, 898–902, DOI: doi:10.1038/nclimate2357
- Naturvårdsverket, 2012. Underlag till en färdplan för Sverige utan koldioxidutsläpp 2050. Rapport 6537.
- NCE, 2014. The global commission on the economy and climate 2014. Better Growth better climate, The New climate economy report. NCE-report 2014.
- Regeringen, 2009a. En sammanhållen energi- och klimatpolitik - Klimat. Regeringskansliet, Proposition 2008/09:162.
- Regeringen, 2009b. En sammanhållen energi- och klimatpolitik - Energi. Regeringskansliet, Proposition 2008/09:163.
- SMHI, 2014a. Risker, konsekvenser och sårbarhet för samhället av förändrat klimat – en kunskapsöversikt. SMHI Klimatologi Nr 10. SMHI, SE-60176 Norrköping, Sverige.
- SMHI, 2014b. FN:s klimatpanel, Effekter, anpassning och sårbarhet. Sammanfattning för beslutsfattare. Bidrag ifrån arbetsgrupp 2 (WG2) till den femte utvärderingen (AR5) från Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. SMHI Klimatologi Nr. 7. SMHI, SE-60176 Norrköping, Sverige.
- SOU, 2007. Klimat- och sårbarhetsutredningen. SOU 2007:60. 721 p.
- SOU, 2013. Fossilfrihet på väg. Betänkande av Utredningen om fossilfri fordonstrafik. SOU 2013:84.
- Strandberg, G., Bärring, L., Hansson, U., Jansson, C., Jones, C., Kjellström, E., Kolax, M., Kupiainen, M., Nikulin, G., Samuelsson, P., Ullerstig, A. & Wang, S., 2014. CORDEX scenarios for Europe from the Rossby Centre regional climate model RCA4. Reports Meteorology and Climatology, 116, SMHI, SE-60176 Norrköping, Sverige.
- Vautard, R., Gobiet, A., Jacob, D., Belda, M., Colette, A., Déqué, M., Fernández, J., García-Díez, M., Goergen, K., Guttler, I., Halenka, T., Karacostas, T., Katragkou, E., Keuler, K., Kotlarski, S., Mayer, S., van Meijgaard, E., Nikulin, G., Patarcic, M., Scinocca, J., Sobolowski, S., Suklitsch, M., Teichmann, C., Warrach-Sagi, K., Wulfmeyer, V. & Yiou, P., 2013. The simulation of

European heat waves from an ensemble of regional climate models within the EURO-CORDEX project. *Clim. Dyn.* 41, 2555–2575. DOI 10.1007/s00382-013-1714-z

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

Vetenskapliga rådet för klimatfrågor, 2007. Vetenskapligt underlag för klimatpolitiken, Miljöårsberedningens rapport 2007:03

Williams, S. D. P., Moore, P., King, M. A. & Whitehouse, P. L., 2014. Revisiting GRACE Antarctic ice mass trends and accelerations considering autocorrelation. *Earth and Planetary Science Letters*, 385, 12–21.

I serien KLIMATOLOGI har tidigare utgivits:

- 1 Lotta Andersson, Julie Wilk, Phil Graham, Michele Warburton, (University KwaZulu Natal) (2009)
Local Assessment of Vulnerability to Climate Change Impacts on Water Resources in the Upper Thukela River Basin, South Africa – Recommendations for Adaptation
- 2 Gunn Persson, Markku Rummukainen (2010)
Klimatförändringarnas effekter på svenskt miljömålsarbete
- 3 Jonas Olsson, Joel Dahné, Jonas German, Bo Westergren, Mathias von Scherling, Lena Kjellson, Fredrik Ohls, Alf Olsson (2010)
En studie av framtida flödesbelastning på Stockholms huvudavloppssystem
- 4 Markku Rummukainen, Daniel J. A. Johansson, Christian Azar, Joakim Langner, Ralf Döscher, Henrik Smith (2011)
Uppdatering av den vetenskapliga grunden för klimatarbetet. En översyn av naturvetenskapliga aspekter
- 5 Sten Bergström (2012)
Framtidens havsnivåer i ett hundraårsperspektiv – kunskapssammanställning 2012.
- 6 Jonas Olsson och Kean Foster (2013)
Extrem korttidsnederbörd i klimatprojektioner för Sverige.
- 7 Effekter, anpassning och sårbarhet. (2014)
Bidrag från arbetsgrupp 2 (WG 2) till den femte utvärderingen (AR 5) från Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC.
- 8 Att begränsa klimatförändringar. (2014)
(Ej publicerad)

SMHIs publiceringar

SMHI ger ut sju rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationell publik och skrivs därför oftast på engelska. I de övriga serierna används det svenska språket.

Seriernas namn	Publiceras sedan
RMK (Report Meteorology and Climatology)	1974
RH (Report Hydrology)	1990
RO (Report Oceanography)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985
KLIMATOLOGI	2009

SMHI

SVERIGES METEOROLOGISKA OCH HYDROLOGISKA INSTITUT
601 76 NORRKÖPING
TELEFON 011-495 80 00 FAX 011-495 80 01

ISSN: 1654-2258