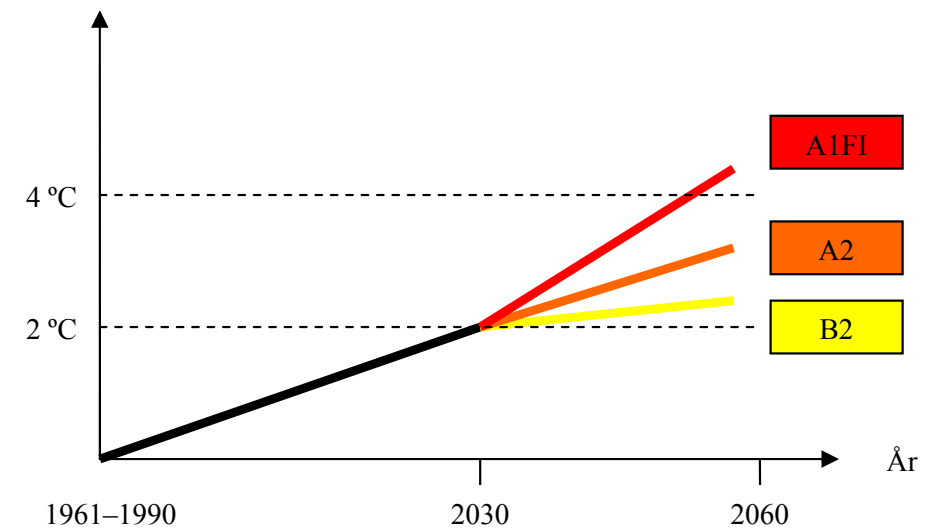


Temperaturökning



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.

Henrik Carlsen
Oskar Parmhed

Sveriges framtida klimat på kort och medellång sikt

Underlag för utvecklingen av verktyg för klimatanpassning

Titel	Sveriges framtida klimat på kort och medellång sikt. Underlag för utveckling av verktyg för klimatanpassning
Title	Sweden's Future Climate in the short- and medium-term perspective.
Rapportnr/Report no	FOI-R--2700--SE
Rapporttyp Report Type	Underlagsrapport Base data report
Månad/Month	Dec/Dec
Utgivningsår/Year	2008
Antal sidor/Pages	46
ISSN	ISSN 1650-1942
Kund/Customer	Naturvårdsverket
Forskningsområde Programme area	1. Analys av säkerhet och sårbarhet 1. Security, safety and vulnerability analysis
Delområde Subcategory	19 Breda projekt inom säkerhet och sårbarhet 19 Interdisciplinary Projects regarding Security, Safety and Vulnerability Analysis
Projektnr/Project no	B10023
Godkänd av/Approved by	Nils Olsson
FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut	FOI, Swedish Defence Research Agency
Avdelningen för Försvarsanalys och Avdelningen för Försvars- och säkerhetssystem	
164 90 Stockholm	SE-164 90 Stockholm

Sammanfattning

Denna rapport behandlar två frågeställningar: Hur har de faktiska utsläppen av växthusgaser förändrats över tid jämfört med tidigare antaganden och hur kan Sveriges klimat komma att se ut på kort och medellång sikt? Innehållet i rapporten ska användas som underlag för det fortsatta arbetet med att utveckla verktyg för klimatanpassning som kan användas framför allt inom Sverige.

I den första delen av rapporten görs en genomgång över hur de faktiska utsläppen av koldioxid har utvecklats under senare år. Det har nu gått åtta år sedan IPCC:s utsläppsscenarioer (SRES) publicerades och det finns därför goda skäl att jämföra dessa utsläppsnivåer med experimentella data från observationer under senare år. De mätningar som gjorts visar att utsläppen av fossil koldioxid fram till i dag överstiger medlet för samtliga SRES-familjer. Detta innebär bland annat att utsläppen i dag ligger påtagligt över de nivåer som antogs i de klimatscenarioer som beaktas i Klimat- och sårbarhetsutredningen. Det är svårt att hitta experimentellt stöd för att ökningstakten skulle avta. Vidare finns studier som pekar på att de ökade utsläppen inte bara kan hänföras till en ökad folkmängd och ett ökat välstånd (BNP/capita). En annan aspekt är att koldioxideffektiviteten, mätt som mängd koldioxid per enhet producerat värde, har börjat avta sedan år 2000. Detta går stick i stäv med de antaganden som görs i SRES där samtliga utsläppsscenarioer antar att koldioxideffektiviteten ska fortsätta att öka.

En slutsats i rapporten är därför att klimatanpassningsarbetet i Sverige i större utsträckning än hittills måste beakta konsekvenserna av utsläppsnivåer som ligger i linje med eller över de högsta SRES-nivåerna.

Rapportens andra del handlar om Sveriges framtida klimat på kort och medellång sikt. Den socioekonomiska utvecklingen tillsammans med det framtida klimatet påverkar vilka beslut om anpassning som ska fattas. Inom klimatforskningen ligger generellt tyngdpunkten på scenarier med ett relativt långt tidsperspektiv (100 år och längre). För arbetet med att begränsa utsläppen av växthusgaser är

det ofta nödvändigt med ett långt tidsperspektiv. För anpassningsarbete är det dock mer intressant att studera klimatet på kortare sikt. I dag finns ett glapp mellan klimatforskningens inriktning och de behov som uppstår när samhället ska anpassas till ett förändrat klimat. I rapporten argumenterar vi för att samhällets behov av anpassning till ett förändrat klimat ökar efterfrågan på klimatscenarier med ett kortare tidsperspektiv.

I rapporten återges och jämförs olika skattningar av Sveriges framtida klimat för tidsperspektiven 2030 respektive 2060. Det konstateras att osäkerheten i det kortare perspektivet vad gäller de forcerade klimatförändringarna är relativt liten, varför fokus då bör ligga på att hantera de socioekonomiska osäkerheterna. För det längre tidsperspektivet (2060) ökar dock osäkerheterna om hur klimatet kan utvecklas varför ett större spann av framtida klimatscenarier bör beaktas. Som ett resultat av detta resonemang presenteras endast ett klimatscenario för 2030 medan klimatet 2060 beskrivs med tre olika klimatscenarier.

Nyckelord: klimatförändringar, kort och medellång sikt, växthusgaser, utsläpp, osäkerhet

Summary

This report studies two questions - how the actual amount of greenhouse gas emissions has changed over time in comparison with previous assumptions and what will happen to Sweden's climate from short and medium term perspectives given the future development of the climate in general. The content of this report shall be used as the basis for continued work in the development of climate adaptation tools that can be used primarily in Sweden.

The first section of this report presents the development of actual greenhouse gas emissions in recent years. Eight years have passed since IPCC published its emissions scenarios (SRES) and for this reason a comparison between the emissions levels from the report and the experimental data from observations made in recent years is well due. Measurements show that current levels of emissions of carbon dioxide from fossil fuels exceed the average of the SRES families as a whole. Among other implications, this means that emission levels are significantly higher than the levels assumed in the climate scenarios of the Swedish Commission on Climate and Vulnerability (Klimat- och sårbarhetsutredningen). There is little support from the experimental data to indicate that this rate of increase will subside. In addition, studies are indicating that the increased emissions are not solely attributable to a rise in population levels and increased wealth (GNP/capita). Another aspect is that the carbon intensity, measured as the amount of carbon dioxide per unit production price, has been declining since 2000. This is entirely contrary to the assumptions made in all of the emissions scenarios in SRES that carbon dioxide efficiency would continue to increase.

The report therefore concludes that work with climate adaptation in Sweden must take into consideration to a greater extent than is currently done today the consequences of emissions levels that are in line with or exceed the highest SRES levels.

The second section of this report takes a closer look at Sweden's future climate from both a short and medium term perspective. Socio-economic development and future climate conditions combined are the most influential factors in the creation of the context within which decisions about adaptation are made. Climate research generally tends to base the majority of its scenarios on relatively long time perspectives (100 years or more). Efforts to limit greenhouse gas emissions also often need to apply a long-term perspective. However, it is more interesting within the framework of adaptation work to adopt a shorter perspective. There is currently a gap between the focus of climate research and the needs arising in conjunction with the adaptation of society to a changing climate. This report argues that society's need to adapt to a changing climate increases the demand for climate scenarios with shorter perspectives.

The report revisits and compares several different estimations of what Sweden's climate might look like in the years 2030 and 2060. It can be stated that the uncertainty in the shorter-term perspective (2030) with regard to forced climate changes is relatively small, which is why focus should therefore lie on resolving the socio-economic uncertainties. However, in the longer-term perspective (2060), the uncertainty related to the development of the climate increases and for this reason a larger range of future climate scenarios should be considered. As a result of this reasoning, only one climate scenario is presented for 2030 while the climate in 2060 includes three scenarios.

Key words: climate change, short and medium term perspective, emissions, uncertainty

Innehållsförteckning

Förord	8
1 Inledning.....	10
2 Behov av klimatscenarier med kort tidsperspektiv	12
3 Utsläppen fram till i dag.....	14
4 Klimatkonsekvenser av höga utsläppsnivåer måste beaktas i anpassningsarbetet	19
5 Sveriges framtida klimat på kort och medellång sikt	23
5.1 Om osäkerheter i klimatscenarier	23
5.2 Klimatet i Sverige 2030	27
5.3 Klimatet i Sverige 2060	33
6 Diskussion och slutsatser.....	39
Referenser	42

Förord

Klimatförändringen är ett faktum. Även med begränsningar av utsläppen kommer vi att få ett varmare och fuktigare klimat i Sverige.

Denna rapport har författas inom ramen för Climatools som är ett tvärvetenskapligt forskningsprojekt mellan FOI, KTH, Umeå universitet och Uppsala universitet. Climatools ska ta fram verktyg för anpassning till klimatförändringarna. Forskningsprogrammet löper 2006–2011 och finansieras av Naturvårdsverket.

För att möta utmaningarna med klimatförändringar arbetar Climatools med projekt som har anknytning till anpassningsanalys, ekonomisk analys, socioekonomiska scenarier, målkonflikter, folkhälsa, geopolitik och jämställdhet. Climatools fokuserar på att upprätthålla eller förbättra kapaciteten inom olika sektorer och regioner i Sverige, och att tillhandahålla de tjänster som samhället kommer att behöva för anpassning till ett förändrat klimat. Målet är i första hand att ge en uppsättning verktyg till samhällsplanerare på olika nivåer och i olika sektorer och regioner. Climatools utvecklar verktygen stegvis och i nära samarbete med olika intressenter, och de utprovas dessutom i olika scenariebaserade fallstudier. Verktygen kommer att ge insikter om alternativa anpassningsåtgärder inom olika sektorer och regioner utifrån dagens osäkerhet kring det framtida klimatet. Hälsosektorn är en sektor som kommer att studeras närmare, liksom den byggda miljön samt turism och friluftsliv. Tre regioner i Sverige står i fokus: Skåne, Mälardalen och Umeå.

Inom Climatools har man identifierat ett behov av klimatscenarier på kort och medellång sikt. Med kort och medellång menas i detta sammanhang 25- respektive 50-årsperspektivet. Denna rapport ger klimatunderlag för dessa båda tidsperspektiv. Rapporten innehåller även en diskussion om vilka klimatscenarier det kan vara lämpligt att välja beroende på tidsperspektiv. I samband med denna diskussion behandlas även empiriska data för utsläpp av koldioxid.

Målgruppen för rapporten är medarbetare inom Climatools samt handläggare och tjänstemän som arbetar med klimatfrågan inom regioner, kommuner och sektorer. En viktig målgrupp är deltagare inom de fallstudier inom hälsosektorn samt turism och friluftsliv som genomförs inom Climatools under 2008 och 2009.

Författarna vill rikta ett tack till Annika Carlsson-Kanyama, FOI, Karl Henrik Dreborg, FOI, Elisabet Hörnsten Friberg, FOI, Anna-Karin Hurtig, Umeå universitet, Karin Mossberg Sonnek, FOI, Annika Sundholm Parkdal och Maria Vredin Johansson, Uppsala universitet och Konjunkturinstitutet. Vi riktar ett särskilt tack till Markku Rummukainen vid Rossby Centre som har faktagranskat rapporten.

Ansvar för alla återstående fel och brister faller givetvis helt på författarna.

Stockholm 2008-12-15

Henrik Carlsen
Oskar Parmhed
Författare

Lisa Hörnsten Friberg
Områdeschef Forskningsfinansiärer och
internationella uppdrag

1 Inledning

Inom forskningsprogrammet Climatools studeras vilka möjligheter och metoder som finns för att anpassa samhället till ett framtida förändrat klimat. Målet är att ta fram en uppsättning verktyg för samhällsplanering inom olika sektorer och regioner i Sverige.

Information om det framtida klimatet är en mycket viktig aspekt vid alla typer av anpassningsåtgärder. Tillsammans med den socioekonomiska utvecklingen utgör det framtida klimatet den viktigaste faktorn att ta hänsyn till när man utformar olika anpassningsåtgärder. Men att gå från detta enkla konstaterande till frågan om hur underlaget kring det framtida klimatet ska se ut är långt ifrån en enkel uppgift.

I IPCC:s rapporter (exempelvis Meehl et al. 2007) presenteras och sammanfattas omfattande forskning om klimatförändringarna. Denna forskning bygger bland mycket annat på scenarier som tagits fram för hur de framtida mänskliga (antropogena) utsläppen av växthusgaser kan komma att se ut (Nakićenović et al. 2000). Eftersom det är omöjligt att prognostisera utsläppen av växthusgaser över de långa tidsperioder som anses nödvändiga (fram till 2100) arbetar IPCC med scenarier som ett verktyg för att studera olika *alternativa* framtida samhällen som i sin tur genererar olika utsläppsnivåer. I dessa scenarier integreras demografiska, ekonomiska, sociala och teknologiska aspekter med våra kunskaper om ekosystem för att uppskatta drivningen av klimatsystemet som orsakas av bland annat strålningsprocesser genom utsläpp av växthusgaser (Nakićenović et al. 2000, avsnitt 1.3).

Ofta handlar diskussionen om framtidens klimat om hur det kommer att se ut om 100 år. Även om det i många fall redovisas kontinuerliga grafer över utvecklingen fram till 2100 så uppehåller sig texterna i huvudsak kring 100-årsperspektivet. Inte minst har detta gällt IPCC:s rapporter och den medierapportering som följt i dess spår. Uppgifter som en genomsnittlig ökning av jordens ytmedeltemperatur med 6,4 grader och en havsnivåökning med 60 cm handlar om förhållanden 2100¹ jämfört med referensperioden 1980 till 1999.²

¹ Med 2100 avses ett genomsnitt under perioden 2090–2099.

² Temperaturökningen på 6,4 grader utgör den största förändringen inom det intervall som anges som ”likely range” för utsläppsscenarioet A1FI (IPCC 2007, tabell SPM. 3). Även uppgiften om ändring av havsnivån handlar om det största värdet i det intervall som anges för A1FI.

Även de klimatscenarier som hitintills beaktats inom ramen för Climatools har fokuserat på klimatet om 100 år (Parmhed och Carlsson-Kanyama 2007, s. 33 f.). Parmhed och Carlsson-Kanyama presenterar tre olika klimatscenarier för tre olika regioner i Sverige. Syftet var att dessa scenarier skulle spänna upp ett möjligt och utmanande, men inte orimligt, utfallsrum för framtida klimatförändringar. Med denna målsättning definierades de tre scenarierna som:

1. oförändrat klimat ("Umeå som i dag");
2. IPCC:s scenario A2 från fjärde utvärderingsrapporten (Meehl et al. 2007) och forskningen på SMHI:s Rossby Centre ("Umeå som Tyskland");
3. en dubblering av förändringarna från scenario 1 till scenario 2 ("Umeå som Nordafrika").

Scenarierna namngavs efter medeltemperaturen i Umeå 2100 och någon geografisk plats som i dag har motsvarande medeltemperatur.

Det första scenariot ter sig på sätt och vis som det minst sannolika. Vi vet från exempelvis IPCC:s fjärde utvärderingsrapport (Meehl et al. 2007) att även om utsläppen av växthusgaser helt skulle upphöra (sedan år 2000) så skulle klimatet förändras. Det andra scenariot vilar på en solid vetenskaplig grund då det baseras på ett explicit utsläppsscenario samt regionala beräkningar utförda av Rossby Centre. Det tredje scenariot har den mest otydliga grunden. I denna rapport kommer detta tredje scenario att omvärderas. Det är dock viktigt att här, i ett riskramverk, betona att klimatkonsekvenser av höga utsläppsnivåer fortsatt måste beaktas i anpassningsarbetet. I kapitel 3 kommer hittillsvarande utsläpp av fossilt koldioxid att relateras till IPCC:s utsläppsscenarier. Vidare kommer osäkerheter i klimatscenarier och socioekonomiska scenarier på kortare sikt (cirka 20 år) och längre sikt (cirka 50 år) att diskuteras.

2 Behov av klimatscenarier med kort tidsperspektiv

Ett skäl för att fokusera på klimatet om 100 år är att det på så lång sikt väntas substantiella förändringar i klimatet vilket gör det frestande att uppehålla sig vid dessa tidsperspektiv (se t.ex. BACC 2007, s. 152). En nackdel är dock att det långsiktiga perspektivet riskerar att upplevas som allt för främmande för allmänheten och den offentliga samhällsplaneringen. Detta gäller speciellt då frågor om anpassning till framtidens klimat kommer på tal. Även om det finns exempel på planeringsfrågor som har bäring hundra år framåt i tiden så har de allra flesta frågor ett betydligt kortare tidsperspektiv. Dessutom kan man konstatera att även om man vet att ett visst beslut har bäring långt fram i tiden är det sällan så att det långsiktiga perspektivet inkluderas i beslutsunderlaget.³

I sammanhang där man tydligare pekar på konkreta aktörer och/eller konkreta åtgärder med anledning av klimatförändringarna finns dock en tendens till att förflytta fokus mot ett mer närtida perspektiv. I nationella anpassningsprogram tar man i allmänhet fram klimatscenarier för en rad nedslagsperioder för att på så sätt tillhandahålla klimatinformation med relevans för planeringsfrågor med olika tidsförhållanden.

Inom ramen för det brittiska klimatanpassningsprogrammet United Kingdom Climate Impact Programme (UKCIP) har fyra olika klimatscenarier tagits fram motsvarande utsläppsnivåerna som ges av IPCC:s utsläppsscenarioer B1, B2, A2 och A1FI. Scenarierna publicerades 2002 och benämns vanligen UKCIP02-scenarierna (UKCIP 2002). De fyra scenarierna ger data på en upplösningnivå av 50x50 km över hela Storbritannien för tre tidsperioder: 2011–2040, 2041–2070 samt 2071–2100. Fokus ligger på temperaturförändringar, nederbörd samt ändringar av havsnivån. Förändringar anges som vanligt i dessa sammanhang i relation till medelvärden under perioden 1961–1990.

I utvärderingen av de brittiska klimatscenarierna blev det tydligt att beslutsfattare efterfrågade mer detaljerad information än vad som gavs av UKCIP02 (UKCIP 2008). Arbetet med att ta fram nya klimatscenarier är i skrivande stund i princip färdigt och under våren 2009 planeras för lanseringen av den femte generationen under namnet UKCIP09. Jämfört med UKCIP02 kommer 2009 års scenariouppläggning att innehålla information ned till nivån 25x25 km, denna gång dock endast för tre utsläppsnivåer. Den mest signifikanta nyheten är dock att ett så kallat ensembletänkande införs. Detta innebär att man för varje utsläppsnivå gör

³ Se vidare diskussion i Carlsen och Dreborg (2008), s. 13 f.

ett relativt stort antal beräkningar vilket medger en statistisk fördelning över ett antal olika utfall dels för olika parameterintervall för en modell, dels för olika modeller. På detta sätt kommer man att kunna tillhandahålla en sannolikhetsfördelning över tänkbara utfall för varje given utsläppsnivå.

I förlängningen kan man tänka sig att sådan information kan komma till användning i ett mer kvantitativt riskbaserat angreppssätt när det gäller att värdera olika konsekvenser av klimatförändringar. Detta ligger också i linje med de önskemål som framförs i Stern-rapporten vad gäller förbättrat underlag för att göra ekonomiska konsekvensanalyser av klimatförändringarnas effekter (Stern 2007).

Även klimat- och sårbarhetsutredningen (Regeringen 2007) ger underlag för det framtida klimatet för olika nedslagsperioder fram till 2100. I utredningen baseras konsekvensanalyserna på utsläppsscenarierna A2 respektive B2 vilket innebär att man inte tagit hänsyn till hur klimatet skulle kunna utvecklas givet fortsatt ökande utsläppsökningar. Huvudanledningen till dessa val är att Rossby Centre vid SMHI gjort mer detaljerade beräkningar på dessa scenarier.

3 Utsläppen fram till i dag

IPCC har tagit fram socioekonomiska scenarier i syfte att lägga grunden för uppskattningar om framtida utsläpp av växthusgaser. Den senaste uppsättningen är från 2000 och kallas allmänt SRES – Special Report on Emission Scenarios (Nakićenović et al. 2000). SRES omfattar fyra scenariefamiljer: A1, A2, B1 och B2.⁴ Till varje familj hör en *storyline* som kvalitativt beskriver det socioekonomiska tillståndet vad gäller demografiska, teknologiska, sociala och institutionella förutsättningar. I A-familjen betonas globalisering och ekonomisk tillväxt, medan B-scenarierna beskriver världar där fokus mer ligger på miljöhänsyn och ett regionalt perspektiv. A1 beskriver både den snabbaste tillväxten totalt sett och den snabbaste minskningen i skillnader mellan de rika och fattiga ekonomierna. Till dessa beskrivningar tillfogas sedan kvantitativa tolkningar. Varje *storyline* ger upphov till en uppsättning kvantifierade tolkningar (totalt 40 stycken) och dessa utgör de så kallade scenariefamiljerna.

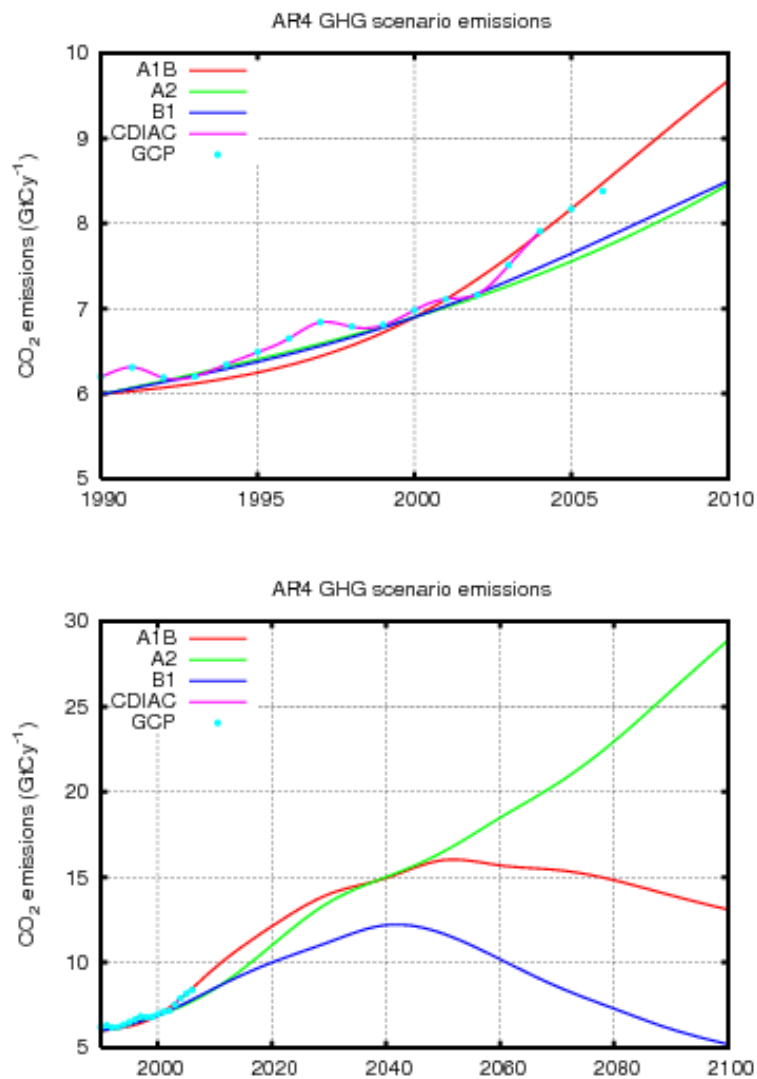
Bland scenarierna i en familj har man så valt ut ett ”illustrativt” scenario. Det är detta scenario som vanligen illustreras i IPCC:s figurer. Inför IPCC:s fjärde utvärderingsrapport har tre scenarion simulerats: B1, A1B och A2. Rapporten konstaterar att dessa, med avseende på utsläpp, kan betraktas som ett ”lågt”, ett ”medel” och ett ”högt” utsläppsscenario (Meehl et al. 2007, s. 753). Man påpekar också explicit att urvalet endast motiveras av begränsade resurser. På liknande sätt presenteras i Rossby Centres tjänst ”Sverige framtida klimat” resultat för scenarierna A2 och B2.

Enligt IPCC:s fjärde utvärderingsrapport står de antropogena utsläppen av koldioxid för den överlägset största delen av den totala strålningsdrivningen av klimatet (se IPCC 2007, figur SPM.2). Även om koldioxid på intet sätt är den enda viktiga växthusgasen kan den betraktas som en indikator för en eventuell överensstämmelse med ett av SRES utsläppsscenarion (Meehle et al., 2007, figur 10.26). Eftersom koldioxiden huvudsakligen kommer från industriella processer och förbränning av fossila bränslen finns data för sådana utsläpp lätt tillgängliga från exempelvis Global Carbon Project (GCP), se nedan.

Raupach et al. (2007) visar i en analys av faktiska utsläpp av koldioxid i relation till scenariefamiljerna från SRES hur de faktiska utsläppen överstiger medelutsläppen för samtliga scenariefamiljer. Figur 1 nedan visar, på liknande sätt som i Raupach et al. (2007), de antropogena utsläppen av koldioxid med fossilt

⁴ Inom A1-familjen finns tre undergrupper. I A1FI (Fossile Intensive) är fossilbränslen en dominerande energikälla medan A1T (Technology) innebär teknologiska genombrott inom energiområdet. I A1B (Balanced) beskrivs en energimässigt blandad värld.

ursprung i de utsläppsscenario som simulerats i IPCC:s fjärde utvärderingsrapport (B1, A1B, A2). Data är tagna från Nakićenović et al. (2000).

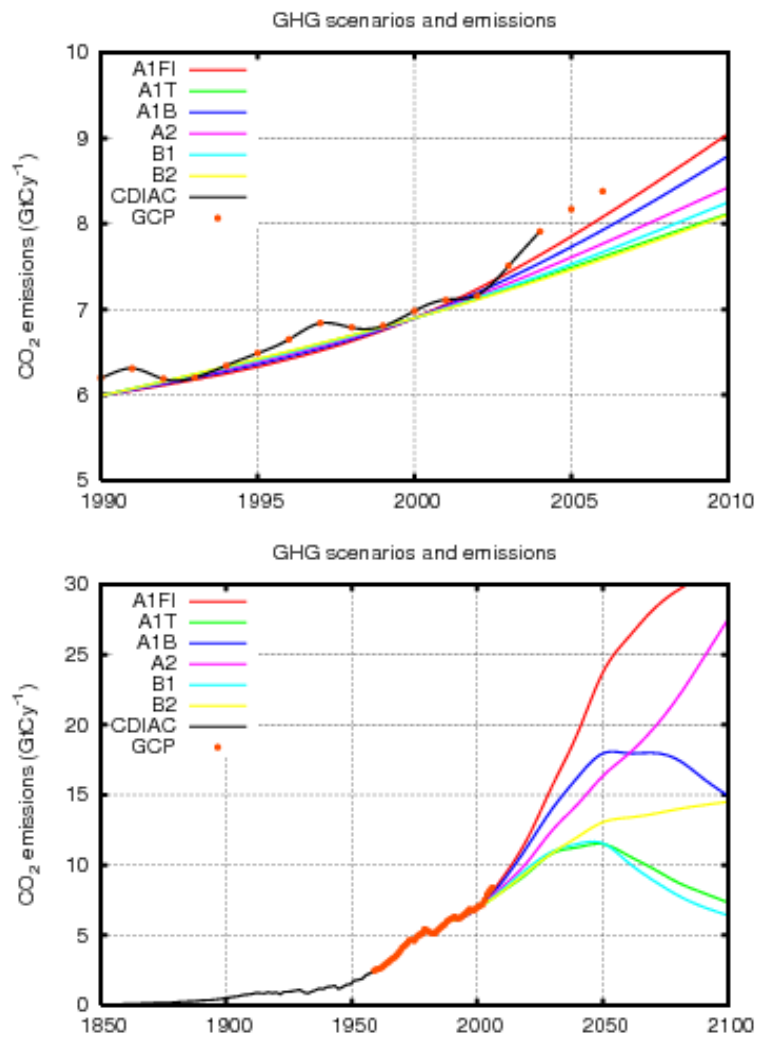


Figur 1. Utsläppsscenario simulerade i IPCC:s fjärde utvärderingsrapport (B1, A1B, A2) och faktiska utsläpp (CDIAC, GCP) för perioderna 1990–2010 (den övre figuren) samt 1990–2100 (den undre figuren). För detaljer, se texten.

I figur 1 visas också de faktiska utsläppen fram till år 2006 enligt Carbon Dioxide Information Center (CDIAC). Därtill visas motsvarande värden enligt Global Carbon Project (GCP). GCP:s data utgår från CDIAC vilket man kan se på de överlappande data. Det tar dock tid för CDIAC att samla in data om de globala utsläppen, vilket är anledningen till att data bara finns fram till 2006. GCP inkluderar också preliminära extrapolerade värden baserade på uppskattningar från energibolaget BP.

Figur 1 visar att på 20 års sikt (till 2030) är det i själva verket utsläppsscenarioet A1B som har de högsta utsläppen. Det är först under den andra halvan av seklet som utsläppen i scenarioet A2 blir avsevärt större.

De olika utsläppsfamiljerna som beskrivits ovan innehåller alltså ett antal scenarier vardera. Det är förhållandevis stor spridning på utsläppen i dessa olika scenarier även inom en familj. Figur 2 visar, på motsvarande sätt som i Raupach et al. (2007), medelvärdet för utsläppen hos scenarierna i varje familj. Här ser man också att efter cirka 2050 är utsläppen större i familjen A2 än i A1B.



Figur 2. Medelutsläpp för de olika scenariefamiljerna under perioderna 1990–2010 (den övre figuren) och 1990–2100 (den undre figuren) samt faktiska utsläpp från 1850 till 2006. Faktiska utsläpp är tagna från CDIAC och GCP. För detaljer, se texten.

Figur 2 visar att utsläppen av fossil koldioxid fram till i dag överstiger medlet för samtliga SRES-familjer. Figur 1 visar att de ligger nära det A1B-scenario som använts i IPCC:s fjärde utvärderingsrapport, det vill säga påtagligt över A2 och

B2 som används i Klimat- och sårbarhetsutredningen. Figuren visar också att det i dessa data hittills inte finns något tecken på en minskning av utsläppen.

Ofta benämns scenarierna A2 och B2 som ett högre och lägre utsläppsscenario. På samma sätt har IPCC i den fjärde utvärderingsrapporten betecknat B1, A1B och A2 som lågt, medel och högt. Dessa beteckningar är korrekta när de relaterar scenarierna till varandra (se figur 1). Det är dock viktigt att uppmärksamma att ingen av dessa beteckningar ska tolkas som att de anger någon sannolikhet. Hur stor en framtida klimatförändring blir beror av hur mänskligheten klarar av att hantera utsläppen av växthusgaser.

I en annan studie relaterar Canadell et al. (2007) koldioxidutsläppen till världsekonomin. Där visas att koldioxideffektiviteten i ekonomin, som i många år ökat, nu avtagit de senaste åren. Den framtida utvecklingen är naturligtvis oklar. Även Raupach et al. (2007) konstaterar att den starka ökningen av utsläpp från fossilbränslen sedan sekelskiftet inte enbart beror på ökad folkmängd samt ökad BNP per capita, utan även kan tillskrivas en generellt avtagande energieffektivitet. I detta sammanhang bör det understyrkas att samtliga av IPCC:s utsläppsscenarier antar att både energieffektiviteten och koldioxideffektiviteten fortsatt ska öka.

Nämnda publikationer, liksom figur 1 och 2, visar på behovet av att inte underskatta de mänskliga utsläppen. Hittillsvarande utsläpp ligger i närheten av, eller över, de av IPCC:s utsläppsscenarier som antar de största utsläppen.

4 Klimatkonsekvenser av höga utsläppsnivåer måste beaktas i anpassningsarbetet

Resultaten som presenteras i kapitel 3 visar att det i dag inte går att bortse från utsläppsscenario A1FI. Trots att detta är det scenario som har de största utsläppen fram till år 2100 så kan det inte sägas vara alarmistiskt. Även om politiska initiativ nu är på väg för att minska den globala förbrukningen av fossila bränslen⁵, eller i varje fall utsläppen av koldioxid från sådan förbrukning, har vi ännu inte sett dem ge resultat. Omställningen från ett samhälle som baseras på konsumtion av fossilt bränsle till ett samhälle som inte konsumerar fossilt bränsle är svår. Det gäller inte minst områden vars kraftproduktion i dag till stor del är baserad på förbränning av fossila bränslen. I ljuset av detta är det inte orimligt att i klimatanpassningsarbetet beakta de utsläppsnivåer som beskrivs av A1FI.

Det faktum att trovärdiga simuleringsdata saknades vid sammanställandet av scenario "Umeå som Nordafrika" gjorde det nödvändigt med en grövre skattning av scenarioets egenskaper. Detta scenario diskuteras här mot bakgrund av ny information som blivit tillgänglig sedan publiceringen av Parmheds och Carlsson-Kanyamas arbete (2007).

Parmhed och Carlsson-Kanyama konstaterar att "Umeå som Nordafrika" är ett mindre sannolikt scenario. Med detta avsågs att scenario tagits fram på ett så enkelt sätt att det inbegriper interna motsägelser. Man kan jämföra konstruktionen av scenario "Umeå som Nordafrika" med utfallen som presenteras i IPCC:s fjärde utvärderingsrapport (figurer SPM.5 i IPCC (2007) och figur 10.29 i Meehle et al. (2007)). Där ser man att för den globala medeltemperaturen så är det högsta utfallet för utsläppsscenario A1FI ungefär dubbelt så högt som medlet (bland olika klimatsimuleringar) för utsläppsscenario A2 (för båda scenarierna – A1FI och A2 – avses scenariefamiljens "marker scenario"). Detta innebär dock inte att Climatools scenario "Umeå som Nordafrika" överensstämmer med IPCC:s scenario A1FI.

Anledningen till att Climatools scenario utarbetades på detta sätt är att inga modellberäkningar för A1FI finns gjorda för IPCC:s fjärde utvärderingsrapport. Climatools har beställt en rapport från SMHI:s Rossby Centre för att försöka

⁵ EU har exempelvis antagit målet att minska utsläppen med 20 procent till 2020 (EC 2008). Om en internationell överenskommelse om utsläpps begränsningar skulle uppnås är EU villigt att öka ambitionen till 30 procent.

värdera scenariot ”Umeå som Nordafrika”. Rapporten (som herefter refereras som Strandberg 2007) presenterar resultat från två globala klimatsimuleringar för utsläppsscenarierna A1FI och A2. Modellerna är den australiska CSIRO-Mk2 (Hirst et al. 1996), och den japanska CCSR (Emori et al. 1999). CSIRO har en något bättre rumslig upplösning än CCSR. Generellt konstaterar Strandberg att skillnaden mellan de olika modellerna är större än skillnaden mellan de två scenarierna i en modell. Där konstateras även att både CCSR och CSIRO tillhör de modeller som ger störst uppvärmning i utsläppsscenario A2 fram till år 2100. Den globala temperaturökningen skiljer knappt 1 grad mellan A2 och A1FI vid år 2100 för CSIRO.

Det lokala utfallet av de olika modellerna är präglad av den nämnda större skillnaden mellan modellerna och inte mellan scenarion för en modell. Beroende på modell och scenario är ökningen i nederbörd vid slutet av seklet i Malmö mellan cirka 10 mm/mån och 40 mm/mån, i Stockholm mellan 15 mm/mån och 40–45 mm/mån, jämfört med perioden 1961–1990. I båda fallen står CCSR för de högre värdena. För Umeå är skillnaderna mindre: mellan 10 mm/mån och knappt 20 mm/mån. I Parmhed och Carlsson-Kanyama (2007) motsvaras detta av cirka 65 mm/mån i Skåne⁶, över året ingen större skillnad i Mälardalen och en ökning med cirka 25 mm/mån i Umeå. Utan att gå in på detaljer kan alltså Strandberg (2007) sägas stödja scenariot ”Umeå som Nordafrika” i den meningen att denna nivå på förändringar förekommer i simuleringar av det framtida klimatet för utsläppsscenario A1FI.

I ”Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin” (BACC 2007) studeras klimatförändringen för regionen runt Östersjön. I denna bok konstaterar författarna att bland de klimatsimuleringar som var tillgängliga för dem visade just CCSR en mycket hög uppvärmning, högre än övriga sex tillgängliga modeller. Därtill var kontrollklimatet i CCSR alltför kallt. Till följd av dessa skillnader väljer författarna i BACC (2007) att utesluta CCSR ur jämförelserna. Detta resulterar i att endast en modell finns kvar som simulerat utsläppsscenario A1FI. BACC (2007) visar på en ökning av medeltemperaturen i Östersjöregionen vintertid till år 2100 med mellan 3,5 och 10,5 grader för utsläppsscenario A1FI och mellan 3 och 8 grader för A2. Detta ska jämföras med ”Umeå som Nordafrika” som anger mellan 5 och 20 graders ökning.

Tabell 1 visar resultaten för scenariot ”Umeå som Nordafrika” i Parmhed och Carlsson-Kanyama (2007), BACC (2007) och A1FI från Strandberg (2007). Det bör noteras att dessa tre arbeten redovisar förändringar för tre olika områden.

⁶ Observera att Parmhed och Carlsson-Kanyama (2007) felaktigt anger total nederbörd i mm/mån för säsong när värdena är mm/säsong – en säsong är tre månader lång.

Parmhed och Carlsson-Kanyama talar om regionerna Mälardalen, Skåne och Umeå. Strandberg redovisar förändringar för städerna Stockholm, Malmö och Umeå. BACC redovisar förändringar för södra och norra delen av Norden. Eftersom BACC gör en uppdelning av landområdena i Norden i sydliga och nordliga områden respektive land och hav, väljer vi i tabellen att presentera Parmhed och Carlsson-Kanyamas samt Strandbergs resultat med Skåne/Malmö och Mälardalen/Stockholm sammanslagna till en sydlig region. Observera också att medan Parmhed och Carlsson-Kanyama anger nederbördsförändringar för säsongerna vinter (december, januari, februari) och sommar (juni, juli, augusti) anger Strandberg förändringarna för helåret. Samtliga nederbördsdata relaterar till månadsmedelnederbörden under given period.

Tabell 1. Förändringar i medeltemperatur och nederbörd inom ramen för scenarierna ”Umeå som Nordafrika”/A1FI för P och C-K (Parmhed och Carlsson-Kanyama 2007), BACC (2007) och Strandberg (2007).

År 2100	Syd (Skåne/Mälardalen)			Nord (Umeå)		
	P och C-K	BACC	Strandberg	P och C-K	BACC	Strandberg
Temperaturförändring						
Sommar (grader)	+0 – +10	+2 – +7,5	+4 – +7	+5	+2,5 – +7	+4,5 – +7,5
Vinter (grader)	+5 – +15	+3,5 – +8,5	+5 – +16	+20	+5,5 – +10,5	+6 – +14
Nederbördsförändring						
Sommar (%)	-35 – +15	-67 – -36	—	+29	-10 – +20	—
Vinter (%)	+57 – +100	-5 – +50	—	+100	+18 – +32	—
Helår (%)	—	—	+18 – +65	—	—	-10 – +70

Tabell 1 visar att scenariet ”Umeå som Nordafrika” i Parmhed och Carlsson-Kanyama (2007) delvis beskriver en kraftigare klimatförändring än vad som synes vara vanligast i klimatsimuleringar av utsläppsscenario A1FI. Den största skillnaden gäller temperaturen under vintern och nederbörden under samma tid. Denna mildring av förändringen till trots är förändringen i denna del av Sverige

mycket stor. Medeltemperaturen under vintern i Umeå ligger i dag på mellan minus tio och minus fem grader och en ökning av denna med 10 grader skulle göra området tjälritt under större delen av året. Det är viktigt att påpeka att klimatförändringarna som effekt av utsläppsscenario A1FI är mycket osäkra eftersom så få simuleringar studerats.

Som Strandberg (2007) poängterar är skillnaden mellan modellerna för samma utsläppsscenario större än skillnaden mellan utsläppscenarierna i en modell. Simuleringarna av utsläppsscenario A1FI har vidare inte tagit hänsyn till ännu ej väl kända återkopplingar som utsläpp av metan från smältande tundra och dylikt. Även om man inte bör spekulera alltför fritt om sådana möjliga effekter är deras potentiella konsekvenser troligen tillräckliga för att överskugga skillnaderna mellan de resultat som beskrivs i tabell 1. När det gäller just utsläppen av metan visar nya mätningar högre halter av metan i Sibirien (exempelvis Dagens Nyheter 2008 eller Shakhova och Semiletov 2007). Detta skulle kunna vara ett tecken på begynnande utsläpp av tidigare infrysad metan.

5 Sveriges framtida klimat på kort och medellång sikt

Vi vänder nu blickarna mot det för klimatanpassningsarbete mer intressanta kortare tidsperspektiven. I detta kapitel beskrivs klimatscenarier för Sveriges klimat år 2030 och 2060. I anpassningsarbete är det självklart så att information om det framtida klimatet inte är det enda beslutsunderlag som måste tas med i helhetsbilden. I en konkret beslutssituation är det därför viktigt att relatera osäkerheten om det framtida klimatet till övriga relevanta osäkerheter.

5.1 Om osäkerheter i klimatscenarier

Förutsägelser om framtidens klimat på lång sikt är generellt mycket osäkra. I IPCC:s orsakskedja (en viss utsläppsnivå leder till en viss koncentration av växthusgaser i atmosfären som i sin tur matas in i en eller flera klimatmodeller som levererar scenarier som beskriver framtidens klimat) finns osäkerheter i varje steg. Idén bakom SRES är att ett visst samhälle genererar en viss utsläppsnivå av växthusgaser och givetvis är osäkerheterna mycket stora om hur dessa samband ser ut. I det sista steget, klimatmodellering, visar det sig att olika modeller ger olika resultat för samma nivå av växthusgaser. Som diskuterats ovan är det till och med så att variationen mellan olika klimatmodeller för en given utsläppsnivå ibland är större än vad en modell ger för olika utsläppsnivåer.

Det kan här vara på sin plats att kommentera hur sannolikheten för de olika utsläppsscenarierna inom SRES-familjen ska tolkas. Som nämnts ovan studerar Klimat- och sårbarhetsutredningen utsläpp i enlighet med scenarierna A2 och B2, medan de lägre (B1) respektive högre (vissa A1) nivåerna avgränsades bort. Syftet är att erhålla ett ”rimligt spann” (Regeringen 2007, s. 153), och de valda scenarierna sägs ”spegla en trolig utveckling” (ibid., s. 158). Med denna skrivning kan man möjligen ledas att tro att dessa scenarier är mer troliga än de övriga i SRES-familjen. Enligt IPCC är dock sannolikheten oberoende av utsläppsnivån; alla scenarier ska ses som lika troliga (Nakićenović et al. 2000, s. 172). Om man betänker logiken bakom IPCC:s arbete – att ett givet samhälle leder till en given utsläppsnivå som i sin tur driver klimatförändringarna – är det inte märkligt att alla scenarier ska betraktas som lika sannolika. Lika lite som ett

visst samhälle är mer sannolikt än något annat, lika lite är ett visst klimatscenario mer sannolikt än andra.⁷

Av speciellt intresse för klimatanpassning är hur osäkerheten varierar beroende på vilket tidsperspektiv som betraktas. Om man står inför ett beslut där valet mellan två handlingsalternativ avgörs av hur klimatet i framtiden utvecklas är det frestande att vilja skjuta upp beslutet till dess att osäkerheten om vilket klimat som realiserats har lösts upp. Den springande punkten är om det är värt att vänta med beslutet till dess att vi vet hur det framtida klimatet kommer att se ut. Mer generellt uttryckt handlar det om att väga förlusten med att skjuta upp ett beslut mot vinsten att beslutsunderlaget i framtiden kan bli bättre.

Hur är det då med osäkerheten i de klimatprojektioner som vetenskapssamhället levererar? Är det så att osäkerheten växer med en konstant faktor ju längre in i framtiden vi tittar? Är det så att skillnaden mellan olika simuleringar av det framtida klimatet är olika stor på kort och lång sikt? Är det så att osäkerheten om klimatet på 50 års sikt är ”dubbelt så stor” som osäkerheten på 25 års sikt?⁸ Nej, så förhåller det sig i allmänhet inte. I själva verket visar det sig att osäkerheten om det framtida klimatet varierar högst påtagligt beroende på vilket tidsperspektiv som betraktas.

Låt oss använda den kanske mest spridda informationen från IPCC:s fjärde utvärderingsrapport för att illustrera hur klimatscenerierna varierar beroende på utsläppsnivå. I tabell 2 nedan redovisas ökningen av den globala ytmedeltemperaturen för tre olika tidsperioder givet tre olika utsläppsscenarier. För varje utsläppsnivå har ett medelvärde över ett antal olika klimatmodeller beräknats.

⁷ Detta är dock omdebatterat i den vetenskapliga debatten där en del inlägg ifrågasätter tesen att scenarierna är lika troliga, se exempelvis Castle och Henderson (2003a, b) samt Schenk och Lensink (2007). Forskarna bakom SRES har responderat på denna kritik och försvarat den ursprungliga linjen (Grübler et al. 2004).

⁸ Uttrycket ”dubbel så stor” ges i detta sammanhang ingen exakt mening. Precisionen i uttrycket är inte avgörande för resonemanget.

Tabell 2. Global ytmedeltemperaturökning relativt perioden 1980–1999 för tre olika utsläppsscenarioer. Den femte kolumnen visar standardavvikelsen över scenariomängden för respektive nedslagsperiod. Källa: Meehle et al. (2007), s. 763.

	A1B	A2	B1	Standardavvikelse
2011–2030	+0,69° C	+0,64° C	+0,66° C	0,025
2046–2065	+1,75° C	+1,65° C	+1,29° C	0,24
2080–2099	+2,65° C	+3,13° C	+1,79° C	0,68

Tabellen visar att skillnaderna mellan temperaturökningen för de olika utsläppsscenarioerna är mycket liten inledningsvis för att sedan öka under de två senare nedslagsperioderna. Mellan den första och den sista nedslagsperioden skiljer det nästan en faktor 30 i standardavvikelse.⁹ Exemplet visar att på kort sikt är osäkerheten (i relation till beaktat utsläppsscenario) vad gäller ökningen av den globala medeltemperaturen mycket liten. Denna slutsats – att de genomsnittliga yttemperaturförändringarna är relativt säkra på kort sikt – kan generaliseras till fler klimatindex.

Det bör ytterligare understrykas att resonemanget endast rör utvecklingen för genomsnittsvärden. I tabell 2 jämförs exempelvis den genomsnittliga temperaturen över *samtliga* år mellan 2011 och 2030 med genomsnittet över *samtliga* år mellan 1980 och 1999, det vill säga temperaturer från 20 olika år tas med i beräkningen. I denna typ av jämförelse tas inte hänsyn till hur temperaturen varierar från år till år; tre på varandra följande vintrar med temperaturer -5, 0 och +5 grader bedöms lika som de tre vintrarna med temperaturer -1, 0 och +1 grader. Just variationen från år till år är något som människor i allmänhet upplever som relativt konkret och detta tenderar att sätta sig i det kollektiva minnet. Förändringar av genomsnittsvärden – vilket mycket, men inte all forskning kring klimatförändringar kretsar kring – är dock betydligt svårare för människor i allmänhet att uppleva. Att kommunicera både förändringar av genomsnittsvärden (den forcerade trenden) och samtidigt beakta *variabiliteten* är en svår och viktig uppgift i klimatanpassningsarbetet. Vi ska återkomma till detta nedan.

⁹ Standardavvikelsen är ett spridningsmått som ger en uppfattning om hur mycket de olika värdena tillsammans avviker från medelvärdet. För en serie $\{x_i\}$ med n element där medelvärdet är m ges standardavvikelsen av uttrycket $(\sum(x_i - m)^2 / (n - 1))^{1/2}$.

De huvudsakliga skälen till att klimatförändringarna (genomsnittsvärden) är relativt säkra på 20 till 30 års sikt är dels de trögheter som finns i klimatsystemet, dels de drivkrafter som påverkar klimatsystemet. Ett exempel på trögheten hos klimatsystemen är världshaven vars uppvärmning sacker efter. När det gäller drivkrafter så fortsätter, som vi sett ovan, utsläppen av växthusgaser att öka, men redan nu har så mycket släppts ut så att en viss klimatpåverkan kommer att ske alldeles oavsett vilka begränsningar som eventuellt åstadkoms. Om man helt hypotetiskt tänker sig att koncentrationen av växthusgaser skulle fixeras vid den nivå som rådde år 2000 ("constant composition commitment"¹⁰) skulle den globala uppvärmningen under 2000-talet öka med cirka 0,6 grader (Meehle et al. 2007, s. 762)¹¹. Men realistiskt sett kommer utsläppen att öka och då följer en betydligt större uppvärmning.

Även om resonemanget hittills enbart lutar sig mot globala medelvärden så gäller samma princip även för det lokala klimatet i Sverige. Med detta som grund kan vi nu motivera att osäkerheten om det framtida klimatet för de två aktuella planeringshorisonterna – det vill säga 2030 och 2060 – skiljer sig starkt åt. Detta gör att det är nödvändigt att definiera två distinkt olika planeringsparadigm för de två nedslagsperioderna. I det första planeringsparadigmet (I) är osäkerheten vad gäller den forcerade trenden relativt liten. I detta planeringsparadigm över-skuggas osäkerheter i den forcerade trenden av osäkerheterna vad gäller klimatets variabilitet samt den socioekonomiska utvecklingen. För det andra planeringsparadigmet (II) måste dock en betydligt större osäkerhet vad gäller utsläppsnivåer beaktas.

För att insikten ska kunna omsättas i meningsfullt kunskapsunderlag för klimat-anpassningsarbete måste den konkretiseras i form av bilder av framtidens svenska klimat. Som tidigare nämnts utgör framtidens klimat tillsammans med den socioekonomiska utvecklingen de mest betydelsefulla faktorerna som formar miljön i vilken beslut om anpassning ska fattas. Det är den sammanlagda bilden – ett visst klimats påverkan på ett visst samhälle – som avgör hur anpassning kan och bör göras. Hur osäkerheten om det framtida klimatet varierar måste därför kombineras med beaktande av osäkerheten kring den socioekonomiska utvecklingen.

När det gäller den socioekonomiska framtiden är det svårt att motivera en hypotes likt den om osäkerheten om det framtida klimatet. I detta fall kan vi istället konstatera att osäkerheten om den framtida utvecklingen är mycket stor redan på den första tidshorisonten som här beaktas (2030). Detta resonemang

¹⁰ Detta innebär att koncentrationen av växthusgaser fixeras vid 2000 års nivåer.

¹¹ Under de första decennierna ökar temperaturen med cirka 0,1 grad per decennium för att sedan öka relativt långsamt.

leder fram till en av denna rapporters huvudbudskap: Med en planeringshorisont på 25 år är osäkerheten om den socioekonomiska utvecklingen större än osäkerheten om den forcerade klimatförändringen. Detta innebär att i det kortare tidsperspektivet (2030) bör uppmärksamheten i klimatanpassningsarbetet riktas mot att hantera de socioekonomiska osäkerheterna snarare än att beakta olika utsläppsnivåer. Som en konsekvens av detta konstaterande rekommenderar vi att endast ett klimatscenario beaktas i det kortare tidsperspektivet.

Vid den längre planeringshorisonten på 50 år ökar dock klimatosäkerheten vilket gör att ett större osäkerhetsspann måste beaktas för såväl det framtida klimatet som den socioekonomiska situationen.

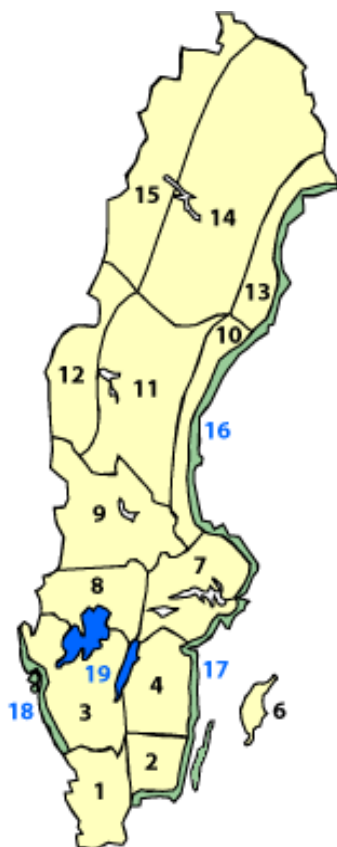
5.2 Klimatet i Sverige 2030

Det klimatscenario som här används för 2030-årsperspektivet bygger på forskning vid SMHI:s Rosaby Centre. De uppgifter som här presenteras ska endast betraktas som underlag för utvecklingen av klimatanpassningsverktyg inom Climatools. I en reell planerings- eller beslutssituation ska uppdaterade och plats-specifika uppgifter från SMHI användas.¹²

Rosaby Centres Sverigeanalys är en mycket bra informationskälla för det framtida klimatet i hela Sverige. På SMHI:s webbplats är landet uppdelat i 18 distrikt (se figur 3). För ett givet distrikt analyseras resultaten i alla beräkningspunkter som ligger inom det valda distriktet. För varje tidpunkt bildas medelvärdet av alla rutor i distriktet och utvecklingen över tid för ett visst klimatindex beräknas.

Med utgångspunkt i resultaten från den tyska globala klimatmodellen ECHAM4/OPYC3 har regionala simuleringar gjorts med en mer högupplöst regional modell för att få en mer detaljerad bild av det svenska klimatet. I analysen utgår Rosaby Centre från de två utsläppsscenarierna A2 respektive B2. I den regionala modellen (som kallas RCA3) skapas ett rutnät som har en större upplösning än den globala modellen. Beräkningarna omfattar hela Europa med en upplösning på cirka 50x50 km. Det som händer utanför detta område styrs av resultatet från den globala klimatmodellen.

¹² Se tjänsten "Sveriges framtida klimat" på www.smhi.se.



Figur 3. Sverige indelat i 18 distrikt enligt SMHI:s tjänst "Sveriges framtida klimat".

Det är viktigt att konstatera att en beräkning som grundar sig på ett rutnät medför vissa svårigheter när det gäller jämförelser med observationer. Modellen antar att ett visst förhållande, till exempel nederbörds mängd, är lika i hela rutan, medan en observation bygger på data från endast en punkt. När det gäller just nederbörd kan de lokala variationerna vara stora mellan olika mätstationer (inom en beräkningsruta).

I SMHI:s analys motsvaras Climatools region Skåne närmast av distrikt 1 (sydvästra Götaland) och Mälardalen av distrikt 7 (östra Svealand). Umeå ligger nära gränsen mellan distrikt 10 och 13. Vi har valt distrikt 13 (norra Norrlands kustland) för att få med information från de norra delarna av Sverige.

I tabell 3 redovisas ett antal klimatindex år 2030 för de tre valda distrikten. Index nummer 14 (havsnivåhöjning) bygger på information från Parmhed och Carlsson-Kanyama (2007). I avsaknad av bättre information har vi beräknat värden för 2030 genom att dividera skillnaden till 2100 med tre. Indexet måste därför betraktas som mycket ungefärligt. Senare i detta kapitel diskuteras havsnivåförändringen ytterligare.

Tabell 3. Klimatindex för de tre regionerna baserat på SMHI:s tjänst ”Sveriges framtida klimat” (ej index 14, se texten). Ett medelvärde för A2 och B2 har beräknats. Årstiderna definieras som vår = mars, april och maj; sommar = juni, juli och augusti; höst = september, oktober och november; vinter = december, januari och februari. Klimatindex nr 6, graddagar, är det summerade antalet grader som överstiger 20 °C. Alla förändringar är i relation till referensperioden 1961–1990.

	År 2030	Sydvästra Götaland (motsv. Skåne)	Östra Svealand (motsv. Mälardalen)	Norra Norrlands kustland (motsv. Umeå)
	Temperatur- förändring (°C)			
1	Vår	+2,1 +/-0,2	+2,4 +/-0,2	+2,4 +/-0,2
2	Sommar	+1,6 +/-0,2	+1,5 +/-0,2	+1,3 +/-0,2
3	Höst	+1,9 +/-0,2	+1,9 +/-0,2	+2,0 +/-0,2
4	Vinter	+2,4 +/-0,2	+2,4 +/-0,2	+2,8 +/-0,2
5	Ökning av antal dagar i följd med temperatur >20 grader	+3 dagar	+3 dagar	+2 dagar
6	Antal graddagar med dygnsmaxtemperatur över 20 °C (antal graddagar 1961–1990)	8 graddagar (5)	8 graddagar (5)	2 graddagar (1)
	Nederbörds- förändringar (%)			
7	Vår	+10	+5	+/- 0
8	Sommar	-10	-8	+3
9	Höst	+5	+8	+8
10	Vinter	+25	+18	+15

11	Ökning i maximala nederbörden under 7 sammanhängande dagar (%)	+12	+2	+3
12	Antal dagar med nederbörd över 10 mm (antal dagar i referensperioden 1961–1990)	25 dagar (20)	20 dagar (19)	18 dagar (16)
13	Förändring av antalet dagar med snötäcke	-12 dagar	-42 dagar	-27 dagar
14	Ungefärlig havsnivåhöjning (vinter)	+10 cm	-3 cm	-20 cm

Som ovan diskuterats är skillnaderna mellan de två klimatscenerierna relativt små i detta korta tidsperspektiv. I tabellen redovisas ett medelvärde mellan de båda scenarierna A2 och B2. För klimatindex 1–4 anges ett intervall på +/- 0,2 grader vilket motsvarar den ungefärliga skillnaden mellan A2 och B2.¹³ Dessa klimatindex samt index 7–10 avser löpande 10-årsmedelvärden, medan klimatindex 5, 6, 11–13 är löpande 30-årsmedelvärden.

Generellt flyttas klimatzonerna norrut. Den medeltemperatur som Skåne i dag har kommer att återfinnas i Mälardalen. Medeltemperaturen på vintern förväntas öka mer än sommartemperaturen. Norrlandskusten och Svealand förväntas få de största förändringarna vintertid. Den dominerande förklaringsfaktorn är att dessa delar av landet är de där snötäcket i störst utsträckning minskar. Detta beror i sin tur på att snöminskningen blir störst i regioner som redan i dag är snöfattiga. När snön försvinner reflekteras mindre av solens strålning och dessutom försvinner snötäckets isolerande effekt.

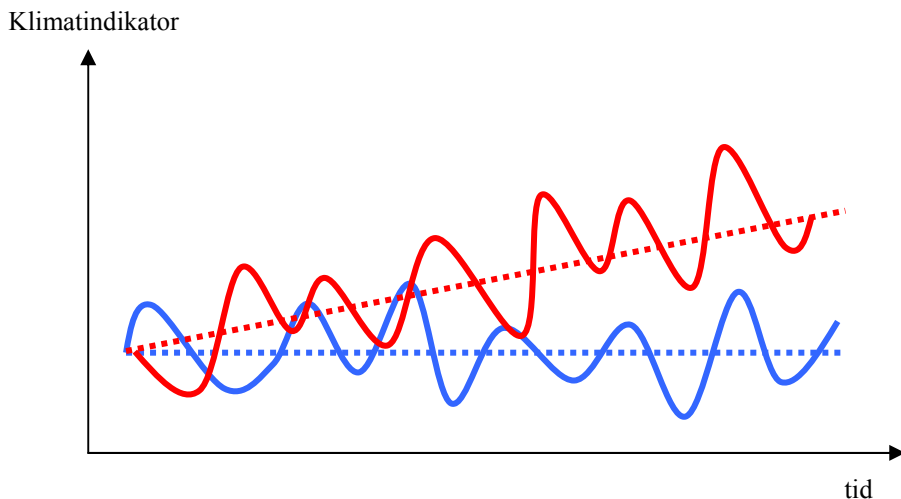
För att få en uppfattning om hur stora förändringar detta är frågan om kan man jämföra med den extremt varma vintern 2007–2008. Med stor säkerhet är detta den varmaste vintern i Mälardalen på 250 år. Under referensperioden (1961–1990) hade Mälardalen en medeltemperatur på mellan -2 till -3 grader för januari månad. För januari 2008 låg motsvarande siffra på mellan 2 och 3 plusgrader. Denna skillnad är extrem och förklaras delvis med att jämförelsen gäller en hel period (1961–1990) med ett enskilt år (vintern 2007–2008).

Även när det gäller nederbörd skiljer sig effekterna tydligt mellan sommar och vinter. Generellt kan vi förvänta oss blötare vintrar och torrare somrar, speciellt i

¹³ Skillnaden mellan A2 och B2 varierar något från region till region och från årstid till årstid. För enkelhetens skull har det genomsnittliga värdet på cirka 0,4 grader angivits i tabellen.

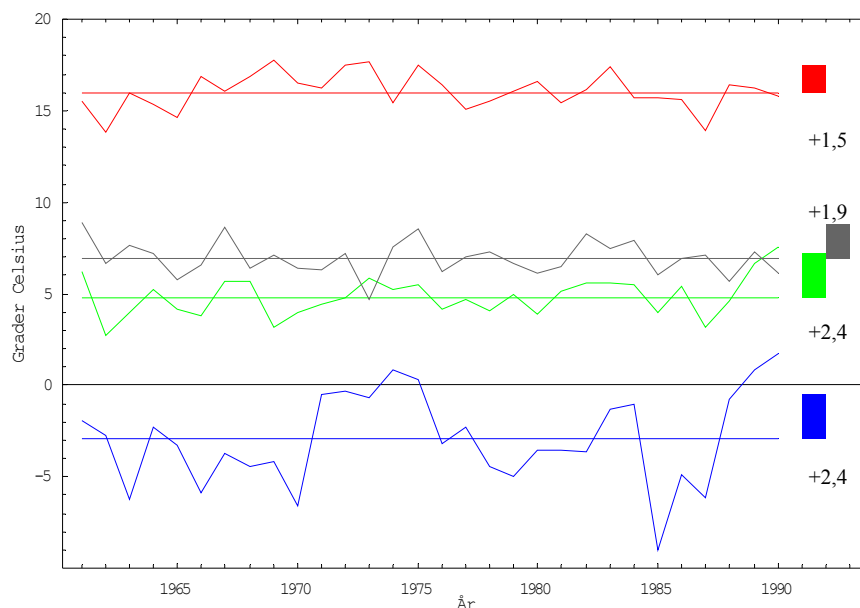
de södra delarna av landet. För landet som helhet ökar januarinederbörden med hela 50 procent till 2030. I norra Svealand förväntas en fördubbling av den del av nederbörden vintertid som faller som regn. Antalet dagar med kraftig nederbörd vintertid (mer än 10 mm) ökar särskilt i de sydvästra delarna av landet. Även intensiteten (mm/h) i regnen förväntas öka.

Förändringarna i tabell 3 handlar alltså om 10- och 30-årsmedelvärden jämfört med referensperioden 1961–1990. Som diskuterats ovan i avsnitt 5.1 medför detta att information om variationer från år till år inte inkluderas i analysen. I det korta perspektivet kan det mycket väl vara så att den naturliga variabiliteten från år till år överstiger den underliggande trenden (mot ett i genomsnitt varmare klimat). I figur 4 nedan illustreras detta förhållande schematiskt. Vi ser i figuren att det för enskilda observationer i det korta perspektivet är omöjligt att avgöra om utfallet beror på den naturliga variabiliteten eller en underliggande trend; nästa år behöver inte med nödvändighet bli varmare än innevarande år. Det är först under slutet av perioden som extremerna från den blå grafen inte når upp till den graf som beskriver en utveckling med en underliggande trend (den röda grafen).



Figur 4. Schematisk figur över ett tänkbart förhållande mellan forcerad trend och naturlig variabilitet. Den blå grafen beskriver variationen över tiden för ett klimatindex utan forcerad trend. Den röda grafen beskriver ett klimatindex med forcerad trend. De streckade linjerna är medelvärden.

För att ge en empirisk illustration av detta förhållande jämför vi variabiliteten under referensperioden 1961–1990 med den förväntade ökningen av medeltemperaturen för ett av områdena i tabell 3. I figur 5 nedan visas hur temperaturen i Stockholm har varierat under de fyra årstiderna för hela perioden (blå = vinter, grön = vår, grå = höst, röd = sommar).¹⁴ Variationerna från år till år är generellt stora, men speciellt under vintern varierar temperaturen i Stockholm kraftigt. Detta beror bland annat på att snötäckets utbredning varierar från år till år i Stockholmsområdet. Längst till höger i figuren illustrerar staplarna den förväntade höjningen av medeltemperaturen i Mälardalen enligt tabell 3. Figuren visar att för vår, sommar och höst är den förväntade höjningen i samma storleksordning som den största variationen under referensperioden. Vintertid är dock den naturliga variabiliteten betydligt större än den förväntade höjningen av medeltemperaturen.



Figur 5. Temperatur i Stockholm (mätstation Bromma, nr 9720) 1961–1990: blå = vinter, grön = vår, grå = höst och röd = sommar enligt definition i tabell 3. De horisontella linjerna visar respektive årstids medelvärde. Staplarna till höger i figuren visar förväntad ökning av medeltemperaturen till 2030 (tabell 3). Observera att jämförelsen här görs mellan en mätstation (Stockholm-Bromma) och ett medelvärde över hela östra Götaland.

¹⁴ Observera att vintertemperaturerna beräknas för de tre månaderna (januari, februari och december) för *samma* kalenderår. Detta är alltså inte samma sak som medeltemperaturen under en vinter (dvs. december, januari och februari i följd).

Jämförelsen mellan den historiska variabiliteten och förväntad höjning av medelvärde ska göras med försiktighet. Data för den historiska variabiliteten härrör från endast en mätstation (Stockholm-Bromma) medan data som redovisas i SMHI:s tjänst "Sveriges framtida klimat" bygger på medelvärden över hela distriktet östra Svealand enligt tabell 3.

I klimatanpassningsarbetet måste man ta hänsyn både till det framtida klimatets variabilitet och till dess medelvärde. I vissa fall spelar variabiliteten en avgörande roll medan fokus för andra planeringsfrågor kan vara det genomsnittliga värdet av något klimatindex. Ett exempel där extremer kan spela en avgörande roll är värmeböljor där frågan om frekvensen av långa perioder med mycket höga temperaturer är avgörande för hur samhället ska anpassas.

Kvantitativa data och det kvalitativa resonemanget i detta avsnitt baseras alltså på beräkningar baserade på utsläppsscenario A2 och B2. I Klimat- och sårbarhetsutredningen sägs de två scenarierna täcka ett spann mellan låga och höga utsläpp (Regeringen 2007, s. 153). Som vi sett tidigare i kapitel 3 ligger de faktiska utsläppsnivåerna av koldioxid i dag över dessa båda scenarier (figur 1 och 2). För det korta tidsperspektiv som diskuteras i denna sektion är inte detta nödvändigtvis av avgörande betydelse då de simulerade klimatförändringarna är relativt oberoende av utsläppsscenario. Men för längre tidsperspektiv är det mycket viktigt att ta detta i beaktande.

5.3 Klimatet i Sverige 2060

För att kunna hantera den ökade osäkerheten om klimatet på 50 års sikt jämfört med klimatet på 25 års sikt måste flera möjliga utvecklingar av det framtida klimatet beaktas. För det längre tidsperspektivet är skillnaderna betydligt större beroende på om utsläppen följer scenario A2 eller B2 vilket gör en medelvärdesbildning för 50-årsperspektivet mindre välmotiverad. Här behandlas istället de båda utsläppsscenariernas klimat var för sig.

För att ytterligare bredda spannet av möjliga utvecklingar inkluderas även ett scenario med mycket höga utsläppsnivåer. Som vi har sett i tidigare avsnitt pekar mycket på att utsläppen ökar än mer än vad som stipuleras av IPCC:s högsta utsläppsnivåer. Om inte mer extrema utfall av klimatförändringarna inkluderas i kunskapsunderlaget finns risk för att mer svårhanterliga konsekvenser av klimatförändringar inte beaktas i tillräckligt hög grad i anpassningsarbetet.

För utsläppsscenario A1FI finns begränsat med beräkningar att tillgå för svenska förhållanden. För att vidga spannet av möjliga klimatscenarier på 50 års sikt används här resultat från den studie som diskuteras ovan i kapitel 4 (Strandberg 2007). Denna studie presenterar resultat för tre rutor som approximativt mot-

svarar Malmö, Stockholm och Umeå. Enligt denna modell är klimatförändringarna för de tre platserna i stort sett lika. Enligt Strandberg förklaras detta med en i modellen för låg upplösning där exempelvis skillnader i lokal topografi inte inkluderas.

I tabell 4 ges ett antal olika klimatindex för de tre aktuella regionerna och för de tre utsläppsscenarierna B2, A2 och A1FI. De flesta uppgifter som används här baseras på diagram som visar skillnaden i löpande 10-årsmedelvärde för perioden 1961–2100 jämfört med medelvärdet för perioden 1961–1990.

Tabell 4. Klimatindex för de tre utsläppsscenarierna B2, A2 och A1FI. Data för A2 och B2 baseras på SMHI:s tjänst ”Sveriges framtida klimat” (ej havsnivåförändring, se texten). Perioden 2041–2070 i SMHI:s data identifieras med 2060 i tabellen. Data för A1FI baseras på Strandberg (2007). Årstiderna definieras som sommar = juni, juli och augusti och vinter = december, januari och februari.

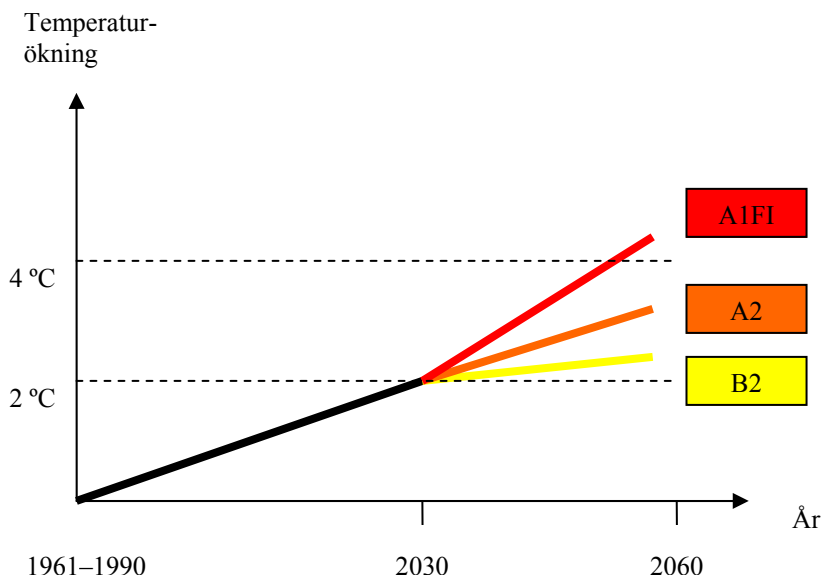
År 2060	Sydvästra Götaland (AIFI: Malmö)			Östra Svealand (AIFI: Stockholm)			Norra Norrlands kustland (AIFI: Umeå)		
	B2	A2	AIFI	B2	A2	AIFI	B2	A2	AIFI
Temperaturförändring (grader C) sommar	+2,3	+2,7	+3,8	+2,1	+2,5	+3,2	+1,8	+2	+3,5
Temperaturförändring (grader C) vinter	+3	+3,5	+4,5	+3,2	+3,8	+5,5	+3,9	+4,4	+5,5
Antalet dygn med dygnsmaxtemperatur >20 grader (ökning jämfört med 1961–1990)	13 (10)	15 (12)	—	14 (11)	15 (12)	—	4 (3)	2 (1)	—
Nederbördsändring (%) vår	+20	+10	—	+10	+15	—	+15	+5	—
Nederbördsändring (%) sommar	-10	-20	—	-10	-15	—	+5	+5	—
Nederbördsändring (%) höst	+10	+10	—	+10	+20	—	+15	+15	—
Nederbördsändring (%) vinter	+30	+35	—	+20	+30	—	+20	+25	—
Ökning i medelnederbörd (mm/mån)	—	—	+13	—	—	+11	—	—	+6
Ändring i maximala nederbörden under 7 sammanhängande dagar (%)	+15	+18	—	+5	+7	—	+8	+5	—
Antal dagar med nederbörd över 10 mm (ökning jämfört med 1961–1990)	27 (7)	28 (8)	—	22 (3)	22 (3)	—	22 (6)	20 (4)	—
Förändring av antalet dagar med snötäckning	-12	-15	—	-45	-55	—	-50	-55	—
Ungefärlig havsnivåförändring (cm)	-3	+50	—	-35	+25	—	-60	-3	—

Mönstret från förra perioden, 2030-perspektivet, går igen även nu. Medeltemperaturen på våren, hösten och vintern ökar mer än på sommaren. De största förändringarna förväntas utmed Norrlandskusten och i Svealand. Mönstret går i varierande grad igen för samtliga utsläppsscenarioer. Skillnaderna mellan scenarierna varierar dock. För sydvästra Götaland (Malmö) är skillnaden mellan ytterlighetsscenarierna vintertid 1,5 grader medan skillnaden i östra Svealand (Stockholm) är hela 2,3 grader.

Ett annat uttryck för temperaturhöjningen är att antalet dygn med dygnsmaxtemperatur högre än 20 grader nu ökar kraftigt. Jämfört med 2030 är det nu frågan om nära nog en fördubbling. Särskilt i de södra delarna av landet kommer antalet varma dygn att öka kraftigt. Skillnaderna mellan de olika utsläppsscenarioerna är inte påtagliga i detta fall med undantag för norra Norrlands kustland.

Hur stora skillnaderna är mellan de olika utsläppsscenarioerna påverkar hur en konkret anpassningssituation ska hanteras. Tre principiella situationer kan uppstå. I den minst problematiska situationen är skillnaden mellan klimatscenarierna liten och planeringssituationen blir densamma som för 2030-perspektivet ovan. I det andra fallet skiljer sig scenarierna åt samtidigt som effekterna av dessa klimatförändringar är relativt oberoende av denna skillnad. Återigen hamnar vi i samma beslutssituation som förut. I det tredje fallet skiljer sig även effekterna åt mellan de olika utsläppsscenarioerna varför det blir nödvändigt att beakta ett större osäkerhetsspann i beslutsunderlaget.

Temperaturökningen kan användas för att återknyta till resonemanget i avsnitt 5.1. I figur 6 nedan illustreras med hjälp av ökningen av Sveriges medeltemperatur de två planeringsparadigmen. I det korta perspektivet antas temperaturökningen följa den svarta linjen. För det längre planeringsperspektivet bör dock ett bredare utfallsrum tas med i beslutsunderlaget i de fall en ändrad temperatur inverkar på olika beslutsalternativ. Figuren ska inte tolkas som en illustration över ett exakt förhållande. Det är självklart inte så att det sker något radikalt just vid år 2030; poängen är att osäkerheten vad gäller det framtida klimatet ser annorlunda ut för det korta och det långa planeringsperspektivet.



Figur 6. Principiell skiss som illustrerar hur medeltemperaturen i Sverige förändras i det korta och medellånga planeringsperspektivet.

Havsnivån är i många fall en mycket viktig parameter vid anpassning även till måttligare klimatförändringar. Tyvärr saknas fortfarande mycket kunskap om hur havsnivån kommer att reagera på olika starka klimatförändringar. Data som presenteras ovan är skattningar som ska betraktas som mycket ungefärliga. Det är lämpligt att betrakta dessa olika data som exempel på möjliga utfall. I tabell 4 innebär detta att man för sydöstra Götaland kan räkna med ganska påtagliga höjningar medan det i Norrland snarare kan komma att handla om en mildrad landhöjning. I tabell 4 saknas information om havsnivåförändringar för scenariot A1FI.

Ett av problemen med att modellera framtida havsnivåhöjningar är att så många olika faktorer spelar in. Vattennivån beror av såväl termisk expansion av vattnet som av mer svårbestämda faktorer som avsmältning av glaciärer och liknande. Som ett exempel på möjliga framtida förändringar kan nämnas resultaten från Rahmstorf et al. (2007). I denna studie används en semi-empirisk metod där man inte explicit beskriver de processer som påverkar havsnivån. Istället antas havsnivåförändringen vara linjärt beroende av den globala uppvärmningen. Den konstant som avgör hur detta linjära samband ser ut hämtas från historiska data. Under antagande att systemet inte passerar någon principiell brytpunkt för sin funktion kan en sådan modell ge god information. Rahmstorf et al. finner på

detta sätt en ökning av den globala medelhavsnivån fram till 2100 på mellan dryga 40 cm och 140 cm. I perspektivet 2030 innebär detta en höjning på cirka 15–20 cm och till 2060 en höjning i intervallet 20–60 cm.

6 Diskussion och slutsatser

Vilka slutsatser kan då dras av de faktaunderlag som presenterats ovan? När det gäller de faktiska utsläppsnivåerna pekar mycket empirisk data på att situationen är allvarligare än vad man tidigare trott. I realiteten ser det ut som att utsläppen av koldioxid i dag ligger över de högsta nivåer som beskrivs av IPCC:s socioekonomiska scenarier (SRES). Om denna trend fortsätter pekar detta mot att vi kan förvänta oss större klimatförändringar än vad som hittills beaktats. Även om detta inte kan tas för givet så anser vi ändå att dessa iakttagelser bör få konsekvenser för vilka klimatscenarier som beaktas i samhällets anpassningsarbete. Priset för att inte ta hänsyn till kraftigare klimatförändringar om det visar sig att förändringarna blir större än vad som hittills beaktats riskerar annars att bli alltför högt.

Om klimatanpassningsarbetet ska ta hänsyn till risken för allvarligare klimatförändringar uppstår problemet att det i dag finns relativt lite underlag att tillgå. När det gäller tillgången till klimatdata så finns i dag en stor övervikt för beräkningar baserade på de mer modesta utsläppsnivåerna. Detta är något som bland annat Strandberg (2007) diskuterar. Om det visar sig att de experimentella data kring utsläpp av växthusgaser som här redovisas är stabila finns det därför ett stort behov av att ta fram klimatscenarier för svenska förhållanden även för de högre utsläppsnivåerna. På detta sätt skulle klimatforskningen utgöra ett ännu större stöd till samhällets klimatanpassningsansträngningar.

Rapportens andra huvudbudskap illustreras i figur 6. På kort sikt anser vi att osäkerheten vad gäller det framtida klimatet i de klimatscenarier som IPCC presenterar för de allra flesta planeringssituationer är så liten att endast ett utsläppsscenario behöver beaktas. I detta tidsperspektiv är det därför bättre att satsa tillgängliga resurser på att utreda och konsekvensbeskriva de socioekonomiska osäkerheterna av relevans för en specifik klimatanpassningssituation. Resultatet blir alltså att vi i detta tidsperspektiv rekommenderar att situationsbeskrivningar för 2030 omfattar *samma* klimatdrivning men *olika* socioekonomiska förutsättningar. Detta kommer att vara vägledande för det fortsatta arbetet med verktygsutveckling inom Climatoools. Samtidigt är det dock viktigt att vara medveten om att den naturliga variabiliteten på kort sikt kan vara – eller till och med troligen är – större än den underliggande trenden.

För det längre tidsperspektivet ökar däremot osäkerheten om klimatet vilket gör att flera olika scenarier bör beaktas. Eftersom den socioekonomiska osäkerheten givetvis är ännu större för detta det längre tidsperspektivet blir dessa planeringssituationer relativt komplicerade. Lyckligtvis är det relativt få planeringssituationer som kräver en tidshorisont på 50 år. Dock är det fler än vad man vanligtvis

tror, speciellt med tanke på den huvudsakliga drivkraften som här studeras – klimatförändringen.

Relaterat till rapportens andra huvudbudskap är det gap som i dag finns mellan klimatforskningens mycket långsiktiga fokus och samhällsplaneringens betydligt mer kortsiktiga fokus. Vi hoppas att samhällets anpassningsarbete ska utöva ett efterfrågetryck på klimatforskningen att leverera ett förbättrat underlag för klimatanpassning på kortare tidshorisont. I dagsläget arbetar SMHI med att utveckla klimatscenarioanalyser för 10- till 30-årsperspektivet, och man har även inlett studier av egentliga klimatprognoser. Detta är dock ett mycket långsiktigt utvecklingsarbete och troligen kommer det att dröja ett antal år innan dessa data finns att tillgå.

Om anpassningsproblematiken efterfrågar mer av kortare tidsperspektiv i klimatforskningen, kan man omvänt önska att det faktum att klimatförändringarna i sig är mycket långsiktiga ska leda till en mer långsiktig samhällsplanering.

Förändringar av havsnivåer förtjänar en särskild diskussion. Det är självklart att dessa förändringar är en mycket viktig aspekt i en stor del av klimatanpassningsarbetet. Stora förändringar av havsnivåytan skulle kunna få dramatiska effekter på dagens samhälle och på planeringen inför morgondagens samhälle. Det är därför bekymmersamt att det vetenskapliga underlaget både är relativt litet och dessutom mer osäkert än många andra klimatindex. Den linjära modell som omnämns i rapporten bygger på att de underliggande systemen även i fortsättningen kommer att befinna sig i den linjära regimen. Modellen antar vidare att det är två processer – termisk expansion och avsmältning av glaciärer – som i huvudsak bidrar till en allt högre havsnivå.

Flera forskare argumenterar för att en tredje process nu på allvar har börjat bidra till en höjning av havsnivån: avsmältningen av stora ismassor. En forskare som fått mycket uppmärksamhet är NASA:s James Hansen. Den viktigaste aspekten av denna typ av process är att det finns goda grunder att anta att den istället för att vara linjär är exponentiell. Hansen gör ett enkelt antagande att bidraget till havsnivåökningen från avsmältningen fördubblas vart tionde år (Hansen 2007). Detta antagande leder till en ökning av havsnivån på cirka 5 meter vid seklets slut att jämföra med den linjära modellens högsta värde på 140 cm.¹⁵

Det kan ju givetvis diskuteras om Hansens antagande om en dubblering vart tionde år är realistisk (vilket Hansen också gör). Huvudpoängen är dock att denna avsmältning är en icke-linjär process och att risken då är stor att vi får

¹⁵ Hansen antar att ismältningen bidrar med 1 cm för perioden 2005–2015 och 2 cm för perioden 2015–2025 osv.

oöverskådliga konsekvenser när vissa system väl börjat förändras. Hansen argumenterar för att de temperaturhöjningar som IPCC:s fjärde utvärderingsrapport diskuterar högst troligt innebär så stora värden att avsmältningen av de stora isarna leds in i en icke-linjär regim (Hansen 2007).

Hur kommande havsnivåförändringar ska behandlas i klimatanpassningsarbetet är svårt att avgöra. Vi är dock övertygade om att de nivåer som diskuteras i IPCC:s fjärde utvärderingsrapport (Meehl et al. 2007) inte är tillräckliga för anpassningsarbetet i Sverige. För det första pekar de faktiska utsläppen på att uppvärmningen kan komma att hamna i det övre intervallet. För det andra finns mycket som pekar på att de antaganden som ligger till grund för IPCC:s uppskattningar om havsnivåhöjning är alltför försiktiga.

Referenser

Tryckta källor

- BACC (2007), *Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*, The BACC Author Team, Springer Verlag.
- Canadell, J., Le Quéré, C., Raupach, M., Field, C., Buitenhuis, E., Ciais, P., Conway, T., Gillet, N., Houghton, R. och Marland, G. (2007), "Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks", *Proceeding of the National Academy of Sciences* **104**, 18866-18870.
- Carlsen, H. och Dreborg, K.H. (2008), *Dynamisk generering av socioekonomiska scenarier för klimatanpassning: metod, byggstenar och exempel*, FOI-R-2512--SE, Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Castles, I. och Henderson, D. (2003a), "Economics, Emissions Scenarios and the Work of the IPCC", *Energy and Environment* **14**, 422-423.
- Castles, I. och Henderson, D. (2003b), "The IPCC Emission Scenarios: An Economic-Statistical Critique", *Energy and Environment* **14**, 183.
- Dagens Nyheter (2008), *Metangas i Sibirien ökande klimathot*, intervju med Örjan Gustafsson, svensk ledare för expeditionen International Siberian Shelf Study ISSS08, 2008-08-30.
- EC (2007), *Adaptation to climate change – options for EU actions*, European Commission, COM 2007/0354 final.
- EC (2008), *20 20 by 2020: Europe's climate change opportunities*, European Commission, COM 2008/13-19 final.
- Emori, S., Nozawa T., Abe-Ouchi A., Numaguti A., Kimoto M., and Nakajima T. (1999), "Coupled ocean-atmosphere model experiments of future climate change with an explicit representation of sulfate aerosol scattering", *Journal of Meteorological Society of Japan* (submitted).
- Grübler, A., N. Nakićenović, J. Alcamo, G. Davis, J. Fenhann, B. Hare, S. Mori, B. Pepper, H. Pitcher, K. Riahi, H. Rogner, E.L. La Rovere, A. Sankovski, M. Schlesinger, R.P. Shukla, R. Swart, N. Victor, och T.Y. Jung, (2004), "Emission scenarios: a final response", *Energy and Environment* **15**, 11–24.
- Hansen, J. (2007), "Scientific reticence and sea level rise", *Environmental Research Letters* **2**, 1-6.

- Hirst, A. C., Gordon, H. B. och O'Farrell, S. P. (1996), "Global warming in a coupled climate model including oceanic eddy-induced advection", *Geophysical Research Letters* **23**, 3361-3364.
- IPCC (2007), Summary for Policymakers, in: *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 and H.L. Miller (eds.), Cambridge University Press.
- Meehl, G. A., T. F. Stocker, W. D. Collins, P. Friedlingstein, A. T. Gaye, J. M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J. M. Murphy, A. Noda, S. C. B. Raper, I. G. Watterson, A. J. Weaver och Z.-C. Zhao (2007), *Global Climate Projections*, i Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (red.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Nakićenović, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Gruebler, A., Jung, T.Y., Kram, T., La Rovere, E.L., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Raihi, K., Roehrl, A., Rogner, H.-H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, R., Victor, N. och Dadi, Z. (2000), *Emission scenarios. Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel of Climate Change*, Cambridge University Press.
- Parmhed, O. och Carlsson-Kanyama, A. (2007), *Lika varmt som i Tyskland eller Nordafrika? Klimatsecnarier inom forskningsprogrammet Climatoools*, Underlagsrapport FOI-R--2279—SE, Totalförsvarets forskningsinstitut.
- Raupach, M.R., G. Marland, P. Ciais, C. Le Quéré, J. G. Canadell, G. Klepper och C.B. Field, "Global and regional drivers of accelerating CO2 emissions", *Proceeding of the National Academy of Sciences* **104**, 10288-10293.
- Schenk, N. och Lensink, S. (2007), "Communicating uncertainty in the IPCC's greenhouse gas emissions scenarios", *Climate Change* **82**, 293-308.
- Shakova. N. och Semiletov. I. (2008), "Methane release and coastal environment in the East Siberian Arctic shelf", *Journal of Marine Systems* **66**, 227-243.

- Stern, N. (2006), *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press.
- Strandberg (2007), *En jämförelse av de två klimatscenarierna A1FI och A2 med två globala klimatmodeller*, underlag till Climatools, SMHI Rosaby Centre, november 2007.
- Rahmstorf S. (2007), "A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise", *Science* **315**, 368-370.
- Regeringen (2007), *Sverige inför klimatförändringarna - hot och möjligheter*, Slutbetänkande av klimat- och sårbarhetsutredningen, SOU 2007:60.
- UKCIP (2002), *Climate Change Scenarios for the United Kingdom*, The UKCIP02 Scientific Report, April 2002.
- UKCIP (2008), *What to expect from UKCIP08*, UK Climate Impacts Programme.

Webplatser

- CDIAC – Carbon Dioxide Information Center: <http://cdiac.ornl.gov>.
- GCP – Global Carbon Project: <http://www.globalcarbonproject.org>
- UKCIP – UK Climate Impact Programme : <http://www.ukcip.org.uk>.
- Sverige framtida klimat – <http://www.smhi.se/cmp/jsp/polopoly.jsp?d=8785ochl=sv>

Tidigare utgivna rapporter inom Climatools (2008-12-15)

FN:s klimatanpassningsarbete inom ramen för Nairobi Working Programme.
Intryck från UNFCCC Expert Meeting, Mexico City, mars 2008.

Karin Mossberg Sonnek

Utgiven av FOI, nr FOI-R--2585--SE

Ekonomiska verktyg som beslutsstöd i klimatanpassningsarbetet

Elin Kågebro, Maria Vredin Johansson

Utgiven av FOI, nr FOI-R--2530--SE

Dynamisk generering av socioekonomiska scenarier för klimatanpassning:
metod, byggstenar och exempel *Henrik Carlsen, Karl Henrik Dreborg*

Utgiven av FOI, nr FOI-R--2512--SE

Strömmar av vatten och politik – en studie om policyprocesser och anpassning

Marie Åkesdotter

Utgiven av FOI, nr FOI-R--2492--SE

Hälsopåverkan av ett varmare klimat – en kunskapsöversikt

Joacim Rocklöv, Anna-Karin Hurtig, Bertil Forsberg

Utgiven av Umeå Universitet, Yrkes- och miljömedicin i Umeå rapporter, 2008:1, Climatools

Anpassning till klimatförändringar i risk- och sårbarhetsanalyser
på kommunal nivå

Karin Mossberg Sonnek, Anna Lindberg, Johan Lindgren

Utgiven av FOI, nr FOI-R--2412--SE

The Geopolitics of Climate Change

Peter Haldén

Utgiven av FOI, nr FOI-R--2377--SE

Aktörer och funktioner i hälso- och sjukvårdssektorn vid olika klimathändelser

Susanne Waldau

Utgiven av FOI, nr FOI-R--2353--SE

Gender issues in climate adaptation

Sven Ove Hansson

Utgiven av FOI, nr FOI-R--2351--SE

Får Sverige lika varmt som Tyskland eller Nordafrika?

Oskar Parmhed, Annika Carlsson-Kanyama

Utgiven av FOI, nr FOI-R--2279--SE

Förändrat klimat och kommunal planering avseende vattenresurser

Magnus Svensson

Utgiven av FOI, nr FOI-R--2317—SE

Rapporterna finns tillgängliga under Publikationer på www.climatools.se